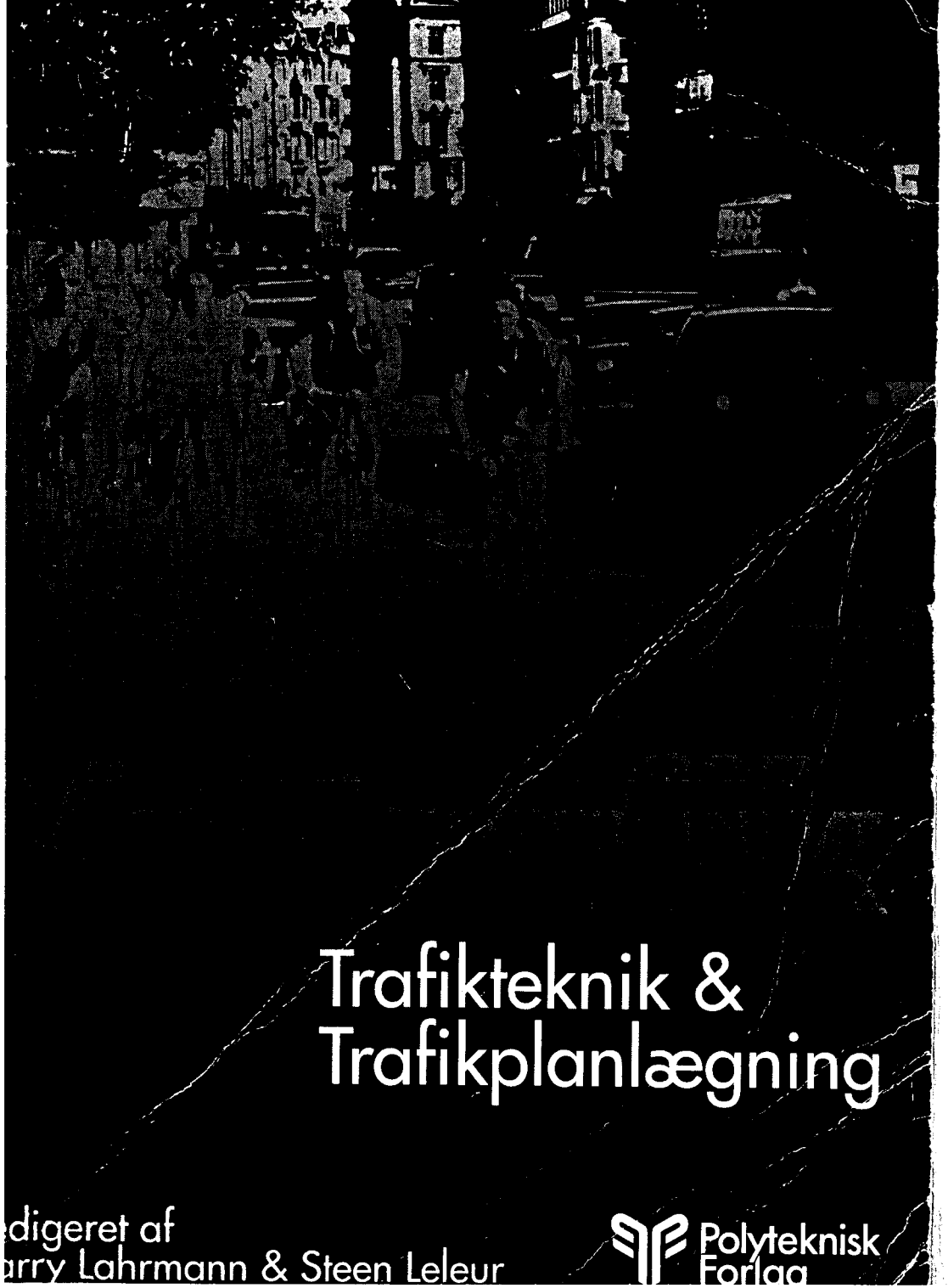


Vejtrafik

Trafikteknik & Trafikplanlægning

Harry Lahrmann & Steen Leleur

Polyteknisk Forlag

Vejtrafik
Trafikteknik & Trafikplanlægning

© by Harry Lahrmann, Steen Leleur and Polyteknisk Forlag
1. udgave, 1. oplag 1994
Kopiering fra denne bog er kun tilladt i overensstemmelse med overenskomst mellem Undervisningsministeriet og Copy-Dan
Bogen er trykt i offset hos AiO tryk as, Odense
Printed in Denmark 1994

ISBN 87-502-0772-5

Polyteknisk Forlag
Anker Engelunds Vej 1
2800 Lyngby
Tlf. 45 88 14 88
Fax 45 88 11 67

Forord

Vejtrafik foreligger hermed i første udgave. Lærebogen giver en sammenhær de indføring i trafiktekniske og trafikplanmæssige emner.

Bogen er udarbejdet til brug ved undervisningen i vejtrafik på Aalborg Univ tet (AUC), på Danmarks Tekniske Universitet (DTU) samt på kurser u Vejsektorens Efteruddannelse (VEJ-EU).

Bogen har følgende bidragydere:

Hans Bendtsen, Vejdirektoratet, kap. 12
Christian Overgaard Hansen, Hoff & Overgaard as, kap. 2
N.O. Jørgensen, Institut for Veje, Trafik og Byplan, DTU, kap. 6, 10 og 11
Jan Kildebogaard, Vejdirektoratet, kap. 8
Harry Lahrmann, Trafikforskningsgruppen, AUC, kap. 4
Steen Lauritzen, Vejdirektoratet, kap. 5
Jan Grubb Laursen, Institut for Veje, Trafik og Byplan, DTU, kap. 14 og 15
Steen Leleur, Institut for Veje, Trafik og Byplan, DTU, kap. 3, 7, 9, 10, 13 og 1
Henrik Ludvigsen, Vejdirektoratet, kap. 8
Klaus Meulengracht, HT, kap. 1
Preben Vilhof, COWIconsult, kap. 16

Carl Johan Hansen, Vejdirektoratet, har bidraget med de fleste fotografier. I har Hans Bendtsen, Vejdirektoratet, leveret billederne til kapitel 12.

I forbindelse med bogens fremtidige revision håber vi på mange gode forsla ideer fra brugere og bidragydere og siger samtidig tak for den hidtidige intere

Endvidere takkes COWIfonden for støtte til udgivelsen.

December 1994

Harry Lahrmann & Steen Leleur

Indholdsfortegnelse

Kapitel 1 Trafikkens rolle i samfundet 1
1.1 Trafik og transport - begreber og definitioner 1
1.2 Trafikstyrende samfundsforhold 12
1.3 Trafikfølsomme sektorer 17
1.4 Transportbehov 28
1.5 Synsvinkler på et trafikalt serviceniveau 36

Kapitel 2 Trafiktællinger og -analyser 41
2.1 Indledning 41
2.2 Grundelementer i indsamling af trafikdata 41
2.3 Udtagning af stikprøve 43
2.4 Behov for trafikinformation 47
2.5 Trafiktællinger 49
2.6 Hastighedsmålinger 60
2.7 Turmønsterbeskrivelser 64

Kapitel 3 Fri strækning 85
3.1 Grundbegreber 85
3.2 Kapacitetsdiagram og serviceniveau 88
3.3 Kapacitetsberegning og -dimensionering 94
3.4 Andre beskrivelser af strækningers trafikafvikling 102

Kapitel 4 Vejkryds og rundkørsler 109
4.1 Principielle krydsudformninger 109
4.2 Trafiksikkerhed 117
4.3 Oversigt 120
4.4 Kapacitet 126
4.5 Valg af krydstype 135

Kapitel 5 Signalregulerede kryds 147
5.1 Effekter af signalanlæg 147
5.2 Trafiksikkerhed i signalanlæg 148
5.3 Kriterier for etablering af signalanlæg 149
5.4 Indretning af signalanlæg 150
5.5 Trafikafvikling 158
5.6 Beregning af tidsstyret signalanlæg 163
5.7 Trafikstyring 168
5.8 Samordnede signalanlæg 174
5.9 Fejl- og driftsovervågning af signalanlæg 178

Kapitel 6 Trafiksikkerhed og uheldsbekæmpelse 181
6.1 Trafiksikkerhedsarbejdets teoretiske grundlag 181
6.2 Datakilder om uheld 185
6.3 Vejvæsenets uheldsbekæmpelse 192
6.4 Uheldsbekæmpelse i praksis 199

Kapitel 7 Funktionel klassifikation og vejstandarder 203
7.1 Administrativ og funktionel vejklassifikation 203
7.2 Vejstandarder i åbent land 207
7.3 Vejstandarder i byområder 217
7.4 Geometriske parametre 222

Kapitel 8 Vejafmærkning og trafikinformatik 225
8.1 Indledning - vejafmærkning 225
8.2 Myndigheder 225
8.3 Vejafmærkningens struktur 226
8.4 Informationsprocessen 227
8.5 Vejafmærkningens funktion og udformning 229
8.6 Afslutning - Vejafmærkning 231
8.7 Hvad er trafikinformatik? 232
8.8 Begreber og struktur 233
8.9 Funktioner og systemstruktur 237
8.10 Forskning og udvikling 241

Kapitel 9 Trafikplanlægningens mål og midler 249
9.1 Trafikplanlægning og vejtransport 249
9.2 Planlægningsprocessen 254
9.3 Planlægningsperspektiver 258
9.4 Modeltyper 268

Kapitel 10 Trafikprognoser og -modeller 277
10.1 Prognoseteknikker 277
10.2 Vækstfaktormodellen 281
10.3 4-trins modeller 287
10.4 Andre modeltyper og modelteknikker 305

Kapitel 11 Trafikrisiko 315
11.1 Baggrunden for trafiksikkerhedsarbejdet 315
11.2 Sikkerhedsarbejdets rolle i vejplanarbejdet 317
11.3 Relationer mellem uheld, vejstandard og trafik 318
11.4 Forhåndsvurderinger af sikkerhedsvirkninger 324
11.5 Effektvurdering 326
11.6 Sikkerhedsbetragtninger i vejtypekataloget 330
11.7 Færdselssikkerhedskommissionens handlingsplan 333

Kapitel 12 Trafikkens miljøkonsekvenser 337
12.1 Et trafikmiljø-begreb 337
12.2 Kort om miljøfaktorer 339
12.3 Luftforurening 345
12.4 Støj 353

Kapitel 13 Vurderingsmetoder 369
13.1 Grundbegreber 369
13.2 Investeringskriterier 374
13.3 Enhedspriser 383
13.4 Oversigt over typer af vurderingsmetoder 391

Kapitel 14 Planlægning for biltrafik 395
14.1 Trafik i bycentre 395
14.2 Trafikbetjening af boligkvarterer 400
14.3 Parkering 404
14.4 Vejnetplanlægning i åbent land 407
14.5 Standardvalg 412
14.6 Prioriteringsmetodik 416

Kapitel 15 Planlægning for let trafik 431
15.1 Persongrupper 431
15.2 Trafiktekniske karakteristika 433
15.3 Adfærd 436
15.4 Rutevalg 438
15.5 Planlægningselementer 440
15.6 Virkemidler/planløsninger i byområder 446
15.7 Virkemidler/planløsninger i åbent land 450

Kapitel 16 Planlægning for kollektiv trafik 457
16.1 Indledning 457
16.2 Den kollektive trafiks service 460
16.3 Brugernes ønsker 467
16.4 Planlægning af kollektiv trafik 472
16.5 Anvendelse af Stated Preference i planlægningen 477
16.6 Den kollektive trafiks organisation 477

Stikordsregister 490

Kapitel 1

Trafikkens rolle i samfundet

Af Klaus Meulengracht

Dette kapitel er tænkt som en kort indføring i de vigtigste sammenhænge mellem på den ene side trafik og transport, og på den anden det samfund, de betjener c er et produkt af.

I afsnit 1.1 afgrænser vi emnet og definerer begreberne trafik og transpor herunder vejtrafik/vejtransport. Derefter ser vi på de forhold i samfundet, de medfører, at trafik opstår (afsnit 1.2) og sektorer, der omvendt påvirkes af trafik kens størrelse og sammensætning (afsnit 1.3). Afsnit 1.4 gennemgår vor viden or transportbehov, dvs. efterspørgslen på transport. Til slut beskrives under overskriften "Synspunkter på et trafikalt serviceniveau", hvordan et givet udbud a transportmuligheder kan måles og vurderes (afsnit 1.5).

1.1 Trafik og transport - begreber og definitioner

Trafik

Det er i Danmark skik at bruge ordene "trafik" og "transport" i flæng. Og vel a mærke ikke kun blandt lægfolk, men også i tekniker- og embedsmandskredse. Fo blev det tidligere "Ministeriet for Offentlige Arbejder" for nogle år siden omdøbt til "Trafikministeriet" - hvad det har heddet i folkemunde gennem generationer Men dette ministerium beskæftiger sig ikke desto mindre med transport, idet de bl.a. har stået for den såkaldte "Regeringens transporthandlingsplan for miljø og udvikling".[1]

Der findes faktisk ingen officiel dansk definition på ordet "trafik". Vejdirektoratets Vejregeludvalg har i den såkaldte Vejnomenklatur ingen reference til selve ordet - men nok til "trafikant", der forklares som "enhver der færdes eller i øvrigt opholder sig på vej eller i køretøj på vej".[2] Det antyder, at vi har at gøre med den fysiske tilstedeværelse af ting, der kan bevæge sig (personer og køretøjer) i et rum, der gør disse bevægelser mulige (i dette tilfælde vejen).

Andre lande har tradition for mere præcise afgrænsninger af emnet. En officiel engelsk ordbog angiver fx:[3]

> **Traffic** 1. Vehicles moving along a road or street. 2. Movement of ships or aircraft along a route. 3. Number of people or amount of goods moved from one place to another by road, rail, sea or air.

På den baggrund vil vi i denne lærebog definere:

> **Trafik** Mængden af personer, gods eller køretøjer (i bred forstand) på en rute, og disses fysiske bevægelser.

Ruten kan være så forskellige rum som: En bygade med cykelsti og fortove, en S-togslinie, en sejlrende eller en luftkorridor. Et køretøj kan tilsvarende udgøres af: Et par ben, en cykel, bil eller bus, et tog, en færge eller et passagerfly.

Der er en vigtig pointe i denne definition. Den betyder nemlig, at trafikafvikling er kunsten at sørge for, at en *given* mængde personer/gods/køretøjer kan foretage deres ønskede bevægelser uden at genere hinanden eller omgivelserne mere end højst nødvendigt. Vi prøver altså ikke her at påvirke den samlede trafiks størrelse eller sammensætning, men kun dens fordeling i tid og på det forhåndenværende nets enkelte strækninger.

Transport

Hvad er så transport? Hvis vi igen tyr til den engelske ordbog får vi følgende svar:[3]

> **Transport/Transportation** Taking something/somebody from one place to another in a vehicle.

Et fællesnordisk forskningsprojekt om kollektiv trafik anvender næsten ordret samme definition, som vi også vil gøre til vores:[4]

> **Transport** Flytning af personer eller gods fra et punkt til et andet.

Her har vi altså at gøre med en mere overordnet opgave - vi kunne sige en samfundsmæssig aktivitet. Nemlig den at sørge for, at personer eller gods kan flyttes mellem forskellige punkter i rummet, hvor de har brug for at være på forskellige tidspunkter. I den sammenhæng kan *trafik* siges at være *gentagne transporter*, altså den rent fysiske sammenblanding af mange små transportopgaver af typen "Flyt hr. X fra A til B".[4] Vi ser, at en transportopgave ikke nødvendigvis forudsætter et bestemt køretøj eller transportmiddel, men at opgaveløsningen tværtimod indeholder transportmiddelvalget som et centralt element.

Vejtrafik/vejtransport

I denne lærebog vil vi hovedsagelig beskæftige os med det, der i daglig tal kaldes *vejtrafik*. Dvs. de fysiske *bevægelser, der udspilles på alment tilgængelige vej- o stiarealer*.

At vejnettet er *offentligt ejet*, behøver ikke betyde, at det er gratis at benytte - sådan som vi herhjemme er vant til det. Vi skal i-senere kapitler bl.a. se på mulighede for at vurdere vejanlæg og for at styre og omfordele trafik.

At trafikarealerne er *alment tilgængelige* skal heller ikke forstås sådan, at hvem somhelst kan bevæge sig på dem i et hvilketsomhelst køretøj og på et hvilketsom helst tidspunkt. Bogen vil også omtale en række styrings- og planlægningsmetc der, der bevidst opererer med begrænsninger i den frie bevægelighed, såsom:

- hastighedsdæmpning/fartgrænser
- vejlukninger/ensretninger
- signalregulering/særlige vigepligtsregler
- tidsbegrænsede kørsels-/parkeringsrestriktioner
- krav til køretøjers indretning og udstyr
- krav til førernes/trafikanternes alder, uddannelse og helbredstilstand

De relevante *transportmidler* omfatter altså:

- Personbiler (inkl. taxi)
- Vare- og lastbiler
- Busser
- Motorcykler
- Cykler (og knallerter)
- Gang (fodgængere)

De *net og strækninger*, vi vil beskæftige os med, begrænser sig til:

- Veje, gader og parkeringsarealer til biler, lastvogne, busser og motorcykler (e også til cykling og gang)
- Stier og fortove til cykler (og knallerter) samt fodgængere

Enkelte steder i teksten omtales transportsektoren som helhed, eller andre trar portformer end de vejbårne. Det kan skyldes, at det aktuelle emne er meg afhængigt netop af balancen mellem transportformerne. Men ofte er det blot for de foreliggende, danske data ikke gør det muligt at udskille vejtransporte andel af en samlet statistik for transportsektoren.

1.2 Trafikstyrende samfundsforhold

I dette afsnit vil vi se på fire elementer i samfundsudviklingen med betydning for trafikkens størrelse og geografiske fordeling:

- Produktionen
- Fritidssamfundet
- Urbaniseringen (bymønster/byudvikling)
- Informationsteknologien

Produktionen

Vi vil her give ordet produktion en ekstremt bred definition, nemlig "al samfundsmæssig aktivitet uden for hjemmet". Ved samfundsmæssig forstås, at aktiviteten har andre formål end at tilfredsstille den enkeltes private behov her og nu. Denne afgrænsning gør det muligt at sammenfatte tre klart adskilte transportopgaver med vidt forskellige krav til trafikafviklingen. De introduceres enkeltvis nedenfor.

I fortidens landbrugs- og landsbysamfund med høj grad af selvforsyning var det produktionsbaserede transportbehov beskedent. Meget få personer (handelsfolk, visse embedsmænd) var i løbet af fx en uge nødt til at fjerne sig mere end nogle få hundrede meter fra hjemmet. Industrialiseringen har medført en eksplosiv stigning i dette behov.

For det første medfører produktionen et behov for *godstransport*, dvs. flytning af materialer, halvfabrikata og færdigvarer. Moderne industriprodukter er ofte sammensat af mange materialer og komponenter, der kommer fra forskellige kilder. Inden for specielt dansk industri vil en stor del af disse kilder oven i købet være udenlandske og altså have lang vej til produktionsstedet. Tilsvarende vil vore færdigvarer ofte skulle transporteres langt, før de bliver solgt videre. Som eksempel på kompleksiteten kan nævnes, at de tyske VW-fabrikker til blot én bilmodel anvender over 150 underleverandører. Komponenterne herfra samles endda først til større bildele på firmaets enkelte fabrikker, før køretøjet endelig færdiggøres ét sted.

Om udviklingen henimod mere og mere trafikskabende produktionsformer vil fortsætte, beror på mange forhold. Et af de vigtigste er *forholdet mellem lager- og transportudgifter*. Hvis det er billigt for en virksomhed at købe råvarer eller komponenter hjem i store mængder med lange mellemrum og opmagasinere dem, indtil de skal bruges i produktionen, vil den naturligvis gøre det. Men i mange produktioner vil det bedre kunne betale sig at "købe småt og tit", hvilket alt andet lige giver flere eksterne transportopgaver og dermed øget trafik. Sidstnævnte princip kaldes "Just In Time" (lige til tiden), og er i disse år mål for mange transportstudier.

Den *indenlandske godstransport foregår i alt væsentligt på vej* (se fx kapitel 9, tabel 9.1). Firmaernes udgifter til ekstern transport hænger derfor nøje sammen med dels vejnettets opbygning og den tungere trafiks vilkår for at bruge det, dels økonomien i at købe og drive en flåde af godskøretøjer.

I Danmark er last- og varevogne ret højt belastet af afgifter, internationalt set. Fx kostede det 1989 mellem ca. 3.000 og 40.000 kr i vægt- og udligningsafgift at have en diesellastbil i vægtklassen 4-24 ton, hvortil kommer afgiften på dieselbenzin.[5] Dette skal dog ses i lyset af, at samfundet indtil nu har stillet vejnettet til rådighed for disse transporter uden egentlige brugerafgifter. Da et køretøjs vejslid groft sagt stiger med akseltrykket i fjerde potens, er det klart, at tunge køretøjer er langt mere belastende for vejvedligeholdelsesbudgetterne end det, der svarer til deres andel af den samlede biltrafik (denne andel er typisk 5-15%). En enkelt lastvognsaksel med 10 tons tryk giver fx lige så meget vejslid som 10.000 store personbiler, mens lastvognen formentlig kun giver staten 10 gange større afgifter. I en tid, hvor det kniber med at finansiere vedligeholdelse og udbygning af vejnettet - og hvor benzin- og dieseldrevet trafik af miljømæssige grunde kritiseres stadig kraftigere - kan det meget vel tænkes, at det offentlige via brugerbetaling og øgede punktafgifter vil søge at dæmpe lastbiltrafikken. Dette kan igen betyde, at virksomhedernes indkøbs- og lagerstrategi må ændres.

En anden mulighed er, at godstransport med jernbane og skib gøres mere attraktiv via nye transportanlæg eller økonomiske incitamenter. EU's nuværende transportpolitik indeholder bl.a., at der skal flyttes store mængder gods fra vej til bane i løbet af få år.

Ên anden transportopgave, produktionen medfører, er de såkaldte *Bolig-Arbejdssteds-rejser* eller *B-A-ture*. De er karakteristiske ved, at den rejsende foretager (normalt) den samme tur fra hjemmet til "arbejdspladsen" og tilbage hver dag gennem det meste af ugen (oftest mandag-fredag). Citationstegnene om "arbejdsplads" skyldes, at vi i trafikal sammenhæng skal huske at medtage fx børns ture til og fra skole og daginstitutioner. B-A-turenes regelmæssighed vil typisk også gælde det omtrentlige tidspunkt for ud- og hjemturen. Dette faste mønster gør, at man i daglig tale kalder denne transporttype *pendling* (jf. pendul)

Endelig vil mange slags beskæftigelse give anledning til en yderligere type af personrejser, *erhvervsturene*. Det kan være enkeltstående rejser mellem hjemmet og et andet punkt end den sædvanlige arbejdsplads (til møder og kurser mv.). Men mange af dem er småture, der foretages i løbet af arbejdsdagen og ofte mellem mange forskellige punkter - fx en hjemmehjælpers skiftende ruter. Erhvervsrejser har altså et meget mere diffust mønster end bolig-arbejdsstedsrejser, både tidsmæssigt og rumligt.

Fritidssamfundet

Industrisamfundet udviklede sig efterhånden til et velfærdssamfund, som bl.a. er karakteristisk ved et stort antal tilbud om service af enhver art over for den enkelte borger. Og i takt med stigende reallønninger og nedsat arbejdstid har vi fået både tid og råd til at udnytte dem. Meget af denne service udbydes eller foregår i specielle bygninger og kræver altså, at vi bevæger os væk fra hjemmet. Men for mange er dette i sig selv en kvalitet, der kan betale "genen" ved den tilhørende rejse.

Fritidsservice i bred forstand er grundlag for to af de rejsetyper, vi normalt opererer med i planlægningen. For det første *indkøbsturene*, der igen bør inddeles i dagligvare-indkøb og udvalgsvare-indkøb.

De første gælder produkter, som de fleste har et stort forbrug af, og som måske har begrænset holdbarhed (primært friske fødevarer, men også fx aviser). *Dagligvaremarkedet* er så stort, at der indtil for et par årtier siden var grundlag for en række specialiserede butikker af denne type i ethvert boligområde eller landsby. I takt med den øgede mobilitet, kunderne fik via privatbilen, og de stordriftsfordele, der opstod i butiksbranchen, blev det mere almindeligt at erstatte nærbutikkerne med få, store supermarkeder længere fra hjemmet. Transportudgifterne var beskedne, og med køleskab og fryser kunne kunden med sjældnere, men store indkøb opnå at spare både på husholdningsbudgettet og det daglige tidsforbrug til indkøb. Dagligvarebegrebet er ved at opløse sig og dækker nu kun ganske enkelte varegrupper. Intet tyder på, at denne udvikling er ved at stoppe.

Udvalgsvarer har vi altid skullet køre langt efter. Den vigtigste udvikling i de senere år har her været, at butikkerne fra at ligge langs specielle indkøbsgader i højere grad samles i enkelte punkter - stormagasiner og indkøbscentre. Da vores forbrug af disse varer (fx tøj) er steget voldsomt, er der mange steder opstået en meget koncentreret trafik i de få perioder af den ugentlige åbningstid, hvor folk har mulighed for at bruge længere tid på indkøb. Det gælder først og fremmest lørdag formiddag, som ved disse centre giver et behov for vej- og parkeringsarealer, der er mange gange større end øvrige ugedage. De sidste år er lukketidsreglerne blevet kraftigt liberaliseret. Hidtil har det dog kun givet beskedne forskydninger i folks foretrukne indkøbstidspunkter. Men der er næppe tvivl om, at en fortsat vækst i det private forbrug vil kræve en spredning af indkøbene, enten i tid eller geografisk.

Den øgede fritid har også givet en kraftig vækst i antallet af *rekreative rejser*, dvs. ture til punkter, hvor der fx tilbydes sportsfaciliteter, underholdning eller aftenundervisning. Kategorien omfatter også de *ture, der "er deres eget mål"*, dvs. hvor oplevelsen eller motionen under selve turen er det eneste formål. Disse sidstnævnte ture har helt andre retninger end arbejdssteds- og indkøbsturene. Her er det naturens og ikke bycentrenes kvaliteter, der trækker. De rekreative ture er, set

under et, en meget blandet gruppe, både med hensyn til geografisk mål o rejsetidspunkt. Fælles for dem er faktisk kun, at de er fuldstændig frivillige o derfor helt individuelle for hver af os.

Urbaniseringen

Mange af betragtningerne om produktion og fritid ovenfor kan gives et mer håndgribeligt udtryk ved at studere *samfundets rent fysiske udvikling*.

For få hundrede år siden boede kun et par procent af Danmarks befolkning egentlige byer, svarende til at de allerfleste danskere var beskæftiget i landbruge Der fandtes mange *landsbysamfund* med et beskedent serviceudbud, i første rækk et par håndværkere med tilknytning til landbrugernes daglige eller akutte beho (landsbysmeden, der også trak tænder ud osv.). Mange levede et helt liv inden fo fødesognets grænser. Og for de fleste var rejser mellem landsdelene så dyre, tids krævende og anstrengende, at de kun blev foretaget i nødstilfælde. Grænsen meller arbejde og fritid var flydende. Og skulle folk rejse langt, måtte de kombinere de t rejseformål - derfor var de årlige markeder rundt om i landet normalt også det enest tidspunkt, hvor folk var i kontakt med det professionelle kultur- og forlystelsesliv.

En voksende udenrigshandel og den senere industrialisering satte skub i udvik lingen af enkelte bysamfund - som oftest havnebyer, der havde relative fordele a det dårligt udbyggede vejnet. Beskyttet af bl.a. kongelige privilegier på handel o specialiserede håndværk voksede et antal *købstæder* frem. Man kan stadig på e kort over de større danske byer ane et mønster, svarende til at de ligger e dagsrejse fra hinanden (ca. 30 km med hestevogn eller til fods). Bykoncentratio nerne tillod efterhånden, at et specialiseret butiksudbud og permanente fritidsfa ciliteter kunne vokse frem (parker, teatre, danserestauranter osv.). De intern afstande var overkommelige, også til fods, og vi begynder at kunne skelne tur med bestemte formål fra hinanden.

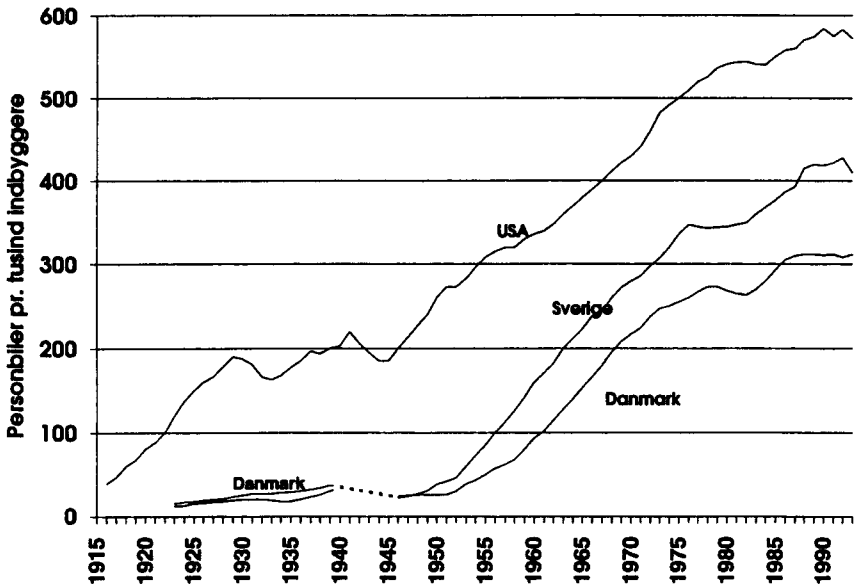
Byvæksten fortsatte i Danmark lige op til ca. 1970. Den *voksende industri* placered sig - bl.a. for at minimere transportomkostningerne ved råvarekøb og salg af d færdige produkter - hovedsageligt i tilslutning til de største byer og opsuged herfra en stor del af landbefolkningen. De dårlige transportmuligheder betød, a folk måtte flytte ind til arbejdspladsen, altså byen. Den voksede sig i mang tilfælde så stor, at det blev uoverkommeligt at gå til og fra arbejde. *Kollektiv transportmidler* som sporvogne og senere busser var i mange årtier en forudsæt ning for, at byens liv kunne opretholdes.

Privatbilens gennemslag i løbet af tresserne satte sig dybe spor i byudviklingen Det blev nu muligt at bo langt fra arbejdspladsen uden at bruge væsentligt mer tid på den daglige transport, især da veje samtidig blev nyanlagt eller udvidet et omfang, som hverken er set før eller siden. Samtidig steg kravene til boligstan

dard voldsomt. Det gav anledning til et kraftigt nybyggeri, ikke bare op til de daværende byer (forstæderne), men overalt i landet, hvor der var billige eller smukt beliggende grunde til rådighed. Bolig-arbejdsstedsrejserne startede i mange forskellige punkter, men flød sammen i tættere strømme nær de større byer. Og presset på indfaldsvejene voksede. Udviklingen i bilejerskab er illustreret på figur 1.1.

De sidste 20 år har andelen af befolkningen i større byer (over 10.000 indbyggere) været nogenlunde konstant ca. 55%. *Den generelle vækst* i samfundsøkonomien og det private forbrug *er dæmpet*, og boligbyggeriet er gået næsten i stå. I denne periode er mange arbejdspladser flyttet væk fra bycentrene, ikke mindst pga. de voksende problemer med at komme til centrene i bil - og med at skaffe parkeringsplads til den. Den kollektive trafik havde en kort opblomstringsperiode i begyndelsen af firserne, da benzinpriserne i forlængelse af energikriserne steg voldsomt. I de år faldt trafikken mærkbart på de fleste veje, og det samme gjaldt bestanden af personbiler. Siden ca. 1985 er denne udvikling vendt til en beskeden, men konstant vækst, så vi i dag har større problemer end nogensinde med afviklingen af myldretidstrafikken i de større byer.

Udviklingen i antal personbiler pr. tusind indbyggere i U.S.A, Sverige, Danmark



Figur 1.1 Udviklingen i bilejerskab for udvalgte lande 1920-1993.

Informationsteknologien

I løbet af de sidste 20 år er *teknikken til behandling og formidling af data* blevet voldsomt udviklet. Det gælder i første omgang edb-maskinernes regnekraft og mulighederne for at reducere deres fysiske størrelse (PC-en, mappedatamaten). Tilsvarende har vi idag en bred vifte af lagermedier, der gør det muligt at opbevare enorme mængder af data på meget lidt plads - og vel at mærke, så der kan søges i dem langt hurtigere end i et gammeldags papirarkiv (relationsdatabaser, optiske diske, "boblelagre" mv.). Samtidig er der udviklet en lang række standardprogrammer, der tillader folk uden egentlig edb-indsigt at regne, tegne og skrive direkte på en datamat.

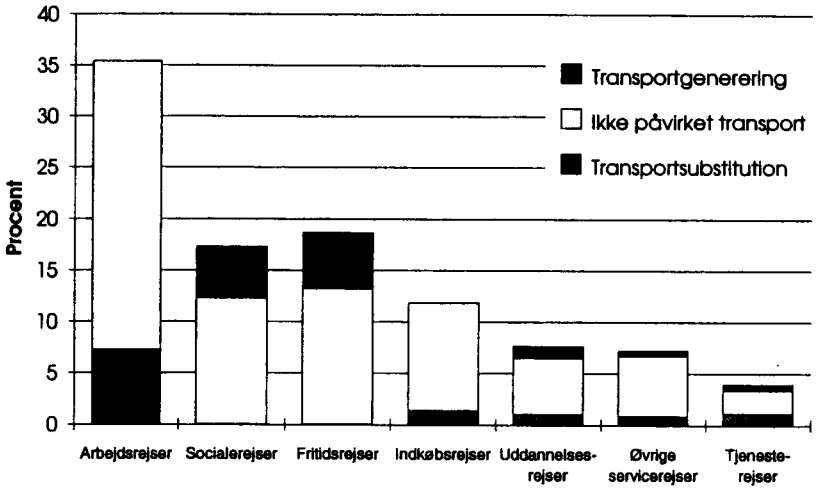
Sidst men ikke mindst er der foregået en sideløbende, eksplosiv udvikling i mulighederne for næsten øjeblikkeligt at *overføre data ad elektronisk vej*, både lokalt og over store afstande. Vigtige milepæle er her lyslederen, det lokale datanet, optiske og magnetiske læsere, infrarød (ledningsfri) dataoverførsel og kommunikationssatellitterne.

Alt dette har medført spekulationer om, hvorvidt informationsteknologien kan eller vil erstatte egentlig fysisk transport af varer og personer. Altså om *datatrafik* kan substituere "gammeldags trafik". Her har nøgleordene fx været billedtelefoner, telekonferencer, vareudbringning til private via edb-bestilling, telefax i stedet for post, og hjemmearbejde på PC med telefontilslutning.

Alle hidtidige undersøgelser tyder på, at den samlede effekt af informationsteknologien de første mange år vil være neutral: Den supplerer, snarere end konkurrerer med person- og godstransport.[6] Figur 1.2 giver et bud på, hvordan "informationssamfundet" vil påvirke antallet af rejser med forskellige formål.[7] Det ses, at de rejser, der overflødiggøres, udbalanceres af helt nye rejser - men sådan, at fordelingen på formål forskydes fra bolig-arbejdssteds- og indkøbsrejser til fx besøgs- og andre fritidsture. Man regner med, at øget datatrafik generelt vil stimulere kontakten mellem folk, og mellem firmaer og institutioner, så der skabes (genereres) nye behov for traditionel transport.

1.3 Trafikfølsomme sektorer

I dette afsnit vil vi se nærmere på de *samfundssektorer, der påvirkes af trafikkens størrelse og sammensætning*. Reelt er det naturligvis stort set alle sektorer, vi taler om - al den stund fælles aktiviteter netop er karakteristiske ved, at personer og gods mødes for at skabe eller vedligeholde samfundets værdier. Vi vil dog nøjes med at behandle de væsentligste effekter, trafikken umiddelbart giver anledning til. Og måske ikke så meget knyttet til en egentlig sektoropdeling af samfundet,



Figur 1.2 Mulige substitutions- og generationseffekter af øget telekommunikation på personrejser med forskellige formål.

som til nogle grundlæggende aktuelle emner - hovedspørgsmål i de fleste politiske debatter:

- Beskæftigelse
- Betalingsbalance
- Miljø
- Sundhedsvæsen
- Privat forbrug

Beskæftigelse

Arbejdsløshed har de senere år været et voksende problem, både for dem, den rammer, og for det offentlige, der derefter må overtage rollen som "lønudbetaler". Desværre er det lige så umuligt som vigtigt præcist at opgøre trafikkens samlede, beskæftigelsesskabende funktion. Mange mennesker bruger fx en stor, men ukendt, del af deres arbejdstid på at bevæge sig omkring på offentlig vej - uden at de derfor optræder som chauffører i nogen statistik.

Vi må i første omgang nøjes med de nettotal, der fortæller, hvor mange *ansatte*, der findes *i de klart transportorienterede brancher*. De bedste data findes i Danmarks Statistiks arbejdsstyrkeundersøgelser, baseret på arbejdsgiverregistret. Den mest detaljerede anvendelse findes vistnok i et specialudtræk pr. november 1981, der (med enkelte supplerende skøn) giver den i tabel 1.1 viste fordeling på erhvervsgrupper, på vejtransport kontra anden transport og på person- kontra godstransport.[8]

Branche	Persontransport		Godstransport	Total
	Indland	Udland		
Fremstillingsvirksomhed	14.100	1.300	28.800	44.200
Vejtransport	9.800	200	3.300	13.300
Anden transport	4.300	1.100	25.500	30.900
Reparationsvirksomhed	11.300	300	4.500	16.100
Vejtransport	11.300	200	4.500	16.000
Anden transport	(20)	120	(30)	170
Engroshandel	11.700	300	1.900	13.900
Vejtransport	11.700	300	1.900	13.900
Anden transport	-	-	-	-
Detailhandel	29.100	500	4.600	34.200
Vejtransport	29.100	500	4.600	34.200
Anden transport	-	-	-	-
Drift af transportmidler	42.200	15.600	61.100	118.900
Vejtransport	20.800	12.000	37.400	70.200
Anden transport	21.400	3.600	23.700	48.700
Transport ialt	108.400	18.000	100.900	227.300
Vejtransport	82.700	13.200	51.700	137.200
Anden transport	25.700	4.800	49.200	79.700
Andel af total arbejdsstyrke	4,3%	0,7%	4,0%	9,0%
Vejtransport	3,3%	0,5%	2,1%	5,8%
Anden transport	1,0%	0,2%	1,9%	3,2%

Tabel 1.1 Beskæftigede i transportorienterede brancher, nov. 1981.

Hovedresultatet var, at i 1981 var ca. 9% af den samlede arbejdsstyrke beskæfti i transportorienterede brancher. Heraf tegnede indenlandsk persontransport for de 4,3%, godstransport for 4% og udenlandsk persontransport for de sid 0,7%. (Det var ikke muligt at udskille den udenlandske godstransport). Bema specielt, at trods manglen på egentlige bilfabrikker er persontransport i Danm et lige så vigtigt arbejdsmarked som godstransport.

Vejtransporten kan groft beregnes til en samlet 1981-beskæftigelse på ca. 150.(personer, svarende til *knap 6% af arbejdsstyrken*. Det skal noteres, at opgørel ikke indeholder offentligt ansatte uden for de egentlige trafikselskaber, såsa færdselspoliti, kommunale planlæggere og teknikere, sygehusansatte, der handler trafikofre og lignende.

Udviklingen efter 1981 kan kun belyses mere punktvis.[9,10,11] De *vigtigste tenden* har været:

- De kommunale vejvæsner har nedskåret personalet støt (nu godt 9.000 ansa mod 11.500 i 1981)
- De amtslige (bus)trafikselskabers personale er fra et maksimum på 7.100 i 1! nu reduceret til ca. 6.000

- Bil- og motorcykelindustriens beskæftigelse er steget de sidste 10 år fra 4.500 til 5.500. (De nu 125 virksomheder laver karrosserier til busser og lastvogne, komponenter til udenlandske bilmærker og lignende)
- Tjenesteydelsen "Transportvirksomhed" har fra 1979 til 1989 øget sin samlede beskæftigelse fra 122.000 til 133.000
- DSB og SAS har reduceret personalet jævnt, men ikke særligt voldsomt

Samlet kan det siges, at antallet af offentligt ansatte inden for transportbranchen har været faldende i en årrække. Udviklingen vil formentlig fortsætte som følge af privatiseringer og generelle besparelser i stat (DSB, Vejdirektoratet, SAS, havne, lufthavne mv.), amter (trafikselskaber og vejvæsner) og kommuner (vejvæsener, bybusselskaber og lignende). Den private beskæftigelse synes derimod at være svagt stigende. Det skyldes først og fremmest vognmandserhvervet (godstransport, taxi- og buskørsel) og egentlige fremstillingsvirksomheder. Derimod er beskæftigelsen faldende inden for skibsfarten og den tilknyttede spedition.

Vognmandserhvervet er præget af mange, små virksomheder: I 1985 var der knapt 11.000 selskaber, hvoraf ⅓ kun havde 1-2 ansatte.[12]

Betalingsbalance

Den enkelte samfundssektors import og eksport i forhold til udlandet er et væsentligt nationalpolitisk spørgsmål. De internationale, økonomiske relationer opdeles normalt i tre hovedkategorier:

- Varehandel
- Udveksling af tjenesteydelser
- Kapitalbevægelser

I forbindelse med varehandel interesserer man sig for den såkaldte handelsbalance, hvorimod betalingsbalancen omfatter alle tre hovedkategorier, hvor de to første, varer og tjenester, sammenlagt har en særlig interesse som udtryk for "forretningen Danmarks driftsregnskab".

Som for beskæftigelsen er det svært at opgøre transportens - endsige vejtransportens - præcise andel af det samlede billede. I tabel 1.2 er vist en delvis skønnet opstilling af de mest relevante varegrupper i *handelsbalancen*, dels for det danske samfund totalt set, dels for to anvendelsesområder: Transport (ialt) og Vejtransport.

Her anvendes en inddeling i hoved-varegrupper, i overensstemmelse med international standard (SITC):

- Energikilder og asfaltbitumen (råolie og derivater, gas, el)
- Transportmidler (køretøjer, fly, skibe, delkomponenter til dem)

Anvendelse			Transportrelevant varegruppe			Ialt	
			Energi-kilder	Transport-midler	Tilbehør	Abs.tal	% af va hande
1981/82	Vejtransport(*)	Im	6,14	3,44	1,22	10,80	(7,9
		Ex	1,11	1,03	0,79	2,93	(2,3
		NI	**5,03**	**2,41**	**0,43**	**7,87**	**(66,1**
	Transport ialt (*)	Im	7,71	5,99	1,81	15,73	(11,5
		Ex	1,21	4,34	0,86	6,41	(5,1
		NI	**6,50**	**1,65**	**0,95**	**9,32**	**(78,2**
	Alle anvendelser	Im	23,19	5,99	1,81	31,75	(23,2
		Ex	2,73	4,34	0,32	8,15	(6,5
		NI	**20,46**	**1,65**	**1,49**	**23,60**	**(198,3**
988/89	Vejtransport (*)	Im	2,54	7,90	2,76	12,30	(6,4
		Ex	2,00	1,86	1,63	5,49	(3,0
		NI	**0,54**	**6,04**	**0,23**	**6,81**	**(74,6**
	Transport ialt (*)	Im	3,19	13,76	2,76	19,71	(10,2
		Ex	2,18	7,82	1,77	11,77	(6,4
		NI	**1,01**	**5,94**	**0,99**	**7,94**	**(87,0**
	Alle anvendelser	Im	9,59	13,76	2,76	26,12	(13,5
		Ex	4,91	7,82	2,22	14,95	(8,1
		NI	**4,68**	**5,94**	**0,55**	**11,16**	**(122,3**

(*) = Delvis skønnede tal, Im = Importværdi, Ex = Eksportværdi, NI = Nettoimport.

Tabel 1.2 Varehandelsbalancen 1981-82 og 1988-89 (gns. pr. år) for udva anvendelsesområder og transportrelevante varegrupper. (mia. kr i løb de priser).

- Tilbehør (dæk, motorer mv.)

Vi viser dels et gennemsnit af de to naboår 1981 og 1982 (i 82-kr.), dels tal 1988/89 (i 88-kr.).[8,11]

I begyndelsen af firserne var *transport* ansvarlig for over 10% af vareimport men kun 5% af eksporten. Derved blev den en *meget valutaslugende sektor* - c tegnede sig faktisk for ¾ af det samlede netto-underskud på varehandlen. V transporten var klart den største synder: Den stod for ⅔ af handelsunderskudc På det tidspunkt var det største problem transportmidlernes forbrug af impo rede olieprodukter (5 mia. kr i årligt underskud alene for vejtransport). Han med transportmidler og motorer balancerede nogenlunde pga. vores ret eksp torienterede skibsproduktion, mens vejtransportmidlerne isoleret set gav et h delsunderskud på ca. 2,5 mia. kr pr. år. Det svarer ret præcist til importen personbiler, som årligt udgjorde omkring 80.000 enheder på det tidspunkt.

Siden da er der sket *drastiske forandringer i varehandlen*. Allerede i slutningen firserne var nettoimporten af energikilder faldet til under ¼ af 81/82-niveau selv uden indregning af inflationen. Og på transportsiden var der næsten bal ce. Denne udvikling er fortsat i takt med udbygningen af de danske oliefelt

Nordsøen, og om få år vil *transportens energiforbrug ikke længere være noget valutamæssigt problem.*

Det er til gengæld vores *indkøb af transportmidler* og motorer: Det årlige nettounderskud er her steget 2½ gang i løbet af firserne, mens inflationen kun har været 3-5% pr. år. Og det er ikke, fordi vi pludselig er begyndt at købe mange flere transportmidler. Nyregistreringen af biler, busser og lastvogne var på samme niveau i begge ender af firserne - men importprisen pr. nyindkøbt personbil er fx øget fra ca. 25.000 kr til 45.000 kr i perioden i løbende priser.[9] De nyregistrerede last- og varebiler er også blevet større og dyrere - den gennemsnitlige pris uden afgifter steg fra knapt 50.000 til over 90.000 kr fra 82 til 89. Den danske skibsindustri har øget eksporten, men kun nogenlunde i takt med en stigende import af udenlandske fartøjer, så dette forrykker ikke det generelle billede: *Transportsektorens valutaforbrug (og herunder specielt vejtransportens)* er kun faldet beskedent i løbet af firserne trods vores hurtigt voksende energiproduktion. Og da andre sektorer (landbrug og industri) har forbedret handelsbalancen i samme periode, er transport, og herunder vejtransport, fortsat en tung post på betalingsbalancen.

Betalingsbalancen mht. *tjenesteydelser* er formentlig positiv for transportsektoren som helhed. Skibsfarten er klart valutaskabende, og posten "rejser" balancerer nogenlunde.[8] Vi eksporterer en del know-how via entreprenører og rådgivende firmaer, men importerer sandsynligvis viden i mindst samme omfang. Men man skal her huske, at videnimport i mange brancher er en vigtig forudsætning for nyudvikling - og dermed for at opretholde eksportmulighederne på lang sigt.

Der er ingen officielle tal for, hvilken del af den samlede *kapitaludveksling*, der kan henføres til transportsektoren. Men den er uden tvivl et væsentligt element, da mange private og offentlige selskaber i branchen finansierer både anlægsarbejder og indkøb af transportmidler via udenlandske lån. Til gengæld må det understreges, at netop når pengene går til sådanne investeringer (og ikke til at dække driftsunderskud), er der håb om, at de kommer hjem igen i samfundsøkonomisk betydning - og måske endda kan tjene fremmed valuta ind via billetter og brugerafgifter.

Miljø

Det, vi i daglig tale kalder "miljøet", må fra et trafiksynspunkt beskrives gennem en lang række enkelteffekter ved drift af køretøjer og anlæg af veje. I kapitel 12 gennemgås effekterne og deres skadevirkninger enkeltvis, og det fremgår, at de er uhyre svære at sammenligne. Her vil vi kun se på, hvordan det samlede kompleks af miljøfaktorer kan indgå i en vurdering af trafikkens konsekvenser for samfundet.

Lad os først slå fast, at begrebet *trafikmiljø* ikke er dækkende for trafikkens miljøkonsekvenser. Det bruges normalt om den totale oplevelse, trafikanterne selv har af den situation at færdes på offentlig vej. Begrebet anvendes ofte om så forskellige forhold som:

- fysisk komfort (støj, lugt, "hop", kulde, fugt, blæst mv.)
- tryghed/utryghed mht. mulige ulykker
- visuelle oplevelser/gener under turen
- stress i travle situationer (usikkerhed mht. rejsens varighed mv.)

Disse faktorer er vigtige for *den enkelte trafikant* - de er bl.a. med til at bestemme hendes/hans valg af transportmiddel og rejserute. Dermed bliver de også interessante for trafikteknikere og planlæggere, som vi skal se i afsnit 1.5. Men der er tale om rent lokale, individuelle og kortsigtede problemer, mens miljødebatter generelt har langt større rækkevidde i både tid og rum.

En overordnet beskrivelse af vejtrafikkens miljømæssige betydning forudsætter faktisk en *politisk prioritering* mellem:

- nutid og fremtid
- lokale, nationale og globale hensyn
- den enkeltes velfærd, samfundets udvikling og naturens ressourcer

For at illustrere dette vil vi blot nævne et par miljøspørgsmål, der ligger lang uden for det råderum, lokalpolitikere og teknikere normalt har:[13,14]

- Kuldioxid, andre luftarter og partikler i udstødningen fra benzin- og diesel drevne køretøjer bidrager til *drivhuseffekten*, dvs. atmosfærens refleksion a



I byer bidrager trafikken med 70-80% af luftforureningen.

varmestråling fra jorden. Herved stiger gennemsnitstemperaturen med uoverskuelige klimaforandringer til følge. Effekten er global - den rammer ikke kun områder med megen motoriseret trafik

- Udstødningen bidrager også til dannelse af salpetersyre i atmosfæren. Den bindes til vandpartiklerne og den resulterende *sure regn* skader ikke bare træer, men mennesker, dyr og bygninger. Denne effekt er et regionalt (fx fælleseuropæisk problem) og kan altså ikke løses ved isolerede indgreb over for trafikken i et land
- Brugen af olieprodukter som køretøjsbrændstof og smøremidler bidrager til den globale *energikrise*, forstået som et voksende forbrug af en energikilde med begrænset omfang

Styringsmidlerne for den slags problemer er *internationalt samarbejde* om fx:

- Begrænsninger i brugen af transportmidler med forbrændingsmotor
- Skærpede krav til motorernes energiudnyttelse og udslip

Det er svært at knytte en tråd mellem overordnede strategier som disse, og den hverdag af småbeslutninger, som trafikteknikeren og den lokale politiker står i. Men der er ikke tvivl om, at den internationale opbakning af kravet om øget hensyn til miljøet - fx via Brundtland-udvalgets arbejde (se kapitel 9) - om nogle år vil smitte af også på dette niveau. Måske vil design af samordnede lyssignaler i en by engang skulle medtage energiforbrug og luftforurening blandt de kriterier, der skal optimeres?

Sundhedsvæsen

Det er velkendt, at *trafikken har en række skadelige bivirkninger for befolkningens liv og helbred*. I den forbindelse er det vigtigt at skelne mellem to typer af negative konsekvenser:

- Akutte skader, forårsaget af trafikulykker med personskade
- Ophobede skader, dvs. effekter af en konstant udsættelse for trafikkens miljøbelastning gennem længere tid

De akutte gener - *personskaderne* - er dem, der normalt fokuseres på i medierne. De har ofte en meget voldsom indvirkning på de impliceredes og deres pårørendes liv, og en meget stor del af dem kræver desuden skadestuebehandling eller hospitalsindlæggelse. Der er ikke tvivl om, at trafikulykker beslaglægger en væsentlig del af de danske sygehuses ressourcer, både mht. sengepladser og personale. Principielt burde dette forbrug kunne opgøres via Det Centrale Patientregister, der skal indeholde en markering af indlæggelsesårsagen - fx trafikuheld - hver gang en patient udskrives fra et hospital. Desværre er der p.t. væsentlige

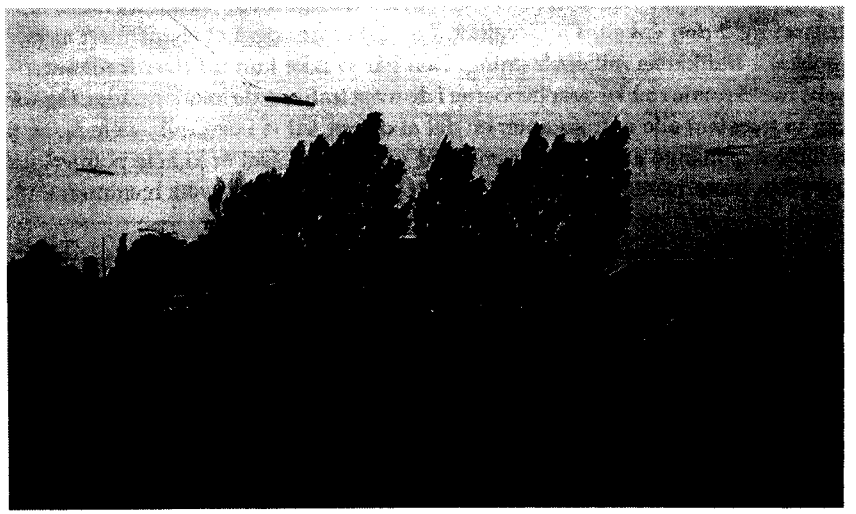
problemer med indberetninger til registret og fortolkning af dets oplysninger. Som en beskeden indikator for ressourceforbruget kan det nævnes, at uheldsanalysegruppen på Odense Sygehus har beregnet, at alene papirarbejdet omkring indskrivning af trafikofre på hospitalets skadestue kræver én fuldtids-sekretær.

Lærebogens kapitel 6 gennemgår vor nuværende viden om trafikulykker og angiver nogle metoder til uheldsbekæmpelse. Kapitel 11 omhandler nedsættelse af trafikrisiko som et led i trafikplanarbejdet fx i forbindelse med fastlæggelse af en vejs geometriske standard. Vi vil her blot nævne, at man i samfundsøkonomiske beregninger af trafikinvesteringers lønsomhed ofte prøver at *sætte beløb på det gennemsnitlige personskadeuheld*, jf. også bogens kapitel 13 om vurderingsmetoder. Vejdirektoratet angiver fx i 1992 personrelaterede omkostninger på 532.000 kr. og materielskade omkostninger på 649.000 pr. rapporteret personskadeuheld, jf. i øvrigt tabel 13.5.[15]

Det første beløb indeholder:

- Hospitalsophold
- Anden lægehjælp og medicin
- Politiets og retsvæsenets indsats
- Produktionstab ved død, invaliditet og arbejdsudygtighed
- "Velfærdstab"

Specielt det sidste element (indirekte effekter) er klart diskutabel. Det understreger, at anvendelsen af en sådan enhedspris kræver en politisk afvejning af forhol



Trafikulykker koster hvert år samfundet 11 mia. kr.

det mellem trafikulykker og andre typer af skader, den enkelte kan komme ud for. I den sammenhæng er det interessant, at Færdselssikkerhedskommissionen i sin handlingsplan fra 1988 for første gang i dansk politisk historie har formuleret et *talmæssigt mål for det offentliges konkrete indsats på trafiksikkerhedsområdet* - en samlet reduktion i antallet af dræbte og tilskadekomne på 40-45% i løbet af 12 år.[16]

Langtidsskader, forårsaget af trafikken, er et meget vanskeligt område at behandle talmæssigt. Det er oplagt, at mange af de negative miljøpåvirkninger, vi idag kan måle og fastsætte grænseværdier for, i sidste instans er et sundhedsmæssigt problem. Det gælder helt åbenlyst for de forskellige *luftforureningskomponenter* (kemiske forbindelser), der har vidt forskellige sygdomme som mulig konsekvens (se kapitel 12). Problemet er her, at ingen kan afveje, om en X%'s risiko for sygdom A er værre eller bedre end en Y%'s risiko for sygdom B. Oven i købet er der for nogle af sygdommene p.t. kun tale om begrundet mistanke til en bestemt ingrediens i køretøjernes udstødning.

Mht. *støj og vibrationer* er der ikke tvivl om, at langvarig udsættelse for høje doser giver psykologiske gener (stress, søvnbesvær mv.). Men de samme personer udsættes for disse gener også gennem andre af deres aktiviteter. Og det er praktisk taget umuligt at identificere den enkelte aktivitets bidrag til en eventuel, målelig langtidsskade.

Det er givet, at disse måle- og afvejningsproblemer må tages mere alvorligt de kommende år. Både for at lette presset på sundhedssektoren gennem forebyggelse, og fordi det efterhånden indses af alle, at "dårligt miljø" i bred forstand er en trussel mod den enkeltes livskvalitet. I øvrigt er der også et elementært *moralsk problem* i trafikkens miljøbelastning: Den går jo ikke kun ud over trafikanterne selv, men i første række over beboerne i de mest trafikerede lokalområder. Og selv om vi (næsten) alle er trafikanter en del af dagen, vil vi i den rolle være årsag til miljøgener mange andre steder end ved vores hjem. Det er jo hele pointen ved især den motoriserede trafik, at vi hurtigt kan komme langt væk hjemmefra.

Privat forbrug

Danmark er et ret tætbefolket land, og størstedelen af befolkningen bor i tætte bysamfund med mange aktivitetstilbud. Man skulle måske tro, at vi kunne klare os med beskedne transportudgifter. Men det er helt forkert. I tabel 1.3 ses udviklingen af husstandenes forbrug 1976-87, procent-fordelt på forbrugskategorier.[12]

Det ses, at posten "Transport og kommunikation" i denne periode har svinget mellem 14 og 16,5% af det samlede forbrug, i 1987 svarende til knapt 25.000 kr pr. husstand pr. år. Transport er den tredje-største post på husholdningsbudgettet efter "Bolig" og "Fødevarer".

	1976	1981	1987
Føde-, drikke- og tobaksvarer	24,3	22,2	20,1
Beklædning og fodtøj	6,1	5,3	5,6
Egentlig boligudgift	16,9	21,1	21,3
Boligvedligeholdelse mv.	2,4	4,1	2,6
Brændsel, el mv.	5,2	7,8	6,8
Boligudstyr og husholdningstjenester	9,2	6,7	6,5
Medicin og lægeudgifter mv.	1,7	1,7	2,0
Transport og kommunikation	16,7	14,1	16,1
Fritidsudstyr, underholdning, undervisning mv.	9,7	8,4	8,5
Andre varer og tjenester	7,8	8,7	10,4
	Kroner pr. husstand		
Forbrug i alt	64.880	103.172	154.947

Tabel 1.3 Udviklingen i private husstandes forbrugssammensætning 1976-87.

Bag 1987-gennemsnittet skjuler sig, at forskellige husstandstyper har en vidt forskellig fordeling af forbruget. Ifølge statistiske opgørelser varierede *transportforbrugets andel af det samlede forbrug og af bruttoindkomsten* i 1987 som vist i tabel 1.4.[11,12]

	Procent af samlet forbrug	Procent af brutto-indtægt
Enlige uden børn	13,4%	10,2%
Enlige med børn	11,6%	10,1%
Par uden børn	16,6%	10,2%
Par med børn	17,7%	10,8%
Øvrige husstandstyper	14,4%	5,7%
Husstandsindkomst < 100.000 kr	10,8%	13,5%
- 100-200.000 kr	13,4%	9,9%
- 200-300.000 kr	17,0%	10,8%
- 300-400.000 kr	18,1%	11,1%
- > 400.000 kr	17,4%	8,6%
Gennemsnit for alle husstande	16,1%	10,1%

Tabel 1.4 Forbruget til transport og kommunikation i % af samlet forbrug og bruttoindtægt for udvalgte husstandstyper (Stikprøveanalyse 1987).

Det ses, at bortset fra gruppen "Øvrige husstandssammensætninger" (storfamilier, kollektiver mv.) og fra de allerfattigste og rigeste husstande er *transportens andel af bruttoindkomsten konstant 10-11%*. Dens andel af det samlede forbrug varierer derimod med over 50%, og der er tendens til, at denne andel stiger med

familiens indtægt. Detailtallene bag tabellen viser, at det primært er udgifterne til egen bil, der stiger - men højindkomstfamilierne bruger også flere penge på kollektiv trafik (inkl. taxi).

At *forbruget til transport er nogenlunde konstant for en given husstandsindkomst* er konstateret i mange andre lande. Denne viden har faktisk givet anledning til en helt ny type trafikmodeller - "Travel Budget Models". Her forudsiges husstandens turproduktion ud fra en forudsætning om, at den over en længere periode skal give en samlet udgift af en given størrelse.[17]

1.4 Transportbehov

Findes der et "behov" for transport?

Der er blandt politikere og forskere stor uenighed om, hvorvidt transport skal betragtes som et grundlæggende behov hos samfundet og den enkelte. Eller om det blot er et fænomen, der afspejler, at andre, mere grundlæggende behov af rent fysiske grunde kræver transportmuligheder for at kunne opfyldes. Fx har FN skiftevis medtaget og udeladt transport blandt de indikatorer, man bruger i sammenligninger af forskellige landes levestandard og udviklingsniveau.[17] De hidtidige, danske analyser af levevilkår har også kun medtaget transporttid til/fra arbejde, og kun som en del af den reelle brutto-arbejdstid.

Det enkleste er nok at sige:
Behovet for transport opstår, hvis befolkningen i et (lokal)samfund ønsker varer eller sociale aktiviteter, som på det aktuelle tidspunkt ikke findes/tilbydes i hjemmet.

Tidsgeografi

Inden for persontransporten kan de aktuelle rejsebehov hos den enkelte sammenfattes og illustreres ved en kombination af:

- Punkter i en plan (nemlig hjemmet og de ønskede aktiviteters fysiske placering)
- En lodret akse med de forskellige aktiviteters "åbningstider" afsat som en art vinduer

Den enkelte aktivitets tidsforbrug kan også afsættes som et lodret liniestykke, som måske kun er en del af aktivitetens åbningstid (fx indkøb). I denne tankegang - der kaldes *tidsgeografi* - er personens aktivitetsplan, fx i form af et døgnprogram, et "rør", der snor sig igennem den resulterende, tredimensionale afbildning af tid og rum.[17]

Rørets form giver et godt indtryk af, hvor kompliceret programmet er. Jo flere "knæk", jo flere ting er der at passe (og jo flere enkeltture kræver de). Jo fladere et rørstykke er, jo mindre tid er der til transport fra forrige knækpunkt osv. I grelle tilfælde vil det måske vise sig, at programmet slet ikke kan gennemføres uanset transportmulighederne, fordi de enkelte aktiviteter tidsmæssigt blokerer hinanden.

Logistik-analyser

Inden for mange sektorer anvendes begrebet *logistik* om *styring af et projekts nødvendige vare- og persontransporter*, så det samlede forbrug af tid og penge minimeres. "Projektet" kan fx være produktion af en bestemt vare, gennemførelsen af en militær kampagne eller afvikling af en kongres.

Der er udviklet en række logistik-værktøjer, bl.a. edb-baserede, i løbet af de sidste tiår. De anvendes typisk i industrien for at effektivisere intern og ekstern transport og lagerstyring. Værktøjerne kræver en systematisk gennemgang af de relevante behov for flytning af råvarer, komponenter og produkter - og kan altså på godssiden opfattes som en parallel til tidsgeografien. Den væsentligste forskel består i, at logistikken opfatter hver transporteret enhed (varer, evt. personer) som en del af en større helhed uden selvstændige krav, mens tidsgeografien af natur kun ser isoleret på en persons ønskemål.

Opgørelser af danske rejsebehov

Rejsebehov kan principelt analyseres på tre niveauer:

- *Tællinger af køretøjer/personer/gods*, fordelt på enkelte transportmidler. En sådan registrering af faktisk adfærd må af praktisk/økonomiske grunde normalt foregå i en begrænset del af det aktuelle transportsystem - typisk nogle snit i et vejnet eller nogle stationer/stoppesteder i den kollektive trafik. Registrering kan foregå manuelt (på papir eller ved indtastning på en bærbar "datafanger") eller automatisk (målestationer med sensorer i vejen, fotoceller i busser mv.). En tælling afspejler kun rejsebehovene indirekte, idet den enkeltes rejseaktivitet og transportmiddelvalg kan være hæmmet af systemets mangler eller rejseudgiften
- *Interviews i trafikken*, fx stopinterviews af biler eller perroninterviews af togpassagerer. Denne analyseform er langt mere kostbar pr. registreret enhed. Til gengæld giver den mulighed for at sammenkoble den aktuelle rejse med fx dagens øvrige rejseprogram, begrundelser for valget af transportmiddel, oplysninger om samlet rejsetid dør-til-dør osv. Men der er naturligvis grænser for, hvor længe, man kan plage en trafikant med nye spørgsmål, især i forbindelse med bolig-arbejdsstedsrejser

- *Hjemmeinterviews*. Her er der mulighed for en grundig gennemgang af en persons (eller hel husstands) rejseadfærd, evt. suppleret med, at hun/han fører en komplet rejsedagbog for fx en uge. Der er også mulighed for at belyse mere holdningsprægede spørgsmål såsom vurderingen af alternative transportsystemer. Denne analyseform er meget dyr og udføres normalt kun på små stikprøver af husstandene

Danmark har, internationalt set, kun beskedne traditioner for systematiske undersøgelser af befolkningens rejsevaner og -ønsker. De fleste analyser er rene tællinger. Markinterviews anvendes dog også - men normalt kun for et af det aktuelle områdes alternative transportsystemer (fx biltrafik).

Der har indtil 1992 tre gange været foretaget *landsdækkende analyser af rejseadfærd* via de såkaldte *TU-analyser* i 1975, 1981 og 1986. Disse undersøgelser er af hjemmeinterviewtypen og foreligger som både sammenfatning[18] og i form af detailtal (86-undersøgelsen).[19,20] I august 1992 påbegyndtes en fast månedlig interviewanalyse af rejsevaner som led i Danmarks Statistik omnibusundersøgelser. Denne gennemførtes ved telefoninterviews.

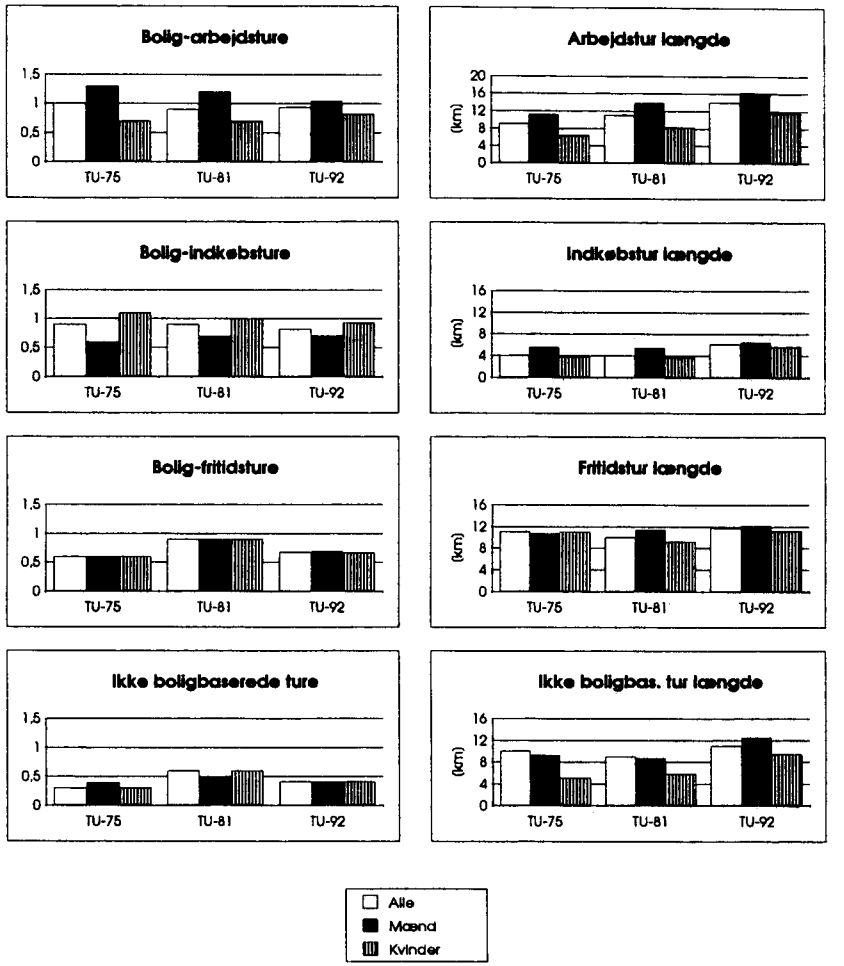
Den officielle sammenfatning begrænser sig til voksnes rejseadfærd (16-74 år). De vigtigste resultater vedrører det antal enkeltture, den enkelte foretager i løbet af en dag - den såkaldte *turrate*. Sammenholdt med *den gennemsnitlige turlængde* giver turraten information om den samlede, rejste afstand eller *persontransportarbejdet* (personkilometer pr. dag). Nogle vigtige resultater vedr. hverdagstransporterne er gengivet i figur 1.3.[18,21] Vi ser, at:

- Forskellen i antallet af *bolig-arbejdsstedsture* mellem mænd og kvinder mindskes
- Længden af *bolig-arbejdsstedsture* er stigende både for mænd og kvinder
- Antallet af *indkøbsture* falder en smule, men længden af disse er stigende
- *Indkøbsture* er den eneste gruppe af ture, hvor kvinder udfører flere ture end mænd
- *Fritidsturenes* længde vokser gradvist
- For *fritidsture* er der ikke nogen markante kønsforskelle
- Længden af de *ikke-bopælsbaserede ture* øges kraftigt særligt på grund af mange lange ikke-boligbaserede erhvervsture

Det skal bemærkes, at en længere rejse med flere indlagte aktiviteter undervejs her optræder som et antal delture, en til hver aktivitet. Det er nok forklaringen på kvinders mange korte ture uden hjemmet som endepunkt - de kombinerer i stadig højere grad fx indkøbs- og B-A-ture i samlede *turkæder*.

TU-undersøgelsen i 1986 synes noget usikker, men sammenligner man fx med undersøgelsen fra 1981 er:[22]

- Den daglige transport per person vokset fra knap 27 km til knap 34 km



Figur 1.3 Turrater og turlængder for voksne (> 18 år) i 1975, 81 og 92 - fordelt efter turformål og køn. Hverdage.

- Den samlede daglige transporttid anvendt på hverdage faldet en smule fra 57 til 54 minutter
- Cykeltrafikken øget 15% og holder næsten sin andel af den samlede daglige transport, mens knallerttrafikken er halveret
- Bustrafikken vokset med 7%, men har tabt andele af den samlede transport
- Personbilens andel af den daglige transport vokset fra 62% til 75% primært på bekostning af den kollektive trafik
- Belægningsgraden i personbilerne - beregnet på baggrund af TU - faldet

I forbindelse med *store anlægsprojekter* i transportsektoren er det normalt at foretage indledende registreringer af den nuværende trafik, ofte suppleret af interviews. Her er formålet ikke at opnå grundviden om rejsevaner, men at kunne forudse den trafikale effekt af anlægget - dvs. at opstille en såkaldt *trafikprognose*. Et markant eksempel er fx A/S Storebæltsforbindelsens *analyse af Øst-Vest-trafikken* over Storebælt/Kattegat.[20] Her registrerede man i løbet af to somre den samlede passager- og godsmængde i en uge med hvert af de relevante transportmidler, samt - via stikprøveinterviews - rejsernes endepunkter, transportmiddelkombination, pris og deres tidsforbrug. Trafikregistreringen blev brugt til at opregne interviewdata til totaltrafik. Det samlede materiale indgår i en nyudviklet model, der forudsiger den samlede Øst-Vesttrafik, samt dens fordeling på ruter og transportmidler, hvis man (dvs. staten) ændrer på bro- eller færgetakster, nedlægger færgeruter eller lignende.

Skjulte transportbehov

Der er to grunde til, at oplysninger som TU-analysernes ikke kan tages som udtryk for det samlede transportbehov. For det første mangler *børns og unges rejseaktivitet*. Den er præget af mange korte ture, hovedsageligt på cykel og til fods. Hvis man bruger persontransportarbejdet som målestok, drukner disse behov let i de voksnes lange ture i bil og tog. Beregninger viser, at i et normalt sammensat befolkningsmodul på 1.000 personer vil børn og unge være ansvarlige for *¼ af samtlige persontur*e.[24] Og disse ture skal selvfølgelig medtages i planlægningen.

For det andet er registreringer af *faktisk rejseadfærd* som tidligere nævnt *en undervurdering af transportbehovet*, målt som rejseønsker. Mangler og omkostninger ved de transportsystemer, den enkelte borger har til rådighed, har tendens til at presse turraten nedad. Med udgangspunkt i turproduktionen hos husstande, hvor hver voksen har fuld rådighed over en bil, er det fx beregnet, at *gennemsnitsturraten* for hele befolkningen (inkl. børn og unge) formentlig *ville stige mindst 10%*, hvis alle kunne tilbydes samme kvalitet i transportudbudet som to-bilfamilierne oplever i dag.[25]

Spidsbelastninger

Centralt i enhver dimensionering af transportanlæg er begrebet *kapacitet*, der behandles nærmere i kapitel 3 for strækninger og i kapitel 4 og 5 i forbindelse med knudepunkter (vejkryds og rundkørsler). Kapacitetsbegrebet anvendes undertiden blot om den maksimale mængde køretøjer eller personer eller godsenheder, der rent fysisk kan presses gennem en strækning (vej) eller fordeles i et knudepunkt (kryds), dvs. den største strøm (flow), der kan afvikles uden stigende ophobninger eller kødannelser. Men ofte er begrebet også knyttet til et kriterium for en rimelig kvalitet i afviklingen mht. faktorer som hastighed, sikkerhed eller komfort, hvilket vil blive omtalt i afsnit 1.5.

Den *dimensionerende efterspørgsel* eller trafik skal altså principielt kunne afvikles med den givne kapacitet på ethvert tidspunkt. Det bestemmer ikke blot tætheden og bredden af veje i et net, men også fx antallet og størrelsen af de busser, der i myldretiden kører mellem et boligområde og det nærmeste bycenter. Og den største efterspørgsel - spidsbelastningen - vil ofte være mange gange højere end trafikkens gennemsnitsniveau for en valgt tidsenhed. Det gælder specielt for persontrafik og skyldes (med tidsgeografiens begrebsapparat), at mange har sammenfaldende aktivitetsprogrammer både i tid og rum. Efterspørgslens tidsvariation over en lang periode, fx et år, kan opfattes som en overlejring af flere bølger med hver sin tidshorisont. Lad os se på de to vigtigste.

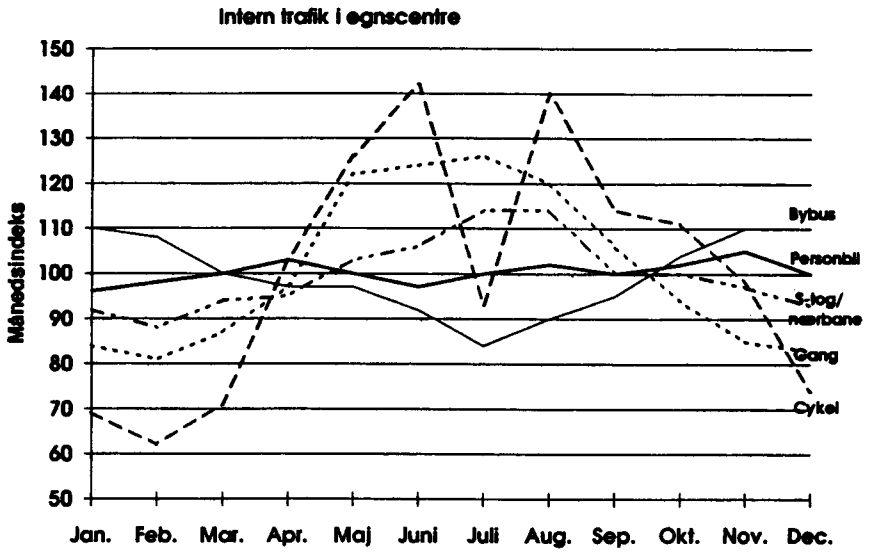
Sæsonvariationer skyldes dels arbejdsårets opdeling i ferietunge og -lette perioder, dels klimaets indflydelse. I figur 1.4 er typiske efterspørgselstal for hver måned angivet som indeksværdier i forhold til årets gennemsnitsmåned.[8]

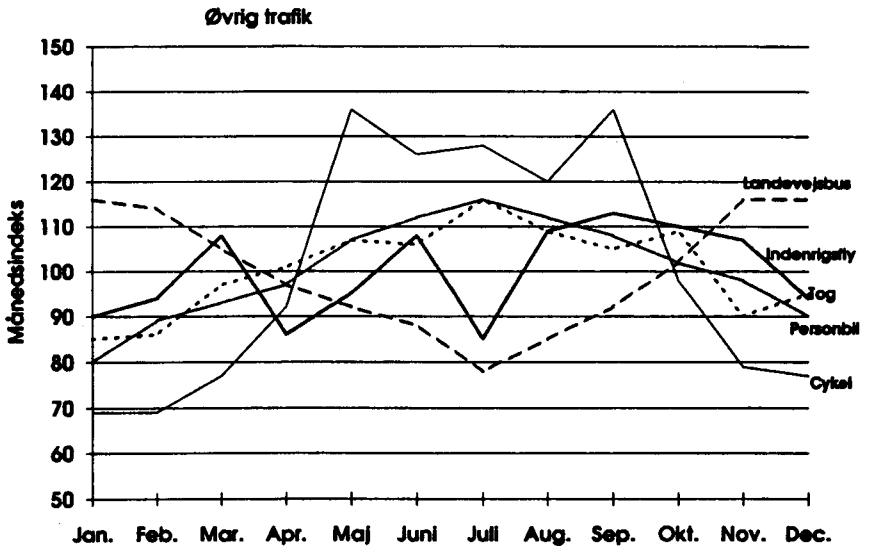
Den øverste del af figuren beskriver intern trafik i egnscentre (større byer) og skelner mellem de transportmidler, der er almindelige her. Forneden vises situationen for den øvrige trafik (inklusive indenrigske fjernrejser). Det ses, at temperaturfølsomme trafikformer som *cykling og gang ligger meget lavt i vintersæsonen*, hvor bussen overtager en stor del af den ikke-bilende trafik. Derudover er der en generel tendens til, at rejsetallet er lidt højere om sommeren - bortset fra den regulære feriemåned juli, der ligger lavt. Udvekslingen mellem bus og let trafik er en væsentlig del af grunden til, at de fleste trafikselskabers vinterkøreplaner har en markant større busindsats end sommerplanen.

Timevariationerne i løbet af et døgn er endnu mere kritiske for kapacitetsplanlægning end sæsonsvingningerne. Figur 1.5 og figur 1.6 viser den timefordelte efterspørgsel på diverse transportmidler, igen opdelt på intern egnscentertrafik og øvrige ture.[8] Vi ser, at spidstimetrafikken - døgnets højeste timebelastning - i de fleste tilfælde er 2-3 gange middeltimens trafik. Bemærk især, at den kollektive trafiks spidser er de stejleste. Det svarer til, at i myldretimerne (bolig-arbejdsstedstrafikkens maksimum) har disse trafikmidler deres største relative fordele i forhold til fx biltrafikken, der hæmmes af kødannelser.

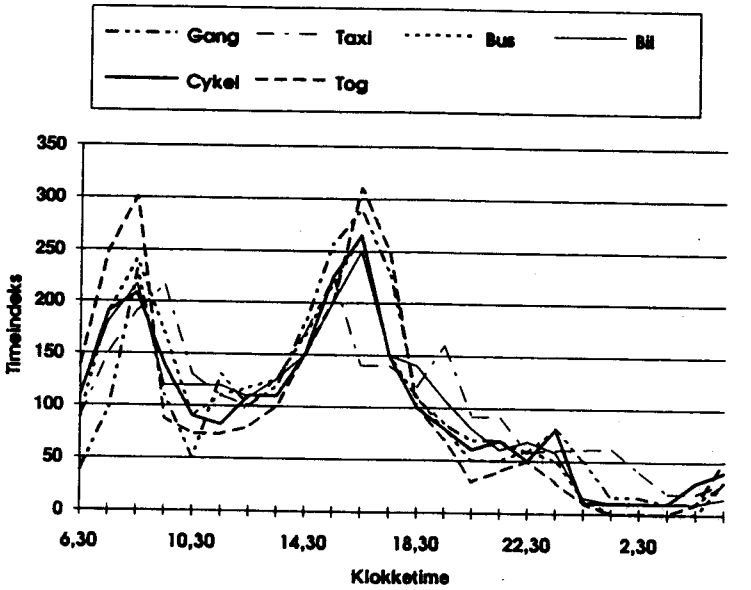
Figurerne kræver den kommentar, at spidsbelastningerne bliver endnu mere markante, hvis man anvender et mindre opgørelsesinterval end den viste time. Fx vil dimensionering af et signalanlæg normalt kræve viden om myldretidens absolut højst belastede kvarter eller 10 minutters periode.

Trafikkens variationer over tiden behandles nærmere i kapitel 2 vedr. trafiktællinger og -analyser.

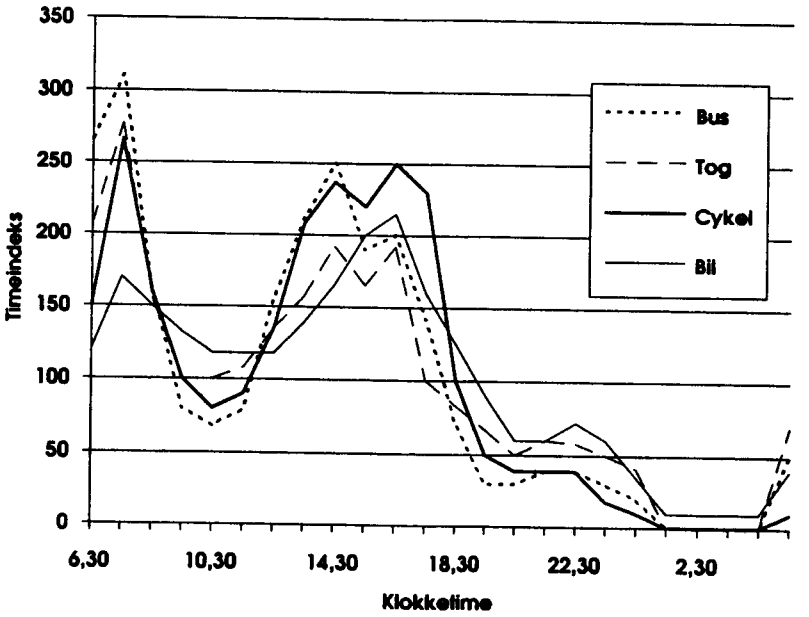




Figur 1.4 Månedsvariationer i efterspørgslen på forskellige transportmidler - intern egnscentertrafik og øvrig trafik.



Figur 1.5 Timevariationer for interne ture i egnscentre. Hverdag.



Figur 1.6 Timevariationer for øvrige ture. Hverdag.

1.5 Synsvinkler på et trafikalt serviceniveau

Vi slutter kapitlet med at se på, hvordan man som tekniker kan håndtere sine kunders - dvs. trafikanternes - ønsker til trafikanlæg og transportsystemer. Vi vil anvende en meget bred definition af begrebet *serviceniveau*:

Trafikantens samlede oplevelse af kvaliteter og gener ved en enkelt rejse eller et bestemt transportsystem.

I senere kapitler gennemgås de serviceniveau-modeller, der i dag sædvanligvis anvendes i forbindelse med vejtrafik. Men inden da vil det være nyttigt at gennemgå de generelle problemer, der opstår, når man skal omdanne brugersynspunkter til konkret planlægning.

Den centrale konflikt består naturligvis i, at *trafikanter ikke* udgør *en homogen gruppe* brugere med samme krav til transportudbuddet. Det gælder ikke blot vurderingerne af en given egenskab ved et tilbud, eller en relativ vurdering af denne egenskab hos et antal alternative tilbud. Mindst lige så vigtigt er, at forskellige mennesker ikke opfatter og beskriver et tilbud som en sum af de samme egenskaber. Man taler om, at folks værdistruktur er forskellig.

I praksis kan teknikere og planlæggere naturligvis ikke interviewe samtlige nuværende og mulige brugere, før de ændrer et trafikudbud/transportsystem. Og selv om de kunne, ville det som antydet blive uhyre svært at sammenfatte svarene. Men det er vigtigt at skelne mellem de mulige synsvinkler, teknikeren kan anlægge ved den nødvendige forenkling af serviceniveau-beskrivelsen. Synsvinklerne vil nemlig med den anvendte inddeling[17] afspejle forskellige opfattelser af, hvordan trafikanternes beslutningsprocesser foregår.

Præstationssynsvinklen

De enkleste vurderingsmetoder tager udgangspunkt i teknisk viden om *transportudbudets - og trafikantens - fysiske ydeevne*. Her kan igen skelnes mellem to hovedgrupper:

- Normer
- Sammenvejede kvalitetsmål

Normbegrebet indebærer, at en given egenskab ved et system skal overstige et vist kvalitetsmål, før systemet som helhed er acceptabelt. Princippet anvendes ikke bare ved dimensionering af faste transportanlæg (vejens bæreevne fx) eller køretøjer (bremselængden ved 60 km/h). Også fysiske planlæggere anvender det ofte, når en bebyggelse skal trafikbetjenes. Her kan det fx kræves, at gangafstanden til bus ikke må overstige 500 meter.

De *sammenvejede kvalitetsmål* udgøres typisk af et matematisk formelappar hvor værdier af et antal egenskaber ved transporttilbudet indsættes og samme fattes i et tal. Sådanne mål er hidtil mest anvendt ved beskrivelser af kollekt trafikbetjening. Men også det klassiske serviceniveaubegreb i vejtrafik fra d amerikanske Highway Capacity Manual er af denne type (se kapitel 3).

Den økonometriske synsvinkel

Ved økonometri vil vi her forstå den antagelse, at en dårlig/negativ værdi ved egenskab i system X altid vil kunne opvejes af en tilstrækkeligt høj/god værdi en hvilket som helst anden egenskab. Ideen svarer til økonomernes *klassis nytteværdibegreb*, hvor det samlede mål (nytten N) for systemets kvalitet er lineær kombination af specifikke nytteværdier (n), knyttet til systemets enkel egenskaber (A,B,..):

$$N = n(A) \times A + n(B) \times B + ...$$

Den kendteste anvendelse af synspunktet i transportsektoren er nok de *cost-ben fit-analyser*, der især for 10-25 år siden anvendtes i forbindelse med alle stør anlægsarbejder. Her udtrykkes samtlige egenskaber ved projektet i pengeenh der, og hvis den samlede nytte bliver positiv, er projektet samfundsmæssi rentabelt. Metoden forudsætter, at der kan fastlægges en positiv eller negat enhedspris (skyggepris), svarende til 1 måleenheds ændring af enhver egenska Altså også fx rejsetid (tidsværdien af en sparet time), trafikulykker og miljøko sekvenser.

Cost-benefit-analysen er blevet stærkt kritiseret, i første række fordi den tot afpolitiserer beslutningsprocessen - teknikere og planlæggere fastlægger de in gående egenskaber og søger at måle skyggepriser via registrering af fakti trafikadfærd. Det er også svært at afgrænse analysen geografisk: Den skul gerne medtage effekter, der opstår selv langt fra projektet pga. af omfordeling den eksisterende trafik.[25] Cost-benefit-analyse metodik bruges dog stadig i ma ge sammenhænge, fx ved Vejdirektoratets prioritering af hovedlandevejsarbejd (se kapitel 14), i projektet til fast forbindelse over Storebælt[26] eller til Dan Vejforenings plan for en udbygning af motorvejsnettet.[27]

En blødere anvendelse af den lineære nyttefunktion fås med de efterhånden me udbredte *cost-effectiveness-analyser*. Her vægtes egenskaberne ved de alternati systemer først procentvis efter vigtighed. Derefter fastlægges for hver egenska ved system X en relativ tilfredshedsværdi i forhold til det perfekte (fx fra 1 til 1 Endelig ganges for hvert system vigtigheder og tilfredshedsværdier og summ opfattes som den samlede tilfredshed eller målopfyldelsesgrad, systemet h opnået. Som vi ser, er de politiske vurderinger mere synlige her end i cost-ben fit-analysen.

Tilgængelighedsmodeller

En speciel gruppe kvalitetsbeskrivelser er knyttet til de rent *geografiske og tidsmæssige problemer ved en rejse* - dvs. til det tidsgeografiske begreb (jf. afsnit 1.4). Gruppen indeholder for det første studier af, om det med bestemte restriktioner på rejsetiden er muligt at nå fra zone X til alle andre zoner Y for der at udføre en aktivitet med givne tidsrammer. Dette kan sammenfattes grafisk eller talmæssigt til en samlet bekrivelse af *zone-tilgængelighed*, fx for indkøbsrejser i en given by. Samme grundlæggende karakter har de klassiske *isokron-afbildninger*, der på et kort viser, hvilke områder, der kan nås fra punkt X inden for forskellige intervaller af rejsetid.

Blandt tilgængelighedsmodellerne må også regnes begrebet *oplevet rejsetid*, der ofte anvendes, når fx individuel og kollektiv trafik skal sammenlignes. Kollektive rejser er jo karakteristiske ved at indeholde elementer af ventetid, der skyldes, at køreplanen ikke passer med den ønskede aktivitets tidsrammer, og evt. at der skal stiges om undervejs. Fra registreringer af rejseadfærd ved vi, at de forskellige tidselementer ikke opfattes lige generende. Derfor har man dannet begrebet oplevet rejsetid, der er en vægtet sum af rejsetidselementerne. Den rene køretid får typisk vægten 1,0 og de øvriges vægte indrettes så herefter (fx gangtid = 1,75, ventetid ved stoppested/station = 3,0, skjult ventetid = 1,25). Mht. skjult ventetid mv. jf. i øvrigt afsnit 16.2.

Socialpsykologiske studier

Til slut bør omtales en række forsøg på at undgå det nævnte problem med sammenvejning af forskellige trafikanters ønsker og interesser: Psykologiske analyser af enkeltpersoners trafikale vurderinger (præferencestruktur). Indtil nu er de først og fremmest anvendt i *forskningsmæssigt øjemed* - for at skaffe grundviden om, hvor forskelligt folks beslutningsprocesser er bygget op. Her har de via ofte meget avancerede matematisk-statistiske metoder vist, at trafikanter normalt vælger mere ud fra gamle vaner, fordomme og uvidenhed om alternative transportmuligheder end ud fra en rationel vurdering af de foreliggende alternativer forud for hver enkelt rejse.

Denne indfaldsvinkel har dog også været anvendt mere planlægningsorienteret. Fx er der de sidste 20 år udviklet en række "spil", skemasystemer og edb-programmer, der giver trafikanten mulighed for selv at orientere sig om alternative muligheder for at udføre en given rejse, træffe et valg og se konsekvenserne (fx den resulterende, samlede rejsetid eller rute). Denne viden kan i nogle tilfælde få ham/hende til at ændre sine udgangskrav. Ved at gennemløbe processen nogle gange kan man så normalt nå en løsning, trafikanten opfatter som god - ikke nødvendigvis optimal i matematisk forstand, men rimelig. Sådanne *interaktive metoder* vil formentlig blive mere udbredte, efterhånden som edb-teknikken gør det muligt at gennemregne et stort antal komplicerede alternativer næsten øjeblikkeligt. En markant styrke ved metoderne er muligheden for at teste ikke-eksisterende transporttilbud på skrivebordsplan - en meget vanskelig opgave ved traditionelle interviewanalyser.

Litteratur

1 Regeringens transporthandlingsplan for miljø og udvikling. Trafikministeriet, København, 1990.

2 Vejnomenklatur. Vejdirektoratet, Vejregelsekretariatet, København, 1990.

3 Oxford Advanced Learner's Dictionary, 4. Edition, Oxford University Press, 1989.

4 Trafik i nordisk tätort - Resultat från Nordkolt-projektet, Nordisk Utredningsserie A 1978:14, NORDKOLT, Oslo 1978.

5 Tal om vejtrafik, Vejdirektoratet, Økonomisk-Statistisk Afdeling, København 1990.

6 Mokhtarian, P.L. (red.), Telecommunications and Travel Behaviour. Transportation, Special Issue, Volume 18, no. 4. Kluwer Academic Publishers, 1991.

7 Engström, M.-G., Eriksson, E., Wenninger, T. & Wiipola, M., Informationsteknologins effekter på resandet. TFB-Meddelande nr. 52. Stockholm, juni 1988.

8 Meulengracht, K., Valg mellem kollektive transportsystemer - metoder og danske eksempler. Hovedrapport. Rapport nr. 43a, Institut for Veje, Trafik og Byplan, DTH. 1984.

9 Vejtransporten i tal og tekst, 33. årgang, Automobilimportørernes sammenslutning, København 1991.

10 Skjøtt-Larsen, T., Transport. Erhvervsøkonomisk Forlag/Nyt Nordisk Forlag, København 1987.

11 Statistisk Årbog 1990, Danmarks Statistik, København, 1991.

12 Statistisk Tiårsoversigt 1990, Danmarks Statistik, København, 1991.

13 Trafik - miljö - kostnader. Rapport 1990:8 (Separat bilagsrapport medfølger),TPR (Transportrådet), Solna, januar 1991.

14 Jørgensen, K., Energi, trafik og miljø - en sammenhængende teknologivurdering. TeknologiNævnets rapporter 1991/5. København, 1991.

15 Trafikøkonomiske enhedspriser 1992, Vejdirektoratet, Sektorplanafdeling, 1994.

16 Færdselssikkerhedspolitisk handlingsplan. Betænkning nr. 1157, Færdselssikkerhedskommissionen, København, december 1988.

17 Meulengracht, K., Rejsevilkår - et litteraturstudium. Notat 83-6, Institut for Veje, Trafik og Byplan, DTH. 1983.

18 Persontrafik i 1975, 1981 og 1986 - en sammenlignende analyse, Trafikministeriet et al., København, juli 1988.

19 Trafikundersøgelse september-november 1986, Ministeriet for Offentlige Arbejder/Gallup, København, 1987.

20 TU-86 trafikundersøgelse, Ministeriet for Offentlige Arbejder, København, marts 1987.

21 Omnibusundersøgelserne - Rådata fra rejsevaneundersøgelserne august 1992 til oktober 1993, Danmarks Statistik, 1993.

22 Christensen, Linda, Transportvaner og trafikmiddelvalg - En analyse på grundlag af TU-92/93, Danmarks Miljøundersøgelser, Risø, 1993.

23 Øst-vesttrafikmodellen. Prognoser for trafikken mellem Øst- og Vestdanmark, Storebælt (A/S Storebæltsforbindelsen), København, februar 1991.

24 Meulengracht, K., Valg mellem kollektive transportsystemer - metoder og danske eksempler. Bilagsrapport. Rapport nr. 43b, Institut for Veje, Trafik og Byplan, DTH. 1984.

25 Williams, H.C.W.L., Lam, W.M., Austin, J. & Kim, K.S., Transport Policy Appraisal with Equilibrium Models. Part I: Generated Traffic and Highway Investment Benefits, Part II: Model Dependence of Highway Investment Benefits, Part III: Investment Benefits in Multi-Modal Systems. Transportation Research B, Vol. 25B, No.5, 1991.

26 Skaarup, P., Storebæltsforbindelsen. Et trafikgeografisk eksempel på planlægning. Libero, 1982.

27 Veje i fremtidens Danmark, Dansk Vejforening, København, maj 1991.

Kapitel 2

Trafiktællinger og -analyser

Af Christian Overgaard Hansen

2.1 Indledning

Dette kapitel beskriver, hvorledes der kan indsamles data om trafikken. Selvo kapitlet fokuserer på vejtrafikken, har mange af principperne og metodern generel anvendelighed.

Kapitlet koncentrerer sig om traditionelle trafikregistreringer. I fremtiden blive indsamling af realtidsdata (real time data) sikkert i stigende grad påkræve Realtidsdata giver en momentan afspejling af trafiksituationen, og informatione er især relevant i forbindelse med overvågning af meget trafikerede veje, hvc trafikken pludselig kan bryde sammen. Indsamling af sådanne data behandle dog ikke nærmere her.

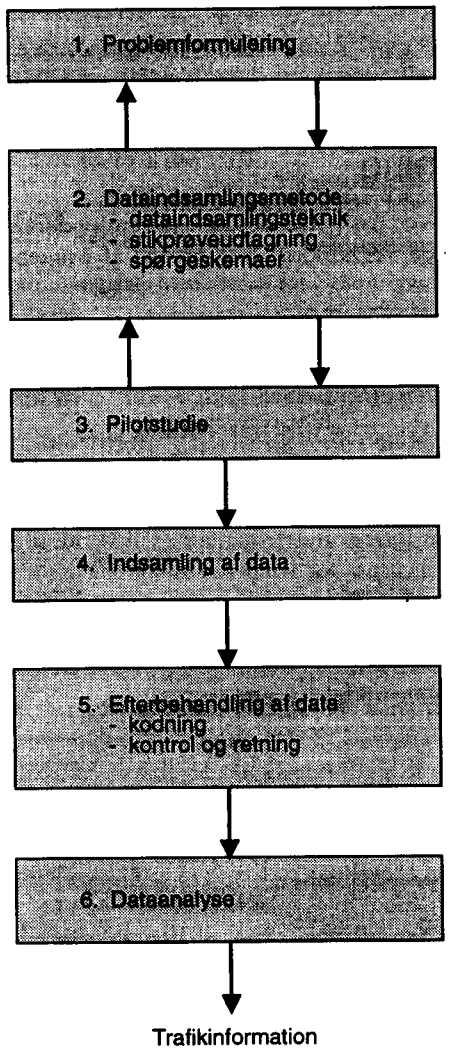
Kapitlet introducerer først grundelementerne i indsamling af trafikdata. Derefte følger teoretiske principper for stikprøveudtagning og klassifikation af trafik data. De resterende afsnit beskriver teknikker til indsamling af data inden fc områderne: trafiktællinger, hastighedsmålinger og turmønsterbeskrivelser (star og slutpunkter for ture). Den elektroniske og mekaniske funktion af registrerings apparatur vil ikke blive uddybet nærmere.

2.2 Grundelementer i indsamling af trafikdata

Det er ofte vanskeligt at beskrive og forstå en trafikhændelse. Man kan eksempe vis tænke sig en situation, hvor man skal beskrive en befolknings rejsehyppig hed. Rejsehyppigheden afhænger bl.a. af den enkelte husstands økonomisk situation og transportprisen. Transportprisen er igen en funktion af transportuc buddet (veje, kollektiv trafik mv.), beskatning, andres rejsevaner (køproblemer osv. Skal data indsamles, analyseres og forstås for et sådant komplekst problem er det nødvendigt at anvende en systematisk fremgangsmåde. Figur 2.1 illustre rer en generel procedure for indsamling og analyse af trafikdata.

Figuren viser seks faser i en logisk rækkefølge. Den viser imidlertid også, at det på et givet trin i diagrammet kan være nødvendigt at revidere forudgående faser.

Den første fase er problemformuleringen, hvor formålet med undersøgelsen defineres. Jo mere kompleks opgaven er, jo vigtigere er det, at problemet afgræn-



Figur 2.1 *Illustration af systematisk fremgangsmåde ved indsamling og analyse af trafikdata.*

ses og defineres omhyggeligt. I denne fase undersøges endvidere, hvad de findes af eksisterende viden om problemet. Det vil sige erfaringer og datakilder

I fase to opstilles en foreløbig dataindsamlingsplan med angivelse af dataindsam lingsmetoden. Hovedelementerne heri er valg af dataindsamlingsteknik (stop interview, videoregistrering, etc.), stikprøveudtagning og udarbejdelse af spørge skemaer el. lign.

Er der tale om en ressourcekrævende og ikke-rutinepræget dataindsamling, bø metoden testes på et mindre observationsmateriale. Det kaldes et *pilotstudie* (fas 3) og har til formål at afdække uhensigtsmæssige forhold - både teoretiske o praktiske - ved den foreløbige dataindsamlingsmetode. På basis af pilotstudiet erfaringer revideres dataindsamlingsmetoden og måske problemformuleringer

I fase fire foretages den egentlige dataindsamling. Her skal alle praktiske forhol omkring dataindsamlingen arrangeres, hvilket ikke bør undervurderes. Ska dataindsamlingen gennemføres med godt resultat, er det nødvendigt, at den e planlagt nøje, og at der er taget højde for uheld, sygdom osv.

Efterbehandlingen (fase 5) består primært i kodning og kontrol af de indsamled data. *Kodning* er konvertering af indsamlede oplysninger til computerlæsba information. Ofte er der tale om at kode stednavne til tal. De enkelte datasæt ka være ufuldkomne, fordi interviewpersoner fx har glemt at notere turformåle Der kan også opstå fejl under kodningerne, så et forkert kodenummer anvende Ved hjælp af kontroller, som kan være både automatiske og manuelle, frasortere disse datasæt. Mange af fejlene kan rettes ved hjælp af logiske ræsonnemente Dermed forbedres datamaterialet. Imidlertid er retning af fejl ressourcekræver de, og det er derfor altid en afvejning mellem kvalitet og udgifter, når dat kontrolleres og rettes.

I fase seks foretages statistiske analyser o.l. af de kontrollerede og rettede dat Denne fase vil ikke blive behandlet nærmere her.

2.3 Udtagning af stikprøve

Det vil normalt være for dyrt at gennemføre en udtømmende dataindsamlin idet antallet af observationer dermed ville blive meget stort. Ønsker man eksen pelvis at beskrive en befolknings rejsehyppighed, kan der nemt blive tale om fle hundrede tusinde observationer. Derfor baseres næsten alle dataindsamlinger p stikprøveudtagning. I det følgende beskrives strategier til udtagning af stikpr ver. Udledning af formler findes i appendix 2.2. I litteraturen anvendes ofte e engelske betegnelser, hvorfor de anføres i parentes.

Grundbegreber

Stikprøveudtagning (sampling) starter med en definition af *populationen* (target population). Formålet hermed er at afgrænse dataindsamlingen til de "individer", som projektet vedrører. Dette er imidlertid ofte vanskeligt. Ønskes eksempelvis trafikale konsekvenser af planlagte veje i en by belyst, er det ikke tilstrækkelig at inkludere byens borgere i populationen. Ændringerne vil også påvirke besøgende og gennemkørende trafikanter.

Populationen opdeles i *emner* (sampling units). Emnerne skal defineres således, at de er gensidigt disjunkte og udtømmer populationen. I trafikstudier er emnerne typisk: personer, husstande, virksomheder, biler og vejstrækninger.

Der skal herefter specificeres regler, hvorefter emnerne trækkes. Disse regler definerer *strategien for stikprøveudtagning* (sampling strategy). I trafikstudier anvendes næsten udelukkende *simpel tilfældig stikprøveudtagning* (simple random sampling) eller *stratificeret tilfældig stikprøveudtagning* (stratified random sampling). Principperne forklares nærmere i det følgende.

Simpel tilfældig stikprøveudtagning

Simpel tilfældig stikprøveudtagning er karakteriseret ved, at hvert emne i populationen har samme sandsynlighed for at blive trukket. Principielt kan trækningen foregå med eller uden tilbagelægning af udtrukne emner. I praksis er det i reglen uden betydning, idet populationerne ofte er så store, at de med tilnærmelse kan betragtes som uendelige.

Hvis der udtages en stikprøve bestående af N observationer ($Y_1, Y_2, ..., Y_N$), hvor Y_i fx angiver antal bilture pr. dag for person i, er middelværdien for stikprøven:

$$\bar{Y}_R = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} Y_i \qquad (2.1)$$

Den anvendes som estimator for populationens middelværdi, som i eksemplet her er populationens gennemsnitlige rejsehyppighed med bil pr. dag. Antages det, at Y_i er udfald af en stokastisk variabel, der har spredningen s, er estimatorens varians bestemt ved:

$$\mathrm{Var}\,(\bar{Y}_R) = \frac{s^2}{N} \qquad (2.2)$$

Jo mindre varians desto bedre er estimatet for $\bar{Y}_R$. Da variansen er omvendt proportional med antallet af observationer, ses, at gevinsten ved at forøge dataindsamlingen med x observationer er størst, når N er lille. Kvadratroden af (2.2) anvendes ofte og kaldes standardafvigelsen på middelværdien.

I praksis kendes s sjældent. Man estimerer derfor denne ud fra de indsamlede observationer:

$$s^2 = \frac{1}{N-1}\left[\left(\sum_{i=1}^{N} Y_i^2\right) - N\bar{Y}_R^2\right] \qquad (2.3)$$

Stratificeret tilfældig stikprøveudtagning

I stratificeret tilfældig stikprøveudtagning opdeles populationen i G grupper, som hver kaldes et *stratum*. Inden for hvert stratum udtages emnerne ved hjælp af simpel tilfældig stikprøveudtagning, idet $N = N_1 + ... + N_G$.

En stratifikation af populationen kan have flere fordele. For det første kan det være nyttigt at have oplysninger om såvel delgrupper som om hele populationen. For det andet kan en dataindsamling baseret på stratificeret tilfældig stikprøveudtagning bedre planlægges end en dataindsamling baseret på simpel tilfældig stikprøveudtagning. Det er eksempelvis billigere at foretage interviews i etagebyggeri end i spredt bebyggede områder. Anvendes simpel tilfældig stikprøveudtagning, kan antallet af interviews i spredt bebyggede områder blive forholdsvis stor. Anvendes derimod en stratifikation i de to grupper: etagebyggeri og spredt bebyggede områder, kan ressourceindsats og stikprøvestørrelse bedre afpasses på forhånd. For det tredje kan en stratifikation forbedre estimaterne, hvilket vises i det følgende.

Populationens middelværdi $\bar{Y}_S$ bestemmes som det vægtede gennemsnit af strataenes middelværdier:

$$\bar{Y}_S = \sum_{g=1}^{G} \bar{Y}_g W_g \qquad (2.4)$$

$\bar{Y}_g$: estimatet for middelværdien i stratum g

W_g: forholdet mellem populationsstørrelse i stratum g og hele populationens størrelse

Estimatorens varians bliver:

$$\mathrm{Var}\,(\bar{Y}_S) = \sum_{g=1}^{G} W_g^2 \frac{s_g^2}{N_g} \qquad (2.5)$$

N_g er antal observationer inden for stratum g. Det antages, at observationerne Y_{ig} inden for stratum g er udfald af en stokastisk variabel Y_g, som har spredningen s_g.

Formel (2.5) viser, at variansen afhænger af N_g. For en given total stikprøvestørrelse N gælder det således om at finde de strata-stikprøvestørrelser ($N_1, ..., N_G$),

som minimerer (2.5). Det kan vises, at den optimale stikprøvestørrelse for stratum g bliver:

$$N_g = \left(\frac{W_g s_g}{\sum_{g=1}^{G} W_g s_g} \right) N \qquad (2.6)$$

Resultatet antyder bl.a., at man ved strata af samme populationsstørrelse skal udtage den største stikprøve for det stratum, der har mest heterogen population. Dermed reduceres variansen af $\bar{Y}_S$. Vælges de optimale strata-stikprøvestørrelser, bliver variansen for populationens middelværdi:

$$\text{Var}(\bar{Y}_S) = \frac{1}{N} \left(\sum_{g=1}^{G} W_g s_g \right)^2 \qquad (2.7)$$

Denne kan sammenlignes med variansen for simpel tilfældig stikprøveudtagning, jf. (2.2):

$$\text{Var}(\bar{Y}_R) = \frac{s^2}{N} = \frac{1}{N} \sum_{g=1}^{G} s_g^2 W_g \qquad (2.8)$$

De to strategier for stikprøveudtagning vil resultere i samme varians, hvis alle strata har samme s dvs. $s = s_1 = .. = s_G$. I alle andre tilfælde vil stratificeret tilfældig stikprøveudtagning give et bedre estimat end simpel tilfældig stikprøveudtagning.

Eksempel 2.1
Opgaven er fx at bestemme en populations rejsehyppighed i bil pr. dag pr. person. Populationen opdeles i to strata: 1) befolkning i etagebyggeri og 2) befolkningen i øvrigt. Det antages, at populationen i de to strata er lige store, så $W_1 = W_2$, og varianserne inden for de to strata er s_1^2 og s_2^2, hvor $s_2 = 3s_1$. De optimale strata stikprøvestørrelser er derfor ifølge (2.6):

$$N_1 = \left(\frac{0{,}5s_1}{0{,}5s_1 + 1{,}5s_1} \right) N = 0{,}25\,N$$

$$N_2 = \left(\frac{1{,}5s_1}{0{,}5s_1 + 1{,}5s_1} \right) N = 0{,}75\,N$$

Middelværdiens varians findes af (2.7):

$$\frac{1}{N}(0{,}5s_1 + 1{,}5s_1)^2 = \frac{1}{N} \cdot 4s_1^2$$

Var der i stedet for anvendt simpel tilfældig stikprøveudtagning med samme stikprøvestørrelse, ville middelværdiens varians ifølge (2.8) være

$$\frac{1}{N}(0{,}5s_1^2 + 0{,}5 \cdot 3^2 s_1^2) = \frac{1}{N} 5s_1^2$$

2.4 Behov for trafikinformation

Afsnit 2.2 beskriver, hvorledes data omsættes til trafikinformation. Omvendt har enhver dataindsamling udgangspunkt i et ønske om mere information. I det følgende gives en oversigt over forskellige typer af trafikdata. Derefter belyses behovet for information inden for trafikdatatyperne ved hjælp af en behovsanalyse, som Vejdirektoratet gennemførte i 1989-90.[1]

Klassifikation af trafikdata

Trafikdata kan eksempelvis klassificeres ud fra trafikmiddel og datatype. Trafikmidlerne opdeles traditionelt i biler (herunder motorcykler, scootere og traktorer), kollektive trafikmidler, cykler/knallerter og gang, idet de har forskellige karaktertræk og ofte benytter forskellige færdselsarealer.

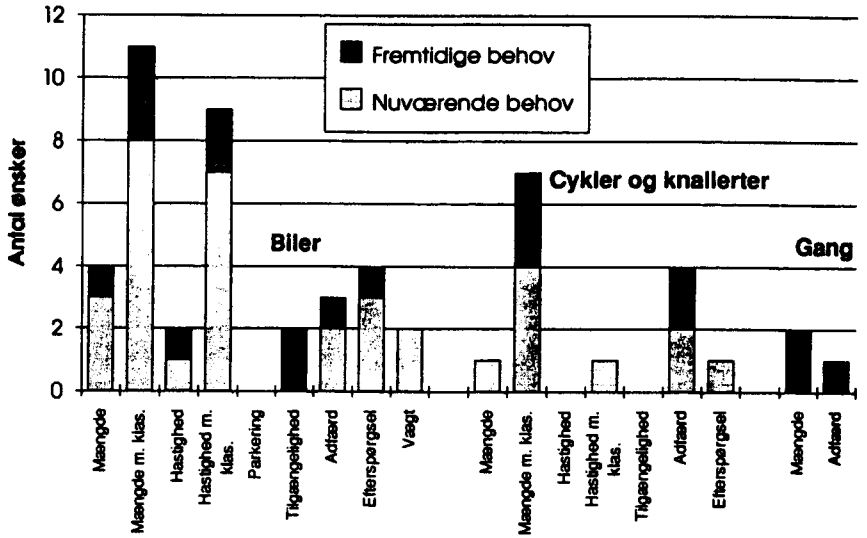
Trafikdata kan endvidere opdeles efter datatyper. Taylor & Young foreslår følgende gruppering:[2]

- antalsdata (antal køretøjer over et snit o.l.)
- hastighedsdata (gennemsnitlig hastighed over et snit mv.)
- parkeringsdata (udskiftningsrate mv.)
- tilgængelighedsdata (serviceniveau mv.)
- adfærdsdata (konfliktstudier i kryds mv.)
- efterspørgselsdata (turmatricer, turlængder mv.)
- vægtdata (akseltryk mv.)

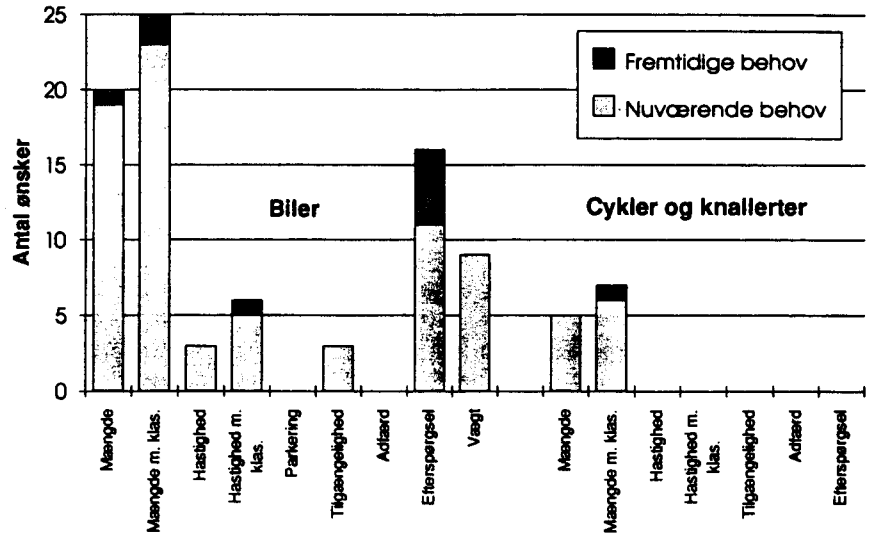
Behovsanalyse

I 1989-90 blev 24 traditionelle brugere (offentlige myndigheder, forskningsinstitutioner og interesseorganisationer) interviewet om deres nuværende og fremtidige trafikinformationsbehov. Behovsanalysen giver ikke et udtømmende billede af trafikinformationsbehovene i Danmark, men det er den mest omfangsrige nyere danske undersøgelse, som foreligger.[1]

Figur 2.2 og figur 2.3 sammenfatter de ytrede ønsker om information inden for ovennævnte trafikdatatyper. Dog er antalsdata og hastighedsdata underopdelt



Figur 2.2 Ytrede ønskede, ad hoc registreringer.



Figur 2.3 Ytrede ønskede, statistikregistrering.

data med og data uden køretøjsklassifikation. Foretages der ingen køretøjsklassifikation, skelnes ikke mellem forskellige køretøjstyper. Anvendes køretøjsklassifikation, angives antal og hastighed pr. køretøjstype. Idet de enkelte brugere har flere ønsker inden for samme trafikdatatype, kan søjlernes længde overstige antallet af interviewede brugere.

I praksis kan det være hensigtsmæssigt at skelne mellem *ad hoc registreringer* og *statistikregistreringer*, idet mandskabsplanlægning og ressourceindsats er forskellig. Ønskerne er derfor opdelt i informationsbehov, som typisk kan klares ved hjælp af ad hoc registreringer, og behov, som typisk skal klares ved hjælp af statistikregistreringer. En ad hoc registrering er en dataindsamling, som foretages inden for et snævert geografisk område og tidsperiode, og hvor resultaterne er beregnet til en specifik opgave. En statistikregistrering er en dataindsamling, som foretages over et større geografisk område og tidsperiode, og hvor resultaterne har generel anvendelighed.

Figurerne viser, at behovet for antalsoplysninger er størst. Således har næsten alle interviewede brugere ytret behov for antalsdata. Derefter følger informationsbehov inden for efterspørgselsdata, hastighedsdata og vægtdata. Informationsbehovet for cykel-/knallerttrafikken falder primært inden for antalsdata. Endelig ses, at behovet ventes at stige inden for næsten alle grupper.

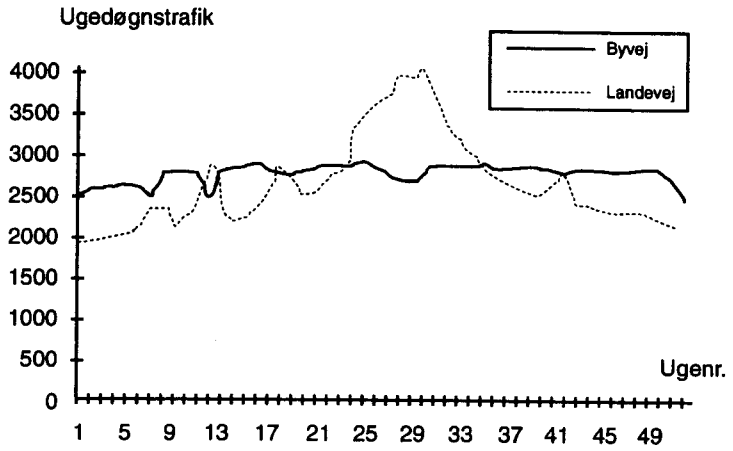
På basis af bl.a. behovsanalysen vælges det her at behandle indsamling af antalsdata, hastighedsdata og efterspørgselsdata nærmere.

2.5 Trafiktællinger

Indsamling af antalsdata har mange formål. Oplysningerne kan bl.a. benyttes i forbindelse med trafikplanlægning, dimensionering af veje og styring af trafikafviklingen. I dette afsnit omtales metoder til indsamling af antalsdata og efterbehandling af de indsamlede data. Afslutningsvis gives et praktisk eksempel på en dataindsamling. I det følgende anvendes ofte ordet at tælle om indsamling af antalsdata og ordet tælleplan om en dataindsamlingsplan.

Trafikparametre

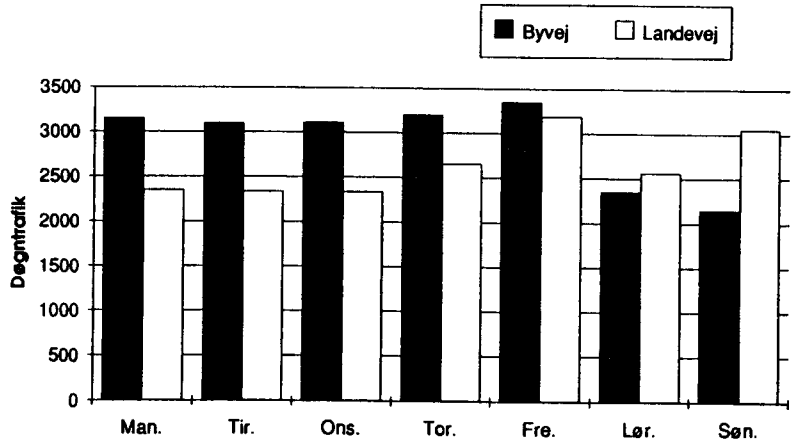
Vejtrafikken varierer over tid og sted. Figur 2.4 viser typiske årsvariationer i trafikmængden på en byvej og en landevej uden for byområder. Trafikmængden på byvejen er relativ konstant hen over året, hvorimod landevejstrafikken stiger betydeligt i sommermånederne. Det skyldes, at landeveje ofte får en betydelig andel ferietrafik i sommermånederne.



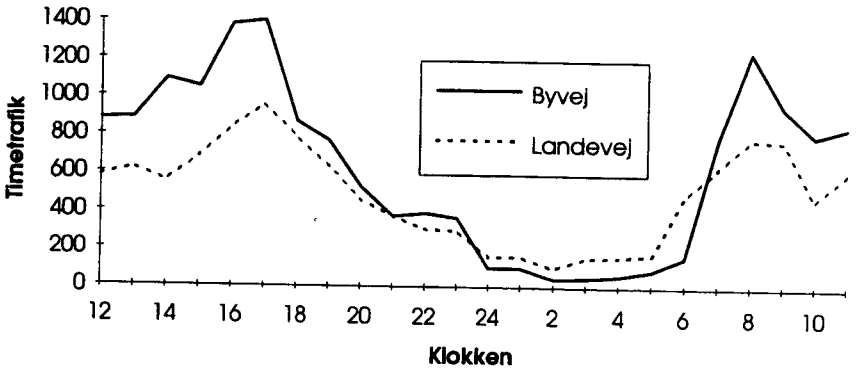
Figur 2.4 Typiske årsvariationer i trafikmængden.

Figur 2.5 illustrerer trafikkens variation i en tilfældig uge på to veje. Byvejen viser et typisk tilfælde, hvor weekendtrafikken er lavere end hverdagstrafikken. På enkelte mindre veje i landområder kan det imidlertid observeres, at ferie- og fritidstrafikken bevirker større trafikmængder i weekenden. Figuren viser endvidere, at ugens største trafikmængde typisk forekommer om fredagen. Det skyldes bl.a., at trafikken om fredagen både omfatter bolig-arbejdsstedstrafik og fritidstrafik.

Trafikmængden varierer også hen over døgnet, hvilket figur 2.6 illustrerer. Byvejen har to udprægede spidsbelastningsperioder - en om morgenen og en om



Figur 2.5 Typiske ugevariationer i trafikmængden.



Figur 2.6 Typiske døgnvariationer i trafikmængden.

eftermiddagen. I landområderne observeres typisk mere konstant trafik i dagtimerne. Om natten er trafikken meget lav.

Eksemplerne viser, at trafikmængderne varierer hen over døgnet, ugen og årstiderne. Skal eksempelvis udviklingen i trafikmængden på en given vejstrækning fra et år til et andet år belyses, kan det ikke hjælpe, at data fra forskellige tidspunkter af året benyttes i sammenligningen. Det er derfor nødvendigt at have sammenlignelige trafikparametre.

Der anvendes ofte følgende trafikparametre: årsdøgntrafik (ÅDT), hverdagsdøgntrafik, julidøgntrafik, spidstimetrafik og 30. største time. Angives trafikmængden ved hjælp af de nævnte trafikparametre, menes den samlede trafik i begge retninger. *ÅDT* bestemmes som 1/365 af den samlede årstrafik. *Hverdagsdøgntrafikken* beregnes som den gennemsnitlige døgntrafik på hverdage uden for sommermånederne juni, juli og august. *Julidøgntrafikken* findes som den gennemsnitlige døgntrafik i juli måned (uge 27-31). *Spidstimetrafikken* defineres som den maksimale trafikmængde, der observeres i nogen 60 minuttersperiode i løbet af en dag. Spidstimetrafikken skal således principielt bestemmes ud fra tællinger over mindre tidsrum fx 15 minutter. 30. største time defineres som trafikken i den time med den 30. største trafik ud af årets 8760 timer.

Dataindsamlingsmetoder

En trafiktælling kan udføres enten manuelt eller ved hjælp af automatisk tælleudstyr. Ved manuel tælling noterer observatøren, hvor mange køretøjer af forskellig art, der passerer tællestedet. Typisk anvendes følgende 10 køretøjstyper: cykler, knallerter, motorcykler, personbiler, varebiler med 2-6 ton totalvægt, solo-lastbiler over 6 ton totalvægt, lastbiler med anhænger, sættevognstog, busser og øvrige køretøjer. Ved mindre trafikmængder udføres dataindsamlingen normalt

ved, at der sættes en streg i et tælleskema. Ved større trafikmængder kan håndterminaler benyttes. Der findes forskellige typer af håndterminaler, men fælles for alle typer er, at der trykkes på en given knap, hver gang et køretøj af given type passerer stedet. Data opsamles derefter mere eller mindre automatisk på edb.

Det er nemt at skelne mellem køretøjstyper, hvis der tælles manuelt. Desuden er teknikken meget fleksibel, idet tælleren uden besvær kan flytte sig fra sted til sted. Det er imidlertid dyrt at tælle manuelt over længere tidsrum. I sådanne tilfælde må der anvendes automatisk tælleudstyr.

Automatisk tælleudstyr består af sensorer, en markstation og dataopsamler. Sensorerne registrerer køretøjet eller dets aksler og sender impulserne til en markstation. Markstationen, som står ved vejsiden, omsætter impulserne til trafikdata og lagrer dem. Der kan normalt kobles flere sensorer til en markstation. Dataopsamleren "støvsuger" markstationen for data, som opsamles på diskette eller bånd og sendes videre til kontoret for efterbehandling. Dataopsamlingen kan eventuelt foregå via en telefonforbindelse mellem kontor og markstation.

Af sensorer, som registrerer køretøjet som én enhed, kan bl.a. nævnes:

- Induktionsspoler som kan placeres på vejoverfladen eller nedfræses i vejen. Hver gang et køretøj passerer hen over spolen, induceres en elektromagnetisk impuls, som registreres af markstationen. Det er den mest populære sensortype i Danmark. Den fungerer meget pålideligt, når der ses bort fra meget langsomt kørende biler (hastighed under 5 km/h) eller meget tætkørende trafik
- Ultralyd og infrarøde stråler, hvor registreringen sker ved, at en udsendt bølge reflekteres af det passerende køretøj
- Mikrobølge- og radarsensorer registrerer trafikken ved hjælp af Doppler-effekten. Radar er blevet benyttet i mange år til indsamling af hastighedsdata, men udviklingen af nye typer beregnet til tællinger er i gang
- Video, hvor billederne analyseres automatisk og omsættes til trafikdata. Teknikken er fortsat under udvikling
- I en ny type automatisk tælleudstyr er sensor og markstation sammenbygget i en ca. 1 cm høj plade på størrelse med et A4 ark. Pladen fastgøres til kørebanen, og hver gang et køretøj passerer henover pladen ændres jordens magnetfelt. Denne ændring måles og omsættes til en længde og kørehastighed på det passerede køretøj

Af sensorer, som registrerer køretøjets aksler, kan bl.a. nævnes:

- Gummislanger, der udspændes over vejen. Slangerne er billige og lette at arbejde med, men de er ikke altid pålidelige og kan kun benyttes ved tællinger over korte tidsrum

- Koaxialkabler, der ofte er monteret i en skinne, som nedfræses i vejen. De findes et antal forskellige typer og fabrikater

Køretøjer kan klassificeres automatisk. Anvendes eksempelvis en induktiv spol som sensor, kan bilernes længde estimeres. Der er imidlertid to problemer forbindelse med anvendelse af køretøjets længde som kriterium for en køretøjs klassifikation. For det første er bestemmelsen af længden meget usikker. For de andet er længde ikke et særligt entydigt kriterium. Således har mange personbile og varebiler samme længde. Det er ligeledes svært at adskille busser og lastbile ud fra længden. Suppleres spolen med en akseldetektor, kan køretøjsklassifika tionen forbedres, idet antal aksler og akselafstande kan benyttes som kriterie Akselafstande kan måles meget præcist. Tabel 2.1 illustrerer en køretøjsklassif kation baseret på antal aksler og akselafstande.

Det nyeste inden for automatisk køretøjsklassifikation er mønstergenkendels Klassifikationen sker i dette tilfælde ud fra det elektriske impulsmønster, sor "tegnes", når et køretøj passerer en nedfræset spole. I markstationen findes e softwareprogram, som sammenligner mønstrene med standardmønstre og de igennem bestemmer den aktuelle køretøjsart. Klassifikationen kan på denn måde foretages med stor nøjagtighed (standardafvigelse ca. 1%). Udstyret er do meget dyrt og anvendes endnu ikke i Danmark.

Det er for kostbart at tælle trafikmængderne permanent hele året på alle vejstræl ninger. Man er derfor nødt til at anvende stikprøvetællinger. Det er almindelig at anvende et hierarkisk system af tællesteder, hvor permanente tællinger blar des med periodiske og aperiodiske tællinger. Ved de *permanente tællesteder* reg streres antallet af køretøjer kontinuert hele året, og der benyttes automatis tælleudstyr. Trafikken ved de *periodiske tællesteder* tælles typisk maskinelt 4-1 gange pr. år i perioder fra 2 døgn til 2 uger. Trafikken ved de *aperiodiske tællested* tælles i mindre tidsrum, som typisk strækker sig fra et døgn til en uge pr. år.



Automatisk tælleudstyr kan tælle aksler og måle hastigheder.

Type	Akselafstande i meter					Hjullængde meter	
	1-2 aksler	2-3 aksler	3-4 aksler	4-5 aksler	5-6 aksler		
1.1	1,00-1,60						Motorcykler
2.1	1,61-2,80					3,00-4,60	Private biler og varevogne uden trailer
2.2	1,61-2,80	2,50-4,25				7,55-11,45	Private biler og varevogne med trailer
3.1	2,40-3,80					4,61-5,80	Større varevogne
4.1	3,00-6,40					5,81-9,20	Lastbiler 2 aksler
4.2	2,40-9,60	1,20-1,45				4,80-12,00	Lastbiler 3 aksler
4.3	1,60-6,50	1,20-3,20	1,20-2,10			6,00-12,00	Lastbiler 4 aksler
5.1.1	2,75-4,00	5,00-9,75				10,55-15,00	Sættevogne 2+1 aksler
5.1.2	2,75-4,00	3,40-8,65	1,20-2,10			10,55-15,00	Sættevogne 2+2 aksler
5.1.3	2,75-4,00	2,00-7,45	1,20-2,10	1,20-2,10		10,55-15,00	Sættevogne 2+3 aksler
5.2.1	2,75-4,00	1,30-1,40	4,00-6,80	2,10-1,30		10,55-15,00	Sættevogne 3+2 aksler
6.1.1	3,00-6,40	2,50-6,00	2,50-10,10			10,00-18,00	Lastbil med trailer 2+2 aksler
6.1.2	3,00-6,40	2,50-6,00	2,50-8,70	1,20-2,10		10,00-18,00	Lastbil med trailer 2+3 aksler
6.2.1	2,40-9,60	1,20-1,45	2,50-6,00	2,50-7,00		10,00-18,00	Lastbiler med trailer 3+2 aksler
6.2.2	2,40-9,60	1,20-1,45	2,50-6,00	2,50-7,00	1,20-1,45	10,00-18,00	Lastbiler med trailer 3+3 aksler
6.3.1	1,60-6,50	1,20-6,00	1,20-5,30	2,50-6,00	2,50-10,00	10,00-18,00	Lastbiler med trailer 4+2 aksler
7.1	4,40-6,40					9,20-12,00	Busser og rutebiler

Tabel 2.1 Eksempel på køretøjskassifikation baseret på antal aksler og akselafstande.

Efterbehandling af antalsdata

De indsamlede data kontrolleres og rettes, hvorefter de opregnes til ÅDT, hverdagsdøgntrafik mv. De permanente tællinger kan umiddelbart opregnes til trafikparametre, da trafikken er observeret hele året. Ved de periodiske og aperiodiske tællesteder kendes kun stikprøver af trafikmængden, hvorfor trafikparametrene disse steder må estimeres. Der skal omtales to estimationsteknikker: referenceteknik og faktoropregning.

I *referenceteknikken* sammenlignes tællinger fra periodiske og aperiodiske tællesteder med permanente tællinger. Der udvælges et permanent tællested som referencested, således at trafikkens årsvariation er nogenlunde ens på det permanente tællested som på det periodiske/aperiodiske tællested. Derefter benyttes referencestedets tælling til estimation af trafikparametre. Ønskes eksempelvis en tælling i uge i opregnet til ÅDT, beregnes følgende forhold på referencestedet:

$$d = \frac{\text{ÅDT}}{\text{tælling i uge i}} \tag{2.9}$$

Ugetællingen på det aperiodiske tællested opregnes derefter til ÅDT ved multiplikation med faktoren d.

I Danmark er siden 1989 anvendt et *faktorsystem* til opregning af periodiske og aperiodiske maskinelle tællinger. Et faktoropregningssystem består af fire elementer: definition af typiske årsvariationer i trafikken, bestemmelse af opregningsfaktorer, valg af faktorsæt og estimation af trafikparameter.

De permanente tællinger opdeles i grupper, der hver har nogenlunde samme årsvariation i trafikken. I det danske system anvendes 7 grupper:

- Vejstrækninger med meget bolig-arbejdsstedstrafik. Trafikken på sådanne strækninger er mindre i ferieperioder og weekender end på almindelige hverdage
- Vejstrækninger med udpræget by- og lokaltrafik i by og landområder. Trafikken på sådanne strækninger falder en anelse i ferieperioderne
- Vejstrækninger med udpræget regionaltrafik. Trafikmængden på sådanne strækninger er ret konstant over året
- Vejstrækninger med fjerntrafik omfatter primært hovedlandeveje, som betjener international trafik. Årsvariationen påvirkes i begrænset omfang af ferietrafikken
- Vejstrækninger med moderat ferietrafik. På sådanne vejstrækninger er ugetrafikken i sommermånederne 1,2-1,5 gange større end den gennemsnitlige trafik
- Vejstrækninger med udpræget ferietrafik. Ugetrafikken er i sommermånederne 1,5-2 gange større end den gennemsnitlige ugetrafik

- Vejstrækninger i sommerlandet med meget stærk ferietrafik. Ugetrafikken i sommermånederne er 2-3 gange større end den gennemsnitlige ugetrafik

Inden for hver gruppe bestemmes et sæt af opregningsfaktorer. Det danske system er baseret på ugentlige faktorer, som kan benyttes til estimation af ÅDT, hverdagsdøgntrafik og julidøgntrafik. De permanente tællinger benyttes til bestemmelse af opregningsfaktorerne, idet døgntrafikken i uge i fx kan udtrykkes på følgende måde

$$T_i = \frac{1}{f_{ik}} \text{ÅDT} \tag{2.10}$$

Heri er f_{ik} opregningsfaktoren for gruppe k i uge i. Tabel 2.2 viser opregningsfaktorerne, der anvendes til estimation af ÅDT.

Herefter skal en af grupperne vælges til opregning af de observerede tælledata. Gruppen kan vælges ud fra en forhåndskendskab til trafikken på stedet. Der kan også anvendes en automatisk udvælgelse, hvis der er talt mere end to gange i løbet af året. I det danske system beregnes først den gennemsnitlige ÅDT for hver af de syv grupper.

$$\overline{\text{ÅDT}}_k = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} f_{ik} T_i \tag{2.11}$$

$\overline{\text{ÅDT}}_k$: den estimerede ÅDT på basis af gruppe k's opregningsfaktorer

m: antal ugentlige tællinger

Idet f_{ik} T_i antages at være udfald af en stokastisk variabel, kan fordelingens varians bestemmes ved hjælp af formel (2.3):

$$s_k^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^{m} \left(f_{ik} T_i - \overline{\text{ÅDT}}_k \right)^2$$

$$= \frac{1}{m-1} \left[\sum_{i=1}^{m} (f_{ik} T_i)^2 - m \overline{\text{ÅDT}}^2 \right]$$

Den relative spredning $\frac{S_k}{\overline{\text{ÅDT}}_k}$ angiver, hvor godt gruppe k's faktorsæt forklarer den observerede tællings årsvariation.

Gruppen med den mindste relative spredning vælges, og (2.11) benyttes som estimator for ÅDT.

Korttidstællinger - fx en manuel tælling over få timer kan opregnes til ÅDT ved hjælp af den i appendix 2.1 gengivne metode, som stammer fra Vejdirektoratets vejledning i manuelle tællinger.[3]

Uge	B/A Trafik	Lokal trafik	Regional trafik	Fjern trafik	Moderat ferietrafik	Udpræget ferietrafik	Sommerl. trafik
0	1,20	1,16	1,17	1,25	1,33	1,38	1,72
1	1,03	1,14	1,15	1,27	1,38	1,52	1,90
2	1,01	1,10	1,12	1,22	1,33	1,50	1,88
3	1,00	1,07	1,10	1,19	1,29	1,47	1,85
4	1,00	1,06	1,09	1,16	1,27	1,45	1,79
5	1,00	1,06	1,09	1,14	1,25	1,42	1,75
6	0,99	1,06	1,08	1,11	1,22	1,35	1,65
7	0,99	1,05	1,07	1,10	1,20	1,30	1,57
8	0,98	1,04	1,06	1,08	1,18	1,28	1,55
9	0,97	1,03	1,05	1,07	1,17	1,27	1,53
10	0,96	1,02	1,04	1,06	1,15	1,25	1,50
11	0,96	1,01	1,03	1,05	1,13	1,23	1,48
12	0,96	1,00	1,02	1,04	1,11	1,21	1,46
13	1,33	0,99	1,11	1,04	0,94	0,89	0,99
14	0,95	1,08	1,00	1,04	1,09	1,15	1,39
15	0,95	0,98	0,99	1,03	1,07	1,13	1,36
16	0,95	0,97	0,99	1,02	1,05	1,12	1,33
17	1,05	0,97	1,03	1,01	0,98	1,00	1,19
18	0,95	1,02	0,98	1,00	1,00	1,03	1,20
19	1,05	0,96	0,99	0,99	0,93	0,91	0,98
20	1,00	0,98	0,98	0,93	0,91	0,90	0,89
21	0,95	0,98	0,96	0,97	0,95	0,99	1,01
22	0,96	0,95	0,95	0,96	0,94	0,97	0,97
23	1,00	0,94	0,95	0,95	0,93	0,95	0,95
24	0,96	0,93	0,94	0,94	0,85	0,84	0,75
25	0,96	0,93	0,92	0,88	0,78	0,79	0,65
26	1,03	0,93	0,91	0,85	0,76	0,70	0,52
27	1,14	0,98	0,91	0,83	0,72	0,65	0,44
28	1,24	1,00	0,91	0,80	0,70	0,57	0,41
29	1,25	0,99	0,92	0,79	0,68	0,55	0,42
30	1,16	0,97	0,93	0,81	0,70	0,56	0,43
31	1,05	0,93	0,94	0,84	0,78	0,66	0,50
32	1,00	0,93	0,94	0,87	0,82	0,71	0,57
33	0,98	0,95	0,95	0,90	0,86	0,78	0,67
34	0,97	0,95	0,95	0,91	0,89	0,84	0,79
35	0,96	0,96	0,95	0,92	0,94	0,92	0,94
36	0,96	0,97	0,96	0,95	0,96	0,98	0,99
37	0,95	0,97	0,97	0,96	0,98	1,00	1,04
38	0,95	0,97	0,98	0,97	1,00	1,04	1,13
39	0,94	0,97	0,98	0,98	1,02	1,07	1,23
40	0,94	0,98	0,98	0,99	1,04	1,10	1,29
41	0,94	0,98	0,98	1,00	1,03	1,05	1,19
42	0,99	0,98	0,98	0,95	1,01	0,95	1,07
43	0,94	0,98	0,99	1,01	1,08	1,13	1,36
44	0,94	0,99	0,99	1,02	1,10	1,15	1,38
45	0,94	0,99	1,00	1,03	1,12	1,20	1,48
46	0,95	1,00	1,00	1,04	1,14	1,22	1,52
47	0,95	1,00	1,01	1,06	1,17	1,24	1,58
48	0,95	1,01	1,01	1,07	1,19	1,25	1,60
49	0,95	1,01	1,02	1,08	1,21	1,28	1,62
50	0,96	1,03	1,03	1,10	1,23	1,32	1,66
51	1,18	1,13	1,14	1,23	1,31	1,36	1,70
52	1,20	1,16	1,17	1,25	1,33	1,38	1,72

Tabel 2.2 Ugentlige opregningsfaktorer til estimation af ÅDT i 1991.

Vejdirektoratets maskinelle tællinger

Siden 1974 har Vejdirektoratet og amtskommunerne haft et samarbejde om tælling af trafikken på hovedlandeveje og landeveje. Begge parter indsætter personale og tælleudstyr, idet markstationerne flyttes og aflæses efter en tælleplan, der aftales hvert år.

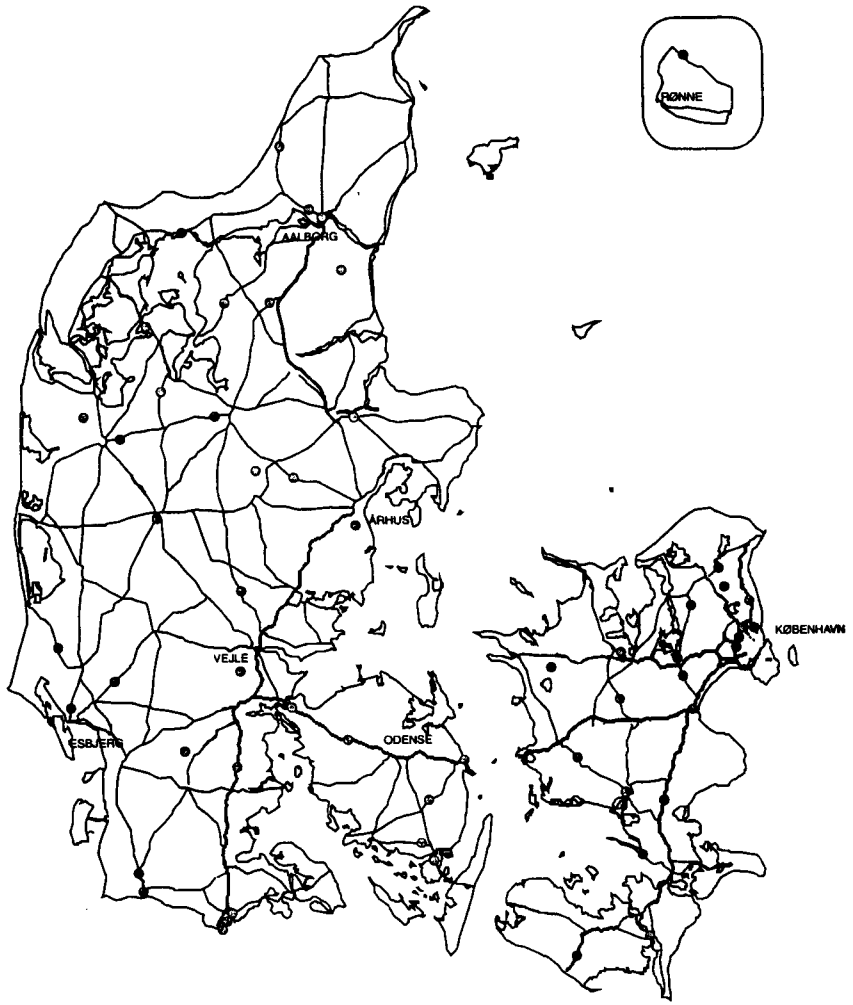
Der anvendes automatisk tælleudstyr, som er baseret på induktive spoler. Der foretages ingen generel køretøjsklassifikation, selvom køretøjets længde kan måles. Markstationen registrerer tælledata time for time og opbevarer dem på et midlertidigt lager. Dataopsamlingssystemet består af bærbare dataopsamlere, der "støvsuger" markstationerne for data og overfører dem til kassettebånd, disketter e.l. Markpersonalet sender derefter de opsamlede data videre til efterbehandling.

Grundstammen i tælleprogrammet er 75 permanente tællesteder. 53 af disse er placeret, så de afspejler vejnettet repræsentativt. Stederne fremgår af figur 2.7. De danner basis for beregning af et indeks for udvikling i biltrafikken. Vejdirektoratets nuværende trafikindeks er beregnet ud fra trafikken i 1984. Trafiktallet, som benyttes til indekset, består af en summation af de permanente tællinger. Der tages hensyn til trafikflytninger, som er forårsaget af nyanlagte veje, ved korrektion af referencetrafikken i 1984.

Hoved- og landevejsnettet er opdelt i ca. 2400 delstrækninger med en gennemsnitlig længde på ca. 4,5 km. Trafikmængden er relativt konstant inden for de enkelte strækninger. Der er etableret tællesteder på alle delstrækninger, og trafikken tælles minimum hvert fjerde år. Ca. 700 delstrækninger indgår i tælleplanen



Permanent tællestation, der "støvsuges" for data.



Figur 2.7 *Placering af permanente tællesteder i Danmark. På kortet er kun medtaget hovedlandeveje. Derfor ligger permanente tællestationer på landevejene udenfor de viste veje. Kilde: Vejdirektoratet.*

hvert år. Trafikken på de delstrækninger, der ikke tælles det pågældende år, bliver fremskrevet ud fra trafikudviklingen på nabostrækninger, hvor trafikken tælles.

Trafikken på de periodiske tællesteder tælles 5-7 uger pr. år. Tælleugerne er placeret jævnt hen over året. Ved hjælp af opregningsfaktorer estimeres ÅDT, hverdagsdøgntrafik og julidøgntrafik. Endvidere kan trafikarbejdet i vejnettet estimeres ved multiplikation af strækningslængde og trafikparameter.

Ud fra permanente tællinger er estimationsnøjagtigheden undersøgt. Tabel 2.3 viser standardafvigelsen på estimatet. Det ses fx, at ÅDT kan estimeres med 95% sikkerhed inden for ± 4% (2 gange standardafvigelsen), hvis der tælles mere end 5 gange pr. år. Hverdagsdøgntrafikken kan estimeres en smule mere præcist. Tabellen viser ligeledes, at julidøgntrafikken kan estimeres ret nøjagtigt, selvom der ikke er talt i juli måned.

Vejdirektoratet og amtskommunerne har et tilsvarende samarbejde om maskinelle cykel- og knallerttrafiktællinger. Programmet er dog væsentlig mindre.

Antal tællinger pr. år	Standardafvigelse på ÅDT	Standardafvigelse på julidøgntrafik		Standardafvigelse på hverdagsdøgntrafik
		Alene talt i juli	Ikke talt i juli	
10	1%	-	3%	1%
5	2%	-	5%	2%
3	3%	2%	6%	2%
2	4%	3%	8%	3%
1	5%*	4%*	11%*	4%*

* Forudsat at vejstrækningen er klassificeret korrekt mht. tællegruppe 1-7

Tabel 2.3 Standardafvigelser på estimeret ÅDT hverdagsdøgntrafik og julidøgntrafik.

2.6 Hastighedsmålinger

Information om hastigheder benyttes bl.a. i forbindelse med beskrivelse af trafikafviklingen. Det er også en vigtig parameter, når veje dimensioneres og nye standarder fastlægges. I dette afsnit defineres først forskellige hastighedsbegreber. Derefter skitseres teknikker til indsamling af hastighedsdata, hvorefter den praktiske indsamling af hastighedsdata beskrives. I det følgende anvendes ofte ordet hastighedsmåling om indsamling af hastighedsdata.

Hastighedsbegreber

Hastighed har flere betydninger og er dermed ikke et entydigt begreb. Man kan fx skelne mellem den enkelte vogns hastighed og gennemsnitshastigheden for flere vogne. Endvidere skelner man almindeligvis mellem følgende fire typer af hastigheder:

- snithastighed (eller momentan hastighed)
- strækningshastighed
- rejsehastighed
- kørehastighed

Snithastighed er et køretøjs passagehastighed i et givet punkt. *Strækningshastigheden* er et køretøjs momentane hastighed på vejstrækningen i et givet øjeblik. Betragtes et givet snit i et vist tidsrum, kan der fx passere n_1 biler med hastigheden V_1, n_2 biler med hastigheden V_2 osv. Snitmiddelhastigheden bliver da:

$$\overline{V}_T = \frac{n_1V_1 + n_2V_2 + ...}{n_1 + n_2 + ...} \qquad (2.12)$$

Betragtes tilsvarende en vis vejstrækning i et givet øjeblik, kan der fx køre m_1 biler med hastigheden V_1, m_2 biler med hastigheden V_2 osv. på denne strækning. Strækningsmiddelhastigheden bliver da:

$$\overline{V}_S = \frac{m_1V_1 + m_2V_2 + ...}{m_1 + m_2 + ...} \qquad (2.13)$$

De to udtryk (2.12) og (2.13) er således gennemsnittet af de momentane hastigheder for flere vogne, enten taget over et vist tidsrum (men målt i samme snit af vejen), eller taget over en vis strækning (men til samme tidspunkt).

Det forudsættes, at tilstanden er stationær, det vil sige, at antallet af biler, der kører med en vis hastighed, ikke ændres. Således vil m biler, der i et givet øjeblik befinder sig på en vejstrækning af længden L og kører med hastigheden V, kræve tiden L/V, før de alle har passeret et snit (fx beliggende ved strækningens slutning). Antallet af biler, der passerer snittet i tidsrummet T, er da:

$$n = m\frac{TV}{L}$$

Indsættes det i udtryk (2.12) fås snitmiddelhastigheden:

$$\overline{V}_T = \frac{m_1\frac{TV_1}{L}V_1 + m_2\frac{TV_2}{L}V_2 + \dots}{m_1\frac{TV_1}{L} + m_2\frac{TV_2}{L} + \dots} = \frac{m_1V_1^2 + m_2V_2^2 + \dots}{m_1V_1 + m_2V_2 + \dots} \qquad (2.14)$$

Sammenhængen kan også udledes på følgende måde. De n biler, der i tidsrummet T har passeret et snit med hastigheden V, vil befinde sig på en vejstrækning (fx efter snittet) af længden TV. Betragtes en strækning af længden L, vil der da befinde sig følgende antal biler med hastigheden V:

$$m = n\frac{L}{TV}$$

Strækningsmiddelhastigheden bliver ved indsættelse i udtryk (2.13):

$$\overline{V}_S = \frac{n_1\frac{L}{TV_1}V_1 + n_2\frac{L}{TV_2}V_2 + \ldots}{n_1\frac{L}{TV_1} + n_2\frac{L}{TV_2} + \ldots} = \frac{m_1 + m_2 + \ldots}{\frac{m_1}{V_1} + \frac{m_2}{V_2} + \ldots} \qquad (2.15)$$

Eksempel 2.2
På en 100 km vejstrækning kører 50 biler med 50 km/h og 50 biler med 100 km/h. Ved benyttelse af udtrykkene (2.13) og (2.14) fås:

$$\overline{V}_S = \left(\frac{50\cdot 50 + 50\cdot 100}{50+50}\right)\text{km/h} \quad = 75{,}0\ \text{km/}$$

$$\overline{V}_T = \left(\frac{50\cdot 50^2 + 50\cdot 100^2}{50\cdot 50 + 50\cdot 100}\right)\text{km/h} = 83{,}3\ \text{km/h}$$

Eksemplet viser, at snitmiddelhastigheden er større end strækningsmiddelhastighed. Sammenlignes (2.12) med (2.15) eller (2.13) med (2.14), kan det generelt vises, at $\overline{V}_T \geq \overline{V}_S$.

De to sidste typer af hastighed defineres på følgende måde. *Rejsehastigheden* er køretøjets effektive hastighed mellem to punkter. Rejsehastigheden er således den reciprokke værdi af rejsetiden pr. længde. *Kørehastigheden* er den gennemsnitlige hastighed mellem to punkter, når køretøjet er i bevægelse. Den beregnes som den kørte længde divideret med den effektive køretid (ekskl. stop). En sammenligning mellem rejsehastighed og kørehastighed angiver bl.a. køproblemer og forsinkelser.

Dataindsamlingsteknikker

Måling af snithastighed foretages normalt ved hjælp af to sensorer eller en radarpistol. Anvendes to sensorer måles tidsrummet, som det tager at køre mellem de to sensorer. Da afstanden mellem dem kendes, kan hastigheden beregnes. I Danmark benyttes almindeligvis to induktive spoler til måling af hastighed. Radarpistol benyttes typisk i forbindelse med specialstudier.

Stræknings-, rejse- og kørehastighed må bestemmes ud fra observationer over e strækning eller mellem to punkter. Principielt kan de måles på to måder: und kørsel og stationært. Til måling af hastighed under kørslen anvendes en testb som følger trafikstrømmen. I den stationære måling placeres observatorer lan vejstrækningen.

Måles hastigheden under kørsel, benyttes almindeligvis principperne den "fl dende" bil eller den "jagende" bil. I teknikken med en "flydende" bil forsøg køreren af testbilen at holde trafikstrømmens gennemsnitlige hastighed. Kørere noterer antallet af biler, som overhaler testbilen, og antallet af biler, som testbile overhaler, og forsøger at udjævne de to tal. Når de to tal er ens, siges bilen "flyde" i trafikken. I teknikken med en "jagende" bil følger testbilen en tilfældi valgt bil i trafikstrømmen. Hastighedsprofilerne for de udvalgte biler registrere ved hjælp af udstyr i testbilen. Disse to teknikker giver detaljerede hastighedsda ta. De er imidlertid for kostbare til større dataindsamlinger.

Måles hastigheden ved hjælp af stationære observatører kan man fx benytt nummerskrivningsanalyser, input-output analyser og observationer fra et høj punkt. I en nummerskrivningsanalyse placeres observatører på udvalgte stede og noterer bilernes indregistreringsnummer samt tidspunkt for passagen. Sam menlignes numrene kan rejsetiden bestemmes. Nummerskrivningsanalyser an vendes også til indsamling af efterspørgselsdata, hvorfor teknikken beskrive nærmere i næste afsnit. Input-output analyser minder lidt om nummerskriv ningsanalysen, men den er mindre ressourcekrævende. Den er baseret på prin cippet om, at differencen mellem to talsæts middelværdi er den samme som der gennemsnitlige difference mellem talsættene. Der placeres en observatør ved strækningens begyndelse og en observatør ved slutningen. De noterer antallet a bilpassager pr. tidsinterval (fx 1 minut). Derefter beregnes de gennemsnitlige ankomsttider, som trækkes fra hinanden. Derved beregnes den gennemsnitlige rejsetid mellem de to poster.

Fra et højt punkt kan trafikbevægelserne registreres enten manuelt eller ved hjælp af video. Derved kan rejsetider og trafikbevægelser bestemmes for de enkelte køretøjer. Teknikken giver meget præcise oplysninger, men er meget ressourcekrævende.

Hastighedsmålinger på hovedlandeveje

Vejdirektoratet har siden 1971 foretaget hastighedsmålinger på hovedlandevejene. Frem til 1987 blev nogle af hastighedsmålingerne udført med radarpistoler. I dag anvendes alene automatisk måleudstyr baseret på to induktive spoler. Hastighedsdata overføres normalt fra markstationen til kassettebånd eller disketter.

Enkelte markstationer er udstyret med et modem, så data via telefonen kan overføres til kontoret.

Omfanget af målesteder er udvidet gennem årene. I 1986 blev der målt hastigheder 27 steder. I 1989 var det steget til 75 steder, som var fordelt med 16 steder på motorveje, 6 steder på motortrafikveje, 41 steder på to-sporede hovedlandeveje i åbent land og 12 steder på tosporede hovedlandeveje i bymæssig bebyggelse. Stederne er geografisk fordelt over landet.

Kun få steder måles hastigheden permanent hele året. Ved de øvrige steder måles hastigheden ca. hver femte uge, det vil sige ca. 10 uger pr. år.

Resultaterne af målingerne er: snitmiddelhastighed, andel biler, som har overskredet stedets hastighedsgrænse, og andel biler, som har overskredet stedets hastighedsgrænse plus 10 km/h. Resultaterne opdeles efter kørespor og type dag (hverdag, lørdag og søndag). Hastighederne opdeles normalt ikke efter køretøjstype (køretøjslængde).

2.7 Turmønsterbeskrivelser

En turmønsterbeskrivelse er en beskrivelse af udgangspunkter og bestemmelsessteder for ture og kortlægning af rejseruterne. Det er i Danmark blevet skik og brug at kalde sådanne undersøgelser for trafikanalyser. Det engelske udtryk "origin and destination survey" forkortet til OD survey ses også benyttet i dansk litteratur. Formålet med analyserne er bl.a. at indhente information til opstilling af trafikmodeller, så effekter af nye veje, lukning af veje mv. kan belyses.

Turbegreber

Det er vigtigt at få afgjort, hvad man vil forstå ved en tur, før trafikanalysen iværksættes. Anvendes forskellige dataindsamlingsteknikker i forbindelse med trafikanalysen, eller ønskes turtallene sammenlignet med andre undersøgelser, er det særlig vigtigt at præcisere turbegrebet.

En tur kan fx defineres som en kørsel i én retning og uden længerevarende ophold mellem udgangsområde og målområde. En sådan definition anvendes typisk i nummerskrivningsanalyser. En tur kan også defineres mere snævert som en envejstur mellem to betydende opholdssteder. Et betydende opholdssted er i den forbindelse et sted, som påvirker rutevalget. Eksempelvis betragtes et ophold ved en benzintank ikke som et egentlig ophold men som et led i turen. Derimod betragtes fx en rejse fra arbejdspladsen via et indkøbscenter til boligen normalt som to ture. Det kan i visse tilfælde være hensigtsmæssigt at arbejde med turkæder, det vil sige kæder af enkeltture. Således er rejsen arbejdsplads-indkøbscenter-bolig et eksempel på en turkæde.

Dataindsamlingsteknikker

Der findes et antal forskellige teknikker, som kan anvendes ved indsamling af turdata. Valget af teknik afhænger af projektets formål, detaljeringsgrad og analyseområdets størrelse. Der anvendes almindeligvis en af følgende teknikker, hvis der foretages dataindsamling i et større område:

- nummerskrivning
- stopinterview
- postkort
- hjemmeinterview

En nummerskrivningsanalyse kan give oplysninger om ture igennem et område og ture til/fra et mindre antal områder. Ønskes oplysninger om udgangspunkt, bestemmelsessted og turformål nærmere præciseret er det nødvendigt at benytte en af de tre andre teknikker.

Foretages trafikanalysen i et mindre område, eller er formålet alene at kortlægge rejseruterne, kan man bl.a. benytte følgende dataindsamlingsteknikker:

- registrering af trafikkens bevægelser fra et højt punkt
- "bilforfølgelse"
- registrering af trafikkens bevægelser ved en kæde af walkie talkie

I det følgende behandles nummerskrivnings- og stopinterviewanalyser nærmere, da de har stor udbredelse både i Danmark og i udlandet. De øvrige teknikker omtales kun kort.

Nummerskrivningsanalyse

På udvalgte steder placeres observatører, som registrerer indregistreringsnummer, køreretning og passagetidspunkt (fx i 1-minuts intervaller) for hvert køretøj. Ved sammenligning af data kan bl.a. køretøjers ruter, gennemfartstrafikken i analyseområdet eller trafikkens udgangspunkt og mål i et område bestemmes.

Definition af en analysering og placering af analyseposter er typisk nogle af de første opgaver i en nummerskrivningsanalyse. Dette er i øvrigt fælles med stopinterviewanalyser og postkortanalyser.

I det mest simple tilfælde analyseres trafikken gennem en enkelt ring, der er lagt omkring analyseområdet. Derved kan gennemfartstrafik og ærindetrafik bestemmes. Ærindetrafikken består af ture, som har det ene turendepunkt inden for

ringen og det andet uden for ringen. I praksis skelnes mellem gennemfarts- og ærindetrafikken på grundlag af gennemkørselstiden, som er den tid, det tager at køre igennem analyseområdet uden ophold. Der defineres normalt et genfindingsinterval som intervallet mellem den maksimale og minimale gennemkørselstid. Genfindes nummerpladen inden for genfindingsintervallet, betragtes turen som gennemfartstrafik.

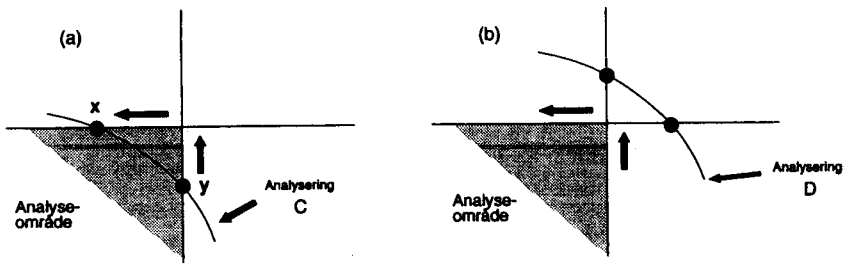
Den simple ringanalyse kan udvides ved anvendelse af analyseposter inden for ringen eller ved et system af "ringe".

Analyseposterne skal placeres omhyggeligt, så tvetydig datafortolkning undgås, og antallet af analyseposter minimeres. Figur 2.8 viser et eksempel på en uheldig placering af analyseposter. Placering af analyseposterne i situation a) betyder, at venstresvinget fra post Y til X ligger uden for ringen. Et venstresving kan således fortolkes som to ture (en tur ud af området ved post Y og en tur ind i området ved post X), når data analyseres. Problemet kan løses ved placering af en ekstra analysepost eller ved placering af analyseposterne som angivet i situation b).

Der placeres normalt ikke analyseposter ved mindre indfaldsveje, da det er for ressourcekrævende. Derimod tælles trafikken på de mindre indfaldsveje ofte maskinelt i en uge omkring analysetidspunkt. Trafikmønstret fra en nærliggende analysepost overføres derefter til den maskinelle tælling.

Analysetidspunktet afhænger af formålet med projektet. I Danmark gennemføres trafikanalyser normalt i april, maj, september og oktober måneder, så sommerferietrafikken og dårlige vejrforhold undgås. Tirsdag, onsdag og torsdag foretrækkes som analysedage, idet de giver det bedste billede af hverdagstrafikken. Nummerskrivningsanalyser gennemføres typisk i tidsrum på 2-3 timer i myldretidsperioden. Mere omfattende analyser gennemføres fra kl. 6 til kl. 18, hvilket bl.a. forbedrer opregningen af trafikken til fx ÅDT.

På grund af det større registreringsbesvær og forøgede fejlmuligheder anvendes ikke samme detaljerede køretøjsklassifikation ved nummerskrivningsanalyser



Figur 2.8 Eksempler på placering af analyseposter: (a) dårlig, (b) god.

som ved manuelle tællinger. Køretøjerne opdeles alene i få klasser (fx person- og varebiler samt lastbiler mv.). Mange gange foretages ingen køretøjsklassifikation.

Registreringen foretages normalt ved hjælp af blyant og papir eller ved hjælp af en båndoptager. Valget afhænger bl.a. af trafikmængden. På veje med mindre trafik benyttes almindeligvis blyant og papir, hvor observatøren aflæser nummerpladen og noterer nummeret. På veje med mere trafik kan analysen gennemføres ved hjælp af to personer, hvor den ene aflæser, og den anden noterer, eller ved hjælp af en kassettebåndoptager. Tabel 2.4 illustrerer tællekapacitet for øvede tællere under normale forhold, når fem cifre aflæses.

Metode	Tællekapacitet
En tæller aflæser og skriver, trafik i begge retninger:	100 biler/time
En tæller aflæser og skriver, trafik i én retning i et spor:	200 biler/time
To tællere, den ene aflæser, den anden skriver, trafik i én retning i et spor:	500 biler/time
En tæller indtaler numrene på en båndoptager, trafik i én retning i et spor:	900 biler/time

Tabel 2.4 Registreringsteknik og tællekapacitet ved aflæsning af fem cifre.

Man kan eventuelt nøjes med at notere køretøjer, hvis numre ender på bestemte cifre eller har en bestemt farve. Denne fremgangsmåde kan imidlertid ikke anbefales, idet registreringskapaciteten kun stiger marginalt, og fejlmulighederne forøges betydeligt.

Derimod kan antallet af cifre, som registreres, reduceres. Det er et kompromis mellem registreringsnøjagtighed og forvekslingsfejl. Registrering af færre cifre medfører større registreringsnøjagtighed. Til gengæld stiger risikoen for forveksling af nummerplader. Danmark er det praksis at registrere de tre sidste cifre på nummerpladen. Hvis der registreres tre cifre i stedet for fem cifre, kan tallene i tabel 2.4 forhøjes med ca. 50%.

Praktiske erfaringer viser, at registreringsunøjagtigheder overstiger fejl forårsaget af forvekslinger. Danske erfaringer viser, at 3-12% af registreringerne er behæftet med fejl. Manglende registrering, fejlnotering af et ciffer eller kørselsretning er typiske fejl. Sådanne fejl udelukker normalt, at numre kan parres, hvilket resulterer i en overestimation af ærindetrafikken (ture med udgangspunkt eller bestemmelsessted i analyseområdet). Der må således foretages en korrektion for registreringsunøjagtighederne. Der kan eksempelvis anvendes følgende formel til estimering af den gennemkørende trafik M_T':

$$M_T' = \frac{M_T}{A(P) \cdot A(Q)}$$

M_T: antallet af parrede nummerplader
A(P), A(Q): registreringsnøjagtigheden ved post P og Q

Opstart og afslutning udgør et særligt problem. De første køretøjer, som forlader analyseområdet, vil blive fortolket som ærindekørsel, selvom de måske er gennemkørende ture. Et tilsvarende problem opstår ved analysens afslutning, hvor de sidste køretøjer, der kører ind i området, også vil blive fortolket som ærindekørsel. Der anvendes almindeligvis en af følgende måder til justering af fejlen:

- Alle observationer, der ligger inden for et givet tidsrum fra analysens start og afslutning, bortkastes. Tidsrummet bestemmes ud fra den normale gennemkørselstid
- Ved manuel parring af nummerpladerne bestemmes tidspunktet, hvor den første bølge af køretøjer ind i området ses forlade området igen. Observationer før det tidspunkt bortkastes. En tilsvarende fremgangsmåde anvendes ved analysens afslutning

En uddybende behandling findes bl.a. i "Vejledning i nummerskrivningsanalyse".[4] Der er også udviklet edb-programmer til efterbehandling af de indsamlede data.

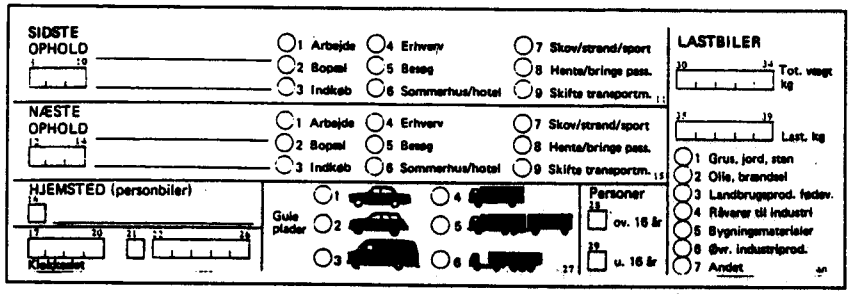
Stopinterviewanalyse

Ved stopinterviews dirigeres køretøjerne ind til analyseposten, hvor chaufføren interviewes om den pågældende tur ud fra et udarbejdet spørgeskema. Det giver mulighed for indsamling af mere detaljerede og nøjagtige data, end det er muligt ved nummerskrivningsanalysen. Til gengæld er stopinterviewanalysen dyrere at gennemføre end nummerskrivningsanalysen.

Spørgeskemaet skal være kort, utvetydigt og kun indhente data, som er relevant for det pågældende projekt. Spørgeskemaet indeholder almindeligvis spørgsmål om turens udgangspunkt, turens bestemmelsessted og turformålet. Vejdirektoratet har udviklet et standardspørgeskema, som kan anvendes ved de fleste almindelige stopinterviewanalyser. Spørgeskemaet er gengivet i figur 2.9.

Intervieweren noterer selv interviewtidspunkt, køretøjstype og eventuelt antallet af passagerer i bilen. Interviewet kan omfatte spørgsmål om lastbilers totalvægt og godstype samt personbilers hjemadresse. En praktisk regel siger, at hvert interview helst ikke må tage mere end 30 sekunder. Tager interviewene længere, begynder bilisterne at blive irriterede, og datakvaliteten bliver ringere.

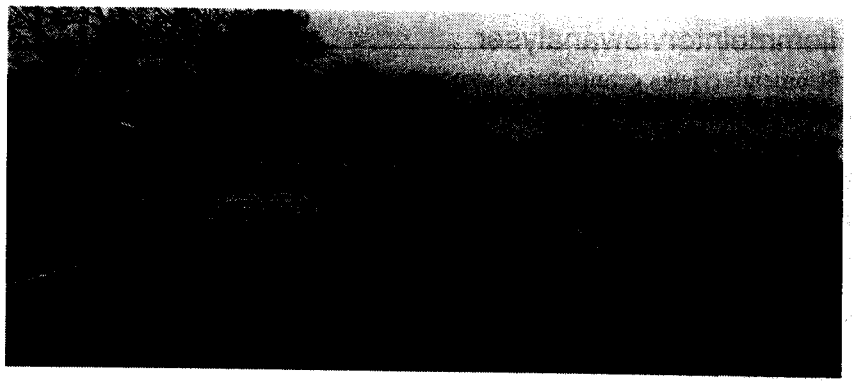
Antallet af interviewere pr. analysepost afhænger af den valgte stikprøvestørrelse og vejens trafikmængde. Normalt gennemføres stopinterviews kun i den ene retning fx ud af byen. Hidtil har Vejdirektoratet ved almindelige stopinterviewanalyser tilstræbt en stikprøvestørrelse på 50-80% af trafikken i analyseretningen. Dog må det frarådes at anvende mere end 7 interviewere pr. post, idet et større antal vanskeliggør en gnidningsfri afvikling af analysen.



Figur 2.9 Vejdirektoratets standardspørgeskema ved stopinterviews.

En analysepost er typisk bemandet med 3-7 interviewere. 1 eller 2 tællere, en politibetjent og en postleder. Tællerne tæller trafikken i begge retninger, hvorved stikprøvestørrelsen kan beregnes. Politibetjenten dirigerer eventuelt bilisterne ind til analyseposten - ellers består opgaven i at overvåge trafikafviklingen og skride ind i tilfælde af køproblemer o.l. Postlederen skal udstyre analyseposten og vejlede interviewerne, der ofte er elever fra de nærmeste gymnasier, tekniske skoler o.l. Analyseposten skal afmærkes af sikkerhedsgrunde. Postlederen installerer ofte automatisk tælleudstyr, så trafikken tælles maskinelt lige omkring analysetidspunktet. Dette forbedrer opregningen af analysetrafikken til ÅDT eller hverdagsdøgntrafik.

I kodningen omsættes stednavnet for turens udgangspunkt og bestemmelsessted til et zonenummer. Praktiske erfaringer viser, at det er en god ide at lade interviewerne kode deres egne interviews. Derved reduceres antallet af fejl, fordi håndskrift kan være svær at læse. Foretages analysen eksempelvis fra kl. 6 til kl. 18, anvendes to hold af interviewere. Det første hold interviewer de første 6 timer,



Stopinterviewanalyser benyttes ofte til turmønsterbeskrivelser.

hvorefter de koder. Det andet hold starter kl. 12 og gennemfører derefter den samme rutine.

Postkortanalyser

Hvis uddybende data skal indsamles, så stopinterviewet tager over et minut, bør postkortanalyse anvendes frem for stopinterviewanalyse. Der udleveres til chaufføren et postkort med spørgeskema, som skal udfyldes og returneres. Postkortet bør være frankeret, så svarprocenten bliver større.

Stor trafik kan være en anden årsag til at foretrække postkortanalysen. Det kan være farligt at gennemføre stopinterviewanalyser på meget trafikerede vejstrækninger, og risikoen for at skabe køproblemer er stor. Eksempelvis foretrækkes postkortanalyser ofte på motorvejsramper.

Analyser på meget trafikerede motorveje er et særligt problem, idet det er praktisk umuligt at stoppe trafikken. I USA anvendes i sådanne tilfælde en teknik, hvor bilernes nummerplader videoregistreres. Videoregistreringen giver færre fejlaflæsninger end ved manuelle noteringer af numrene. Derefter sendes et postkort med spørgeskema til ejeren af bilen, hvori der spørges om den pågældende tur. Det er nødvendigt at postkortet udsendes hurtigt (helst inden for 2 dage), ellers glemmer chaufføren den pågældende tur.

Det er umuligt at sikre sig, at postkortanalysens resultater bliver repræsentative for de forskellige befolkningsgrupper og for de forskellige geografiske områder. Resulterer postkortanalysen i en lav svarprocent (under 20-25%), skal man især være opmærksom på mulige systematiske fejl. Svarprocenten ved almindelige postkortanalyser i Danmark er sædvanligvis 30% til 50%. Erfaringer fra USA viser, at svarprocenter på 30% kan opnås ved udsendelse af postkort til hjemmene.

Hjemmeinterviewanalyser

Hjemmeinterviews gennemføres som mundtlige interviews i hjemmene. Det er den dyreste analysemetode, som findes, men den har mange fordele. Bl.a. kan der indsamles data om turene inden for en analysering, og detaljerede spørgsmål kan gennemføres. Dog bør omfanget holdes begrænset også ved denne analysetype.

På grund af de store omkostninger gennemføres kun få hjemmeinterviewanalyser i Danmark. Et eksempel er de tidligere gennemførte TU-trafikundersøgelser,[5] hvor husstande udspørges om deres rejsevaner. I dag gennemføres TU-trafikundersøgelserne som telefoninterview. Disse undersøgelser er nærmere omtalt i kapitel 1.

Andre analyseteknikker

Af andre mere specielle teknikker skal nævnes registrering fra et højt punkt, "bilforfølgelse" og "walkie talkie forfølgelse".

Fra et højt punkt kan trafikbevægelser i et kryds eller på en mindre vejstrækning observeres. Det kan være en fordel at anvende videoregistrering frem for manuel observation, idet datanøjagtigheden bliver større. Teknikken kan kun anvendes i tilfælde med få zoner, og hvor der findes et tilgængelig højt punkt.

"Bilforfølgelsen" svarer principielt til den "jagende" bil under hastighedsmåling, blot registreres trafikmønstre i stedet for hastighedsprofiler. Teknikken er ressourcekrævende set i forhold til den indsamlede datamængde, men kan anvendes ved mindre studier.

En række personer, der kan kommunikere indbyrdes vha. walkie talkie, placeres strategiske steder i et område, hvor fx bilernes rutevalg ønskes undersøgt. Nu "forfølges" udvalgte biler og deres ruter registreres.

Appendix 2.1 - Manuelle trafiktællinger

Dette appendix er uddrag af "Vejledning i manuelle trafiktællinger", Vejdirektoratet, Arbejdsgruppen om manuelle tællinger, 1987.[3]

1. Valg af tælletidspunkt

Tælletidspunktet er meget afgørende for hvilke resultater, der kan opnås. Det er derfor vigtigt at klarlægge tællingens formål og ønskede resultater, inden tælletidspunktet fastlægges.

For en tælling skal fastlægges
- antal tællinger (pr. år ved løbende tællinger)
- tælle "datoerne" (angivet som fx en onsdag i september osv.)
- tælleperiodens længde for den enkelte tælling
- tælleperiodens placering inden for dagen

Retningslinier

Den nøjagtighed, der kræves af tælleresultaterne, er afgørende for tælleomfanget. I tabellen på næste side er opstillet eksempler på forskellige typer tællinger og hvilken tælleusikkerhed, der almindeligvis kan accepteres for hver type, samt hvilket tælleomfang der tilgodeser dette krav.

Tallene bygger på erfaringer fra tællinger i kommuner, amtskommuner og i Vejdirektoratet samt norske analyser af hvilken sikkerhed, der må kræves af et tællerresultat.

Usikkerhed ved trafiktællinger

Vejdirektoratet har på grundlag af et stort datamateriale gennemført analyser af usikkerheden ved trafiktællinger. Ud fra resultaterne af disse analyser er der i tabel 1 formuleret nogle "gode råd", der sigter mod at minimere usikkerheden på det endelige tælleresultat. En egentlig gennemgang af begrebet usikkerhed ved trafiktællinger ligger dog uden for rammerne af denne vejledning.

Tællemåneder

Generelt anbefales det at tælle i månederne april, maj, september og oktober. Tællinger i juli samt i den øvrige del af skoleferierne bør normalt undgås. En undtagelse fra reglen er selvfølgelig tællinger, der skal belyse ferietrafik. For lastbiltællinger gælder, at industriferien bør undgås.

På strækninger, hvor trafikkens årstidsvariation er stor, bør tælledagene placeres i overensstemmelse med ens viden om trafikkens variation. I øvrigt skal tælleomfanget øges for at opnå samme sikkerhed på tælleresultet som for øvrige tælleposter.

Tælledage

Tællinger bør normalt placeres på hverdage inden for tidsrummet kl. 6-18.

Blandt hverdage er tirsdage, onsdage og torsdage mest velegnede, med mindre de støder op til helligedage.

En lang tælling kan normalt med fordel erstattes af to tællinger af den halve varighed på to forskellige dage. Især for cykel/knallerttrafik, der varierer meget som følge af vejrlig og årstid, er der stor fordel ved at dele tællingen op i flere korte tællinger på forskellige dage.

Tælleperioder

For 6- og 3-timers cykel-/knallerttællinger opnås ofte de bedste resultater ved at tælle i perioderne kl. 11-18, henholdsvis kl. 14-17. Man skal dog være opmærksom på skoler og lign., som kan have afgørende indflydelse på cykel-/knallerttrafikkens fordeling på dagen.

6- og 3-timers tællinger af person-/varebiltrafikken bør normalt foretages inden for perioderne kl. 11-18, henholdsvis kl. 13-17, for at opnå størst mulig sikkerhed på tælleresultatet.

Tællingens formål	Anbefalede tællinger			Bemærkninger[2]
	Antal tællinger pr. år	Tælleperiodens længde (timer)	Tælleperiodens placering (kl.-kl.)	
Generel viden om trafikmængder og køretøjssammensætning på strækninger[1]	1	12	6-18	Usikkerheden på den totale biltrafik vil være 10-15% og på cykel/knallerttrafikken 30-35%
	2	6	12-18	
Et sammenfattende tal, der beskriver trafikbelastningen	1	6	12-18	Usikkerheden på den totale trafik udtrykt i personbilenheder vil være 10-15%
Beregning af vejslid ($Æ_{10}$-belastning)[1]	1	12	6-18	Usikkerheden på den beregnede $Æ_{10}$-belastning vil være 15-20%
	2	6	10-16	
Trafikøkonomiske vurderinger af vejprojektforslag, herunder beregning af trafikuheldskonsekvenser[1]	1	12	6-18	Usikkerheden på den totale biltrafik vil være 10-15%
	2	6	12-18	
Støjberegninger	1	3	14-17	Usikkerheden på det beregnede støjniveau vil være ca. 1 dB
Trafiksanering og -regulering	2	6	12-18	Usikkerheden på den totale biltrafik vil være 10-15% og på cykel/knallerttrafikken 30-35%
Vurdering af behovet for cykelstier	2	6	12-18	Usikkerheden på den totale biltrafik vil være 10-15% og på cykel/knallerttrafikken 30-35%
Beregning af kapacitet i kryds	1	6	6-9 15-18	

[1] Det anbefales *enten* at foretage en 12-timers tælling *eller* to 6-timers tællinger
[2] Med usikkerhed menes usikkerheden på beregnet trafik i forhold til sand trafik

Tabel 1 Tælleperioder og usikkerhed.

6- og 3-timers lastbiltællinger kan sædvanligvis placeres frit inden for perioderne kl. 9-18, henholdsvis kl. 12-17.

Ved krydstællinger er man normalt interesseret i at kende trafikken i de største timer. Derfor bør krydstællinger omfatte både morgen- og eftermiddagsmyldretiden.

Usikkerhed

Hvis et tælleresultat, T, er bestemt med en usikkerhed på U%, vil det sande tælleresultat i ca. ⅔ af tilfældene ligge i intervallet T ± U%, men i ca. ⅓ af tilfældene ligge uden for dette interval. I 19/20 af tilfældene vil det sande trafiktal ligge i intervallet T ± 2U%

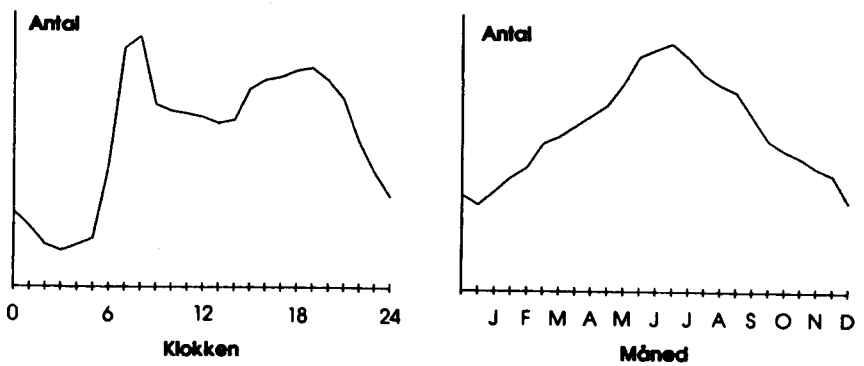
Usikkerheden på et tælleresultat består dels af den *tilfældige usikkerhed* (dvs. usikkerheden som følge af tællefejl og trafikkens tilfældige variation), dels af *opregningsusikkerheden* (dvs. den usikkerhed, der er forbundet med at opregne fx en 12-timers tælling til årsdøgntrafik). Disse to usikkerheder er ofte af samme størrelsesorden.

Den tilfældige usikkerhed kan mindskes ved at øge antallet af tællinger. Hvis den tilfældige usikkerhed er U%, når der gennemføres 1 tælling, vil den være,

$$\frac{U\%}{\sqrt{n}}$$

hvis der gennemføres n tællinger. Opregningsusikkerheden kan *ikke* mindskes ved at øge antallet af tællinger.

Man skal være opmærksom på, at usikkerheden på "små" trafiktal (fx højresvingende lastbiler med sættevogn) er meget stor. Analyser tyder på, at de meget store usikkerheder (over 50%) optræder, når antal talte køretøjer er under 10-20.



Figur 1 *Trafikkens variation over døgnet og over året.*

2. Behandling af tælleresultater

Når tælleskemaerne er samlet ind, kontrolleres materialet. Derefter foretages eventuelle opregninger af trafiktallene - til fx årsdøgntrafik og endelig anskueliggøres hovedresultaterne ofte i skemaer. Hvis tællematerialet skal edb-behandles, foretages først kontrol og indtastning af data, hvorefter de ønskede resultater beregnes maskinelt.

Kontrol

For de indkomne tælleskemaer kontrolleres det,
- at skemaerne fra alle poster og alle tidsperioder er afleveret,
- om stregerne er talt sammen i sumkolonnen (ellers gøres det),
- om tallene ser rimelige ud,
- om der på skemaet er påført væsentlige bemærkninger

Opregning generelt

Da man sjældent tæller i hele den periode, man er interesseret i at kende trafikken for, er man ofte nødt til at foretage en opregning af trafiktallene. Opregningen vil i de fleste tilfælde med fordel kunne baseres på relevante lokale tælledata, hvis sådanne findes. I modsat fald kan man benytte de opregningsfaktorer, der er anført i de følgende afsnit.

Hvis man har flere tællinger foretaget på samme tællepost, opregnes tællingerne hver for sig, og det endelige tælleresultat fås ved at tage gennemsnittet af de opregnede trafiktal.

Opregning til årsdøgnstrafik, ÅDT

Ved anvendelse af årsdøgntrafiktal skal man være opmærksom på, at disse kan være beregnet ud fra enten maskinelle eller manuelle tællinger. Hvis der er udført både en maskinel og en manuel tælling på en post, bør man normalt anvende maskinelle tælleresultat, hvis man kun er interesseret i det totale trafiktal.

Opregning af trafiktal foretages ved hjælp af opregningsfaktorer, der ganges med den talte trafik. I princippet bør der benyttes et sæt opregningsfaktorer for hver køretøjsart, men i praksis slås køretøjsarterne sammen i de fem køretøjsgrupper, der er vist i tabel 2.

Opregningen fra talt hverdagstrafik af en bestemt køretøjsgruppe til årsdøgntrafik et et givet år sker ved hjælp af formlen:

Faktorer til opregning fra talt trafik til årsdøgntrafik									
		Opregningsfaktor for							
Opregning	Tælle-tidspunkt	Person- og vare-biler under 2 t + busser [1]		Vare- og last-biler 2-6 t	Solo-last-biler over 6 t	Lastbiler m. på-hæng/sættevogn		Cykler, knallerter og motorcykler [2]	
Fra talt hverdags-trafik til 6-18 hverdagstrafik (F_{6-18})	kl. 6-18	1,0		1,0	1,0	1,0		1,0	
	kl. 6-9	5,4[3]		4,3	4,4	4,4		4,8	
	kl. 6-12	2,5		2,1	1,9	2,0		2,7	
	kl. 10-16	2,1		2,0	1,8	1,9		2,1	
	kl. 11-17	1,8		1,9	1,9	2,0		1,7	
	kl. 12-18	1,7		2,0	2,1	2,2		1,7	
	kl. 13-16	3,7		3,7	3,6	4,0		3,5	
	kl. 14-17	3,0		3,5	4,1	4,5		3,0	
	kl. 15-18	2,9		3,9	5,2	5,5		3,1	
Fra 6-18 hverdags-trafik til måneds-hverdagsdøgne-trafik (F_{MDHV})		1,30		1,5	1,15	1,30		1,25	
Fra månedshver-dagsdøgntrafik til månedsdøgn-trafik (F_{MD})		By/op-lands-trafik [4]	Udflugt/ ferie-trafik [5]						
		0,90	1,00	0,78	0,71	0,71		0,85	
								By og lands-trafik [4]	Udflugt/ ferie-trafik [5]
Fra månedsdøgn-trafik til ÅDT ($F_{ÅDT}$)	jan.	1,14	1,39	1,16				1,7	2,0
	feb.	1,05	1,23	1,05				1,4	2,0
	mar.	1,00	1,15	1,00				1,3	1,7
	apr.	0,98	0,98	0,94				1,0	1,1
	maj	0,95	0,93	0,95				0,9	0,8
	jun.	0,92	0,83	0,93				0,8	0,7
	jul.	1,02	0,71	1,49				0,9	0,6
	aug.	0,96	0,80	1,02				0,8	0,6
	sep.	0,93	0,97	0,90				0,7	0,8
	okt.	0,96	1,02	0,90				0,9	1,0
	nov.	1,00	1,11	0,93				1,1	1,4
	dec.	1,12	1,35	0,96				1,4	1,7
Rfa ÅDT tæller-året til andre år ($F_{År}$)	Fra år	Til år	Person- og vare-biler un-der 2 t	Busser	Vare- og last-biler 2-6 t	Solo-last-biler over 6 t	m. på-hæng	m. sætte-vogn	Cykler	Knaller-ter
	78-79		0,98	1,06	1,00	1,00	1,00	1,00	1,04	0,92
	79-80		0,95	1,04	1,01	0,88	0,91	0,89	1,05	0,60
	80-81		0,98	1,01	0,99	0,92	0,85	0,89	1,05	0,92
	81-82		1,01	1,04	1,00	1,00	0,98	1,01	1,00	1,21
	82-83		1,04	1,05	1,02	1,01	1,00	1,11	0,99	1,00
	83-84		1,05	1,00	1,06	0,99	1,16	1,07	1,03	0,93
	84-85		1,05	1,03	1,09	1,00	1,01	1,12	0,90	0,91
	85-86		1,05	1,05	1,10	1,00	1,05	1,10	1,04	1,01

[1] Opregningsfaktorerne i denne kolonne kan med god tilnærmelse anvendes ved opregning af al biltrafik under ét.

[2] Opregningsfaktorerne for cykler, knallerter og motorcykler er behæftet med relativ stor usikkerhed.

[3] Opregningsfaktoren fra 6-9 trafik til 6-18 trafik kan variere meget fra sted til sted for personbilernes vedkommende. Variationen er imidlertid lille for by- og oplandstrafik.

[4] Denne kolonne anvendes for veje, det er domineret af bolig-arbejdssted- og bolig-indkøbsture samt erhvervsture og lign.

[5] Denne kolonne anvendes for veje, der visse dele af året er domineret af udflugts- og ferietrafik.

Tabel 2

$$ÅDT = T \times F_{6-18} \times F_{MDHV} \times F_{MD} \times F_{ÅDT} \times F_{ÅR}$$

T: talt trafik på en del af en hverdag

F_{6-18}: opregningsfaktoren fra talt hverdagstrafik til hverdagstrafik for perioden kl. 6-18

F_{MHDV}: opregningsfaktoren fra 6-18 hverdagstrafik til månedshverdags-døgntrafik

F_{MD}: opregningsfaktoren fra månedshverdagsdøgntrafik til månedsdøgntrafik.

$F_{ÅDT}$: opregningsfaktoren fra månedsdøgntrafik til årsdøgntrafik, ÅDT (sæsonfaktoren)

$F_{ÅR}$: opregningsfaktoren fra ÅDT i det år, tællingen foregår, til ÅDT i det år, tælleresultatet ønskes for (årskorrektionsfaktoren)

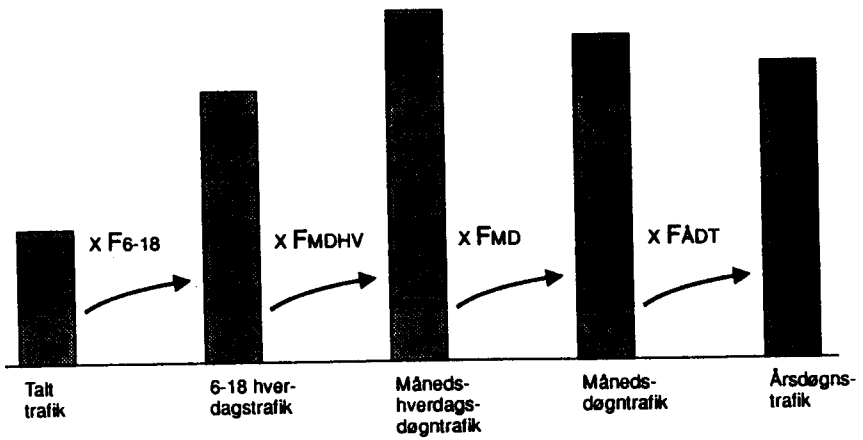
I tabel 2 er vist opregningsfaktorer for nogle af de mest anvendte tælleperioder og køretøjsgrupper.

Eksempel

Eksempel på opregning af talt trafik til $ÅDT_{1982}$: Der er observeret 314 cykler og knallerter tirsdag den 21. september 1982 i perioden kl. 14-17 på en indfaldsvej til en by. Ved anvendelse af de anførte opregningsfaktorer og formlen kan cykel-/knallert-årsdøgnstrafikken i 1982 beregnes til:

$$ÅDT_{1982} = 314 \times 3{,}0 \times 1{,}25 \times 0{,}85 \times 0{,}7 \times 1{,}00 = 701 \sim 700$$

Opregning til årsdøgntrafik:



Figur 2 *Opregning af årsdøgnstrafik.*

	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
Biler	110	116	122	126	129	133	136	138
CK-trafik	91	90	110	103	106	103	105	101

Tabel 3 Trafikudviklingen siden 1986 (indextal).

Beregning af 30. højeste time

Til dimensionering af veje anvendes ofte trafikbelastningen i årets 30. højeste time. Omregningen fra ÅDT til 30. højeste time sker ved hjælp af formlen

$$T_{30} = ÅDT \times F_{30}$$

hvor opregningsfaktoren F_{30} er vist i tabel 4 (se også tabel 3.4).

Trafiktype	Opregningsfaktor, F_{30}, for alle biler under ét
By/oplandstrafik	0,12
Udflugts/ferietrafik	0,17

Tabel 4

Beregning af $Æ_{10}$-belastning

$Æ_{10}$-belastning er en kort betegnelse for "antal ækvivalente 10 tons akseltryk", der defineres som det antal 10 tons aksler, der giver samme påvirkning (udmattelse og nedbrydning) på en vejbefæstelse som alle de i en given periode faktisk forekommende akseltryk.

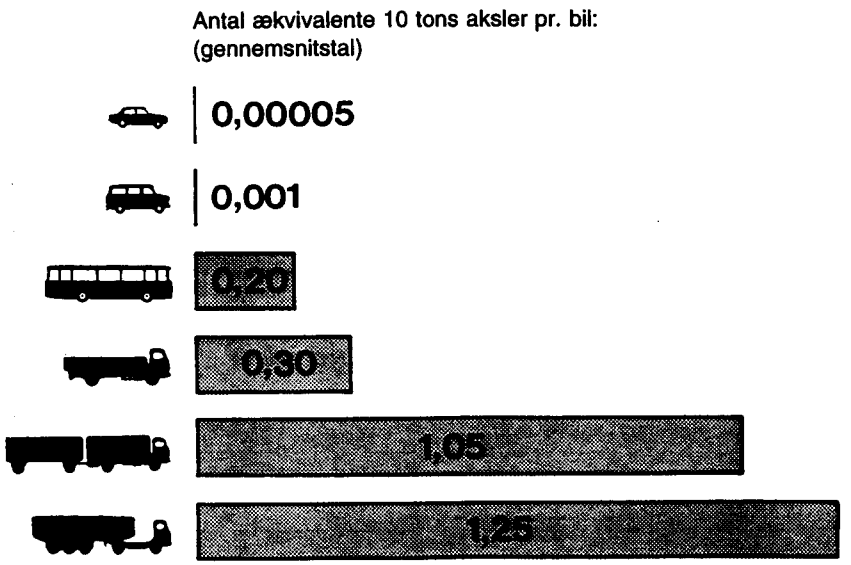
$Æ_{10}$-belastningen er tidligere blevet beregnet ud fra manuelle tællinger, hvor lastbilerne er delt op i et anseligt antal grupper afhængig af vogntogets antal aksler og af forvognens totalvægt og af anhængertypen. Beregningsmetoden er beskrevet i vejregel 7.30.01 Befæstelser, "Vejregler for prioritering og dimensionering af forstærkningsbelægninger", Vejdirektoratet 1979.

En ny undersøgelse har imidlertid vist, at der kun indføres en ekstra usikkerhed på nogle få procent ved i stedet for at beregne $Æ_{10}$-belastningen ud fra den i dette appendix benyttede inddeling af lastvognene. Undersøgelsen er foretaget af økonomisk-statistisk afdeling i Vejdirektoratet, men er ikke publiceret.

$Æ_{10}$-belastningen pr. døgn beregnes ved hjælp af formlen:

$$Æ_{10} = ÅDT \times F_{Æ_{10}}$$

hvor $F_{Æ_{10}}$ er omregningsfaktoren fra ÅDT til $Æ_{10}$-belastningen pr. døgn ($Æ_{10}$-faktoren), se figur 3.



Figur 3 Antal ækvivalente 10 tons aksler pr. bil (gennemsnit).

Da person- og vare/lastbiler under 6 tons totalvægt som det fremgår af figur 3 praktisk talt ikke bidrager til vejsliddet, medtages disse køretøjer ikke i $Æ_{10}$-beregningen. $Æ_{10}$-faktoren, $F_{Æ_{10}}$, for køretøjer over 6 tons totalvægt fremgår af tabel 5.

Køretøjsart	$Æ_{10}$-faktor, $F_{Æ_{10}}$
Sololastbiler med totalvægt over 6 t	0,30
Lastbiler med påhængsvogn	1,05
Lastbiler med sættevogn	1,25
Busser	0,20

Tabel 5

Beregning af antal personbilenheder

Antallet af personbilenheder, pe, på en vej er et udtryk for hvor mange personbiler, der kapacitetsmæssigt giver en belastning svarende til den aktuelle belastning. Antal pe er således et sammenfattende tal for vejens trafikbelastning.

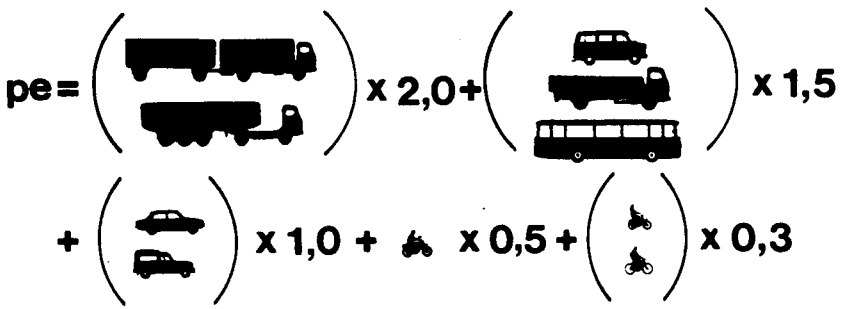
Omregning til pe sker ved at gange antal køretøjer af en bestemt art med en faktor, personbilækvivalenten ($Æ_{pe}$), for den pågældende køretøjsart.

Personbilækvivalenten er især for tunge køretøjer afhængig af vejens stigningsforhold. Der benyttes forskellige sæt værdier for $Æ_{pe}$ rundt om i landet. I vejregel 4.30.01 "Typekatalog for nye veje og stier i åbent land", og vejregelforslag 5.3.22 "Vejledning i valg af standard og geometrisk udformning af vejkryds i åbent land", er opstillet forskellige værdier for personbilækvivalenten. Det er ofte formålet med omregningen, der er afgørende for hvilket værdisæt, der bør anvendes. I figur 4 og tabel 6 er anført ét sæt personbilækvivalenter, der for bilernes vedkommende er baseret på ovennævnte vejregelarbejder, og for de tohjulede køretøjers vedkommende er baseret på den praksis, der anvendes ved beregning af lyssignalanlæg.

Køretøjsart	Personbilækvivalent, $Æ_{pe}$, for vandret vej
Lastbiler med påhængsvogn eller sættevogn	2,0
Sololastbiler, busser og varebiler over 2 t totalvægt	1,5
Personbiler og varebiler på 2 t totalvægt og derunder	1,0
Motorcykler	0,5
Cykler og knallerter	0,3

Tabel 6

Beregning af antal personbilenheder:



Figur 4

Appendix 2.2

I nærværende appendix udledes formler beskrevet i afsnit 2.3.

A. Udledning af formel (2.3)

Det forudsættes, at Y_i er udfald af en stokastisk variabel Y, som har spredningen s. Hvis der er udtaget en stikprøve bestående af N observationer ($Y_1, \ldots, Y_N$), kan fordelingens spredning estimeres på følgende måde, idet $\bar{Y}_R$ er middelværdien:

$$s^2 = \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(Y_i - \bar{Y}_R)^2$$

$$= \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(Y_i^2 - 2\bar{Y}_R Y_i + \bar{Y}_R^2)$$

Idet $2\bar{Y}_R \sum_{i=1}^{N} Y_i = 2\bar{Y}_R N \bar{Y}_R$ fås:

$$s^2 = \frac{1}{N-1}\left[\left(\sum_{i=1}^{N} Y_i^2\right) - N\bar{Y}_R^2\right] \qquad (2.3)$$

B. Udledning af formel (2.5)

I en stratificeret tilfældig stikprøveudtagning opdeles populationen i G grupper. Populationens middelværdi er bestemt ved:

$$\bar{Y}_S = \sum_{g=1}^{G} \bar{Y}_g W_g$$

Variansen på middelværdien estimeres på følgende måde:

$$\mathrm{Var}\,(\bar{Y}_S) = \mathrm{Var}\left(\sum_{g=1}^{G} \bar{Y}_g W_g\right) = \mathrm{Var}(W_1\bar{Y}_1 + \ldots + W_G\bar{Y}_G)$$

$$= W_1^2\,\mathrm{Var}\,(\bar{Y}_1) + \ldots + W_G^2\,\mathrm{Var}\,(\bar{Y}_G)$$

Idet $\mathrm{Var}\,(\bar{Y}_g) = \frac{s_g^2}{N_G}$, hvor s_g er spredning, fås:

$$\text{Var}(\bar{Y}_S) = \sum_{g=1}^{G} W_g^2 \frac{s_g^2}{N_g} \qquad (2.5)$$

C. Udledning af formel (2.6)

De optimale stikprøvestørrelser ($N_1, ..., N_G$) findes ved at minimere (2.5):

$$\min f(N_1, ..., N_G) = \min \sum_{g=1}^{G} W_g^2 \frac{s_g^2}{N_g}$$

under betingelsen:

$$g(N_1, ..., N_G) = N_1 + ... + N_G = N$$

Anvendes en Lagrange-transformation, kan problemet løses ud fra følgende ligningssystem:

$$\begin{cases} \lambda_o \dfrac{df}{dN_1} + \lambda_1 \dfrac{dg}{dN_1} = 0 \\ \vdots \\ \lambda_o \dfrac{df}{dN_G} + \lambda_1 \dfrac{dg}{dN_G} = 0 \\ N_1 + \cdots + N_G = N \end{cases}$$

Ved differentiation af funktionerne fås:

$$\begin{cases} -\lambda_o \dfrac{W_1^2 s_1^2}{N_1^2} + \lambda_1 = 0 \\ \vdots \\ -\lambda_o \dfrac{W_G^2 s_G^2}{N_G^2} + \lambda_1 = 0 \\ N_1 + \cdots + N_G = N \end{cases}$$

Idet $(\lambda_o, \lambda_1) \neq (0,0)$ fås ved successiv substraktion fra den g'te ligning:

$$\begin{cases} \lambda_o \left(\dfrac{W_1^2 s_1^2}{N_1^2} - \dfrac{W_g^2 s_g^2}{N_g^2} \right) = 0 \Rightarrow N_1 = \dfrac{W_1 s_1}{W_g s_g} N_g \\ \vdots \\ \lambda_o \left(\dfrac{W_G^2 s_G^2}{N_G^2} - \dfrac{W_g^2 s_g^2}{N_g^2} \right) = 0 \Rightarrow N_G = \dfrac{W_G s_G}{W_g s_g} N_g \end{cases}$$

Ved indsættelse i betingelsesligningen fås:

$$\frac{W_1 s_1}{W_g s_g} N_g + \cdots + \frac{W_G s_G}{W_g s_g} N_g = N$$

$$N_g = \left(\frac{W_g s_g}{W_1 s_1 + \cdots + W_G s_G} \right) N = \left(\frac{W_g s_g}{\sum_{g=1}^{G} W_g s_g} \right) N \qquad (2.6)$$

D. Udledning af formel (2.7)

Variansen på middelværdien ved stratificeret tilfældig stikprøveudtagning er ifølge (2.5):

$$\text{Var}(\bar{Y}_S) = \sum_{g=1}^{G} W_g^2 \frac{s_g^2}{N_g}$$

Indsættes de optimale stikprøvestørrelser (2.6) i ovenstående udtryk fås:

$$\text{Var}(\bar{Y}_s) = \left[\frac{W_1^2 s_1^2 \sum_{g=1}^{G} W_g s_g}{W_1 s_1 N} + \cdots + \frac{W_G^2 s_G^2 \sum_{g=1}^{G} W_g s_g}{W_G s_G N} \right] \qquad (2.7)$$

$$= \frac{1}{N} \left(\sum_{g=1}^{G} W_g s_g \right) [W_1 s_1 + \cdots + W_G s_G]$$

$$= \frac{1}{N} \left(\sum_{g=1}^{G} W_g s_g \right)^2$$

Litteratur

1 Vejtrafik- og stitrafikmålinger. Behovsanalyse, Vejdirektoratet, Økonomisk-Statistik Afdeling, 1990.

2 M.A.P. Taylor and W. Young, Traffic Analysis New Technology & New Solutions, 1988.

3 Vejledning i manuelle trafiktællinger 2. udgave, Vejdirektoratet, Arbejdsgruppen om manuelle trafiktællinger, 1987.

4 Vejledning i nummerskrivningsanalyser, Vejdirektoratet, Arbejdsgruppen om nummerskrivningsanalyser, 1985.

5 Persontrafik i 1975, 1981 og 1986 - en sammenlignende undersøgelse, Trafikministeriet m.fl., 1988.

Kapitel 3

Fri strækning

Af Steen Leleur

3.1 Grundbegreber

En idealiseret model af et trafiknet kan ses som bestående af strækninger og knudepunkter. Strækningerne betragtes i modellen som lukkede rør, hvorfor trafikken kommer ind på nettet eller forlader det i knudepunkterne. Anvendt på et vejnet svarer knudepunkterne til vejkryds og strækningerne til veje, som forbinder de enkelte vejkryds.

Anvendt på motorvejsnettet er denne model ganske realistisk, idet dette bl.a. er karakteriseret af, at al fra- og tilkørsel er samlet i ikke for tætliggende forbindelses- og tilslutningsanlæg. Mindre godt passer modellen på andre typer veje, hvor trafikken kommer ind på vejnettets strækninger fra sideveje og ejendomme langs strækningen. Selv på sådanne veje kan det dog på kortere sektioner være rimeligt at operere med begrebet fri vejstrækning.

Fri vejstrækning

Ved fri strækning skal forstås en vejstrækning, som svarer til en strækning i den idealiserede model. Den fri strækning er således kendetegnet ved ikke at have krydsende eller svingende trafik, idet strækningen er enten helt krydsfri og uden adgang fra ejendomme, eller også er der tale om strækninger eller delstrækninger, hvor der er så få adgange, markoverkørsler og tilsluttende veje, at der er tale om en god tilnærmelse. Sidstnævnte kræver ud over det begrænsede antal også, at de er så svagt trafikerede, at det kun har ubetydelig indflydelse på den betragtede strækning. En forståelse af principperne bag den frie strækning trafikafvikling er en forudsætning for forståelse af vejnettets trafikafvikling mere generelt dvs. med foreliggende vej- og krydsstandarder samt nettets konkrete opbygning.

Trafikparametre

Med hensyn til trafikafviklingen på en fri strækning gælder følgende grundlæggende sammenhæng:

$$N = V_S \cdot D \tag{3.1}$$

N er trafikintensiteten i form af antal biler pr. tidsenhed, som passerer et givet snit på strækningen. Typisk vil det være antal biler i timen (biler/h) eventuelt bestemt ved tælling i et kortere tidsinterval og herefter regnet op, fx × 4, hvis tælleperioden er et kvarter. Hvor der ikke er gjort opmærksom på andet, vil trafikintensiteten, eller trafikmængden med en ofte anvendt men mindre korrekt betegnelse, omfatte biler i begge retninger tilsammen.

V_S er trafikkens strækningsmiddelhastighed (km/h) bestemt i et givet øjeblik som middelhastigheden for alle biler inden for en given strækning fx af 1 km's længde. Som beskrevet i kapitel 2 afviger V_S fra snitmiddelhastigheden V_T, idet $V_S \leq V_T$.

D er trafikkens tæthed eller densitet (biler/km) bestemt ud fra antal biler, der på et givet tidspunkt befinder sig inden for et strækningsafsnit af kendt længde.

Det kan bemærkes, at (3.1) er helt parallel til en tilsvarende sammenhæng inden for hydraulikken, den såkaldte kontinuitetsligning, hvor det naturligvis er væskestrømning, det drejer sig om.

Ud fra en række trafikobservationer (V_S,D) i begyndelsen af 1930'erne i USA opstillede Greenshields følgende lineære sammenhæng, selv om en god tilpasning ikke altid kunne opnås:[1]

$$V_S = A - B \cdot D = A\left(1 - \frac{B}{A} \cdot D\right) \tag{3.2}$$

A (km/h) og B (km^2/biler · h) er to positive konstanter, og V_S og D er defineret som ovenfor. Ved en densitet tilnærmelsesvist lig 0 fås V_S = A, medens hastigheden falder til 0 ved en densitet på A/B.

Indsættes ovennævnte sammenhæng i (3.1), fås følgende sammenhæng mellem trafikintensiteten og densiteten:

$$N = V_S \cdot D = A \cdot D - B \cdot D^2 \tag{3.3}$$

Den maksimale trafikintensitet fås ved:

$$\frac{dN}{dD} = A - 2B \cdot D = 0 \Rightarrow D = \frac{A}{2B}$$

Ved denne værdi af D fås en trafikintensitet på:

$$N_{maks} = A \cdot \frac{A}{2B} - B \cdot \left(\frac{A}{2B}\right)^2 = \frac{A^2}{4B}$$

Man kan også vælge at udtrykke intensiteten som afhængig alene af hastigheden ved hjælp af (3.2) indsat i (3.1), hvorved fås:

$$N = V_S \cdot D = \frac{(V_S - A)V_S}{-B} = \frac{A}{B}V_S - \frac{V_S^2}{B} \tag{3.4}$$

Den maksimale trafikintensitet skal så herved fremkomme ved:

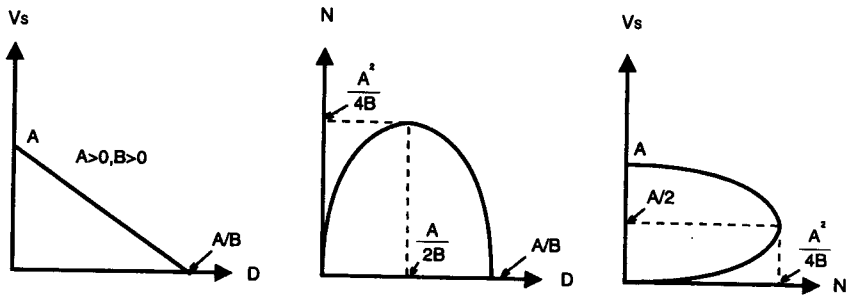
$$\frac{dN}{dV_S} = \frac{A}{B} - \frac{2 \cdot V_S}{B} = 0 \Rightarrow V_S = \frac{A}{2}$$

Ved denne trafikintensitet fås N_{maks} så ved indsættelse:

$$N_{maks} = \frac{A}{B} \cdot \frac{A}{2} - \frac{A^2}{4B} = \frac{A^2}{4B}$$

De ovennævnte sammenhænge, $V_S = f_1(D)$, $N = f_2(D)$ og $N = f_3(V_S)$, er gengivet i figur 3.1.

Med hensyn til trafikintensiteten N som funktion af strækningsmiddelhastigheden V_S kan det bemærkes, at der er tradition for at afbilde den som en "liggende" parabel dvs. med den afhængige variabel N som x-akse. Til samme N-værdi svarer således to værdier af V_S. Som beskrevet senere er der tale om to principielt forskellige trafikafviklingssituationer.



Figur 3.1 Sammenhæng mellem trafikintensitet N, strækningsmiddelhastighed V_S og trafikkens tæthed D.

Udover den lineære sammenhæng mellem hastighed og densitet er der også opstillet andre analytiske modeller, fx af Greenberg i 1959. Med baggrund i trafikobservationer i Lincoln Tunnel i New York samt en antagelse om en dynamisk ligevægtssituation blev den følgende sammenhæng udledt:[2]

$$V_S = C \cdot \ln\left(\frac{A}{B \cdot D}\right) \tag{3.5}$$

D er densiteten, og A/B er en konstant faktor, idet det bemærkes, at svarende til (3.2) er $V_S = 0$ for $D = A/B$. Parameteren C (km/h) er hastigheden ved N_{maks}.

Baggrunden for Greenberg's model skal ses i, at det med dette udtryk viste sig nemmere at indpasse trafikobservationerne, især for høje trafiktætheder, i en analytisk kurve. Modellen er dog problematisk i grænseområdet ved lave trafiktætheder. Det kan bemærkes, at en densitet ≈ 0 er ensbetydende med en uendelig stor hastighed. Det videre arbejde med analytiske funktionsudtryk har på denne baggrund bl.a. bestået i at sammenstykke funktionsudtryk, der viste sig særligt egnede inden for et delområde af parametervariationsområdet.

3.2 Kapacitetsdiagram og serviceniveau

Definition af kapacitet

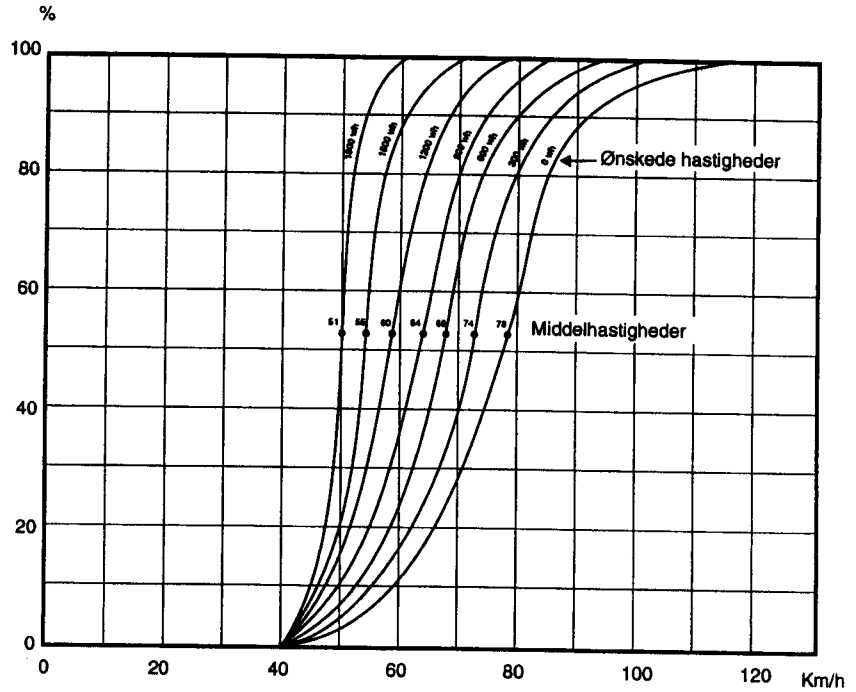
Et væsentligt spørgsmål på fri strækning er, hvor stor en trafikintensitet, der kan afvikles dvs. spørgsmålet om en given strækning kapacitet. Observationer har vist, at både strækningens geometri i form af bredde og antal kørespor mv. samt sammensætningen af den konkrete trafikstrøm har betydning. Formindskes vejens køresporsbredde falder kapaciteten, som det kunne forventes, hvilket også er tilfældet, hvis trafikstrømmens sammensætning ændres i retning af en forøget andel af tunge køretøjer.

Kapaciteten N_{maks} defineres som det maksimale antal biler, der med rimelighed kan forventes at passere et givet tværsnit af en kørebane i begge retninger tilsammen under de eksisterende konstruktive og færdselsmæssige betingelser.

Vejes kapacitet er mest udførligt behandlet i de amerikanske Highway Capacity Manuals, hvor der har foreligget tre udgaver, i 1950, 1965 og 1985.[3] En revision af sidstnævnte er påbegyndt med forventet ny udgave omkring år 2000. Den danske kapacitetsberegningsmetode fra 1981 indeholdt i Typekatalog for nye veje og stier i åbent land har baggrund i dette arbejde.[4]

Kapacitetsdiagrammet

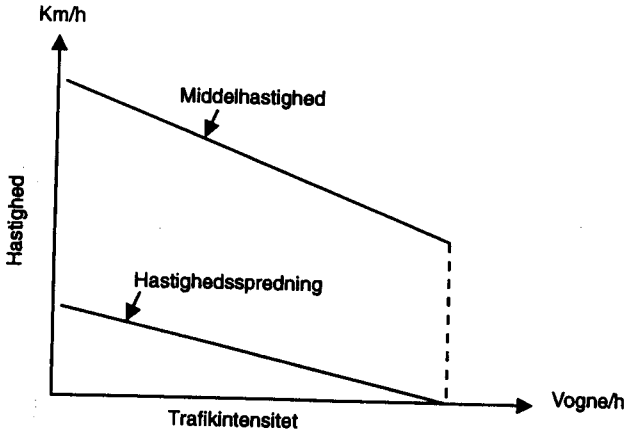
Et væsentligt element ved behandlingen af strækningers kapacitet udgøres af de såkaldte kapacitetsdiagrammer. De følgende betragtninger gælder for alle typer strækninger, men beskrivelsen tager udgangspunkt i 2-sporede veje. Sammenhængen mellem hastighed og trafikintensitet, som afbildet til højre i figur 3.1, kan forstås på følgende måde. Ved få biler på en strækning har den enkelte trafikant stor mulighed for frit at bestemme sin hastighed. Forøges antallet af biler, ind-



Figur 3.2 Hastighedsfordeling ved forskellige trafikintensiteter.

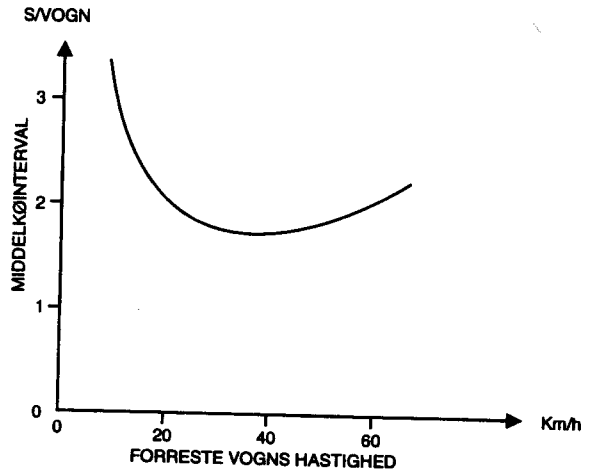
snævres denne frihed, idet forankørende og modkørende vil påføre de hurtigste biler nedsat hastighed. Behovet for overhaling forøges, samtidig med at muligheden nedsættes. Jo mere trafikken øges, jo mere udtalt vil forsinkelsen blive for de hurtige biler, hvilket for alle de betragtede biler på en given strækning kan registreres som en jævnere hastighedsfordeling. Afbildes ændringer i hastighedsfordelingen i form af en række sumkurver, vil de øverste dele af kurverne forskydes mod venstre og gøre kurverne stadig stejlere ved forøget trafikintensitet, som det er vist i figur 3.2. Den nederste del af kurverne ændres ikke, idet de langsomste biler kan fastholde deres hastighed. Udover den mindre spredning i hastigheder er en faldende middelhastighed også et resultat af den forøgede trafikintensitet.[5]

Ændringen i middelhastighed og hastighedsspredning kan også afbildes som vist i figur 3.3. Efterhånden som den maksimale trafikintensitet nås, vil kørsel med frit hastighedsvalg eller fri trafikafvikling blive umuliggjort og til sidst vil kørsel i kø dominere store dele af strækningens afvikling. Området omkring kapacitetsgrænsen har en mindre stabil karakter og har ikke den veldefinerede sammenhæng, som er antydet i figuren.

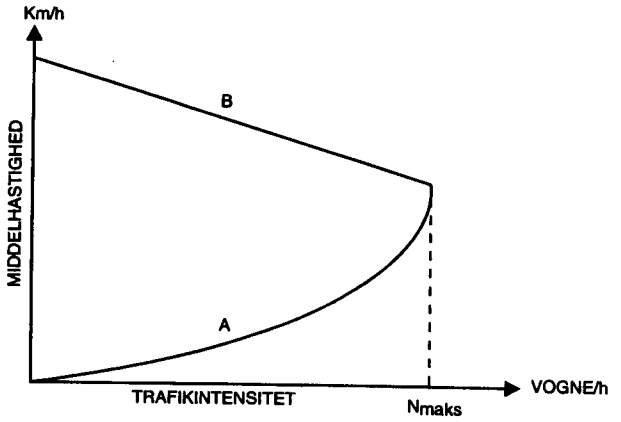


Figur 3.3 Middelhastighed og hastighedsspredning som funktion af trafikintensiteten.

Spørgsmålet om trafikintensitet i forbindelse med køkørsel kan anskues ud fra, at lav hastighed kan modsvares af en større trafiktæthed. Køkørsel og trafikintensitet har været studeret ved at observere middeltidsafstande mellem bilerne ved forskellige hastigheder af den forreste bil i køen som vist i figur 3.4. Middeltidsafstanden vil nedsættes jo hurtigere og tættere bilerne kører. Større hastighed påvirker imidlertid trafikanterne til at holde en større sikkerhedsafstand, hvilket gør den samlede indvirkning på intensiteten mindre overskuelig. Observeres en middeltidsafstand på 1,8 sek. svarende til ca. 40 km/h, jf. figur 3.4 fås en intensitet på $(60 \cdot 60)/1{,}8 = 2000$ biler/h.



Figur 3.4 Middelkøinterval som funktion af den forreste vogns hastighed.



Figur 3.5 Kapacitetsdiagrammet.

Kapacitetsdiagrammet kan sammenstykkes af en kurvegren, der repræsenterer kørsel under køforhold og en kurvegren for fri trafikafvikling som vist med A og B i figur 3.5. De to kurvegrenes skæringspunkt repræsenterer den betragtede strækning kapacitet.[6] Kurven ses, at være i god overensstemmelse med den analytisk beskevne sammenhæng til højre i figur 3.1. At B er lineær og ikke en parabelgren skyldes, at det har vist sig hensigtsmæssigt og fuldt tilstrækkeligt at repræsentere observerede hastigheds- og intensitetsdata på denne måde.

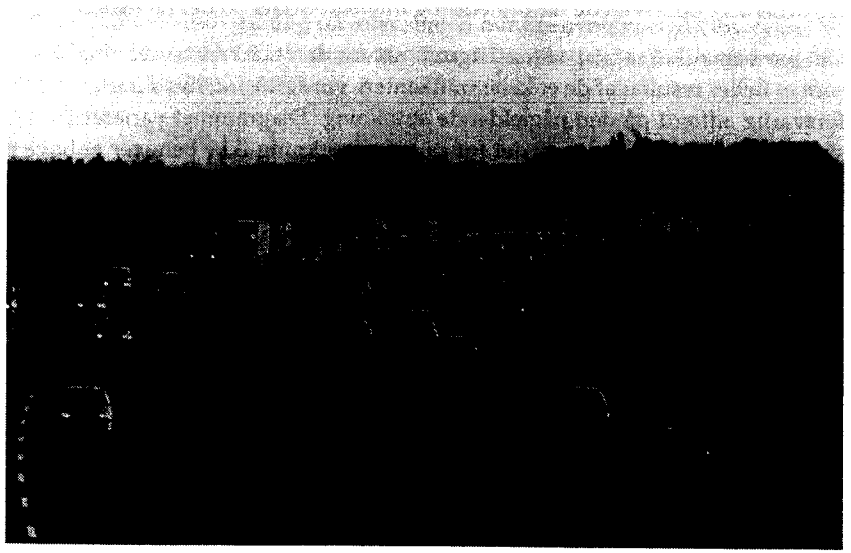
Det bør bemærkes, at kapacitetsdiagrammet for den konkrete strækning skabes som et fælles resultat af de enkelte trafikanters vurdering af, hvad der er trafikal forsvarlig adfærd på den pågældende strækning. Diagrammet varierer for forskellige strækninger, ligesom det for samme strækning ikke behøver at have et statisk udseende. Glat føre kan virke ind, så diagrammet snævres ind, mens fx en trafikal tilvænning til en bestemt vej dag efter dag, herunder også de andre trafikanters adfærd, fx ved bolig-arbejdssted trafik, kan have en modsat virkning.

Mellem forskellige lande kan forskelle også gøre sig gældende. I forbindelse med tillempning af kapacitetsdiagrammet fra Highway Capacity Manual til danske forhold sidst i 1960'erne viste det sig i forbindelse med danske observationer, at hastigheden faldt mindre med voksende intensitet, end det skulle forventes.[7] Senere observationer i USA og andre lande har dog underbygget dette, ligesom man mange steder har konstateret en forøget kapacitet dvs. at skæringspunktet mellem A og B kurvegrenene er rykket mod højre.

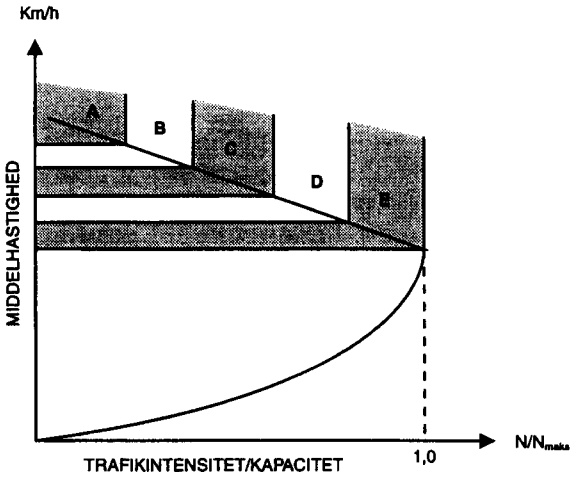
Serviceniveau

Introduceret i Highway Capacity Manual 1965 anvendes et sæt af serviceniveauer til at beskrive trafikafviklingens kvalitet. I alt defineres 6 serviceniveauer (A, B, C, D, E og F). Serviceniveau A svarer til helt uforstyrret og fri trafikafvikling, mens E angiver det laveste kvalitetsniveau mht. fri trafikafvikling inden vejens kapacitet nås. Idet servicetrafikintensiteten er den største intensitet, der kan afvikles ved et givet serviceniveau, er servicetrafikintensiteten E definitionsmæssigt lig vejens kapacitet. Serviceniveau F angiver en ustabil trafikafvikling og køkørsel med forekomst af trafiksammenbrud. Serviceniveauerne er knyttet til kapacitetsdiagrammet som vist i figur 3.6.

Servicetrafikintensiteten C svarende til 70% af vejens kapacitet benævnes også den tilladelige trafikintensitet N_{till}, idet der her er tale om en intensitet, der giver en rimelig trafikafvikling og en økonomisk forsvarlig udnyttelse af vejanlægget. For at serviceniveau C skal være opfyldt, skal det samtidigt gælde, at middelhastigheden V_S skal være $\geq$ 75 km/h for 2-sporede veje og $V_S \geq$ 85 km/h for 4- og 6-sporede veje. For at et givet serviceniveau skal være til stede, skal både et belastningskriterium mht. N/N_{maks} og et hastighedskriterium mht. V_S være opfyldt. Vejtypekataloget anvender definitionsgrænserne, som er vist i figur 3.7 med den venstre figur gældende for 2- og 3-sporede veje og figuren til højre for 4- og 6-sporede veje.

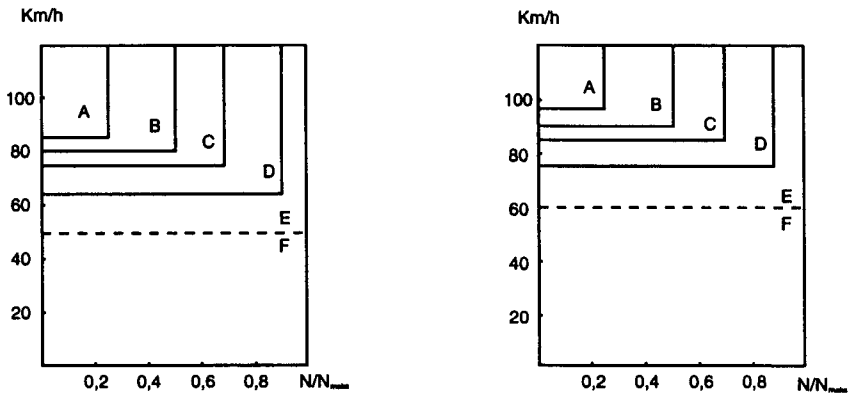


Highway Capacity Manual anvender et sæt serviceniveauer fra A til F for at beskrive trafikafviklingens kvalitet.



Figur 3.6 Serviceniveaubegrebet.

De ovennævnte grænser bygger på de oprindelige amerikanske grænser justeret efter danske målinger. Oprindeligt blev en operationshastighed anvendt, hvilket med god tilnærmelse kan siges at være den hastighed, som ikke overskrides af 85% af trafikanterne dvs. 85% fraktilen.[7] En middelhastighed V_S blev imidlertid indført i stedet for bl.a. med baggrund i, at denne parameter er nem at fortolke og mere direkte anvendelig i trafikøkonomiske analyser.



Figur 3.7 Serviceniveau-definitioner for 2- og 3-sporede veje henholdsvis for 4- og 6-sporede veje.

Selv om serviceniveauet defineres alene ud fra belastningsgrad og hastighed skal bemærkes, at der ofte vil være sammenfald med andre faktorer. Et højt serviceniveau fx vil som regel være ensbetydende med, at der også er et højt sikkerhedsniveau samt en god kørselskomfort.

3.3 Kapacitetsberegning og -dimensionering

Formålet med en kapacitetsberegning kan være enten nutidigt med en bedømmelse af trafikafviklingen på en eksisterende strækning eller mere fremadrettet i form af en planlægningsvurdering, hvor man på baggrund af en opstillet prognose ønsker at dimensionere en ny vej eller udbygningen af en eksisterende strækning, så der er en passende kapacitet i hele anlæggets anvendelsesperiode. Længden af denne periode er ofte sat til 30 år.

Definitionsmæssigt bestemmes serviceniveauet ud fra N/N_{maks} og V_S. Idet N foreligger bestemt enten ud fra en tælling eller som et prognosetal, og V_S kan bestemmes, som senere beskrevet ud fra en hastighedskurve knyttet til det konkrete vejanlægs type på baggrund af N/N_{maks}, påbegyndes beregningerne med bestemmelse af N_{maks}.

Beregningen af N_{maks} tager udgangspunkt i en kapacitetsværdi N_i knyttet til ideelle forhold, hvorpå N_i justeres ved hjælp af korrektionsfaktorer, som fastsættes på baggrund af vejens køresporsbredde (faktor W) og trafikkens andel af tunge køretøjer (faktor T) samt den aktuelle retningsfordeling af trafikken i de to kørselsretninger (faktor F):

$$N_{maks} = N_i \cdot W \cdot T \cdot F \qquad (3.6)$$

Den ideelle kapacitet N_i

De konstruktionsmæssige- og trafikmæssige forhold regnes for ideelle, når:

- køresporsbredden er 3,50 m. Såfremt 3-sporede veje afstribes som brede 2-sporede veje får denne type dog herved en køresporsbredde på 5,25 m
- trafikken alene består af personbiler
- trafikken er ligeligt fordelt på de to kørselsretninger

Generelt kræves herudover, at trafikkens afvikling på strækningen foregår uforstyrret, som det er forudsat i den tidligere omtalte idealiserede vejnetmodel. Det danske vejtypekatalog anvender værdierne vist i tabel 3.1.

Vejtype	biler/h
2-sporet	2200
3-sporet	4000
4-sporet (= 4 · 2000 biler/h)	8000
6-sporet (= 6 · 2000 biler/h)	12000

Tabel 3.1 N_i-værdier i det danske vejtypekatalog begge retninger tilsammen.

Highway Capacity Manual 1965 anvendte en værdi på 2000 biler/h for 2-sporede veje. Værdien på 2200 biler/h blev imidlertid valgt på baggrund af senere svenske og engelske undersøgelser. Baseret bl.a. på resultater fra en opbygget simulationsmodel af den 2-sporede vejs trafikafvikling anvender Highway Capacity Manual 1985 en værdi på 2800 biler/h, hvilket er en forøgelse på ikke mindre end 40% af 1965-værdien. En foretaget dansk analyse af intensitets- og hastighedsdata for en enkelt motortrafikvejsstrækning peger i retning af, at den ovennævnte N_i-værdi på 2200 biler/h for den 2-sporede vej måske bør hæves til 2500 biler/h.

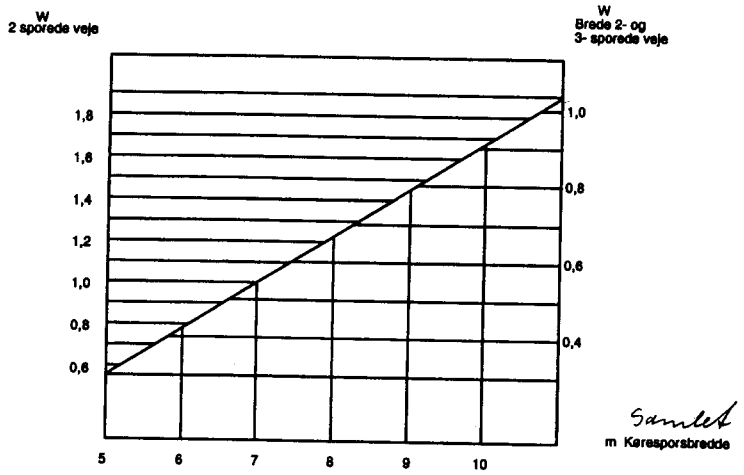
Den 2-sporede vej er karakteriseret af, at med- og modkørende trafikanter kan disponere over samme vejareal simpelt hen ved, at der kan overhales, når der er et passende slip i den modkørende trafik. 2-sporede veje med adskilte kørebaner er næppe en god ide, idet den langsomste trafikant herved kommer til at lægge hastighedsniveauet på strækningen. Det modsatte er tilfældet ved de 4- og 6-sporede strækninger, idet overhaling ikke hindres men fremmes, idet der nu ikke er modkørende trafik at tage hensyn til.

Ovennævnte er baggrunden for den afviklingsmæssige gevinst man kan få ved at ensrette to paralleltløbende 2-sporede veje. Herved fås en N_i-værdi på 8000 biler/h i stedet for 2 · 2200 = 4400 biler/h dvs. en forøgelse på ca. 80%. Af andre grunde vil det sjældent være en forekommende mulighed, hvorfor ensretninger i modsat retning af de to 2-sporede veje alene bør ses som et beregningseksempel

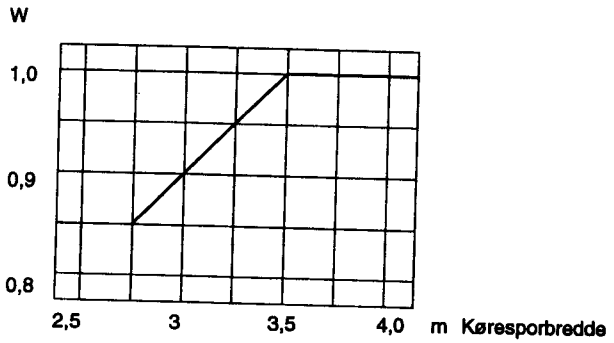
Korrektionsfaktor W for køresporsbreddens indflydelse

Ved køresporsbredde forstås den belagte kørebanebredde excl. kantbane/kantlinieafgrænsning. Størrelsen af W fremgår af figur 3.8 for 2- og 3-sporede veje og af figur 3.9 for 4- og 6-sporede veje. Køresporsbredden for de enkelte vejtyper er angivet i figur 7.5 - 7.8.

Det ses, at der anvendes en simpel lineær sammenhæng. For de 2- og 3-sporede veje bruges den samlede køresporsbredde som aflæsningsparameter, mens det er det enkelte kørespors bredde ved de 4- og 6-sporede veje. Ved de sidstnævnte bemærkes, at en forøgelse af bredden ud over 3,50 m ikke forøger N_{maks}. Danmark anlagde man i en årrække motorveje med køresporsbredder på 3,75 m



Figur 3.8 Korrektionsfaktor ud fra køresporbredde af 2-og 3-sporede veje.

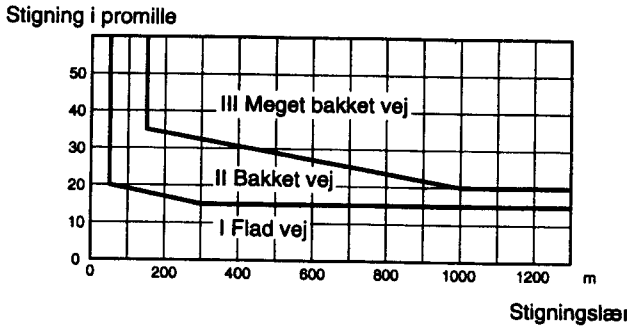


Figur 3.9 Korrektionsfaktor ud fra ~~samlet~~ køresporbredde af 4- og 6-sporede veje.

hvilket i 1977 af sparehensyn blev ændret til 3,50 m, hvilket kapacitetsmæssigt således er uden konsekvens.

Korrektionsfaktor T for tunge køretøjers indflydelse

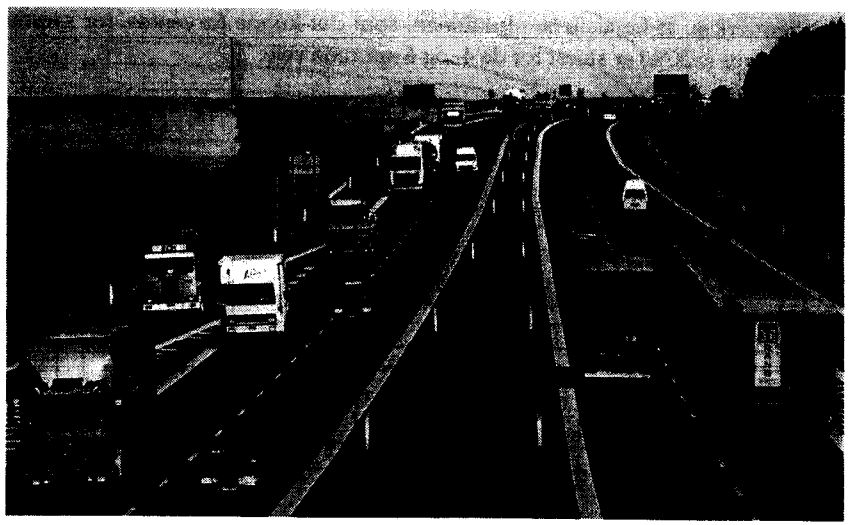
Princippet bag denne korrektion er, at der sker en omregning af de tunge køretøjer dvs. med totalvægt ≥ 2 tons til et antal personbilenheder (pbe). Omregningsfaktoren, benævnt personbilækvivalenten E_T, afhænger dels af det terræn, vejen forløber i, og dels af, om der er tale om 2- og 3-sporede veje eller 4- og 6-sporede veje.



Figur 3.10 Stigningskategorier bestemt ud fra kombination af stigningsgrad og stigningslængde.

Terrænet er bestemt ved tre stigningskategorier, beskrevet ved kombination af stigningsgrad og -længde, hvori vejens sektioner alle - eller med få undtagelser - skal kunne indplaceres i, som vist i figur 3.10. Såfremt der er etableret krybespor, regnes der med vandret vej.

Herefter kan E_T bestemmes ud fra tabel 3.2. Som det kan forventes, forøges de 4- og 6-sporede vejes E_T værdier mindre med højere stigningskategori, end det er tilfældet for de 2- og 3-sporede veje.



Det er nødvendigt at inddrage andel tunge køretøjer i kapacitetsberegningen.

Stigningskategori	E_T		
	2-sporet vej	Bred 2-sporet evt. 2-sporet vej	4-sporet vej eller 6-sporet vej
I Flad vej	2,0	2,0	1,5
II Bakket vej	2,5	2,5	2,0
III Meget bakket vej	3,0	3,0	2,5

Tabel 3.2 Personbilækvivalenstal.

Med den relative andel af tunge køretøjer udtrykt som procenttal af alle biler i den betragtede trafikstrøm - lastbilprocenten P_T - findes korrektionsfaktoren som angivet med (3.7).

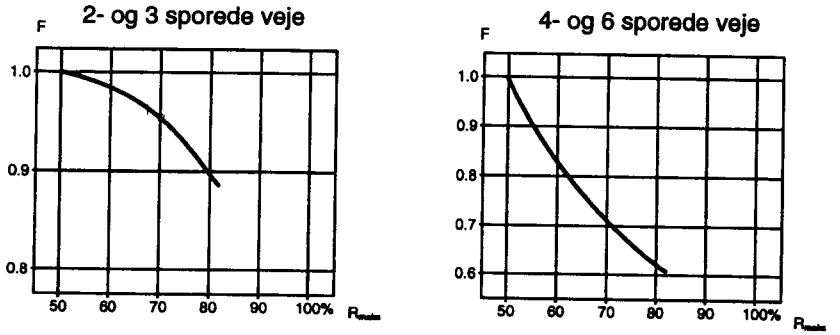
$$T = \frac{100}{100 + P_T (E_T - 1)} \qquad (3.7)$$

Korrektionen for tunge køretøjers indflydelse må vurderes nærmere og suppleres med andre vurderinger, hvis ekstraordinære stigningsforhold gør sig gældende.

Korrektionsfaktor F for trafikkens retningsfordeling

Ved bestemmelsen af korrektionsfaktoren for skæv retningsfordeling anvendes R_{maks}, som er den stærkest trafikerede retnings trafikandel angivet i % af den totale trafikintensitet. For 2- og 3-sporede veje aflæses korrektionsfaktoren til venstre i figur 3.11 og for 4- og 6-sporede veje til højre i figuren.

Det bemærkes, at kapacitetsreduktionen, som det kunne forventes, for samme R_{maks} værdi (>50%) er størst for de 4- og 6-sporede veje.



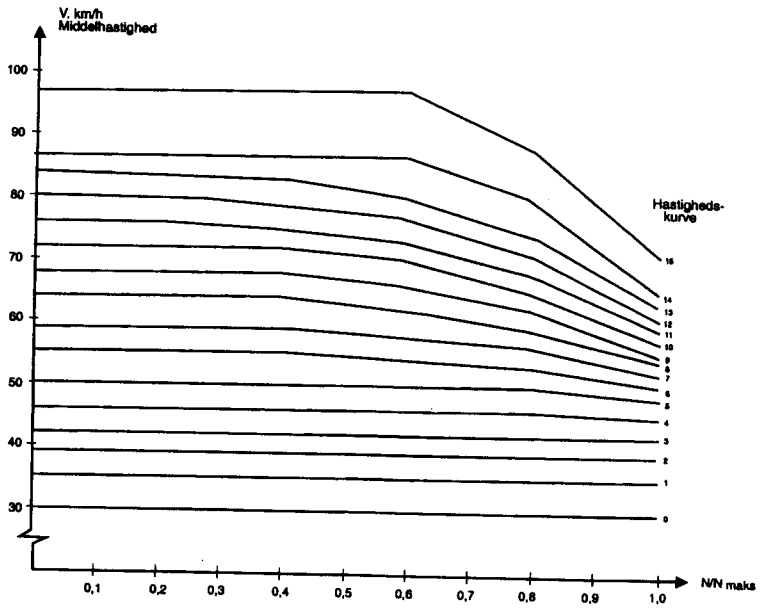
Figur 3.11 Korrektionsfaktor for trafikkens retningsfordeling for 2- og 3-sporede veje henholdsvis for 4- og 6-sporede veje.

Skønsmæssigt kan R_{maks} sættes til 67% (= ⅔ af totaltrafikken), hvis der ik foreligger tælleresultater, og det kan vurderes, at særlige forhold ikke gør s gældende.

Bestemmelse af hastighed og serviceniveau

Med N_{maks} bestemt for en given vejtype ved (3.6) - dvs. N_i multipliceret m korrektionsfaktorer bestemt af de aktuelle forhold - kan belastningsgraden N/N_{ma} bestemmes, når trafikintensiteten N kendes.

Hastighedssammenhængen med belastningsgraden foreligger i form af hasti hedskurver vist på figur 3.12. De enkelte hastighedskurver er knyttet til en rækl standardvejtyper, som er nærmere omtalt i kapitel 7. Vejtyperne er vist i figur 7. Den enkelte hastighedskurve er afhængig af den pågældende vejtypes tværsn og dimensioneringshastighed. Tabel 3.3 viser sammenhængen mellem hasti hedskurver, fri operationshastighed, og dimensioneringshastighed. Operation hastigheden er den højeste kørselshastighed på en vejstrækning under goc vejrforhold og givne trafikbetingelser og kan udtrykkes med 85%-fraktilen. De



Figur 3.12 Bestemmelse af middelhastighed ud fra belastningsgraden for en give vejtype med tilhørende hastighedskurve.

fri operationshastighed er operationshastigheden, når trafikken er meget lille og uden betydning for hastighedsvalget.[7] Med kendskab til såvel belastningsgraden N/N_{maks} som middelhastigheden V_S kan serviceniveauet aflæses af figur 3.7.

Kurve	fri operationshastighed, km/h	dimensioneringshastighed
0	35	e
1	40	e
2	45	e/d
3	50	d
4	55	d
5	60	d
6	65	d/c
7	70	c
8	75	c
9	80	c
10	85	c/b
11	90	b
12	95	b
13	100	b
14	motortrafikvej	b
15	motorvej	a

Tabel 3.3 Sammenhængen mellem hastighedskurver, fri operationshastighed og dimensioneringshastighed.

Kapacitetsdimensionering

Ved dimensionering på et kapacitetsmæssigt grundlag foretages en bedst mulig trafikal tilpasning af et vejanlæg til den forventede trafik på et anlægsøkonomisk grundlag. I forbindelse med kapitel 14 gives supplerende en beskrivelse af dimensioneringsprincipper på et bredere samfundsøkonomisk grundlag.

Indledningsvis må bestemmes en dimensionsgivende trafikintensitet N, hvilket normalt er en repræsentativ timebelastning. Der ses således bort fra variationer inden for den enkelte time. Der er dog eksempler på ved store indfaldsveje til byer, at både 5- og 15-min belastningen under myldretidstrafik anvendes. Jo mindre den såkaldte spids-timefaktor k_N er, som defineret ved (3.8), jo mere relevant er det, at bruge $N/k_{N,x}$ som dimensionerende timetrafik i stedet for N.[9]

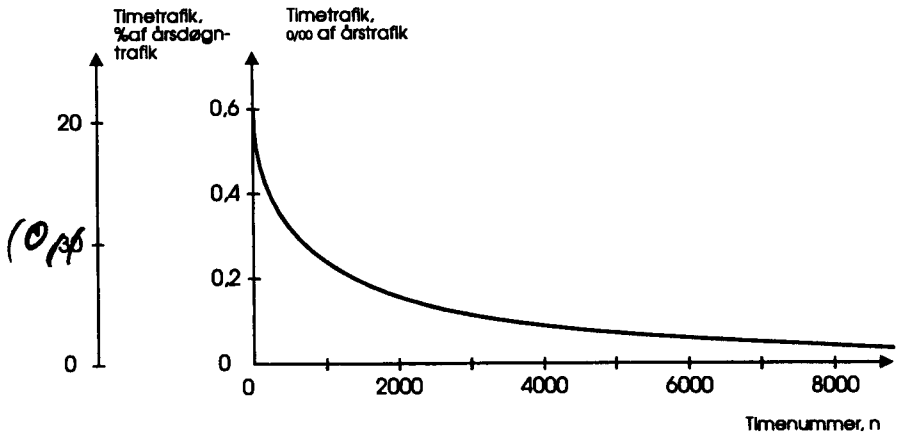
$$k_{N,x} = \frac{N}{(60/x) \cdot \{\text{største x}\} \text{ min trafik}} \qquad (3.8)$$

Med stigende vejtrafik vil fastlæggelse af N typisk ske på baggrund af en trafikprognose, hvorved en fremtidig ÅDT fastlægges. På baggrund af denne ÅDT bestemmes N som en procentandel, hvis størrelse afhænger af den pågældende vejstrækning's funktion i vejsystemet.

Som det kan forventes, har fx veje med udpræget bolig-arbejdssted trafik et andet variationsmønster mht. belastning over året, end det er tilfældet med fx typiske udflugtsveje. Variationsmønsteret kan beskrives ved hjælp af årsrangkurver, idet årstrafikken fordeles på årets 8760 timer og afbildes grafisk efter faldende trafikintensitet. Abcissen viser således timenr. efter størrelsen af trafikintensitet og ordinaten den enkelte times andel enten af årstrafik eller mere anvendt af ÅDT. Et eksempel på en årsrangkurve er vist i figur 3.13.

Ideelt set burde man dimensionere vejen efter den største time dvs. den time i løbet af året med den største trafikintensitet. Betragtes figur 3.12 ses, at der vil være en anlægsøkonomisk besparelse ved at vælge en mindre time, idet kurven for de højeste timer har et stejlt forløb, hvorefter den flader ud. Samtidig kan det fremføres, at et beskedent antal timer fordelt på et år med en trafikintensitet større end den dimensionerende kan være acceptabelt, idet der normalt ikke dimensioneres efter N_{maks}, men fx efter den tilladelige trafikintensitet $N_{till} = 0{,}7 \cdot N_{maks}$. På denne baggrund har man traditionelt valgt at dimensionere efter den 30. højeste time, ligesom med større vægt på anlægsøkonomien den 100. højeste time også har været anvendt.

Som nævnt har vejens funktion betydning ved dimensioneringen, hvilket som vist i tabel 3.4 kommer til udtryk i forskellige værdier af 30. og 100. højeste time for de forskellige vejfunktioner.[10]



Figur 3.13 Eksempel på årsrangkurve.

Vejfunktion	30. højeste time (% af ÅDT)	100. højeste time (% af ÅDT)	K_N	A_N	D_N
Lokaltrafik	11,0	10,5	0,32	0,0026	0,5286
Regionaltrafik	11,5	10,5	0,38	0,0235	0,2952
Fjerntrafik	13,0	11,5	0,51	0,0752	0,2019
Udflugtstrafik	15,5	13,0	1,11	0,5253	0,0789
Ferietrafik	19,0	15,5	2,26	1,4916	0,0447

Tabel 3.4 Dimensionsgivende timetrafik samt parametre til beskrivelse af årrangkurver for forskellige vejfunktioner.

Tabel 3.4 angiver også parametre K_N, A_N og D_N til analytisk at beskrive årsrangkurver, idet (3.9) anvendes, hvor y er procentandel af ÅDT og x er timenr.:

$$y = \left(K_N - A_N \cdot x^{D_N}\right)\frac{365}{1000} \cdot 100\% \qquad (3.9)$$

Årsrangkurverne anvendes i forbindelse med et PC-program, som foretager en dimensionering ud fra samfundsøkonomiske principper, hvilket er beskrevet i kapitel 14.

Med N fastlagt kan serviceniveauet beregnes, hvadenten det drejer sig om vurdering af en eksisterende strækning trafikafvikling, eller et vejtypeforslag i forbindelse med et nyanlæg. Ved sidstnævnte opgave gennemregnes alternative forslag bestående af foreliggende standardtyper eventuelt suppleret med varianter. Disse standardtyper er omtalt i kapitel 7.

De beskrevne dimensioneringsprincipper er knyttet alene til kapacitetsmæssige overvejelser på fri strækning, hvorfor de har mest dækning for forholdene i åbent land. Bygaders kapacitet bestemmes i større udstrækning af krydsenes kapacitet. Udover kapacitetsovervejelser omfatter dimensioneringsopgaven også vurderinger af vejnettets struktur og regularitet, af sikkerhedsforhold mv.

3.4 Andre beskrivelser af strækningers trafikafvikling

I tilknytning til makromodellen af den fri strækning trafikafvikling er opstillet andre modeltyper, hvormed kan opnås forståelse af andre aspekter ved trafikafvikling. Nedenfor gives en kort beskrivelse af en mikromodel, den såkaldte "Follow-the-leader" model.[11]

"Follow-the-leader" modellen

Ved denne modeltype tager man udgangspunkt i den enkelte trafikants adfærd. Der betragtes en trafiksituation uden overhalingsmulighed med kørsel i kø, hvor trafikant (n+1) ændrer sin hastighed $v_{n+1}(t)$ på baggrund af den forankørende bils hastighed $v_n(t)$. Specielt regnes der med, at det er hastighedsforskellen $v_n(t) - v_{n+1}(t)$, der har betydning. Indfører man en reaktionstid T_R (sek) og en parameter K_F (sek^{-1}) for påvirkningen eller følsomheden, kan opstilles følgende acceleration $a_{n+1}(t)$ forsinket med T_R:

$$a_{n+1}(t) = K_F\left[v_n(t - T_R) - v_{n+1}(t - T_R)\right] \qquad (3.10)$$

Målinger har vist, at T_R ligger omkring 1,5 sek med et variationsområde på 1-2,2 sek. Observationer har endvidere vist, at $a_{n+1}(t)$ naturligt nok forstærkes jo højere den aktuelle hastighed $v_{n+1}(t)$ er og dæmpes jo større afstanden $x_n(t) - x_{n+1}(t)$ mellem de to biler er. På baggrund heraf er opstillet et generelt udtryk af følgende form, idet parametrene m og p indvejer de nævnte påvirkningsfaktorers indflydelse:

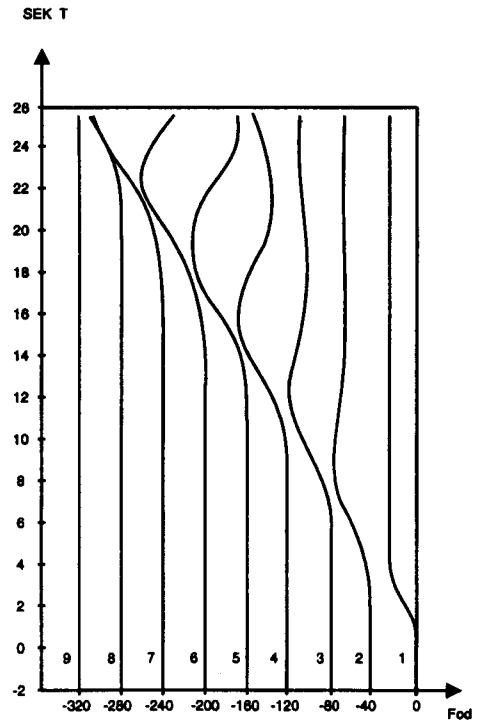
$$a_{n+1}(t) = K_F \cdot v_{n+1}^m(t) \cdot \frac{v_n(t - T_R) - v_{n+1}(t - T_R)}{\left(x_n(t - T_R) - x_{n+1}(t - T_R)\right)^p} \qquad (3.11)$$

I (3.11) kan brøken ses som en stimulus-faktor og udtrykket foran som en respons-faktor, hvorved modellen netop kan opfattes som en adfærdsmodel. Det ses, at jo større $K_F \cdot T_R$ er, jo mere ubundet og i visse tilfælde dramatisk bliver trafikadfærden. Omvendt dvs. med $K_F \cdot T_R$-værdier ≈ 0 fås en situation, som kan tilnærmes en togstamme i bevægelse.

Under anvendelse af (3.11) med m = 0 og p = 1 har man analyseret reaktionerne ned gennem køen ved en kortvarig opbremsning af 1. bil i køen efterfulgt af dens acceleration til den oprindelige hastighed. Med $K_F \cdot T_R = 1{,}6$ (fx T_R = 2 sek og K_R = 0,8 sek^{-1}) er forløbet ud fra modelberegningen vist i figur 3.14 med et vejtidsdiagram, hvor abcissen er afstanden til 1. bil, såfremt den havde bibeholdt den jævne hastighed. Som det fremgår, forstærkes hastighedsnedsættelsen ned gennem rækken, hvor der efter 24. sek sker en kollision mellem bil 7 og 8. Det er vist, at med $K_F \cdot T_R < \frac{1}{2}\pi \approx 1{,}57$ ville hastighedsændringerne være ebbet ud i stedet for at blive forstærket.

Ved målinger er det påvist, at $K_F \cdot T_R$ i praksis som gennemsnit er ganske tæt på den kritiske værdi. Individuelle forskelle mht. $K_F \cdot T_R$ udjævnes dog ved, at lave værdier hos nogle trafikanter kan siges at absorbere de højere værdier hos andre.

Mikromodellens bevægelsesligninger har også været anvendt til udledning af makromodellens sammenhænge mellem trafikintensitet N, hastighed V_S og densitet D. Man betragter her en situation med dynamisk ligevægt for at undersøge under hvilke betingelser alle biler kan bevæge sig med samme hastighed og indbyrdes afstand.



Figur 3.14 Illustration af hastighedsændringer under køkørsel som konsekvens af en kortvarig opbremsning af bil 1 i køen med kollision af bil 7 og 8 efter 24 sek.

Med udgangspunkt i afstanden mellem bil n og den efterfølgende bil (n+1) gælder:

$$x_n - x_{n+1} = \frac{1}{D} \Rightarrow \frac{dx_n}{dt} - \frac{dx_{n+1}}{dt} = -\frac{1}{D^2} \cdot \frac{dD}{dt}$$

Udtrykkes accelerationen som den afledede af hastigheden kan (3.11) omformes til følgende, idet reaktionstiden T_R kan udelades og C er en konstant:

$$\frac{dV_S}{dt} = -C \cdot V_S^m \cdot D^{p-2} \cdot \frac{dD}{dt} \qquad (3.12)$$

Med m = 0, hvorved der ses bort fra betydningen af hastigheden af bil (n+1) som enkeltfaktor, kan (3.12) forenkles til udtrykket i (3.13):

$$\frac{dV_S}{dt} = -C \cdot D^{p-2} \cdot \frac{dD}{dt} \qquad (3.13)$$

To tilfælde af indvejningen af afstandens betydning udtrykt ved p skal betragtes, nemlig det beregningsmæssigt set enkleste tilfælde, hvor p = 2 samt det modelmæssigt set mest enkle tilfælde mht. den dæmpende virkning af afstanden, nemlig p = 1.

Med p = 2 indsat i (3.13) og anvendelse af den grundlæggende sammenhæng $N = V_S \cdot D$ fra (3.1) fås:

$$\frac{dV_S}{dt} = -C \cdot \frac{dD}{dt}$$

$$V_S = A - B \cdot D = A\left(1 - \frac{B}{A} \cdot D\right)$$

$$N = A \cdot D - B \cdot D^2$$

Hermed fremkommer med introduktionen af konstanterne A og B Greenshields' model som beskrevet tidligere, idet udtrykkene ovenfor svarer til (3.2) og (3.3).

Med p = 1 indsat i (3.13) og anvendelse af (3.1) fås følgende:

$$\frac{dV_S}{dt} = -\frac{C}{D} \cdot \frac{dD}{dt}$$

$$V_S = C \cdot \ln\left(\frac{A}{B \cdot D}\right)$$

$$N = C \cdot D \cdot \ln\left(\frac{A}{B \cdot D}\right)$$

Herved fremkommer Greenberg's model som omtalt tidligere jf. (3.5).

Efter Greenshields' model fås som tidligere vist den maksimale trafikintensitet ved en densitet $D = \frac{1}{2} \cdot A/B$ svarende til den halve værdi af den maksimale densitet A/B ved $V_S \approx 0$ jf. figur 3.1. Efter Greenberg's model forskydes toppunktet til venstre, da den maksimale intensitet her knyttes til en densitet under det halve af den maksimale, nemlig $e^{-1} \cdot A/B \approx 0{,}37 \cdot A/B$, hvilket fremgår af det følgende, idet e er grundtallet i den naturlige logaritme (= 2,7182..):

$$\frac{dN}{dD} = \frac{d}{dD}\left[C \cdot D \cdot \ln\left(\frac{A}{B \cdot D}\right)\right] = \frac{d}{dD}\left[-C \cdot D \cdot \ln\left(\frac{B}{A} \cdot D\right)\right]$$

$$= -C \cdot D \cdot \frac{A}{B \cdot D} \cdot \frac{B}{A} - C \cdot \ln\left(\frac{B \cdot D}{A}\right) = 0$$

$$\Rightarrow \ln\left(\frac{B \cdot D}{A}\right) = -1 \Rightarrow \frac{B \cdot D}{A} = e^{-1} \Rightarrow D = e^{-1} \cdot \frac{A}{B}$$

Efter Greenberg's model skal toppunktet af den "liggende parabel" i figur 3.1 løftes, hvilket vil betyde, at den øverste parabelgren, der beskriver fri trafikafvikling, får et fladere forløb. Dette er i god oversensstemmelse med foretagne observationer.

Det bør bemærkes, at "Follow-the-leader" modellen er opstillet i forbindelse med en beskrivelse af adfærd i køsituationer, hvorfor det kan være uberettiget at ekstrapolere til trafiksituationer med lav trafik. Andre adfærdsforhold gør sig gældende her, først og fremmest overhaling, som ikke er en mulighed i "Follow-the-leader" modellen.

Andre modeltyper

De hidtil beskrevne modeller er karakteriseret ved at være deterministiske dvs. med entydige relationer mellem de enkelte parametre. Imidlertid kan der også opstilles modeller, som bygger på stokastiske sammenhænge. Et eksempel herpå er en makro-stokastisk beskrivelse af trafikafviklingen på Helsingørmotorvejen ved hjælp af en markov-model, dvs. med en stokastisk afhængighed alene ud fra de øjeblikkelige værdier. På baggrund af snit-observationer af de enkelte bilers placering i yder- (1) eller inderspor (2), og af om de kører i kø (K) eller køfrit (F) estimeres tilstandssandsynligheder af typen P_{1K} og P_{2K} samt springintensiteter som q_{1F1K} (fra fri til kø i 1) og q_{2F2K}. På baggrund af de fundne estimater beregnes en snitmiddelhastighed V_T under forskellige belastninger, og der opnås overensstemmelse med målte værdier.[12] Også arbejdet med denne model understreger betydningen af en nærmere forståelse af adfærdsmønstre eller kørselsstrategier.



"Follow-the-leader"

Litteratur

1 Khisty, C. Jotin, Transportation Engineering - An Introduction. Prentice-Hall, 1990.

2 Traffic Flow Theory, Special Report 165, Transportation Research Board, 1975.

3 Highway Capacity Manual. 1965: Special Report 87 & 1985: Special report 209, Transportation Research Board, 1950 & 1965 & 1985.

4 Typekatalog for nye veje og stier i åbent land. Vejdirektoratet, Vejregeludvalget, Kbh., 1981.

5 Thagesen, Bent, Lærebog i vejbygning - Bd.1 Trafik og geometri. Polyteknisk Forlag, Kbh., 1984.

6 Jørgensen, N.O., Vejes kapacitet, Institut for Veje, Trafik og Byplan, DTH, Kbh., 1961.

7 Rørbech, Jens, Danske 2-sporede landevejes kapacitets- og serviceforhold. Institut for Veje, Trafik og Byplan, DTH, Kbh., 1970

8 Jensen, Lone & Verngreen Larsen, Mette, Hastighedsmålinger og kapacitetsbestemmelse af Isterødvejen. Institut for Veje, Trafik og Byplan, DTH, Kbh., 1988.

9 Bendtsen, P.H., Trafikteknik. Polyteknisk Forslag, Kbh., 1968.

10 Klitholm Jessen, C. & Leleur, S., Vurdering af værdierne for dimensionsgivende timetrafik. Vejregelsekretariatet, Vejdirektoratet & Institut for Veje, Trafik og Byplan. DTH, 1989.

11 Jørgensen, N.O., "Follow-the-leader" modeller. Dansk Vejtidsskrift nr. 2., 1971.

12 Rørbech, Jens, The Multi-Lane Traffic Flow Process. Ministry of Public Works, Road Department, Kbh., 1974.

Kapitel 4

Vejkryds og rundkørsler

Af Harry Lahrmann

Betegnelsen "vejkryds" er det almindeligt anvendte udtryk for det vejtekniske begreb "1-plans-knudepunkt". Et vejknudepunkt defineres som et vejanlæg, hvori to eller flere veje forbindes med hinanden. Afhængigt af om denne forbindelse sker i ét eller flere niveauer, betegnes vejknudepunktet et 1-, 2- eller flerplans-knudepunkt.

Vejknudepunkter i ét plan kaldes også niveauskæringer. Vejknudepunkter i flere planer betegnes ofte skæringer ude af niveau. I dette kapitel behandles kun vejknudepunkter i ét plan. I afsnit 7.2 omtales 2-plansknudepunkt.

Vejknudepunkterne udgør en vigtig del af vejnettet, fordi de i særlig grad har indflydelse på vejnettets sikkerhed, kapacitet og serviceniveau.[1]

4.1 Principielle krydsudformninger

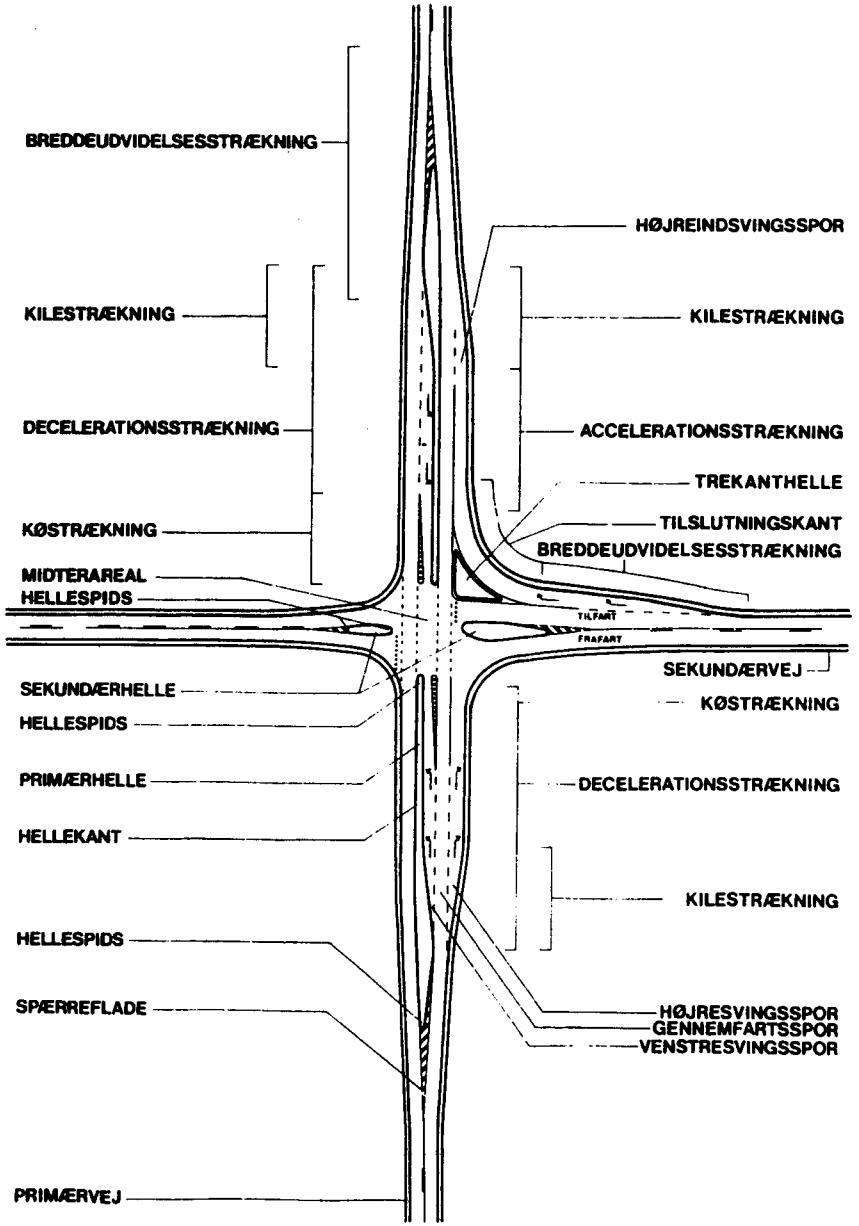
Den principielle udformning af et vejkryds eller rundkørsel bestemt af en lang række faktorer såsom:

- antal grene i krydset
- køresporantal på de tilstødende veje
- forekomsten af cykelsti eller cykelfelt på de tilstødende veje
- væsentlige foranstaltninger for fodgængere (fortove, fodgængerfelter, heller)
- prioritering (vigepligtsforhold)
- evt. signalregulering

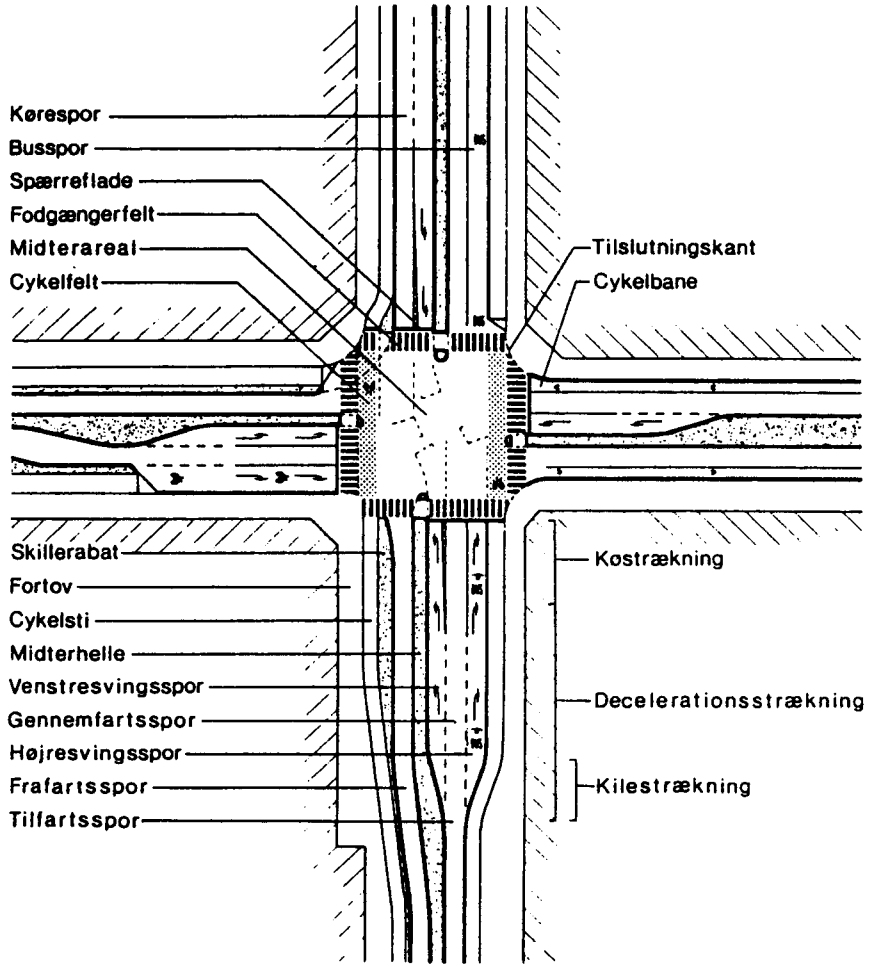
Figur 4.1 og figur 4.2 viser en principskitse af et vejkryds i hhv. åbent land og i byområde.[2,3] På figurerne er de geometriske elementer, som et vejkryds består af, nævnt.

Normalt inddeles vejkrydsene i seks hovedtyper:

- prioriterede, ikke-signalregulerede trevejskryds (T-kryds)
- prioriterede, ikke-signalregulerede firevejskryds (F-kryds)
- rundkørsler



Figur 4.1 Principskitse af et vejkryds i åbent land.

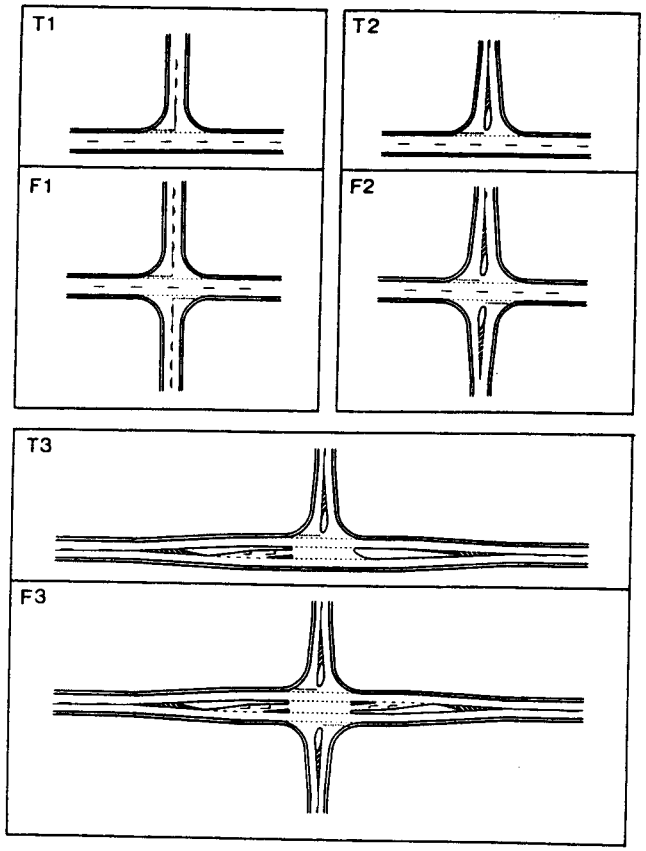


Figur 4.2 Principskitse af et vejkryds i byområde.

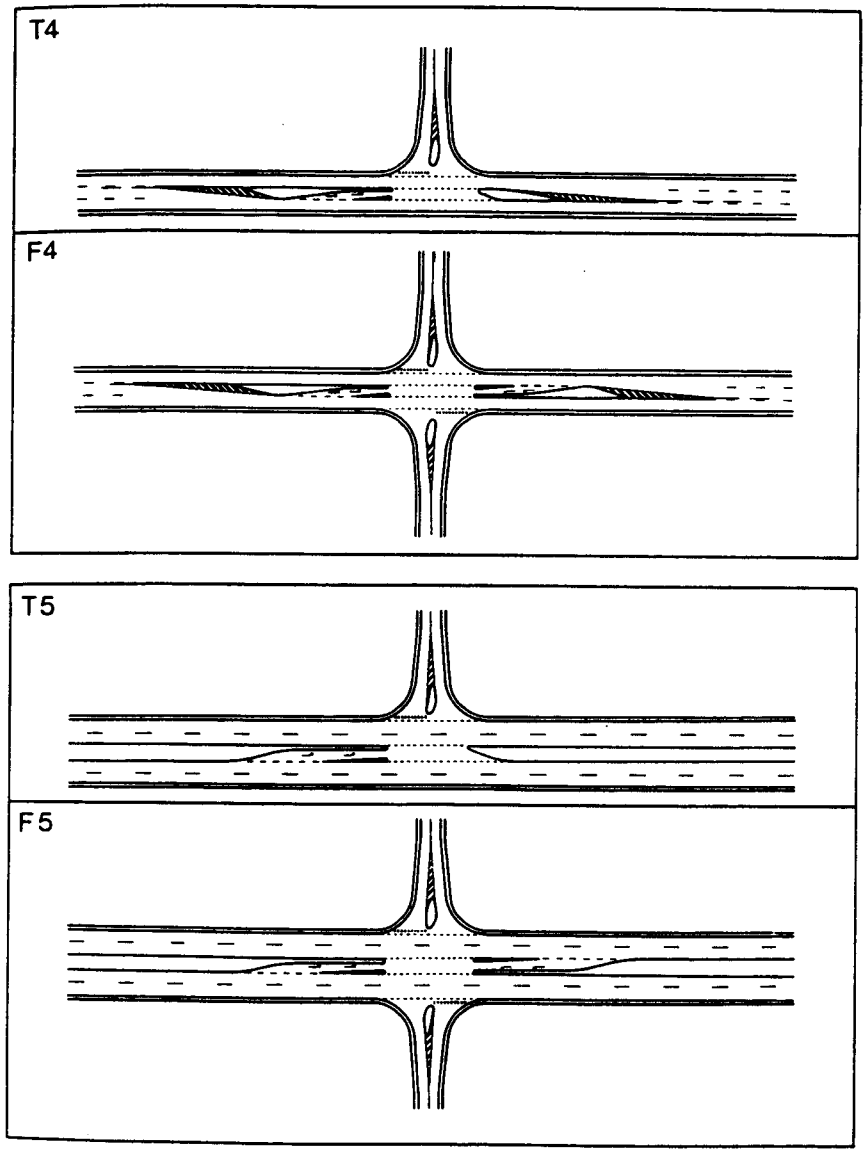
- overkørsler fra sideveje
- ikke-prioriterede kryds (dvs. kryds med højrevigepligt)
- signalregulerede kryds

Prioriterede, ikke-signalregulerede tre- og firebenede vejkryds (T- og F-kryds)

Den principielle udformning af prioriterede, ikke-signalregulerede kryds i åbent land er fastlagt i vejreglen "Vejkryds i åbent land".[3] Heri er angivet de i figur 4.3 og figur 4.4 viste 10 vejkrydstyper for hhv. tre- og firebenede kryds. Krydstyperne er valgt udfra et ønske om at anvende få og enkle typer. Ensartethed og enkelthed vurderes i vejreglen at gavne trafiksikkerheden. De 10 vejkrydstyper fra åbent land gælder principielt også for byområder.

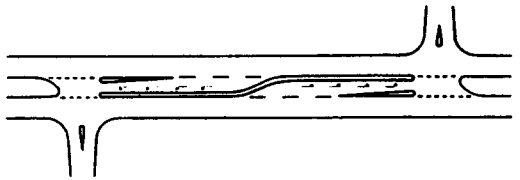


Figur 4.3 Principskitse af vejkryds med 2-sporet primærvej.

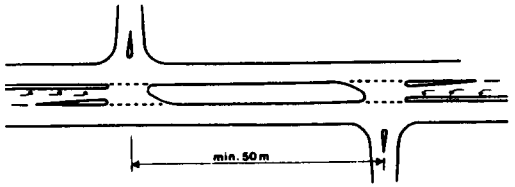


Figur 4.4 Principskitse af vejkryds med 3- eller 4-sporet primærvej.

F-kryds bør undgås. I stedet bør anvendes såkaldte forsatte kryds. Tyske undersøgelser viser nemlig, at forsatte kryds giver større sikkerhed og kapacitet end F-kryds. Alle de i figur 4.3 og figur 4.4 viste typer af F-kryds kan erstattes af forsatte kryds, som består af to T-kryds, der ligger så tæt på hinanden, at det ene kryds får indflydelse på udformning og afmærkning af det andet. Det skelnes mellem venstreforsatte og højreforsatte kryds, se figur 4.5. Ved store intensiteter af svingende trafik til og fra sekundærvejen må det overvejes at supplere de i figur 4.5 viste krydstyper med fx højresvingsspor i primærvejen og/eller 2 tilfartsspor i sekundærvejen.



Principskitse af højreforsat kryds med efter hinanden liggende venstresvingsspor.



Principskitse af venstreforsat kryds med venstresvingsspor.

Figur 4.5 Forsatte kryds.

Rundkørsler

Rundkørsler kan udformes som hhv. dynamiske og hastighedsdæmpende. Den dynamiske rundkørsel er udformet således, at den til- og frakørende biltrafik i princippet afvikles ved fletteligende manøvrer med den cirkulerende trafik. Kendetegnende for denne type rundkørsler er:

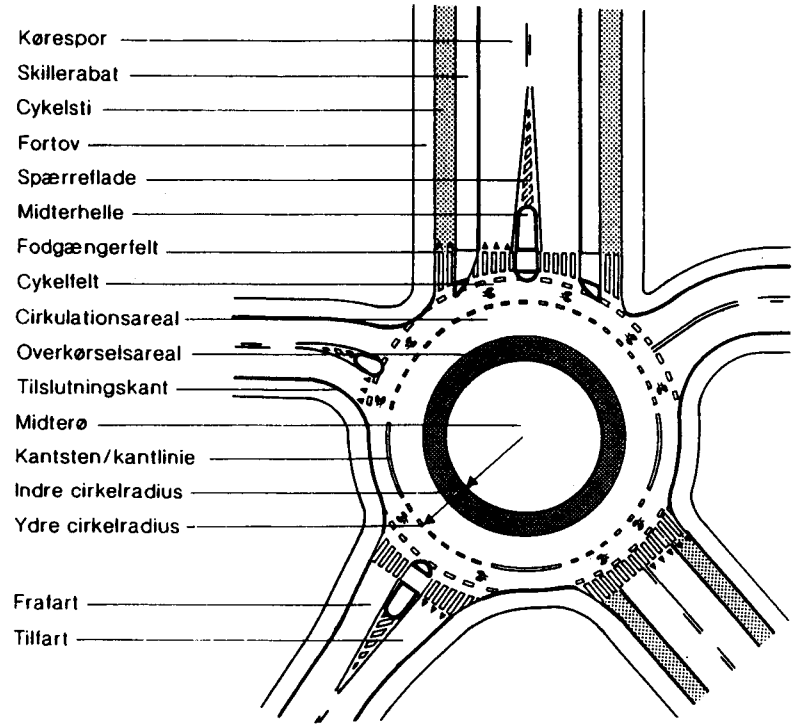
- glidende trafikafvikling
- relativ høje hastigheder
- mere arealkrævende end en hastighedsdæmpende rundkørsel
- velegnet til kryds uden fodgænger og cykeltrafik

Den hastighedsdæmpende rundkørsel er udformet således, at til- og frakørsel mellem rundkørslen og de tilstødende veje i princippet kan sammenlignes med

trafikafviklingen i et T-kryds, hvor den gennemgående vej er ensrettet (svarende til at den cirkulerende trafik i en rundkørsel er ensrettet). Kendetegnende for denne type rundkørsler er:

- trafikafvikling med normale svingmanøvrer
- lave hastigheder
- mindre kapacitet end dynamiske rundkørsler
- anvendelse i vejkryds med nogen cykeltrafik[4]

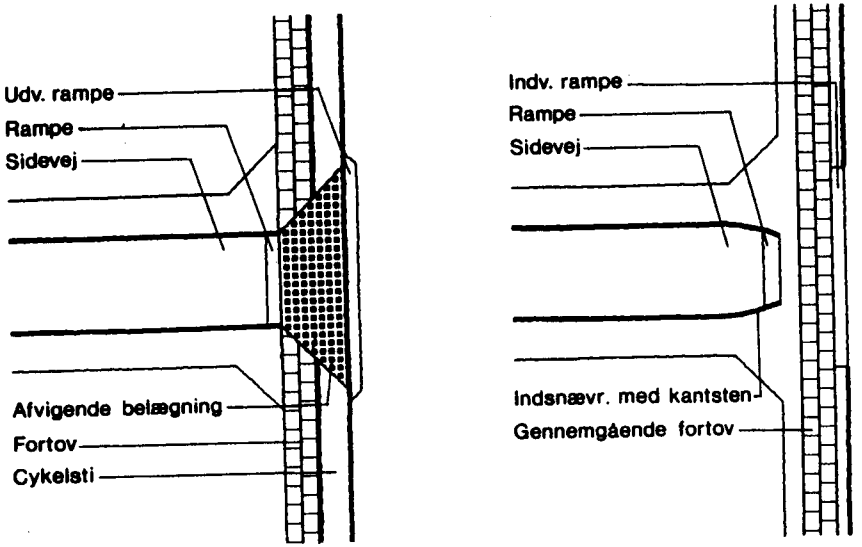
De geometriske elementer i en rundkørsel benævnes noget forskellig fra et tre- eller firebenet kryds. På figur 4.6 er de geometriske elementer i en rundkørsel angivet.[2]



Figur 4.6 Rundkørslers geometriske elementer.

Overkørsler

En overkørsel er et hævet niveau med afvigende belægning i forlængelse af primærvejens rabat, cykelsti og/eller fortov. En overkørsel kan også være udformet som gennemgående fortov og/eller cykelsti på primærvejen.



Figur 4.7 Principskitser af overkørsler.

Ikke-prioriterede kryds (kryds med højrevigepligt)

Ikke-prioriterede kryds bruges idag kun sjældent i Danmark og da kun mellem veje med meget ringe trafikal betydning. Hvis det vælges at bruge ikke-prioriterede kryds - fx i et boligområde - bør der etableres fartdæmpende foranstaltninger i krydset. Særlig problematisk er ikke-prioriterede T-kryds, fordi trafikanter på den gennemgående vej vil tiltage sig prioriteten.

Signalregulerede kryds

Signalregulerede kryds kan enten være tre- eller firebenede og udformes med de samme geometriske elementer som prioriterede, ikke-signalregulerede kryds (se figur 4.2). Der findes ikke i vejreglerne vejkrydstyper for signalregulerede kryds, men i vejreglen for signalanlæg findes en læng række regler for signalstandernes placering og signalanlæggets funktion. Signalregulerede kryds er iøvrigt behandlet i kapitel 5.

4.2 Trafiksikkerhed

Som det fremgår af tabel 4.1 sker halvdelen af alle uheld i kryds. Den tid trafikanterne tilbringer i krydsene er lang mindre end den tid de tilbringer på strækninger, hvorfor deres risiko for at komme i uheld i kryds er langt større end på strækninger. Årsagen hertil er, at de trafikale situationer, som trafikanterne skal løse i krydsene er langt mere komplicerede end dem, de skal løse på strækninger.[5]

	Antal	Procent
F-kryds	4852	24%
T-kryds	4081	20%
Rundkørsler	158	1%
Ud/indkørsel	764	4%
Øvrige kryds	442	2%
Kryds ialt	10297	51%
Strækning:		
Lige vej	7056	35%
Kurve	1814	9%
Øvrige	978	5%
Strækning ialt	9848	49%

Tabel 4.1 Antal person- og materielskadeuheld i 1992 fordelt på kryds og strækninger.

Hensynet til trafiksikkerheden er derfor en hovedforudsætning, når et nyt vejkryds skal placeres, og i øvrigt for valg af vejkrydstype og for den detaljerede udformning af et kryds og dets omgivelser.

Kørsel gennem kryds indebærer som regel komplicerede manøvrer, hvorunder trafikanterne skal foretage et stort antal vurderinger af andre trafikanters placering, hastighed mv. Det er afgørende for trafiksikkerheden, at trafikanterne har tid til at opfatte situationen og tilpasse deres hastighed til den.

En trafikant, der nærmer sig et kryds, skal først og fremmest kunne se krydset i tilstrækkelig afstand for at kunne indstille sig på de nødvendige ændringer i kørselsforløbet. Trafikanterne på sekundærvejen skal have information om vigepligtsforholdene i en sådan afstand, at vigepligten kan overholdes, og også trafikanterne på primærvejen skal i rimelig afstand have et klart indtryk af vigepligtsforholdene.

Der skal være god oversigt for alle trafikanter, specielt fra sekundærvejen mod primærvejen, på langs ad primærvejen (for venstresvingende primærtrafikanter) og bagud (for højresvingende primærtrafikanter).

Man skal kunne placere sig rigtigt i god tid inden krydset, og i selve krydset skal det være let at vælge retning og korrekt kørespor.

Der skal desuden tages særligt hensyn til de lette trafikanter: fodgængere, cyklister og knallertkørere. Dels er disse trafikanters uheldsrisiko særlig høj, og skadesgraden ofte stor. Dels er deres måde at færdes på mindre regelmæssig end motortrafikkens, og selv små ulemper i form af omveje eller lignende kan medføre uhensigtsmæssig adfærd i krydset.

I de følgende afsnit opstilles en række generelle krav til placering, markering og udformning af vejkryds, motiveret af sikkerhedshensyn. På eksisterende veje kan det ofte være vanskeligt at leve op til de opstillede krav. Det kan derfor blive nødvendigt at benytte kravene "omvendt", ved fjernelse af de kryds og tilslutninger, som ikke er hensigtsmæssigt placeret eller kan gives en rimelig udformning.

Placering af vejkryds

Et kryds bør anlægges i et dybdepunkt, og helst i en konkav vertikalkurve for begge veje. Kan dette ikke lade sig gøre, bør det først og fremmest ske for sekundærvejen.

Et kryds skal helst anlægges på en retlinet strækning, og i hvert fald ikke i en skarp horisontalkurve. Tilslutning i indersiden af en kurve kan medføre dårlig oversigt til andre køretøjer. Tilslutning i ydersiden af en kurve kan på grund af tværfald bort fra sekundærvejen vanskeliggøre sekundærtrafikantens erkendelse af krydset, og giver desuden forkert sidehældning ved svingning.

Et kryds bør placeres sådan, at de fysiske forhold muliggør etablering af de oversigtsarealer, som er angivet i afsnit 4.3.

Markering af vejkryds

Et kryds, og ikke mindst krydsets omgivelser, skal udformes sådan, at det synsmæssigt klart adskiller sig fra fri strækning.

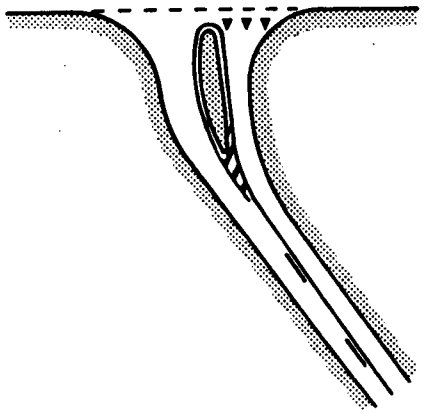
Først og fremmest skal der ske passende afbrydelse i den optiske ledning. Dette kan ske ved etablering eller afbrydelse af beplantning, ved bevidst placering af master mv., og desuden ved brug af tavleafmærkning og afmærkning på kørebanen.

Også afbrydelser af kantsten, anlæg af heller samt forsætning og eventuelt indsnævring af kørespor vil medvirke til den visuelle markering af krydset.



Markering af sidevej med beplantning.

Vigepligtsforholdene bør fremgå tydeligt. Sekundærvejen bør derfor have et afbrudt forløb, og ved F-kryds skal det undgås, at trafikanterne vildledes ved at kantstenslinier, beplantning, belysningspunkter etc. fortsætter uændret efter krydset. Dette er særlig vigtigt, hvis facaderne på de to sider af krydset ligner hinanden. Hvis en sekundærvej ligger i en højredrejende kurve kort før tilslutningen kan erkendelsen af krydset sikres ved, at en helle synsmæssigt "spærrer" for udsynet langs tilfartssporet, se figur 4.8.



Figur 4.8 Sekundærhelle, der markerer krydset og leder sidevejstrafikken.

Udformning af vejkryds

Ved udformning af et vejkryds skal der tilstræbes arkitektonisk sammenhæng mellem gaderummets og omgivelsernes karakter, og de forskellige elementer der benyttes.

Ud fra ovennævnte hensyn til orientering, oversigt mm. kan der desuden stilles nogle generelle krav til udformningen:

- der bør kun benyttes få og genkendelige elementer
- tilslutningen mellem sekundærvejen og primærvejen bør være så retvinklet som muligt
- sekundærtrafikanter bør i stopposition holde omtrent vinkelret på primærvejen
- overalt i et kryds bør en trafikant kunne se så langt frem, at der kan vælges korrekt kørespor

Hvor et kryds ønskes udformet sådan, at det virker hastighedsdæmpende på biltrafikken, kan der benyttes:

- indsnævringer
- forsætninger
- midterheller
- ramper og hævede køreflader
- bump
- belægningsskift
- trafikstyrede signaler

Placeringen af vejudstyr, skilte og kørebaneafmærkning bør indgå som et integreret led i den geometriske udformning af vejkryds. Det er i den forbindelse vigtigt:

- at vejafmærkningen (kørebaneafmærkning, færdselstavler, vejvisningstavler og eventuelle signaler) kan ses og opfattes i rimelig god tid af de trafikanter, den henvender sig til
- at vejudstyret (vejafmærkning, rækværker, autoværn, telefonbokse, læskure, lysmaster, beplantning mm.) ikke forringer oversigtsforholdene
- at fritrumskravene kan opfyldes

4.3 Oversigt

I vejkryds skal der sikres oversigt fra stopposition på sekundærvejen, og for venstresvingende og højresvingende på primærvejen.

Ved nyanlæg bør oversigtsarealers form, oversigtslængder etc. fastlægges i overensstemmelse med de i dette afsnit opstillede krav.[2,3]

På eksisterende gader og veje vil dette - på grund af parkering, bebyggelse, faste genstande i vejarealet mm. - normalt være umuligt. De givne forhold vil til gengæld præge trafikanternes adfærd, så den kan adskille sig væsentligt - både i positiv og i negativ retning - fra de beregningsforudsætninger, som ligger til grund for kravene.

Her må oversigten derfor, med udgangspunkt i de anførte krav, fastlægges i hvert enkelt tilfælde. Specielt i byområder bør det nøje overvejes, om det i en given situation er vigtigere at tilgodese et standsnings- eller parkeringsbehov end behovet for oversigt af den anførte størrelse. I nødvendigt omfang må oversigten sikres ved etablering af standsningsforbud.

Ved vejkryds med almindelig vigepligt bør der tilvejebringes oversigt fra stopposition på alle fire tilfarter.

Ved fastlæggelse af oversigtsarealer under vanskelige forhold er det af hensyn til trafiksikkerheden vigtigt, at oversigten bliver nogenlunde lige god til begge sider.

Oversigtsareal

Et oversigtsareal i et vejkryds er et trekantformet område, der giver en trafikant mulighed for at overskue krydset og de indgående veje, således at han kan foretage sine manøvrer med fornøden sikkerhed.

Oversigtsarealet i vejkryds med ubetinget vigepligt fastlæggelses ved oversigtslængder l_p og l_s ad henholdsvis primærvejen og sekundærvejen.

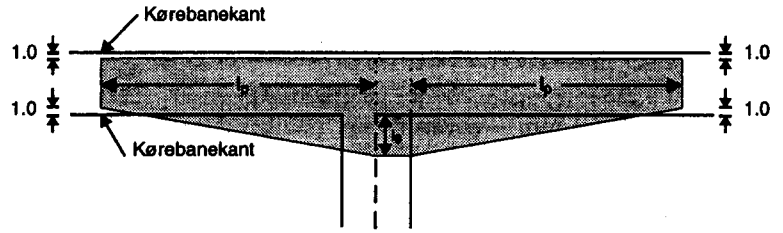
I kryds uden midterhelle og uden cykelsti på primærvejen afgrænses oversigtsarealet som vist på figur 4.9.

Oversigtsarealet i kryds med midterhelle, men uden cykelsti på primærvejen, afgrænses som vist på figur 4.10.

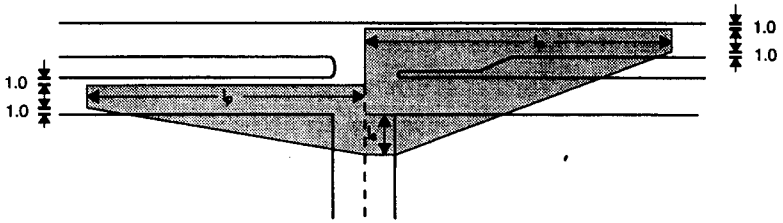
I kryds med cykelsti på primærvejen skal der sikres oversigt både til kørebanen og til cykelstien. Ofte vil den nødvendige oversigt til cykelstien falde inden for det oversigtsareal, som er nødvendigt for oversigten mod kørebanen. I andre tilfælde bliver der tale om en ekstra trekant som vist på figur 4.11.

Hvor det er særlig vanskeligt at tilvejebringe oversigten, kan l_s, for så vidt angår oversigten mod kørebanen, regnes fra kørebanekanten i stedet for cykelstikanten, jævnfør figur 4.12.

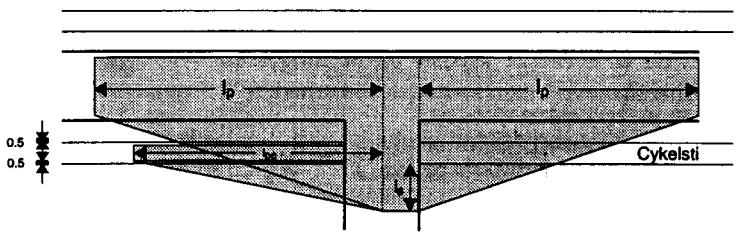
Ved dobbeltrettede cykelstier langs primærvejen skal oversigten tilvejebringes både til højre og venstre. Da enkeltrettede stier i praksis ofte anvendes som



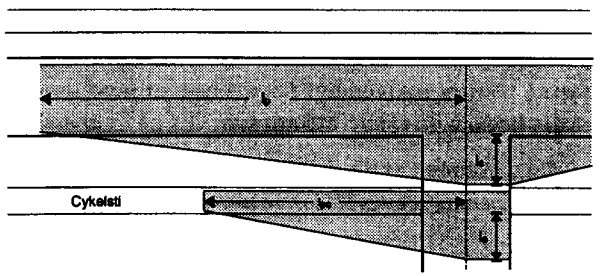
Figur 4.9 Oversigtsareal, kryds uden midterhelle og uden cykelsti på primærvejen.



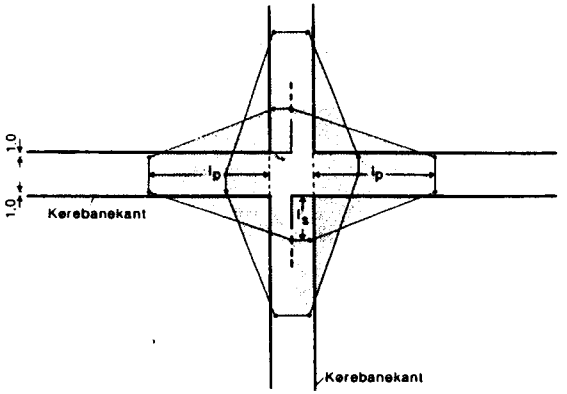
Figur 4.10 Oversigtsareal, kryds uden cykelsti men med midterhelle i primærvejen.



Figur 4.11 Oversigtsareal, kryds med cykelsti på primærvejen.



Figur 4.12 Oversigtsareal, kryds med cykelsti på primærvejen, komplicerede forhold.



Figur 4.13 Oversigtsareal, kryds med almindelig vigepligt uden cykelsti.

dobbeltrettede, kan det være hensigtsmæssigt også her at tilvejebringe oversi til begge sider.

I vejkryds med almindelig vigepligt fastlægges oversigtsarealets form som vi på figur 4.13.

Vejreglen "Vejkryds i åbent land" og vejreglen "Byernes trafikarealer" angiv oversigtslængder i forhold til hhv. dimensioneringshastighed og referencehasti hed (se afsnit 7.4 for definition af dimensioneringshastighed og referencehasti hed).

I "Byernes trafikarealer" er angivet, at oversigtslængderne l_s og l_p bør opfyl nedennævnte krav:

$l_s = 2{,}5$ m

Denne afstand svarer til den ventende sekundærtrafikants normale øjenplac ring.

Afstanden l_p ad primærvejen bør være mindst de værdier, der fremgår af tab 4.2.

Afstanden l_{pc} ad primærvejens cykelsti bør være mindst:

Cykelsti med knallertkørsel	45 m
Cykelsti med kun cykelkørsel	33 m

Referencehastighed (km/h)	80	70	60	50	40	30
Oversigtslængde l_p (m)	175	145	120	95	75	55

Tabel 4.2 Oversigtslængder ad primærvejen.

Forudsætninger

De anførte oversigtslængder sikrer såvel krydsning som indsvingning af en bil eller en cykel under følgende forudsætninger:

Hastighed, biler på primærvejen	referencehastighed
Hastighed, knallerter	30 km/h
Hastighed, cykler	25 km/h
Orienteringstid for trafikanter fra sekundærvejen	2,5 sek
Bremsereaktionstid	2,0 sek
Deceleration, biler	3,5 m/sek^2
Standselængde, knallerter	25 m
Standselængde, cykler	16 m

Højere hastigheder, lavere decelerationsværdier mv. forekommer, men i praksis forudsættes det, at fx en højere hastighed hos en cyklist vil blive kompenseret ved større agtpågivenhed og/eller bedre bremser.

I "Vejkryds i åbent land" er angivet at, oversigtslængden l_s ad sekundærvejen skal være mindst 3 m.

Oversigtslængden l_p ad primærvejen afhænger af dennes dimensioneringshastighed og skal være mindst de værdier, som fremgår af tabel 4.3.

Dimensionerings-hastighed (km/h)	50	60	70	80	90	100
Oversigtslængde l_p min. (m)	195	210	225	240	255	270

Tabel 4.3 Minimale oversigtslængder ad primærvej, oversigt fra stopposition.

Oversigtslængderne sikrer, at en lastvogn kan svinge ind på primærvejen og accelerere op til den hastighed, som en primærtrafikant opnår ved 4 sek efter lastvognens indsvingning at påbegynde en kraftig opbremsning med 3,5 m/sek^2. Primærtrafikanten regnes at køre med en hastighed, som er større end dimensioneringshastigheden, se tabel 4.4. Reaktionstiden for sekundærtrafikanten er 2,5 sek.

Dimensioneringshastigehed (km/h)	50	60	70	80	90	100
Primærtrafikantens hastighed (km/h)	80	85	90	95	100	105

Tabel 4.4 Forudsætninger om primærtrafikantens begyndelseshastighed.

Oversigt før kryds

Der stilles ved nyanlæg normalt ikke krav om oversigt før kryds, dvs. til og fra en sekundærtrafikant, der nærmer sig krydset. Ingen undersøgelser tyder nemlig på, at der generelt er sikkerhedsmæssige fordele ved oversigt før kryds.

Sigtfladens højde mm.

Sigtfladen er den indhyllingsflade sigtlinierne danner, når øje- og objektpunkterne gennemløber de mulige placeringer. Det forudsættes, at øje- og objektpunkterne forløber 1,0 m over henholdsvis sekundærvejens og primærvejens laveste kørebanekant.

Af hensyn til sne, græs mv. skal kørebanearealer, cykelsti- og fortovsarealer, heller, skillerabatter og yderrabatter inden for oversigtsarealet ligge mindst 0,2 m under sigtfladen. Det samme gælder vejudstyr inden for oversigtsarealet. Eventuelle arealer uden for vejarealet men inden for oversigtsarealet skal af hensyn til plantevækst mv. ligge mindst 0,5 m under sigtfladen.

Oversigt for venstresvingende

Venstresvingende trafikanter fra primærvejen skal have tilstrækkelig oversigt til, at en sikker krydsning af den modsat rettede kørebane og evt. cykelsti kan finde sted. Det bør således sikres, at to modsat venstresvingende ikke spærrer for hinandens udsyn, og fra venteposition for venstresvingende bør der være oversigtslængde fremad kørebanen som anført i tabel 4.5.

Referencehastighed (km/h)	80	70	60	50	40	30
Oversigtslængde (m)	135	115	100	85	65	50

Tabel 4.5 Oversigtslængde frem ad kørebanen ved venstresving.

Oversigtslængden mod modsatrettet cykelsti bør være: 70 m.

De anførte længder sikrer, at en lastvogn kan nå at krydse den modsatrettede kørebane hhv. cykelsti, uden at en modkørende behøver bremse.

Oversigt for højresvingende ved cykelsti

Højresvingende bilister bør have tilstrækkelig oversigt til, at en sikker krydning af cykelstien kan finde sted. På grund af blinde vinkler og utilstrækkelige sidespejle er konflikter mellem højresvingende biler, især vare- og lastvogne, og ligeudkørende cykler og specielt knallerter særligt hyppige. For at mindske risikoen for disse konflikter kan man på en strækning af 20-25 m give bilerne mulighed for at køre tæt ved og parallelt med cykelstien. Cykelstien kan også fjernes på det sidste stykke op mod krydset og erstattes af en højresvingsbane. Herved erstattes krydsningskonflikten mellem cyklister og bilister af en mindre alvorlig flettekonflikt, der kan overstås før cyklister og bilister når frem til krydset. En fri oversigt bagud på 70 m sikrer, at en lastvogn kan nå at krydse cykelstien uden at en knallertkører behøver bremse.

4.4 Kapacitet

Definition

Ved *kapacitet* forstås normalt *højeste ydeevne* dvs., at kapaciteten af et vejanlæg er den største trafik, som kan afvikles inden for et givet tidsrum.

Dette er imidlertid ikke noget entydigt begreb, hvor der tales om vejkryds eller rundkørsler. I en given trafiksituation kan det forekomme, at der ikke kan passere flere venstresvingere igennem et kryds, men nok fx flere højresvingere. Normalt vil man anse krydsets kapacitet for nået, når en af trafikstrømmene ikke længere kan forøges uanset, at andre strømme eventuelt kunne forøges. Det leder til den opfattelse af kapacitetsbegrebet, at man betragter kapaciteten som *den største trafik, som kan afvikles inden for et givet tidsrum, under den forudsætning, at en given fordeling af trafikstrømme på de forskellige retninger ikke ændres.* Denne definition svarer til den definition, som anvendes i vejreglen vedr. vejkryds i åbent land.[3]

Kapaciteten afhænger på afgørende måde af vigepligtsforhold og trafikregulering i øvrigt. I den følgende beskrivelse skelnes der mellem prioriterede kryds, rundkørsler og signalregulerede kryds.

Kapacitet og serviceniveau

En trafikintensitet, der svarer til kapaciteten, er ensbetydende med en tilstand, hvor hver eneste mulighed for passage udnyttes af en vigepligtig trafikant. Der må derfor til stadighed være ventende i kø i de vigepligtige strømme. For signalregulerede kryds betyder det, at al grøntid udnyttes effektivt.

Hvis der virkelig altid er kø, kan det vises, at køen teoretisk må være "uendelig" lang. Deraf følger, at den ventetid, man udsættes for, også teoretisk er "uendelig". Kapacitetssituationen er altså en overgangssituation fra en trafiktilstand, hvor trafikken netop afvikles, til en tilstand, hvor trafiktilstrømningen er større end, hvad der kan afvikles.

Det er derfor i praksis uforsvarligt at dimensionere efter kapaciteten. Man kan i projekteringen ikke forudsætte meget lange ventetider og kødannelser, men må tilstræbe en situation med rimeligt korte ventetider og køer.

Det problem, at indkredse en trafikbelastning, som er mindre end kapaciteten, og som giver "rimelig" eller "acceptable" trafiktilstande, har ingen eksakt løsning. I den sparsomme litteratur, som findes om dette emne, er der peget på to forhold, som bør tages i betragtning ved definition af en rimelig belastning nemlig ventetider og kølængder, som imidlertid er nært forbundne. Ventetiden har en klar

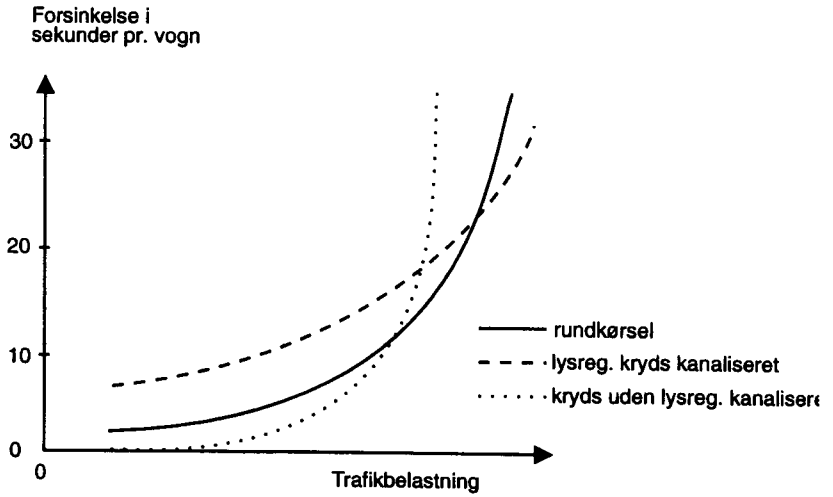
psykologisk og trafikøkonomisk betydning, mens kølængden tillige har en k struktiv betydning.

Uanset om en lang kø giver et stort gennemsnitligt tidstab eller ej, kan selve kø fysiske længde spille en rolle for omgivelserne i form af blokering af anden traf fx til og fra ejendomme langs vejen.

For at danne sig et indtryk af hvilke størrelsesordner af gennemsnitlig ventet som kunne komme på tale som rimelighedskrav, kan man anstille følgen betragtning.

I studier af forsinkelser i forskellige krydstyper finder man, at prioriterede kry har små forsinkelser ved små trafikmængder, men også at forsinkelserne sti hyperbolsk med voksende trafikmængder. Signalregulerede kryds giver relat store forsinkelser uanset trafikmængder, men til gengæld kan signalregulere kryds bære trafik, der ligger væsenlig over den valgte tilladelige trafikintensi uden at ventetiden stiger hyperbolsk, og at trafikken dermed bryder samm Selv når forsinkelsen i signalregulerede kryds nærmer sig et minut forbli trafikafviklingen stabil. Også i rundkørsler forbliver trafikafviklingen som re stabil selv om trafikintensiteten stiger til over den dimensionsgivende traf Rundkørsler kan dog give store ventetider, hvis der er en dominerende venst svingende eller ligeudkørende trafikstrøm.

I figur 4.14 er den principielle sammenhæng mellem forsinkelse og trafikinten tet for de tre reguleringsformer vist.



Figur 4.14 Sammenhæng mellem forsinkelse og trafikintensitet.

Det bemærkes, at:

- skæringspunkterne mellem kurverne ligger mellem 10 og 20 sek/vogn
- kurven for prioriterede kryds går stejlt mod uendelig fra omkring 10 sek/vogn, dvs. at trafikafviklingen bliver ustabil for forsinkelse over disse talværdier
- skæringspunktet mellem rundkørsler og de to øvrige krydstyper afhænger af trafikfordelingen i krydset

I vejreglen for vejkryds i åbent land[3] er serviceniveaubegrebet defineret ud fra forsinkelsen for den vigepligtige trafikant på den i tabel 4.6 viste måde. Definitionen kan også anvendes på rundkørsler og i signalregulerede kryds.

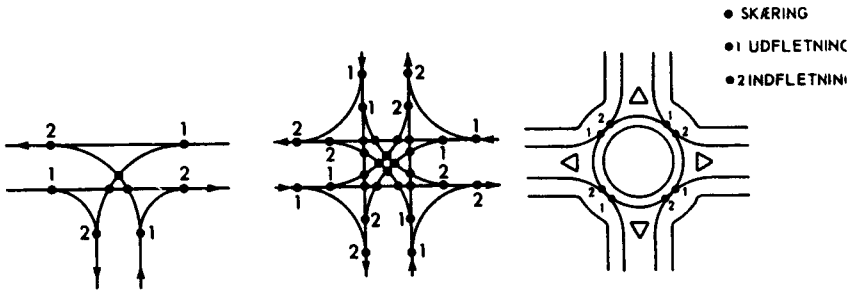
For signalregulerede kryds har man udviklet en metode til beregning af tilladelig trafikintensitet, hvori forsinkelserne indgår implicit. I praksis viser det sig, at metoden fører til forsinkelser af størrelsesordenen 10-30 sek/vogn, og at en forøgelse af trafikintensiteten fører til hurtigt voksende forsinkelser.

middelventetid (sek/pr. vogn)	forsinkelsesbeskrivelse	serviceniveau
0 - 11,9	næsten ingen forsinkelse	A
12 - 17,9	begyndende forsinkelse	B
18 - 23,9	ringe forsinkelse	C
24 - 35,9	nogen forsinkelse	D
36 - 71,9	stor forsinkelse	E
72 - ∞	meget stor forsinkelse (sammenbrud)	F

Tabel 4.6 Definition af serviceniveau i kryds og rundkørsler.

Prioriterede kryds og rundkørsler

En beregning af kapaciteten i et kryds eller rundkørsel kræver en beskrivelse af trafikafviklingen i krydset. Vigepligtsforholdene vil afgøre, hvilke strømme i krydset, der skal vige for hvilke. De punkter i krydset, hvor to strømme kommer ud i en vigepligtskonflikt, har afgørende betydning for kapaciteten. Disse konfliktpunkter er enten skæringspunkter - fx hvor to strømme krydser hinanden - eller indfletningspunkter - fx hvor en højresvingende strøm fletter ind i en tværgående strøm. Udfletningspunkter, hvor fx en højresvingende strøm forlader en ligeudkørende, regnes ikke for egentlige konfliktpunkter. De får dog indirekte betydning, hvor den ene af de to strømme har vigepligt for en tredie strøm. I dette tilfælde vil risikoen for en køopstuvning tilbage til udfletningspunktet kunne få betydning i den samlede beregning.



Figur 4.15 Eksempler på konfliktpunkter mellem biltrafikstrømme i forskellige knudepunktstyper.

I figur 4.15 er vist nogle eksempler på konfliktpunkter ved skæring, indfletning og udfletning. Det bemærkes, at konflikter med knallerter, cykler og fodgængere er udeladt for overskuelighedens skyld.

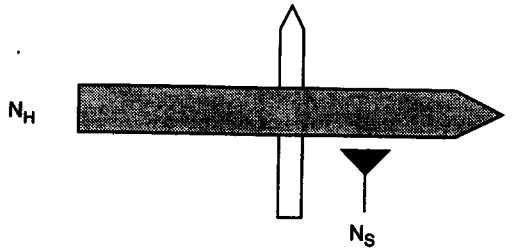
Beregningen af kapaciteten rummer tre problemer:

- hvorledes kan man beregne, hvilken trafik der kan afvikles i et isoleret konfliktpunkt, dvs. upåvirket af andre konfliktpunkter?
- hvilke parametre indgår i denne beregning? Kan parametrenes talværdier udledes direkte af krydsets geometri?
- nogle ~~strækninger~~ strømme påvirker andre ~~strækninger~~ strømme derved, at nogle ventende strømme blokerer andre strømme. Hvorledes behandles disse forhold beregningsmæssigt?

Skæring mellem to strømme

I både en skæring og en indfletning er problemet, at to strømme, hvor trafikanterne kommer tilfældigt fra hver sin side, skal dele den disponible plads. Dette betyder, at når to ankomster sker samtidigt, må den ene part vige. Principielt er konflikterne i krydset styret af færdselsloven, dvs. den ene strøm har altid vigepligt for den anden.

Som eksempel på en enkel konflikt betragtes en skæring mellem to trafikstrømme, hvor ingen andre forstyrende momenter forekommer, se figur 4.16. Ved vurdering af kapaciteten kan den vigepligtige strøm (sekundærstrømmen) N betragtes som den variable, hvis størrelse skal bestemmes, mens den overordnede strøm (primærstrømmen) N_H er den givne. Maksimal trafik i sekundærstrømmen opnås, såfremt ethvert acceptabelt hul i primærstrømmen udnyttes af trafikanter i sekundærstrømmen.



Figur 4.16 Skæring mellem to trafikstrømme.

De parametre, der i hovedsagen styrer sekundærstrømmens afvikling, er to størrelser, der benævnes kritisk interval og passagetid.

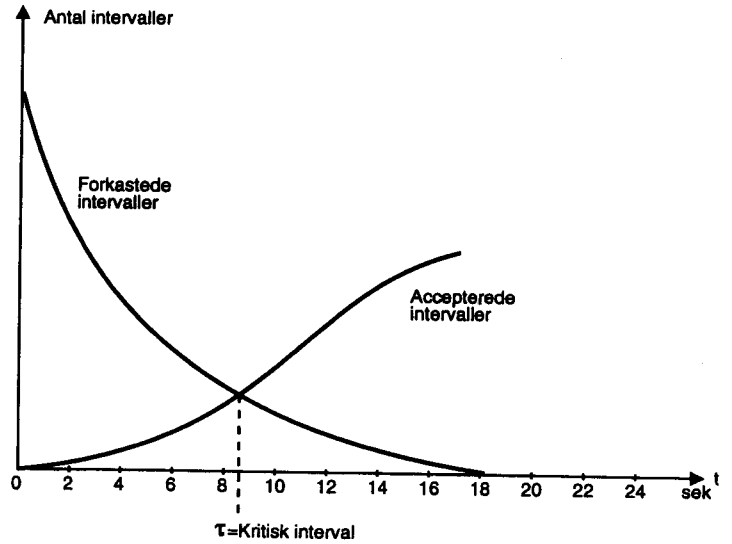
Det kritiske interval τ er det gennemsnitlige tidsinterval mellem bilerne i primærstrømmen, der netop er langt nok til, at trafikanterne i sekundærstrømmen accepterer at krydse primærstrømmen. Tidsintervallerne mellem bilerne i primærstrømmen måles mellem passage af ensliggende punkter på bilerne, fx forreste kofanger. Ved kapacitetsberegninger, hvor der ønskes taget hensyn til cyklister i primærtrafikken, kan der regnes med et vægtet τ i forhold til andelen af hhv. biler og cykler i primærstrømmen.

Det kritiske interval for en vigepligtig trafikstrøm i et givet vejkryds bestemmes ved at optælle, hvilke intervaller der forkastes, og hvilke der accepteres til at køre frem. Resultaterne optegnes som vist på figur 4.17, og det kritiske interval defineres som abscissen til skæringspunktet mellem de to kurver. Det kritiske interval forkastes og accepteres altså af lige mange vigepligtige trafikanter.[6]

Det kritiske interval varierer fra kryds til kryds. I vejreglen "Vejkryds i åbent land"[3] er angivet de i tabel 4.7 viste værdier. Værdierne i tabel 4.7 omhandler alene bil-bil situationer. τ-værdier for bil-let trafik situationen i prioriterede kryds kendes ikke, men er i vejreglen "Byernes trafikarealer"[2] for rundkørsler opgivet til 2,5 sek. I prioriterede kryds er vigepligtsforholdene betydeligt mere komplicerede end i rundkørsler og den må antages at ligge noget højere, men stadig betydeligt under bil-bil værdierne.

	vigepligtsforhold	
strøm	ubetinget vigepligt	fuldt stop
venstresvingende fra primærvejen	5,5	
højreindsvingende fra sekundærvej	5,5	6,5
krydsende fra sekundærvejen	6,0	7,0
venstresvingende fra sekundærvejen	7,0	8,0

Tabel 4.7 Kritisk interval τ (sek) for vigepligtige trafikstrømme på to-sporede veje.



Figur 4.17 Fastsættelse af kritisk interval.

Passagetiden δ er den tid, der går mellem fremkørslen af to biler i sekundærstrømmen, når der er kø i sekundærstrømmen, og de to biler benytter samme interval i primærstrømmen. Det er altså den tid, der går fra den ene trafikant i sekundærstrømmen har besluttet at køre frem, til den næste beslutter at køre.

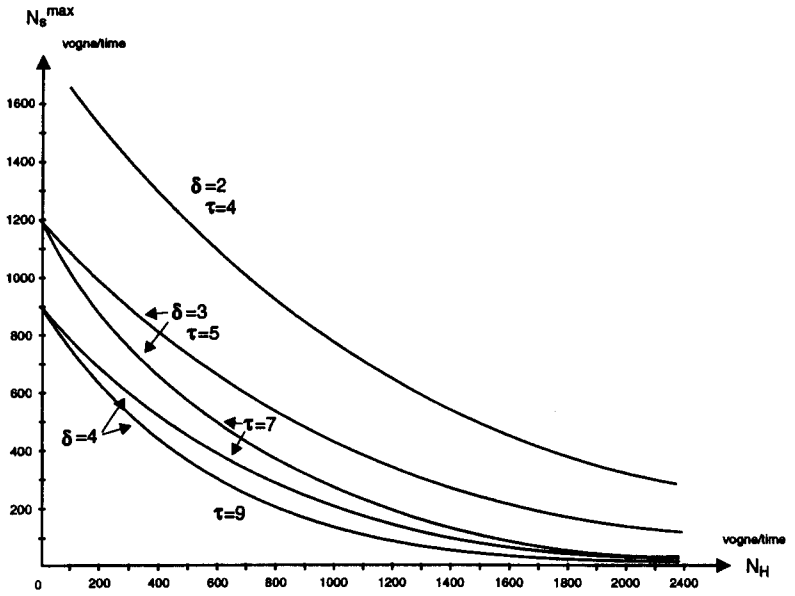
Målinger af passagetiden δ er kun foretaget i få tilfælde. For trafikanter, der fra sekundærvejen svinger ind i et T-kryds, er fundet δ-værdier på 3-4 sek/vogn. For venstresvingende trafik fra primærvejen ligger δ formentlig omkring 2-3 sek/vogn.

I vejreglen "Byernes trafikarealer" anbefales det at benytte de i tabel 4.8 viste værdier af τ og δ ved kapacitetsberegning i rundkørsler. Ved valg af τ-værdi for tilfart, bil-bil, vælges den største værdi, når den indkørende trafik er lille i forhold til den cirkulerende, når forsætningen er stor, og/eller når der er dårlig oversigt.

sek	Tilfart		Frafart
	Bil-bil	Bil-let trafik	Bil-let trafik
τ	3,5 - 4,0	2,5	2,5
δ	2,8	2,8	2,0

Tabel 4.8 Anbefalede værdier for τ og δ i rundkørsler.

Kapacitetsberegningen for den simple situation i figur 4.16 består i et finde længderne af intervallerne i primærstrømmen og antallet af biler fra sekundærstrømmen, der kan afvikles i de forskellige intervaller.



Figur 4.18 *Maksimal sekundærstrøm N_S^{max} for en given primærstrøm N_H.*

Antages det, at intervalfordelingen i primærstrømmen er eksponentiel, kan det vises at:[6]

$$N_S^{max} = N_H \frac{e^{-N_H \cdot \tau}}{1 - e^{-N_H \cdot \delta}} \qquad (4.1)$$

N_S^{max}: den maksimalt mulig trafikintensitet i sekundærstrømmen
N_H: trafikintensiteten i primærstrømmen

Formlen, der principielt gælder både skæring og indfletning, er optegnet i figur 4.18.

Formel (4.1) giver den teoretiske maksimale sidevejsstrøm ved forudsat permanent kø i sidevejen.

Ved praktisk dimensionering må der tages hensyn til det valgte serviceniveau og dermed, at den valgte gennemsnitlige forsinkelse for sidevejstrafikanterne ikke overskrides.

Ved anvendelse af køteoretiske formler kan det vises, at sammenhængen mellem den gennemsnitlige forsinkelse t_m og N_S^{max} samt N_S er:

$$t_m = \frac{3600}{N_S^{max} - N_S} \qquad (4.2)$$

Samlet kapacitet

I starten af dette afsnit blev kapaciteten af et helt kryds defineret som den største trafik, som kan afvikles indenfor et givet tidsrum, under den forudsætning, at en given fordeling af trafikstrømme på de forskellige retninger ikke ændres.

I praksis er denne definition ikke særlig anvendelig, idet forudsætningen om samme fordeling ved stigende trafik kun sjældent vil være opfyldt. I stedet må man ved kapacitetsberegninger gætte på fremtidige trafikmængder og herefter eftervise, at ventetiderne ved disse mængder bliver acceptable.

Kapacitet af et prioriteret kryds

Princippet i kapacitetsberegning for et helt kryds er, at man successivt anvender beregningen for den enkelte konflikt på alle konflikterne i krydset. I hvert konfliktpunkt beregnes N_H som summen af de strømme, som den betragtede strøm har vigepligt for.

Den rækkefølge, i hvilken konflikterne behandles beregningsmæssigt, fastlægges gennem en rangordning af de forskellige strømme.

Rangordningen af strømmene er følgende: Højeste rang (1. ordens strømme) har de strømme, som kan afvikles uden at møde strømme, for hvilke de har vigepligt. Næsthøjeste rang (2. ordens strømme) er sådanne, som kun har vigepligt for 1. ordens strømme. 3. ordens strømme har vigepligt for 1. og 2. ordens strømme, men ikke for lavere orden osv., jf. figur 4.19.

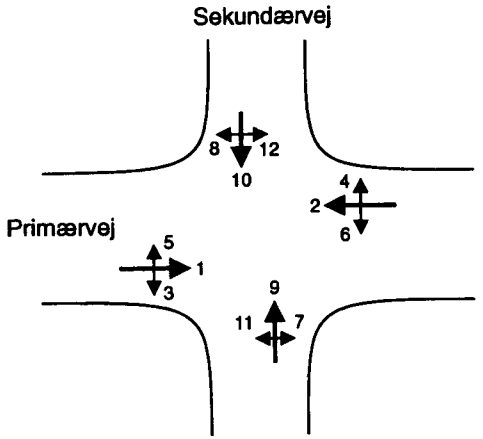
Ved kapacitetsberegningen kan man benytte formel (4.1) for den simple konflikt på situationer, hvor primærstrømmen ikke har vigepligt for andre, dvs. er af 1. orden. I figur 4.19 er dette fx tilfældet for konflikten mellem strøm 7 og strøm 1.

Ses derimod på konflikten mellem strøm 11 og strøm 6 gælder det, at strøm 11 skal vige for strøm 6, som igen skal vige for strøm 1 og 3.

For at behandle denne konflikttype opstiller man følgende tilnærmelsesbetragtninger: Den maksimale værdi af strøm 11, N_{11}^{max}, som kunne opnås, hvis strøm 6 ikke havde vigepligt for andre, reduceres med en størrelse, der afhænger af, hvor tit der er kø i strøm 6. Man kan anslå sandsynligheden for, at der ikke er kø i strøm 6, p_6, som:

$$p_6 = \frac{N_6^{max} - N_6}{N_6^{max}} \qquad (4.3)$$

Kapaciteten for strøm 11 beregnes da som $p_6 \cdot N_{11}^{max}$. Skulle strøm 11 vige for flere strømme af 2. orden multipliceres N_{11}^{max} med alle de relevante p-værdier.



Idet trafikken på sekundærveje har vigepligt for trafikken på primærveje, bliver rangordningen:

1. orden:	strøm 1, 2, 3, 4
2. orden:	strøm 5, 6, 7, 8
3. orden:	strøm 9, 10
4. orden:	strøm 11, 12

Ved et T-kryds bortfalder fx strøm 8, 10, 12 samt 4, 5 og 9. Rangordningen bliver da:

1. orden:	strøm 1, 2, 3
2. orden:	strøm 6, 7
3. orden:	strøm 11

Figur 4.19 Rangordning af trafikstrømme.

I appendix 4.1 er gengivet en metode fra Vejregler for vejkryds i åbent land til gennemregning af kapaciteten af et prioriteret kryds.[3]

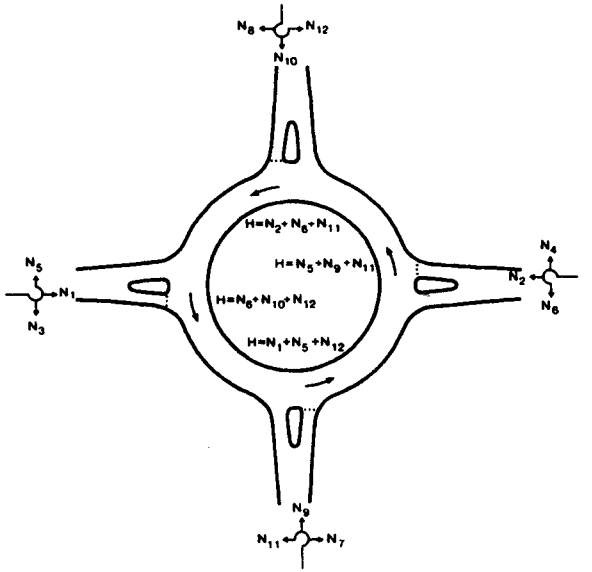
Kapacitet af en rundkørsel

Hvis man betragter en rundkørsel som tre, fire eller flere tætliggende T-kryds, hvor tilkørslerne er sekundærveje, og hvor cirkulationsarealet er en ensrettet primærvej, kan formel (4.1) benyttes både ved beregning af kapaciteten for indkørende biler og for de udkørende biler - der har vigepligt for cirkulerende cyklister. For de udkørende kan der ved stor trafikbelastning opstå risiko for tilbagestuvning i rundkørslen, således at biler i den bagvedliggende tilfart ikke kan køre ind i rundkørslen. Dette forhold må der tages højde for i kapacitetsberegningen. Trafikstrømme er vist i figur 4.20.

Risikoen for tilbageblokering i cirkulationsarealet hen forbi den bagved liggende tilfart beregnes ved hjælp af formlen:[7]

$$\ln p = \left(1 - e^{(-2{,}4 \cdot C_y/3600)} \cdot n \cdot \ln\left(\frac{N_{ud}}{k \cdot N_{max,ud}}\right)\right) \qquad (4.4)$$

p:	sandsynligheden for tilbageblokering. Den bør ikke overstige 5%
n:	antallet af ventepladser i rundkørslens cirkulationsareal, som kan være besat uden, at der opstår blokering af den bagvedliggende tilfart
N_{ud}:	den udkørende biltrafik, målt i pbe/h
$N_{max,ud}$:	kapaciteten i frafarten, ligeledes målt i pbe/h
C_y:	cirkulerende cyklister pr. time



Figur 4.20 Trafikstrømme i en 4-grenet rundkørsel.

Den bagvedliggende tilfart vil få reduceret kapaciteten med p%. På dette grundlag kan tilfartens korrigerede kapacitet $N_{max,korr}$ beregnes, og endelig beregnes den gennemsnitlige ventetid t for trafikintensiteten N_s i tilfarten ved hjælp af formlen:

$$t = \frac{3600}{N_{max,korr} - N_s} \qquad (4.5)$$

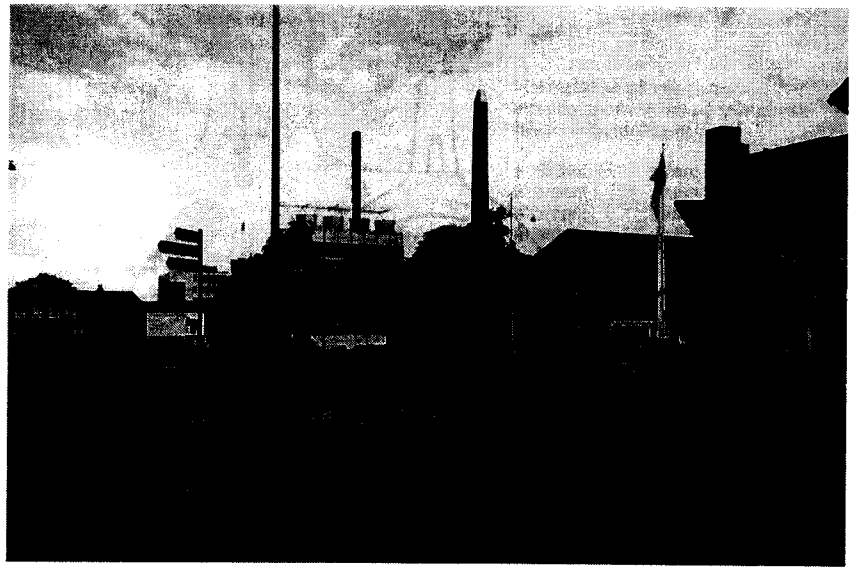
Ventetiden kan herefter sammenlignes med det valgte serviceniveau.

Ved kapacitetsberegning i en rundkørsel indregnes både biler og cykler med faktoren én, dvs. som 1 personbilenhed (pbe).

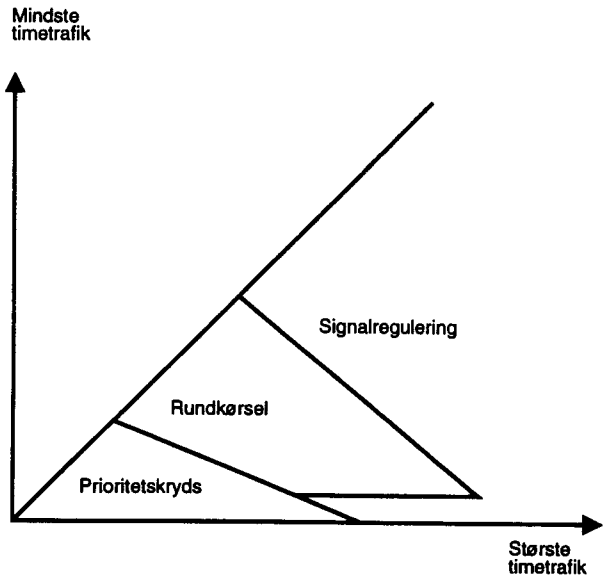
4.5 Valg af krydstype

Valget af krydstype beror på en vurdering og analyse af en række forhold, hvad enten det drejer sig om nyanlæg eller ombygning af eksisterende kryds:

- De skærende vejes fremtidige funktion i trafiknettet og deres referencehastighed



Rundkørsler i dag en populær reguleringsform i kryds.



Figur 4.21 Principskitse af anvendelsesområder for tre krydstyper.

- Den dimensionsgivende trafik fordelt på retninger og typer - herunder om den lette trafik er af en størrelsesorden, så den skal tages i regning
- Topografiske forhold
- Arealbegrænsninger som følge af eksisterende bebyggelse
- Principielle anvendelsesområder for de tre krydstyper, jf. figur 4.21. Det bemærkes, at anvendelsesområdet for rundkørsler ligger mellem prioritetskryds og signalregulering og kræver nogen sidevejstrafik[8]

På denne baggrund opstilles et antal mulige krydstyper, hvoraf der udvælges nogle få relevante løsninger udfra sikkerhedsmæssige, kapacitetsmæssige og økonomiske overvejelser.

De således udvalgte løsninger skal herefter underkastes en indgående økonomisk konsekvensvurdering, som sammen med hensynet til en række ikke kvantificerbare forhold som miljø, æstetik, tryghed og komfort danner grundlag for valg af krydstype.

Prioriterede kryds

I vejregler for vejkryds i åbent land er der anført følgende betragtninger vedrørende anvendelsen af de enkelte krydstyper, jf. figur 4.3 og figur 4.4.

- T1/F1 anvendes, hvor trafikintensiteten er beskeden, men hvor sekundærvejens bidrag hertil er væsentlig mindre end primærvejens
- T2/F2 anvendes, hvor trafikintensiteten er beskeden, men hvor sekundærvejens bidrag ikke er uvæsentlig i forhold til primærvejens, samt i tilfælde hvor uheldsrisikoen må forventes betydeligt formindsket ved anlæg af en helle i sekundærvejen
- T3/F3 anvendes, hvor primærvejen er 2-sporet, og hvor trafikintensiteten er betydelig, herunder bred 2-sporet vej, dog uden at kapacitetshensyn eller hensyn til trafiksikkerheden berettiger til etablering af signalregulering eller hankeanlæg. Der er her tale om en kanalisering af både primær- og sekundærvej
- T4/F4 anvendes, hvor primærvejen er 3-sporet
- T4/F4 anvendes, hvor primærvejen er 4-sporet. Hvis trafikintensiteten på sekundærvejen er væsentlig, må kryds i forbindelse med 4-sporet primærvej dog som regel udføres med signalregulering eller som hankeanlæg

Som det tidligere er anført bør F-kryds undgås af sikkerhedsmæssige årsager. I stedet bør anvendes 2 tætliggende T-kryds, de såkaldte forsatte kryds, jf. figur 4.5.

Rundkørsler

Rundkørsler er blevet moderne igen, efter at de i mange år næsten aldrig blev anvendt. Den fornyede interesse kan direkte føres tilbage til, at vigepligten ved indkørsel i en rundkørsel i 1976 blev ændret, så det i dag er den indkørende trafik, som skal vige for cirkulerende biler og cykler.[9]

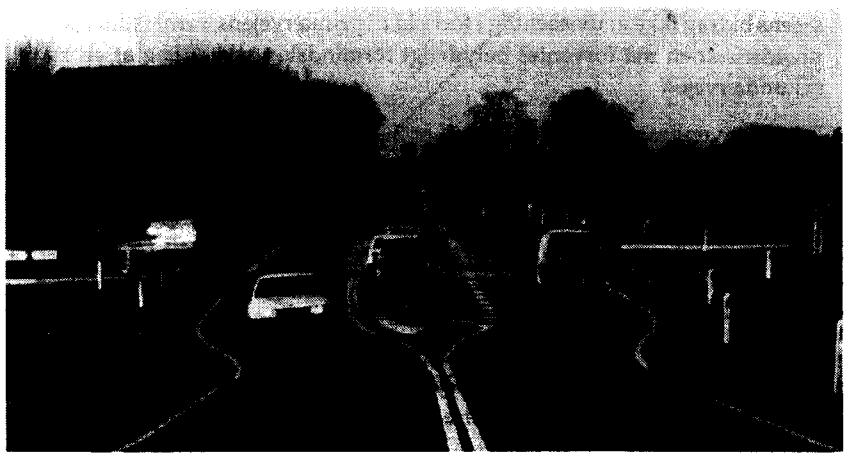
De interessante spørgsmål er: Kan det nøjere præciseres, hvilke fordele og ulemper rundkørsler har og kan de tilfælde indkredses, hvor der bør anvendes en rundkørsel frem for et prioritetskryds eller en signalregulering?

Der er nogle almene forhold, som kunne tale for at anvende rundkørsler i stedet for kryds i konkrete situationer fx at:

- et kryds vil få 5 eller 6 ben
- et kryds vil få skæve vinkler
- der er store svingende strømme
- der er en dobbeltrettet cykelsti igennem krydset
- der er behov for hastighedsdæmpning på den gennemgående vej
- der ønskes en mere glidende trafikafvikling - især uden for spidsbelastningsperioder

Afgørende er det imidlertid, om rundkørsler kan konkurrere på kapacitet, på sikkerhed og på pris.

Rundkørsler har typisk en kapacitet, som er 50-75% større end prioritetskryds. Signalreguleringer vil normalt kunne udbygges til større kapacitet end rundkørsler, men hvor der anvendes store arealer, kan en rundkørsel afvikle betydelige trafikmængder.



F-kryds bør af sikkerhedsmæssige grunde undgås

Rundkørsler kan konkurrere sikkerhedsmæssigt med F-kryds. Det er mere uklart, hvordan rundkørslers sikkerhed ser ud i forhold til signalreguleringer. På landet vil rundkørsler sandsynligvis som oftest være den sikreste løsning. I byområder med mange cyklister er det mindre afklaret hvilken type, der er sikrest. Sikkerheden ved signaler og ved rundkørsler er så tæt på hinanden, at i en række tilfælde vil begge muligheder være åbne således, at andre hensyn bør afgøre valget.

Også når der tales anlægs- og driftsøkonomi vil både rundkørsler og signalregulering være anvendelige i mange konkrete tilfælde.

Signalregulering

Det er den almindelige opfattelse, at signalregulering kun bør anvendes, hvor anden regulering er utilstrækkelig enten sikkerhedsmæssigt eller kapacitetsmæssigt. Dette har ledt til, at man ved krydstypevalg ofte har ræsonneret således:

Vi er lidt usikre på, om det af kapacitetsmæssige årsager er nødvendigt at signalregulere dette F-kryds, så vi må hellere udforme det, så det senere kan signalreguleres uden større anlægstekniske ændringer.

Dette ræsonnement medfører så, at man i stedet for det sikkerhedsmæssigt bedre forsatte kryds vælger et F-kryds, og at sekundærtilfarterne udformes, så de giver gode flugter igennem krydset ved en kommende signalregulering. Endelig vælges antallet af spor måske efter behovet ved en signalregulering. Konsekvensen af denne form for ræsonnement er, at man får kryds, der er sikkerhedsmæssigt dårlige, så behovet for en signalregulering bliver selvopfyldende - ikke pga. kapacitetsproblemer, men pga. sikkerhedsproblemer. Denne fremgangsmåde kan selvsagt ikke anbefales.

Indenfor de senere år er styringen af signalgivningen i de signalregulerede kryds blevet langt mere avanceret. Det betyder, at de store ventetider som en signalregulering tidligere altid medførte - også i svagt trafikerede perioder - til en vis grad er forsvundet. Også sikkerheden er på forskellig måde blevet forbedret ved de nye styringsprincipper. Dette betyder, at signalregulerede kryds idag har et større anvendelsesområde end for blot få år siden. Emnet er iøvrigt behandlet i kapitel 5 om signalregulering.

Appendix 4.1 - Metode til gennemregning af kapaciteten af et prioriteret kryds

Dette appendix er et uddrag af Vejregler for vejkryds i åbent land.[3]

Definition af kapacitet

Kapaciteten af et vejkryds beskrives ved kapaciteten af samtlige krydsets tilfartsspor. Kapaciteten af et tilfartsspor er det antal personbilenheder, pe, som pr. time kan afvikles i sporet.

Et vejkryds har tilstrækkelig kapacitet, hvis den dimensionsgivende trafikintensitet i samtlige tilfartsspor i hele planperioden er mindre end kapaciteten.

Kapacitetsberegning for et vejkryds kræver kendskab til:

Dimensionsgivende trafikintensiteter i hver enkelt trafikstrøm
Primærvejens længdegradient
Antal spor i tilfarterne
Vigepligtsforhold

Dimensionsgivende trafikintensiteter

Ved beregning af dimensionsgivende trafikintensiteter opdeles trafikken i køretøjskategorierne:

Cykler, knallerter og motorcykler
Person- og varevogne
Lastvogne og busser
Sætte- og påhængsvogntog

Den dimensionsgivende trafikintensitet for hver enkelt trafikstrøm beregnes ved multiplikation af trafikintensiteten for hver køretøjskategori med en tilsvarende personbilækvivalent og efterfølgende summation.

For højre- og venstreindsvingende trafik afhænger personbilækvivalenten af primærvejens længdegradient og kan aflæses i tabel 1.

For ligeudkørende sekundærtrafik og for venstresvingende primærtrafik anvendes værdierne i tabel 1 gældende for længdegradenten 0‰.

For gennemkørende og højresvingende primærtrafik anvendes personbilækvivalenten 1,0 for alle kategorier.

(I signalregulerede kryds anvendes værdierne svarende til længdegradienten 0‰ for alle trafikstrømme. Det omregnede dimensionsgivende trafikintensitet afhænger altså af, om krydset er signalreguleret eller ikke).

Køretøjskategori					
Primærvejens længdegradient		Cykler, knallerter og motorcykler	Person- og varevogne	Lastvogne og busser	Sætte- og påhængsvogn
stign.	40‰	0,7	1,4	3,0	6,0
	20‰	0,6	1,2	2,0	3,0
	0‰	0,5	1,0	1,5	2,0
	20‰	0,4	0,9	1,2	1,5
fald	40‰	0,3	0,8	1,0	1,2

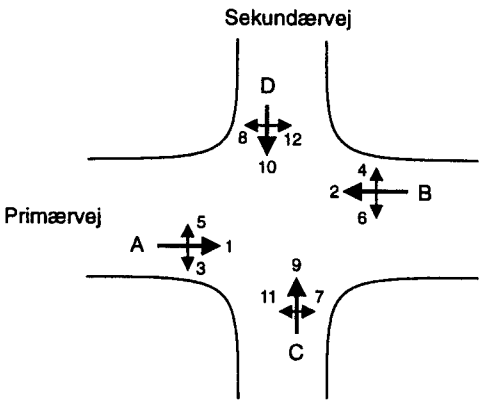
Tabel 1 *Personbilækvivalenter, til omregning fra køretøjer til pe, gældende fc kapacitetsberegninger for vejkryds i åbent land.*

På figur 1 er vist de tolv trafikstrømme, som forekommer i et firevejskryds, me den nummerering, som benyttes i afsnittet om kapacitetsberegning. A og B e primærtilfarter, og C og D er sekundærtilfarter.

De enkelte tilfartsspor identificeres i overensstemmelse med denne nummererin og bogstavering. Eksempelvis betegner B_{2+4} et tilfartsspor i primærvejen me både ligeudkørende og højresvingende trafik, medens D_8 betegner et højre svingsspor i sekundærvejen.

Antallet af spor i tilfarterne skal kendes, og trafikstrømmene beregningsmæssig fordeles på de enkelte spor.

Vigepligtsforholdene er afgørende for trafikstrømmes afvikling. Ved kapacitets beregningerne regnes med normale vigepligtsforhold, herunder med den grund læggende forudsætning, at trafikken på sekundærvejen har ubetinget vigeplig for trafikken på primærvejen, ligesom det forudsættes, at venstresvingende pri mærtrafikanter ikke svinger, før det kan ske uden ulempe for modkørende trafik



Figur 1 *Nummerering af trafikstrømme og bogstavering af tilfarter i et firevejskryds*

Kapacitetsberegning, ikke-signalregulerede vejkryds

Ved kapacitetsberegning for ikke-signalregulerede vejkryds kan anvendes et skema som vist i tabel 2.

N_i (pe/h) er trafikintensiteten i strøm "i".

H_i (pe/h) er strøm "i"s overordnede trafikintensitet, dvs. summen af trafikintensiteterne i strømme, for hvilken strøm "i" er vigepligtig. I tabel 2 er beregningen af H angivet for samtlige vigepligtige strømme.

Strøm	N	H	τ	G	N_{max}	N/N_{max}	p
-	pe/h	pe/h	sek/pe	pe/h	pe/h	-	-
1		-	-	-	-	-	-
2		-	-	-	-	-	-
3		-	-	-	-	-	-
4		-	-	-	-	-	-
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11						-	-
12						-	-

Tabel 2 Skema til beregning af kapacitet i ikke-signalregulerede vejkryds.

I vejkryds med 4 gennemfartsspor vil den ligeudkørende primærtrafik (N_1 og N_2) være fordelt på hver 2 spor. En direkte brug af figur 2 ville derfor give lidt for lave kapacitetsværdier for sekundærtrafikken. H_7 og H_8 (samt eventuelt H_{11} og H_{12}) bør af den grund beregnes med reducerede overordnede strømme.

τ (sek/pe) er det kritiske interval for trafikantene i den vigepligtige strøm "i". I tabel 3 er τ angivet for samtlige vigepligtige strømme.

G_i (pe/h) er en hjælpestørrelse, som benyttes ved beregning af kapaciteten af den vigepligtige strøm "i". I figur 3 er G_i vist som funktion af H og τ.

N_{max}, i (pe/h) er kapaciteten af den vigepligtige strøm "i". Beregningen af N_{max} for samtlige vigepligtige strømme er vist på figur 2.

N_i/N_{max}, i (rent tal) er belastningsgraden for strøm "i".

p_i (rent tal) er sandsynligheden for køfri tilstand i den vigepligtige strøm "i". På figur 4 er p vist som funkton af N/N_{max}.

Strøm	H	N_{max}
5	$N_2 + N_4$	G_5
6	$N_1 + N_3$	G_6
7	N_1	G_7
8	N_2	G_8
9	$N_1 + N_2 + N_4 + N_5 + N_6$	$G_9 \cdot p_5 \cdot p_6$
10	$N_1 + N_2 + N_3 + N_5 + N_6$	$G_{10} \cdot p_5 \cdot p_6$
11	$N_1 + N_2 + N_5 + N_6 + N_8 + N_{10}$	$G_{11} \cdot p_5 \cdot p_6 \cdot p_8 \cdot p_{10}$
12	$N_1 + N_2 + N_5 + N_6 + N_7 + N_9$	$G_{12} \cdot p_5 \cdot p_6 \cdot p_7 \cdot p_9$

Figur 2 Vigepligtige strømmes overordnede trafikintensitet H og kapacitet N_{max}.

Strøm	Vigepligtsforhold	
	ubetinget vigepligt	fuldt stop
5 6	5,5 (6,0)	
7 8	5,5 (6,0)	6,5 (6,5)
9 10	6,0 (7,0)	7,0 (8,0)
11 12	7,0 (8,0)	8,0 (9,0)

Tal uden parentes: 2 gennemgående spor på primærvejen
Tal med parentes: 4 gennemgående spor på primærvejen

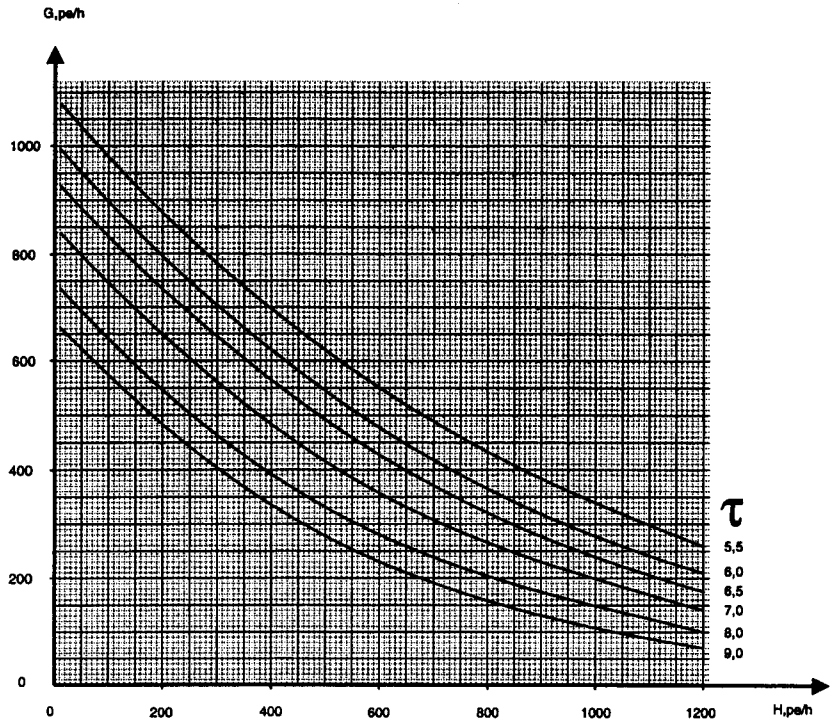
Tabel 3 Bestemmelse af τ.

Kapacitetsberegningen foretages som beskrevet nedenfor i punkterne 1-9.

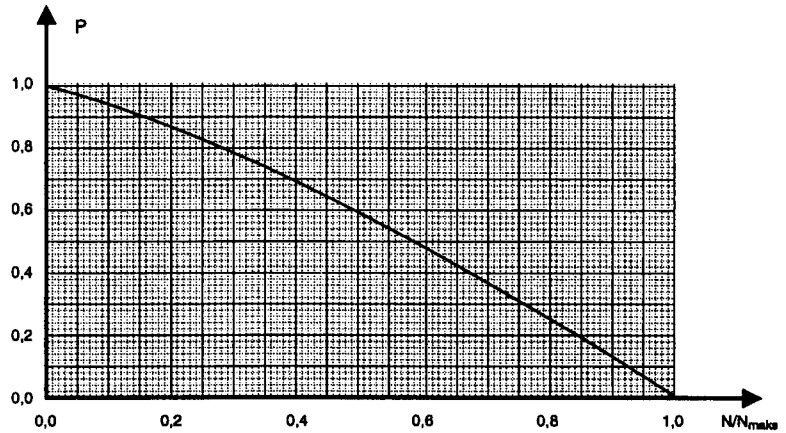
1. I skemaet vist i tabel 2 indføres de dimensionsgivende trafikintensiteter N_1 ....., N_{12}.
2. De overordnede trafikintensiteter H_5, ..., H_{12} beregnes, se figur 2.
3. De kritiske intervaller τ_5, ..., τ_{12} bestemmes ved hjælp af tabel 3.
4. Hjælpestørrelserne G_5, ..., G_{12} bestemmes ved hjælp af diagrammet figur 3.
5. De sidste tre kolonner i skemaet, N_{max}, N/N_{max} og p, udfyldes rækkevis begyndende med strøm 5 og sluttende med strøm 12, idet N_{max} beregnes som vist i figur 2, og p aflæses på figur 4.

For alle strømme skal gælde $N < N_{max}$, hvilket kontrolleres i det udfyldte skema Det bemærkes, at dette krav skal opfyldes uafhængigt af antal spor i tilfarterne.

I punkterne 6-9 undersøges herefter, om kapaciteten er tilstrækkelig i de enkelt tilfartsspor.



Figur 3 *Hjælpestørrelsen G som funktion af den overordnede trafikintensitet H og det kritiske interval τ.*



Figur 4 *Sandsynligheden for køfri tilstand p som funktion af belastningsgraden N/N$_{max}$.*

6. Kapaciteten af tilfartsspor, der kun benyttes af én trafikstrøm "x", er tilstrækkelig, hvis $N_x < N_{max,x}$.

7. Kapaciteten af tilfartsspor, der benyttes af to trafikstrømme "x" og "y", for hvilke kapaciteterne hver for sig er bestemt til $N_{max,x}$ og $N_{max,y}$, er tilstrækkelig, hvis $N_x + N_y < N_{max,x+y}$, hvor $N_{max,x+y}$ er tilfartssporets kapacitet, der beregnes af formel 1.

$$N_{max,x+y} = (N_x + N_y) \cdot \left(\frac{N_x}{N_{max,x}} + \frac{N_y}{N_{max,y}} \right)^{-1} \quad (1)$$

8. Kapaciteten af tilfartsspor, der benyttes af tre trafikstrømme, "x", "y" og "z", er tilstrækkelig, hvis $N_x + N_y + N_z < N_{max,x+y+z}$, hvor $N_{max,x+y+z}$ er tilfartssporets kapacitet, der beregnes af formel 2.

$$N_{max,x+y+z} = (N_x + N_y + N_z) \cdot \left(\frac{N_x}{N_{max,x}} + \frac{N_y}{N_{max,x}} + \frac{N_z}{N_{max,z}} \right)^{-1} \quad (2)$$

9. Ved beregning af kapaciteten af tilfartsspor på primærvejen kan man regne med $N_{max,1} = N_{max,2} = N_{max,3} = N_{max,4} = 1500$ pe/h, såfremt kapaciteterne ikke kan bestemmes ved andre metoder. Kapaciteten af de enkelte tilfartsspor kan herefter bestemmes som angivet i punkterne 6-8.

Litteratur

1 Thagesen, Bent, Lærebog i vejbygning, Bind 1, Trafik og geometri, Polyteknisk Forlag, 1984.

2 Byernes Trafikarealer, Hæfte 1 og 4, Vejdirektoratet, Vejregeludvalget, 1991.

3 Vejregler for vejkryds i åbent land, Vejdirektoratet, Vejregeludvalget, 1983.

4 Udformning af rundkørsler på hovedlandeveje, Idekatalog, Vejdirektoratet, 1989.

5 Trafikuheld i 1991, på kommuneveje, landeveje og hovedlandeveje, Vejdatalaboratoriet, 1992.

6 Jørgensen, N.O., Rørbech, Jens, Oversigtsforhold og kapacitet i uregulerede landevejskryds, Vejdatalaboratoriet, Rapport 14, 1975

7 Jørgensen, N.O., Rundkørslers kapacitet og sikkerhed, Rapport 61, IVTB, DTH, 1991.

8 Jørgensen N.O., Jørgensen, Else, Rundkørsler - en brugbar reguleringsform?, Dansk Vejtidsskrift, nr. 5, 1991.

9 Lahrmann, Harry, Rundkørsler, trafiksikkerhed, geometrisk udformning og kapacitet, Sekretariatet for Sikkerhedsfremmende Vejforanstaltninger, Vejdirektoratet, 1981.

Kapitel 5

Signalregulerede kryds

Af Steen Lauritzen

5.1 Effekter af signalanlæg

Sammenlignet med et kryds med ubetinget vigepligt påvirker en signalregulering trafikken og omgivelserne. Konsekvenserne for trafikanterne kan beskrives i form af forsinkelse, antal stop, uheld og kørselsomkostninger. Etablering af et signalreguleret kryds vil medføre, at ventetiden øges for nogle trafikanter, mens den ofte reduceres for andre. For vejforvaltningen indebærer signalanlæg øgede drifts- og vedligeholdelsesudgifter. For beboerne i krydsets nærhed kan der være øgede støj- og lugtgener på grund af de ekstra stop og accelerationer, som et signalanlæg giver anledning til. For samfundet i øvrigt er der ulemper i form af øget luftforurening både lokalt, regionalt og globalt.

Tidsseparingen af de trafikstrømme, der er i konflikt med hinanden, forøger trafiksikkerheden, men reducerer fremkommeligheden for de strømme, der uden signalregulering kan passere krydset uden vigepligt. Ved at regulere trafikken med signaler, frigøres nogle af trafikanterne fra en stillingtagen til de bedømmelsesproblemer og risikomomenter, som altid er til stede for sidevejstrafikanter i kryds med ubetinget vigepligt. Undertiden giver signalregulering mulighed for at påvirke trafikanternes hastighedsvalg og derigennem fremme et mere roligt trafikmiljø.

Ved at adskille de krydsende trafikstrømme tidsmæssigt løses de primære konflikter, dvs. konflikter mellem trafikanter, hvis kørsels- eller gangretning krydser hinanden. De sekundære konflikter, dvs. konflikter mellem svingende og ligeudkørende (eller gående) fra samme vej, er det i princippet ikke signalanlæggets opgave at løse. Disse konflikter løses af færdselslovens vigepligtsregler.

I særlige tilfælde kan man af sikkerhedsmæssige årsager dog vælge også at lade signalanlægget løse en eller flere af de sekundære konflikter. Fx kan konflikten mellem venstresvingende køretøjer og modgående, ligeudkørende løses ved indførelse af en separat fase, i hvilken kun venstresvingende må køre, mens modkørende trafik samt fodgængere over den gade, som de venstresvingende svinger ind i, holdes tilbage med rødt lys (figur 5.4).



Etablering af signalanlæg har både fordele og ulemper.

5.2 Trafiksikkerhed i signalanlæg

En væsentlig årsag til nyetablering af signalanlæg er ofte en forventet forbedring af trafiksikkerheden og trygheden. Ved at adskille fjendtlige trafikstrømme tidsmæssigt, reduceres sandsynligheden for at trafikanter i disse trafikstrømme mødes i krydset. Der vil derfor kunne forventes en reduktion i antal uheld med trafikanter, der ankommer til krydset fra hver sin vej.

Omvendt vil et signalanlæg medføre en tidsmæssig koncentration af sekundærkonflikterne, der jo normalt ikke løses af signalreguleringen. Fx har venstresvingende fra hovedretningen i et kryds med ubetinget vigepligt 60 sek pr. minut til at afvente modkørende trafik og finde et passende gab i strømmen af modkørende biler. I et signalanlæg vil dette måske være reduceret til 30 sek. Ikke alene har den venstresvingende ved signalregulering kun den halve tid til at gennemføre manøvren, trafikanten skal samtidig krydse en trafikstrøm, der er dobbelt så tæt sammenlignet med et ikke-signalreguleret kryds, dvs. eksponeringen for uheld er blevet større.

Erfaringerne viser da også, at signalreguleringer har en positiv indvirkning på antallet af uheld mellem trafikanter fra hver sin retning, mens antallet af uheld for sekundærkonflikterne typisk vil stige.

Signalanlæg øger antallet af stop i krydset og dermed også risikoen for bagendekollisioner. Den forøgede risiko for bagendekollisioner opstår især, når signalet skifter fra grønt til gult og føreren af det forreste af to køretøjer vælger at standse eller bremser kraftigt i sidste øjeblik samt ved skift til grønt, hvis den forankørende, når det grønne lys tænder, enten ikke kører frem eller starter for langsomt i forhold til den efterfølgende. Svenske undersøgelser viser en forøgelse på 20-25 procent i antallet af bagendekollisioner ved etablering af signalanlæg.[1]

Moderne trafikstyring (se afsnit 5.7) kan dog i vid udstrækning, især ved højhastighedsanlæg i åbent land, reducere risikoen for bagendekollisioner.

5.3 Kriterier for etablering af signalanlæg

Signalanlæg har nogle positive effekter, men der vil altid være knyttet en række negative virkninger for trafikanterne. Signalanlæg skal derfor ikke etableres ukritisk, men behovet herfor skal nøje vurderes. Mindst ét af følgende kriterier bør være opfyldt, før man etablerer et signalanlæg:[2]

- Andre alternativer skal være undersøgt
  Andre alternativer som fx niveaufri skæring, ombygning til rundkørsel, vejlukninger, kanaliseringer, ændring af oversigtsforhold etc. bør alle være undersøgt og udelukket

- Lange ventetider for sidevejstrafik
  Der skal forekomme urimeligt store ventetider for sidevejstrafikanter i krydset. Hvad der er urimelig lang ventetid afhænger helt af de lokale forhold i det omgivende trafikmiljø

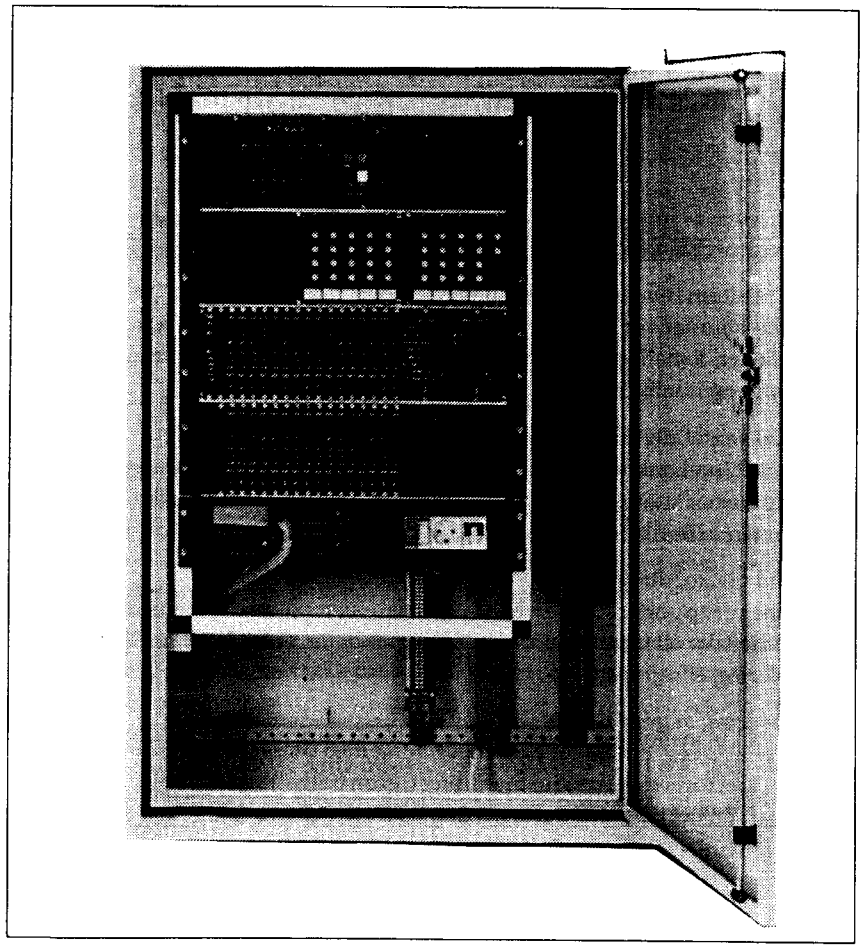
- Uheldsrisiko, utryghed
  Gennem rapporter, klager eller observationer på stedet konstateres særlig uheldsrisiko eller utryghed, som forventes bedst at kunne afhjælpes gennem etablering af signalanlæg

- Forbedring af grøn bølge
  Et signalanlæg, der ligger på en strækning med øvrige anlæg, som er samordnede, kan forbedre denne samordning ("grøn bølge") ved at køretøjerne holdes samlet i en tæt kolonne. Dette må dog ikke være den eneste grund til etablering af signalanlæg. Samordning behandles i afsnit 5.8

5.4 Indretning af signalanlæg

Styreapparat

Signalerne styres af et styreapparat, der indeholder alle oplysninger om, hvornår, hvordan og under hvilke betingelser de enkelte signalgrupper skal skifte i forhold til hinanden. Styreapparatet er signalanlæggets "hjerne" og er næsten altid placeret i et af krydsets hjørner. På billedet er vist et eksempel på et styreapparat.



I styreapparatet er lagret alle oplysninger om hvordan og hvornår, de enkelte signallanterner skal skifte.

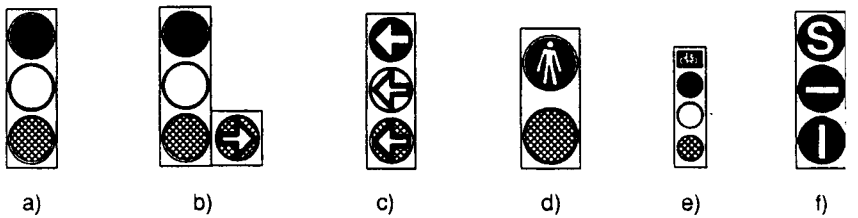
Signalbilleder

En kørende trafikstrøm gennem et signalreguleret kryds er reguleret af et signa
med tre lanterner, der hver især kan vise rødt, gult og grønt (figur 5.1a). Grønt ly
betyder, at man må køre frem. Dog må en trafikant ikke køre frem for grønt, hvi
trafikanten på grund af færdselsforholdene i krydset bør kunne indse, at krydse
ikke kan forlades, inden signalet skifter til grønt for den tværgående trafik. Gul
lys, som i Danmark altid varer i 4 sek, betyder at man skal standse ved stoplinien
hvis det kan gøres uden fare for sig selv eller andre. I modsat fald har man lov a
fortsætte gennem krydset. Rødt lys betyder, at det er forbudt at overskrid
stoplinien. Umiddelbart inden grønt vises 2 sek rødt+gult, der betyder, at trafi
kanterne skal gøre sig klar til at køre frem. De to sekunder medfører en mer
koordineret startprocedure og giver også mulighed for en flyvende start i situa
tioner, hvor der ikke er holdende biler i kø ved starten af grønperioden.

Tiden, der forløber fra et signal tænder grønt til det næste gang tænder grøn
kaldes *omløbstiden*. Inden for omløbstiden vil et 3-lyssignal således gennemløb
en hel cyklus, bestående af grønt, gult, rødt og rødt+gult. I Danmark benytte
normalt omløbstider fra ca. 35 sek i svagt befærdede kryds og op til 110 sek
stærkt befærdede kryds.

3-lyssignaler kan evt. suppleres med 1-lys pilsignaler, der viser de svingend
trafikanter, at svingning i pilens retning kan foretages uden at komme i konflik
med andre trafikstrømme (figur 5.1b). Ved separatregulering af en trafikstrøm
anvendes 3-lyssignaler med pile (figur 5.1c). Pilsignalet gælder kun for køretøje
der vil køre i den retning, som pilene viser.

I Danmark er næsten alle signalanlæg forsynet med 2-lys fodgængersignal mec
en stående rød mand og en gående grøn mand (figur 5.1d). Grøn mand fortælle
fodgængeren, at tværtrafikken er standset. Der kan dog godt forekomme svin
gende trafik med vigepligt henover feltet. Rødt lys betyder, at fodgængeren ikk
må træde ud i fodgængerfeltet fra kantstenen eller en helle. Hvis signalet skifte
til rød mand, mens fodgængeren er i fodgængerfeltet, skal fodgængeren fortsætt
til nærmeste helle eller kantsten.

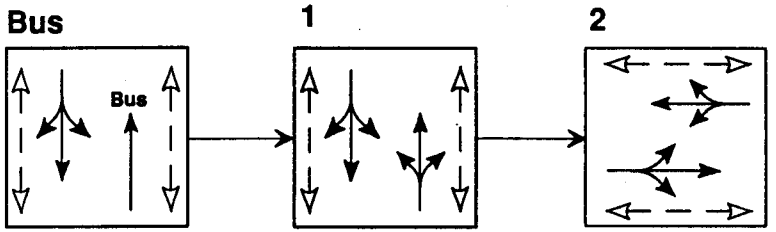


Figur 5.1 a) Normalt 3-lyssignal, b) 3-lyssignal med pil, c) 3-lys pilsignal, d) Cyklistsignal, e) Fodgængersignal, f) Bussignal.

Cyklister kan reguleres med cyklistsignaler, når der er cykelsti i signaltilfarten (figur 5.1e). Der kan være forskellige grunde til at regulere med cyklistsignaler:

- Cyklisterne har deres egen fase i signalanlægget
- Cyklister kan gives grønt lys nogle sekunder før bilerne for at give større tryghed og sikkerhed over for startende højresvingende køretøjer
- I kryds med en lang rømningstid for cyklister, kan grøntiden for cyklister reduceres i forhold til grøntiden for køretøjer. Dette kan bevirke en samlet bedre trafikafvikling

I visse kryds specielt i de større byer findes signaler kun beregnet på busser i rutedrift (figur 5.1f). For at øvrige trafikanter ikke skal forveksle bussignalerne med de sædvanlige signaler, består "signalfarverne" af et hvidt S for stop, en hvid vandret bjælke for gult og en lodret bjælke for grøn. Disse signaler kan fx benyttes at give busserne fri fremkørsel, mens biler i samme retning holdes tilbage jf. figur 5.2. Herved forbedres bussers fremkommelighed i forbindelse med afslutning af busbaner.



Figur 5.2 Busfaser kan forbedre fremkommeligheden for busser ved afslutningen af busbaner.

Signalgruppe

Lyset fra en lanterne eller en kombination af lanterner på et vist tidspunkt (fx rødt+gult) benævnes signalbillede. Signaler, der aldrig kan vise indbyrdes forskellige signalbilleder, kaldes en *signalgruppe*. En signalregulering i et 4-benet kryds har normalt mindst 4 signalgrupper: To grupper for de kørende på de to skærende veje og to signalgrupper for fodgængere. Af tekniske grunde tildeles hver signaltilfart dog ofte sin egen signalgruppe, selvom signalgrupperne i modstående tilfart så viser det samme.

Hvis krydsene bliver mere komplicerede med deleheller i signaltilfarterne og separatregulering for flere svingstrømme, kan antallet af signalgrupper vokse betragteligt, undertiden op til 20-30 grupper.

Sikkerhedstid og mellemtid

Da signalanlæggets opgave er at adskille krydsende trafikstrømme tidsmæssigt, skal der af sikkerhedsmæsige grunde altid gå et stykke tid fra det grønne lys slukker i den ene retning til det grønne lys tændes i den anden retning. Denne tid benævnes *sikkerhedstiden*. Sikkerhedstiden skal være så lang, at den sidste trafikant efter grønt lys netop går fri af den første trafikant, som starter for grønt fra den krydsende retning. Sikkerhedstiden mellem to trafikstrømme afhænger af følgende forhold:

- Krydsets geometri
- Tiden, der går fra det grønne lys slukkes til den sidste trafikant passerer stoplinien
- Hastigheden af den sidste trafikant
- Hastigheden af den første trafikant, der starter for grønt

Sikkerhedstiden vil normalt være afhængig af, hvilken trafikanttype den første og sidste trafikant er. Den nødvendige sikkerhedstid mellem den sidste cyklist og den første fodgænger vil således normalt være længere end sikkerhedstiden mellem den sidste bil og den første fodgænger. Hvis cykler og biler kører på det samme signal, er det derfor den længste af sikkerhedstiderne, der skal indlægges i styreapparatet. Denne tid betegnes *mellemtiden*.

På den ene side skal mellemtiden være så kort som mulig for at reducere trafikanternes ventetid. På den anden side skal den være tilstrækkelig lang til, at trafikanterne i normale situationer kan foretage en sikker rømning af krydset. Hvis mellemtiden bliver for lang, betyder det ekstra og uforståelig ventetid for de ventende trafikanter ved hvert eneste signalskift døgnet rundt.

Ved projektering af et signalanlæg skal sikkerhedstiden for alle kombinationer af første og sidste trafikant tages i betragtning, før mellemtiden kan bestemmes. I praksis benyttes følgende metode fra Vejdirektoratets "Vejregler for signalanlæg".[2]

Konfliktpunktet mellem den seneste trafikant og den først startende trafikant defineres ud fra trafikanttypernes fysiske udstrækning. Den seneste trafikant efter grønt skal netop gå fri af den første startende trafikant for grønt, der antages at passere stoplinien med flyvende start i samme øjeblik, signalet skifter til grønt (se figur 5.3). Der regnes med følgende fysiske udstrækning af og hastigheder for de forskellige trafikanttyper:

jf. tabel 5.1 vist

Konflikt	Udstrækning	Tidligste trafikant	Seneste trafikant	
		Hastighed ved grønstart, V_2	Hastighed V_1	Passagetid efter grønt, t_{sen}
Bil mod kørende	8 m	13 m/sek	13 m/sek	3 sek
Bil mod gående	0 m	13 m/sek	13 m/sek	3 sek
Cykel mod kørende	2 m	8 m/sek	5 m/sek	2 sek
Cykel mod gående	0 m	10 m/sek	5,5 m/sek	0 sek
Gående mod andre	0 m	2,5 m/sek	1,5 m/sek	0 sek

Tabel 5.1 Vejledende værdier ved beregning af sikkerhedstider.

Sikkerhedstiden (t_s) mellem to trafikanttyper beregnes af:

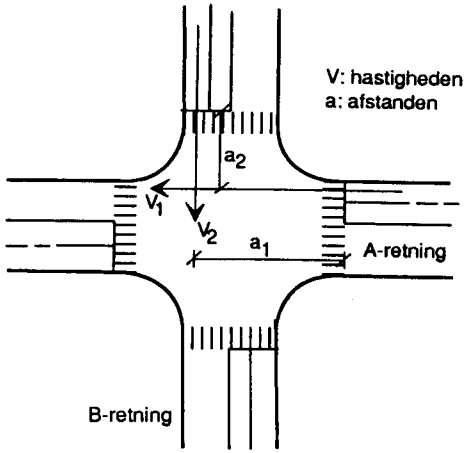
$$t_s = \frac{a_1}{V_1} - \frac{a_2}{V_2} + t_{sen,1} \qquad (5.1)$$

V_1: hastigheden for den seneste trafikant
V_2: hastigheden for den tidligste trafikant
a_1: tilbagelagt afstand for den sidste trafikant, incl. udstrækning
a_2: tilbagelagt afstand for tidligste trafikant
$t_{sen,\,1}$: tidspunktet inde i gult, hvor den sidste trafikant passerer stoplinien.

Første led er køretiden (for fodgængere gangtiden) for den trafikant, der er ved at rømme krydset (sidste trafikant) fra stoplinien (for fodgængere kantsten/helle) til konfliktpunktet er passeret. Andet led er tilsvarende for den trafikant, der netop starter for grønt (tidligste trafikant) fra stoplinen til konfliktpunktet. Tredje og sidste led ($t_{sen,\,1}$) er det antal sekunder inde i gultiden, hvor den sidst rømmende trafikant passerer stoplinien.

Det skal kraftigt pointeres at værdierne i tabel 5.1 kun er vejledende og ikke må anvendes ukritisk. Der kan være en lang række situationer, hvor længere mellemtider kan være påkrævet, fx for signaltilfarter med stigning eller fald, eller hvor seneste eller tidligste trafikant kører med andre hastigheder end de i tabellen viste. Endelig bør man forlænge mellemtiden, hvor høj hastighed gør sen kørsel i gultiden sandsynlig.

Eksempel på beregning af sikkerhedstid
I et kryds ønskes mellemtiden ved faseskift fra A-retningen til B-retningen bestemt for konflikten cykel mod bil, hvor den sidste trafikant, der kører over for gult, er en cyklist og den første trafikant for grønt er en bilist. Det antages endvidere, at afstanden for cyklisten fra stoplinien til konfliktpunktet er 28 m og afstanden for bilisten fra stoplinien til konfliktpunktet er 13 m.



Figur 5.3 Sikkerhedstiden afhænger af konfliktpunktets afstand fra stoplinierne og trafikanternes hastighed og udstrækning.

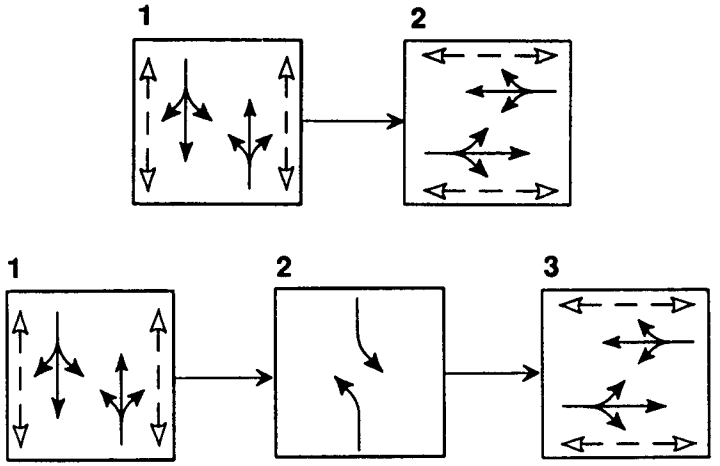
Af tabel 5.1 fremgår, at en cyklist regningsmæssigt passerer stoplinien 2 sekunder inde i det gule lys og fortsætter med en hastighed af 5 m/sek. For at gå fri af konfliktpunktet skal cyklisten tilbagelægge en strækning på 28 m plus 2 m, i alt 30 m. Den første bil antages at passere stoplinien med flyvende start og en hastighed af 13 m/sek. Den nødvendige sikkerhedstid kan da beregnes til 30/5 – 13/13 + 2 = 7 sek.

Da denne konflikt i dette eksempel er den mest kritiske, kan mellemtiden sættes til 7 sek.

Fase, fasediagram

Normalt kan signalvekslingen i et anlæg opdeles i faser, dvs. tidsintervaller, hvor der ikke sker væsentlige ændringer i signalgivningen. En fase bliver herved en samling af signalgrupper, der hovedsageligt viser samme signal. Et typisk signalanlæg er derfor opbygget af to faser. Den første fase giver grønt i hovedretningen, den anden i tværretningen. Mellemtiden er indskudt mellem faserne. Signalvekslingen kan anskueliggøres i et *fasediagram*, der illustrerer hovedprincipperne signalvekslingen, jf. figur 5.4.

Ved mere komplicerede anlæg kan tre eller flere faser forekomme. Hvis der fx er separatregulering af venstresvingende (bundet venstresving) er der tale om tre

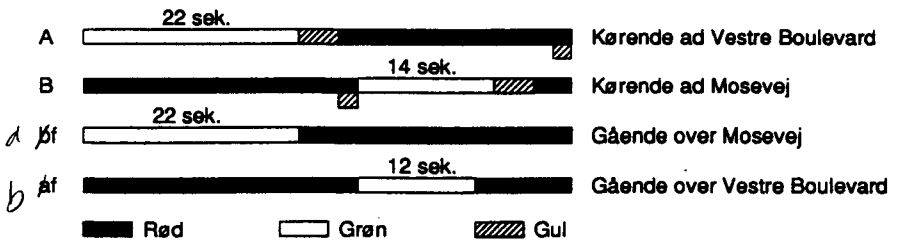


Figur 5.4 Fasediagram for et almindeligt 2 faset signalanlæg og et 3-faset anlæg med separat venstresvingsfase.

faser. Antallet af signalgrupper ved sådanne reguleringsformer er ofte betragteligt større end ved traditionel regulering, bl.a. fordi der kræves flere signalgrupper for fodgængere.

Signalgruppeplan

En nærmere beskrivelse af signalvekslingen fremgår af *signalgruppeplanen*, der er en oversigt over, hvornår i omløbet de enkelte signalgrupper har grønt, samt evt. om grøntiden kan forlænges gennem trafikstyring, jf. figur 5.5.



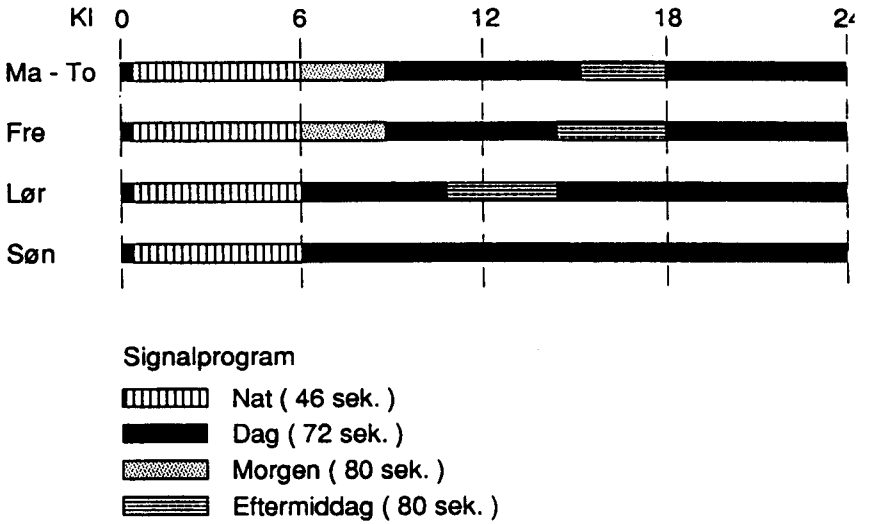
Figur 5.5 Signalgruppeplanen viser, hvordan de enkelte signalgrupper skifter i forhold til hinanden.

Tidsstyring

Signalanlæg styres efter ét af to hovedprincipper: tidsstyring og trafikstyring. Ved tidsstyring forstås, at signalernes grøntid og rødtid er konstante omløb for omløb. Omløbstiden bliver dermed også konstant i modsætning til trafikstyring, hvor trafikkens variationer minut for minut medfører skiftende grøntider og omløbstider.

I styreapparatet findes normalt indprogrammeret flere forskellige opbygninger af et omløb, såkaldte signalprogrammer, der er tilpasset de aktuelt forekommende trafiksituationer i løbet af døgnet og ugen. De forskellige signalprogrammer kan have forskellige omløbstider og faseopbygninger. Et signalprogram med tidsstyring i to faser er vist i figur 5.5.

I København anvendes i alt fire signalprogrammer, to til morgen- og eftermiddagsmyldretiden på 80 eller 100 sek, et 60 sek program til dag/aftentrafik og et 48 sek program til nattrafik. I mange byer anvendes et færre antal programmer gennem døgnet, fx ét myldretidsprogram og ét "normalprogram", der fungerer uden for myldretiderne. I figur 5.6 er vist ugeplanen for skift mellem 4 signalprogrammer for signalanlæggene på Ringgaden i Århus.



Figur 5.6 Ugeplan med tidspunkter for skift mellem signalprogrammer.

5.5 Trafikafvikling

Kapacitet generelt

Kapaciteten af en trafikstrøm med vigepligt afhænger af trafikintensiteten i fjendtlige trafikstrømme. Fx vil kapaciteten for venstresvingende ikke alene afhænge af længden af grøntiden, men også af antallet af ligeudkørende og højresvingende fra den modstående signaltilfart. Derfor beregnes kapaciteten af hver strøm i krydset separat.

Hvis der hele tiden er modkørende trafik, kan de venstresvingende kun køre i mellemtiden efter grønt, dvs. kapaciteten pr. omløb bliver lig med antal køretøjer, der kan holde og vente ude i krydset. I disse tilfælde vil der gælde, at jo kortere omløbstiden er, jo flere omløb pr. time, hvilket medfører højere kapacitet for venstresvingende.

Omvendt forholder det sig for ligeudkørende: jo større omløbstid, jo højere kapacitet. Dette skyldes, at mellemtiderne ("spildtiden") samlet udgør en mindre andel ved en stor omløbstid end ved en kort omløbstid.

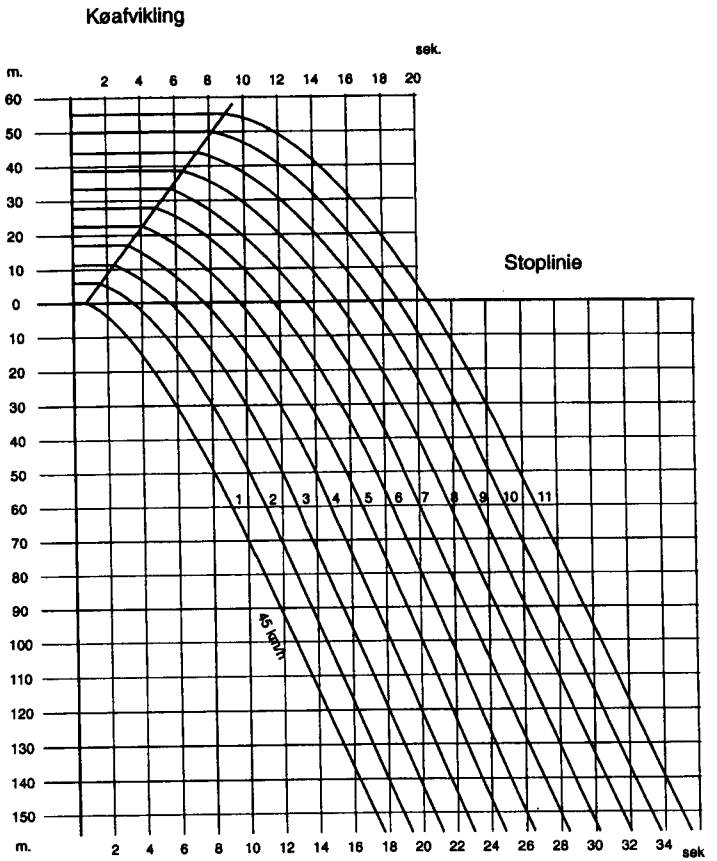
Køafvikling ved en stoplinie

I de fleste kryds er det antallet af ligeudkørende, der bestemmer grøntidens længde ved spidsbelastninger. Det er derfor nødvendigt med kendskab til, hvor hurtigt en kø af holdende biler ved en stoplinie kan afvikles, når signalet skifter til grønt. Hvor hurtigt en given kø vil blive afviklet afhænger af, hvor tæt efter hinanden de startende biler kan passere stoplinien. Køafviklingen for personbiler er illustreret i figur 5.7, hvor man kan se startproceduren for de første 11 biler i en situation, hvor der er fri fremkørsel ligeud.

Grøntimekapaciteten, K, angiver, hvor mange køretøjer eller personbilenheder, der kan passere stoplinien pr. time med grønt lys og er dermed et udtryk for tidsafstanden, hvormed bilerne passerer stoplinien.

For at bestemme kapaciteten for et spor i en signaltilfart, skal grøntimekapaciteten reduceres med en faktor svarende til den andel af omløbstiden, hvor bilerne rent faktisk passerer stoplinien. Hvis der i et anlæg med omløbstiden C køres uhindret over stoplinien i g sek af omløbstiden, er reduktionsfaktoren derfor g/C (grøntidsandelen). Kapaciteten er derfor $N_{max} = K \cdot g/C$.

Forhold af betydning for størrelsen af grøntimekapaciteten er bredden af køresporet, om der er fri fremkørsel efter stoplinien, parkering i frafarten, stigning/fald før og efter krydset samt krav om overholdelse af vigepligt ved svingning.



Figur 5.7 Startprocedure ved afvikling af en kø.

For et rent ligeudspor i en signaltilfart er grøntimekapaciteten normalt ca. 2000 personbilenheder pr. time (pbe/h). Ved konstant køafvikling svarer dette til ca. 1,8 sek grøntid pr. pbe. Af figur 5.7 ses, at 10 biler har passeret stoplinien efter 19 sek svarende til 1,9 sek grøntid pr. bil. Ofte benyttede værdier ved praktiske beregninger af den nødvendige grøntid er 1,8-2 sek pr. pbe. Ved en lastbilprocent på 10 er grøntimekapaciteten typisk 1800 køretøjer pr. time svarende til ét køretøj pr. 2 sek grøntid.

Hvis højresvingende skal vige for ligeudkørende cyklister og fodgængere er grøntimekapaciteten noget lavere, evt. så lav, at der reelt kun kan afvikles de køretøjer, som holder i krydset, når signalet skifter fra grønt til gult.

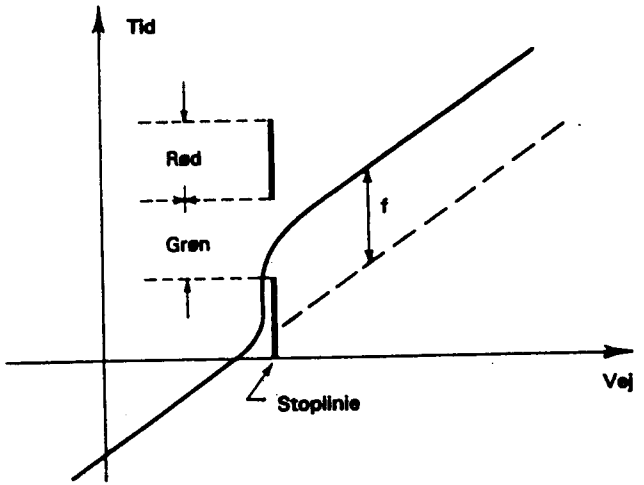
Fuld udnyttelse af kapaciteten forudsætter imidlertid, at der er en konstant kø af biler i tilfarten parat til at køre ind i krydset. Dette vil imidlertid ikke af trafikanterne blive opfattet som et tilfredsstillende serviceniveau. Dog må nogle trafikanter i tæt trafik acceptere at skulle vente mere end ét omløb en gang i mellem, fordi antallet af ankommende biler varierer fra omløb til omløb.

Forsinkelse

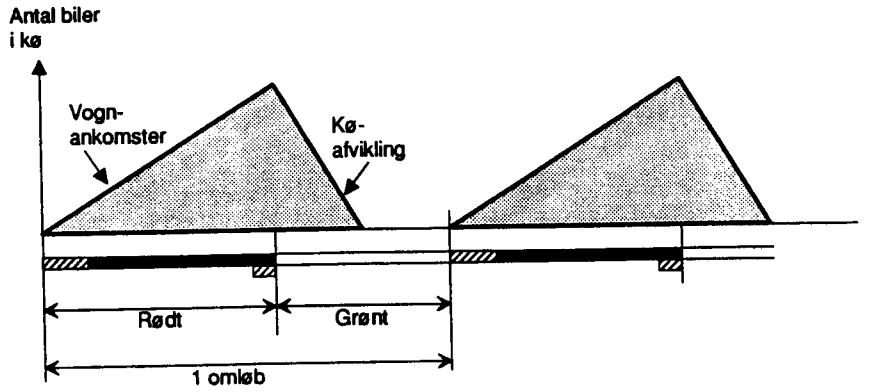
En væsentlig gene for trafikanterne i et signalanlæg er risikoen for ventetid på grund af rødt lys. Forsinkelsen for en trafikant defineres som forskellen i rejsetid ved uforstyrret passage af krydset og den faktiske rejsetid jf. figur 5.8.

Et formelapparat til beregning af forsinkelsen for køretøjerne i et signalreguleret kryds blev udviklet af englænderen Webster i 1950'erne. Webster betragtede et signalanlæg som et køsystem med poissonfordelte kundeankomster og betjeningstider (køretøjsankomster og afviklingstid pr. køretøj). Det specielle ved et sådant køsystem er, at betjeningsstedet åbner og lukker med jævne mellemrum (signalet skifter mellem grønt og rødt, idet der er set bort fra gult).[3]

I en situation, hvor et sådant køsystem er i ligevægt, dvs. anlægget er i stand til at afvikle den ankommende trafik uden en stadigt voksende kø, vil køen ved stoplinien vokse fra nul ved rødperiodens begyndelse, til den når sit maksimum ved den efterfølgende grønperiodes begyndelse jf. figur 5.9. På dette tidspunkt vil der holde N · R køretøjer i køen, hvor N er ankomstintensiteten og R er den del af omløbstiden, hvor der ikke er grønt ("rødtiden"). Nu begynder køen at aftage



Figur 5.8 Definition af forsinkelse i et signalanlæg.



Figur 5.9 Ankomster og afvikling ved en stoplinie med jævn ankomstfordeling.

med konstant hastighed, indtil den er helt forsvundet et stykke ind i grønperioden. Når K betegner grøntimekapaciteten, vil den intensitet, hvormed køen afvikles være K–N, da der jo stadig ankommer køretøjer med intensitet N til bagenden af køen, mens denne afvikles. Da køen ved grøntidens start er på NR og køen afvikles med en intensitet på K–N, vil der gå tidsrummet NR/K–N, før køen er helt afviklet.

Den samlede forsinkelse F er lig med arealet under ankomst- og afviklingskurven og kan beregnes til

$$F = \frac{1}{2} NR\left(R + \frac{NR}{K-N}\right) = \frac{KNR^2}{2\,(K-N)} \qquad (5.2)$$

N: ankomstintensiteten
R: rødtiden
K: grøntimekapaciteten

Med en ankomstintensitet på N ankommer i løbet af ét signalomløb NC køretøjer. Den gennemsnitlige forsinkelse pr. køretøj ved jævn ankomstfordeling er da:

$$f = \frac{F}{NC} = \frac{KNR^2}{2(K-N)} \frac{1}{NC} = \frac{KR^2}{2C(K-N)} \qquad (5.3)$$

Trafikken mod et fritliggende signalanlæg ankommer imidlertid ikke jævnt fordelt men derimod tilfældigt fordelt i tid (poissonfordelt). Disse tilfældige ankomsters bidrag til forsinkelsen stiger, jo nærmere trafikintensiteten er på kapacitetsgrænsen.

Kapacitetsudnyttelsen (belastningsgraden) for strækninger beregnes som forholdet mellem trafikintensiteten og kapaciteten (N/N_{maks}). I signalregulerede kryds er kapaciteten lig med grøntimekapaciteten K reduceret med grøntidsandelen g/C, hvorfor kapacitetsudnyttelsen kan skrives som:

$$b = \frac{N}{N_{max}} = \frac{N}{K\frac{g}{C}} = \frac{NC}{Kg} \qquad (5.4)$$

Englænderen Webster opstillede ud fra (5.3) og (5.4) følgende formel for den gennemsnitlige forsinkelse pr. køretøj (Websters formel):[3]

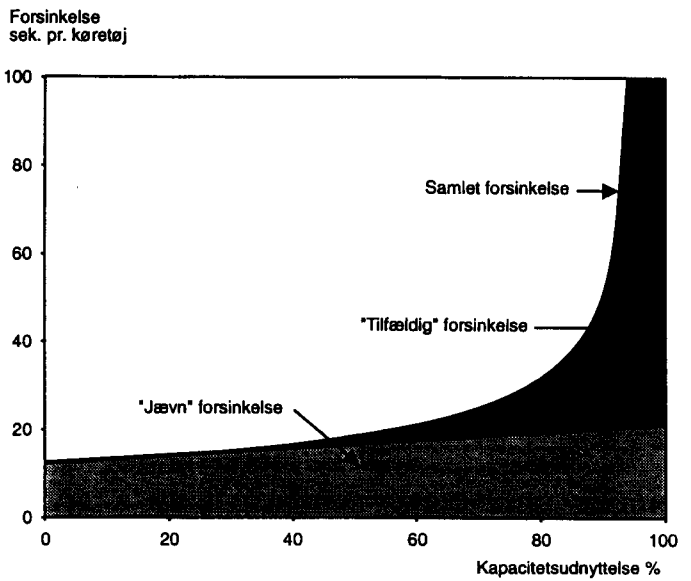
$$f = 0{,}9 \cdot \left[\frac{KR^2}{2C(K-N)} + \frac{3600b^2}{2N(1-b)} \right] \qquad (5.5)$$

f: gennemsnitlig forsinkelsek pr. køretøj (sek)
b: NC/Kg er kapacitetsudnyttelsen
C: omløbstiden (sek)
R: rødtiden C–g = C–(G+1) (sek)
N: ankomstintensiteten (biler/h)
K: grøntimekapaciteteten (biler/h)

Den effektive grøntid, g, er ca. 1 sek større end den virkelige grøntid. Dette skyldes, at trafikanterne normalt udnytter 2-4 sek af gultiden før trafikken standser. Til gengæld er der et starttab i begyndelsen af grønperioden, inden trafikken strømmer frit over stoplinien. Grøntiden G i Websters formel skal derfor regningsmæssigt være ca. 1 sek større end den virkelige grøntid, dvs. g = G+1.

Det første led i (5.5) er forsinkelsesbidraget fra en jævn ankomstfordeling. Det andet led er bidraget, der skyldes tilfældige ankomster. Webster fandt det nødvendigt med et matematisk kompliceret tredje korrektionsled med negativt fortegn. Dette tredje led reducerer forsinkelsen med 5-15 pct. Tilnærmet kan denne reduktion derfor udtrykkes ved faktoren 0,9 i (5.5). Forsinkelsen pr. køretøj i en signaltilfart er optegnet i figur 5.10.

Det er vigtigt at gøre sig klart, at forudsætningen for anvendelse af Websters forsinkelsesformel er, at køretøjerne ankommer tilfældigt til krydsets tilfarter. Beregningsmetoden bør derfor ikke anvendes ukritisk for anlæg, der indgår i en samordning med andre signalanlæg, hvor køretøjerne i én eller flere tilfarter derfor ankommer opdelt i grupper.



Figur 5.10 Forsinkelsen vokser ifølge Websters formel meget hurtigt, når kapacitetsudnyttelsen nærmer sig 1,0. Forudsætninger: C=60 sek, R=42 sek, K=1800 ktj/h.

5.6 Beregning af tidsstyret signalanlæg

Beregning af omløbstid

Tidsstyrede signaler dvs. med konstant omløbstid benyttes normalt kun i forbindelse med samordnede signalanlæg. Den omløbstid, der vælges, har som tidligere nævnt betydning for anlæggets kapacitet og dermed for trafikanternes ventetider. Biltrafikken stiller krav om valg af en omløbstid, der minimerer den gennemsnitlige forsinkelse, mens fodgængerne stiller krav om så korte omløbstider som muligt for at minimere den maksimale ventetid.

Spørgsmålet er nu, hvilken omløbstid, der skal vælges for at trafikanternes ventetid bliver mindst muligt, når trafikken ankommer tilfældigt.

Det er ikke muligt udfra (5.5) at opstille en generel formel for den optimale værdi af omløbstiden. Webster har midlertid påvist, at man opnår en god tilnærmelse ved at benytte følgende formel:

$$C_{opt} = \frac{1{,}5k + 5}{1 - \Sigma\frac{N_i}{K_i}} \qquad (5.6)$$

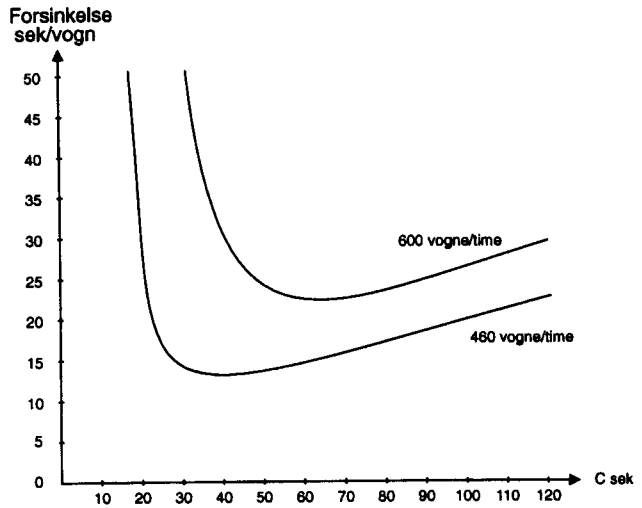
k: tabt tid ved faseskift ("summen af mellemtider")
N_i: den største belastning i fase nr. i
K_i: den tilhørende grøntimekapacitet

For et 2-faset signalanlæg kan (5.6) skrives som:

$$C_{opt} = \frac{1{,}5k + 5}{1 - \frac{N_1}{K_1} - \frac{N_2}{K_2}} \qquad (5.7)$$

k: tabt tid ved faseskift
N_1 og N_2: den største trafikintensitet på de skærende veje
K_1 og K_2: den tilhørende grøntimekapacitet på de skærende veje

Sammenhængen mellem omløbstid og forsinkelse er illustreret i figur 5.11. Forudsætningen for figuren er samme grøntid (0,5C-5) i de to retninger og samme grøntimekapacitet (1800 køretøjer/h). Det fremgår, at forsinkelsen er relativt større ved for små omløbstider end ved store. Ud fra et samlet ventetidssynspunkt, skal man derfor hellere vælge en lidt for stor end en lidt for lille omløbstid. Det ses, at der er et område omkring den optimale omløbstid, hvor kurven er relativ flad. Det gør derfor ikke så meget, at den aktuelle omløbstid afviger lidt fra den optimale.



Figur 5.11 Sammenhæng mellem omløbstid og forsinkelse.

Ved samordnede signalanlæg beskrevet senere i afsnit 5.8 benyttes den samme omløbstid for alle de signalanlæg, der indgår i samordningen. Der vælges da en omløbstid, som passer til det mest belastede kryds. Formel (5.6) kan benyttes hertil, selvom forudsætningen om poissonfordelte ankomster strengt taget ikke er opfyldt for de indre vejstrækninger i en samordning.

Lange omløbstider (over 80 sek) skal så vidt muligt undgås, fordi det samtidig medfører lange rødtider, der virker stærkt generende på specielt cyklister og fodgængere, med risiko for at signalerne ikke respekteres.

Beregning af grøntiden

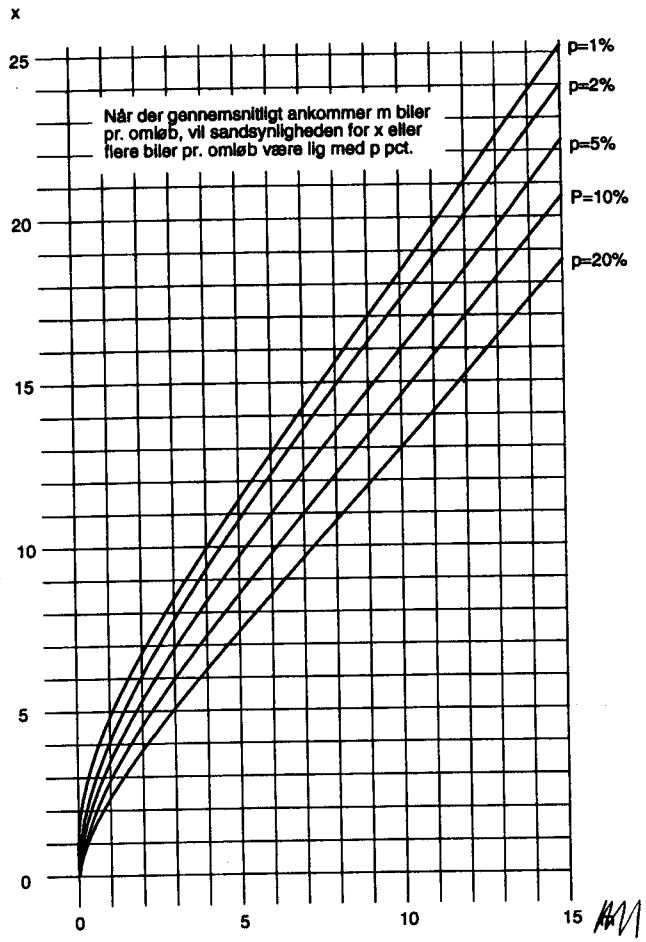
Når signalets omløbstid er beregnet, fordeles den til rådighed værende grøntid proportionalt med de største trafikmængder i tilfarterne for hhv. hovedretningen og sideretningen.

Hvis man skal have beregnet grøntiden i et signalanlæg, der indgår i en samordning med kendt omløbstid, hvor en sideretning blot skal have tildelt den mindst mulige grøntid af hensyn til prioritering af en hovedretning, er det tilstrækkeligt at beregne den nødvendige grøntid. Dette kan gøres ud fra en sandsynlighedsbetragtning.

På figur 5.12 ses, hvor mange køretøjer (x), der kan forventes at ankomme med forskellige sandsynligheder, når køretøjerne ankommer poissonfordelt med et gennemsnit på m køretøjer pr. omløb. Normalt sættes risikoen for overbelastning til 20 procent. Hvis der fx ankommer m = 5 pbe i en tilfart med ét spor ses af figur 5.12, at der med en sandsynlighed på 20 procent vil ankomme x = 8 eller flere biler. Med en grøntimekapacitet på 2000 pbe/time (1,8 sek pr. pbe) skal grøntiden for denne tilfart derfor sættes til minimum 8 · 1,8 = 14 sek. Hvis trafikintensiteten inden for dele af spidstimen er væsentlig højere, bør trafikintensiteten i dette tidsrum benyttes som dimensioneringsgrundlag.

Eksempel på beregning af et kryds
I et kryds, der skal signalreguleres med 2 faser med mellemtider på hhv. 6 og 8 sek, er der i en spidstime registreret følgende trafikmængder omregnet til personbilenheder, som vist på figur 5.13.

Beregning af omløbstid
Der kan regnes med en grøntimekapacitet for ligeudsporene i hovedretningen på K = 2000 pbe/grøntime (1,8 sek pr. pbe). På sidevejen er det dimensionsgivende spor et blandet ligeud/højrespor. De højresvingende fra sidevejene skal vige for ligeudkørende cyklister og krydsende fodgængere over hovedretningen. Dette reducerer kapaciteten fra sidevejen til skønsmæssigt 1600 pbe/grøntime (2,25 sek pr. pbe).

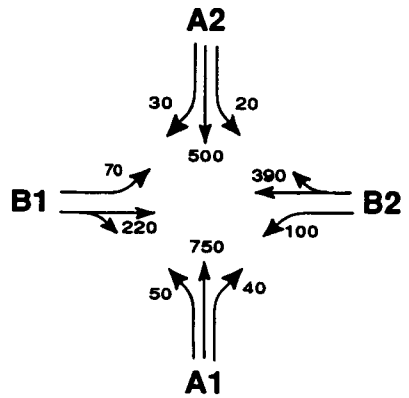


Figur 5.12 Diagram med sandsynligheden for antal køretøjsankomster ved forskellige ankomstintensitet i en poissonfordeling.

De dimensionsgivende tilfarter i hoved- og sideretningen ses at være A1 og B2.

For A1 er $N_1/K_1 = 750/2000 = 0{,}375$
For B2 er $N_2/K_2 = 390/1600 = 0{,}244$

Den tabte tid pr. omløb k udgøres af summen af mellemtider minus nettogevinsten ved at trafikanterne fortsætter med at køre et stykke inde i gulperioden (1 sek pr. fase). Da mellemtiderne er på 6 og 8 sek, er k lig med 12 sek, og den optimale omløbstid kan ifølge (5.7) beregnes til:



Figur 5.13 Ved dimensionering af signalanlæg opgøres trafikintensiteten for hver signaltilfart i en spidstime.

$$C_{opt} = \frac{1{,}5 \cdot 12 + 5}{1 - 0{,}375 - 0{,}244} = 60 \text{ sek} \qquad (5.8)$$

Fratrækkes mellemtiderne, i alt 14 sek er der 46 sek grøntid til fordeling mellem hovedretningen A1/A2 og sideretningen B1/B2.

Beregning af grøntider
I alt er der 750 + 390 = 1140 pbe, der skal konkurrere om de 46 sek grøntid. Grøntiden fordeles proportionalt med trafikintensiteten:

Grøntiden for A1/A2 beregnes til: $46 \cdot 750/1140 = 30$ sek
Grøntiden for B1/B2 beregnes til: $46 \cdot 390/1140 = 16$ sek

Ved det endelige valg af grøntider skal man sikre sig, at fodgængernes krav til minimumgrøntider er opfyldt.

Beregning af forsinkelse
For A1-retningen i figur 5.13 er:
K = 2000 pbe pr. time
N = 750 pbe pr. time
$R = C - g = C - (G + 1) = 60 - 31 = 29$ sek
$b = NC/Kg = 750 \cdot 60/2000 \cdot 31 = 0{,}726$

Den gennemsnitlige forsinkelse pr. køretøj for ligeudkørende i retning A1 kan herefter bestemmes ifølge (5.5):

$$f = 0{,}9 \cdot \left[\frac{2000 \cdot 29^2}{2 \cdot 60 \cdot (2000 - 750)} + \frac{3600 \cdot 0{,}726^2}{2 \cdot 750 \cdot (1 - 0{,}726)} \right] = 14 \text{ sek} \qquad (5.9)$$

På tilsvarende vis kan forsinkelserne for trafikanterne i de andre retninger beregnes.

I vejreglen for vejkryds i åbent land er serviceniveaubegrebet defineret udfra forsinkelsen for den enkelte trafikant på den i tabel 4.6 viste måde. Denne definition kan også anvendes i signalregulerede kryds.

5.7 Trafikstyring

Ved trafikstyring forstås, at køretøjernes ankomster i de enkelte signaltilfarter styrer varigheden af det grønne signal. Trafikstyring anvendes især på steder, hvor trafikkens ankomstfordeling er tilfældig, dvs. på steder hvor der ikke er andre signalanlæg i nærheden, der sender køretøjer i grupper hen mod det aktuelle kryds.

Fordelen ved trafikstyring er, at grøntiden hele tiden tilpasses det aktuelle behov. Dette medfører i princippet, at trafikanterne ikke skal holde, uden at der er trafik i tværretningen. Af Danmarks ca. 2.700 signalanlæg (i 1992) er ca. 1.500 trafikstyrede.

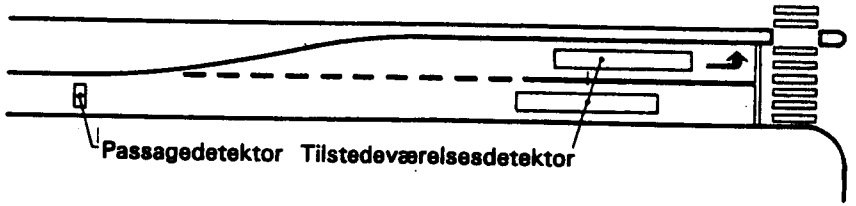
Detektorer

Trafikstyring sker ved hjælp af detektorer, der er nedfræset i asfalten eller lagt, inden vejen er forsynet med et slidlag. En detektor er en elektromagnetisk spole, hvorigennem der løber en svag strøm. Når metallet fra et køretøj passerer spolen, induceres en strøm, der af styreapparatet tolkes som et køretøjs passage eller belægning af den pågældende detektor. Fodgængere detekteres med trykknapper.

Detektorer i en signaltilfart kan have forskellig funktion og udstrækning afhængig af, om det er køretøjer eller cykler, der skal detekteres samt, hvor forfinet og avanceret styringen skal være. På figur 5.14 er vist udformningen og placeringen af en passagedetektor og to tilstedeværelsesdetektorer i en signaltilfart.

Hvilestilling

Kryds med detektorer i alle tilfarter benævnes fuldt trafikstyrede, mens kryds, hvor der kun er detektorer i sidevejen benævnes sidevejstrafikstyrede anlæg. I fuldt trafikstyrede anlæg tilpasses grøntiden trafikkens ankomster i de to retninger. Trafikstyrede anlæg har hidtil fungeret på den måde, at anlægget, efter at al trafik fra sidevejen er afviklet, automatisk skifter tilbage til grønt lys for hoved-



Figur 5.14 Trafikstyrede signalanlæg har dektorer i tilfarterne for at registrere om en retning skal have grønt lys, eller om det grønne lys skal forlænges.

retningen. Denne tilstand kaldes hvilestillingen. En hvilestilling med grønt lys i hovedretningen benævnes også "præference".

Særligt i højhastighedsanlæg, hvor trafikanterne kører mere end 70 km/h bliver det dog mere og mere udbredt at benytte "alt rødt" som hvilestilling, dvs. alle signalerne i anlægget viser rødt, indtil der kommer et krav om grønt lys fra en detektor i én af tilfarterne (anmeldelse) eller fra en fodgængertrykknap. Signalet skifter herefter til rødt/gult og grønt for denne fase, så trafikanter i tynd trafik kan fortsætte gennem krydset uden at skulle stoppe men evt. med en hastighedsnedsættelse som følge. Erfaringerne viser da også, at anlæg med "alt rødt" kan have en hastighedsdæmpende effekt.

Især i tynd trafik yder trafikstyrede signalanlæg en høj service til trafikanterne, fordi det næsten altid er muligt at passere krydset med ingen eller med lille forsinkelse. I tæt trafik kan et anlæg med mange faser med fordel trafikstyres, fordi de enkelte faser eller signalgrupper kun tildeles den grøntid, de har behov for. Dette forøger kapaciteten.

Forlængelse af grøntiden

Normalt findes der mindst to detektorer i hver tilfart. Hvad der helt konkret sker, når en detektor bliver belagt, afhænger af styrealgoritmen for det trafikstyrede anlæg og de funktioner, der er tildelt hver enkelt detektor. Der skelnes mellem detektorfunktionerne anmeldelse, forlængelse og tilstedeværelse.

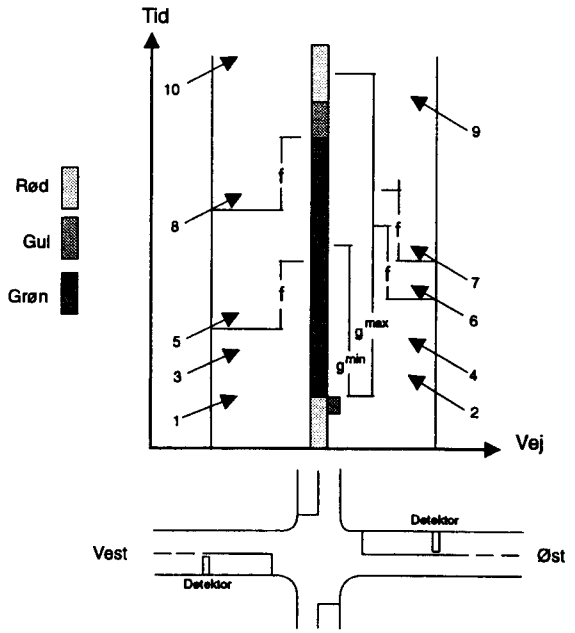
Hvis en trafikant nærmer sig krydset fra sideretningen i en situation, hvor anlægget står med grønt i hovedretningen, vil køretøjet på et tidspunkt passere den yderste detektor. Herfra vil der gå en besked til styreapparatet, om at sideretningen har behov for et signalskift fra rødt til grønt lys (anmeldelse). Inden sideretningen får grønt lys, vil anlægget dog først undersøge, om der er trafik på vej mod krydset i hovedretningen. Trafik herfra kan nemlig forlænge grøntiden med et forudbestemt antal sekunder (forlængelsestiden), hver gang en detektor i tilfarten passeres.

Grønt lys i hovedretningen kan opretholdes op til en fastsat maksimumværdi, så længe der til stadighed passerer køretøjer hen over en detektor i hovedretningen inden forlængelsen fra det foregående køretøj udløber. Princippet i denne form for grøntidsforlængelse er vist på figur 5.15, hvor der for overskuelighedens skyld dog kun er vist én detektor pr. tilfart.

Efter mellemtiden skiftes der til grønt lys for sideretningen. Efter udmåling af en fast grøntid (minimumgrønt) kan fasen for sideretningen så forlænges efter samme princip som for hovedretningen, hvis der kommer flere køretøjer fra sideretningen.

Traditionelt har man i Danmark placeret detektorer i hovedretningen i en afstand af ca. 70 m og 120 m fra stoplinien. Med en forlængelsestid på fx 3,2 sek og en afstand mellem de to detektorer på 50 m svarer dette til, at et køretøj, der kører hurtigere end 56 km/h, efter at have passeret den yderste detektor vil kunne nå frem til den næste detektor, som yderligere giver en grøntidsforlængelse på 3,2 sek.

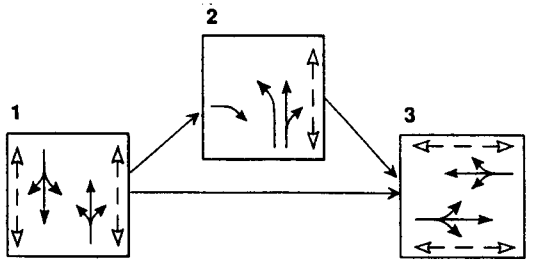
Hvis køretøjet netop kører med en hastighed af 56 km/h og det er det sidst forlængende køretøj, vil det møde gult lys 20 m fra stoplinien, hvorefter det uden problemer vil passere krydset for gult lys.



Figur 5.15 Principskitse for grøntidsforlængelse. Grøntiden kan opretholdes så længe tidsafstanden mellem køretøjerne ikke overskrider forlængelsestiden, f.

Overspring af fase

Det er også muligt at benytte køretøjers tilstedeværelse på en detektor i styre-algoritmen. I anlæg, hvor der periodevis ankommer mange venstresvingende afgøres det på et bestemt tidspunkt i omløbet, om køen er så lang, at der er behov for indkobling af en hjælpefase med en venstresvingspil (jf. figur 5.1b). Hvis ikke udelades hjælpefasen, og der kan gives yderligere grønt til den tilfart, der skulle være afkortet ved indkobling af hjælpefasen. Denne facilitet medfører en faseop-bygning i hvert omløb, der hele tiden er afstemt antallet af venstresvingende, når en kø på detektoren viser, at der er behov for ekstra grøntid for venstresvingende jf. figur 5.16.



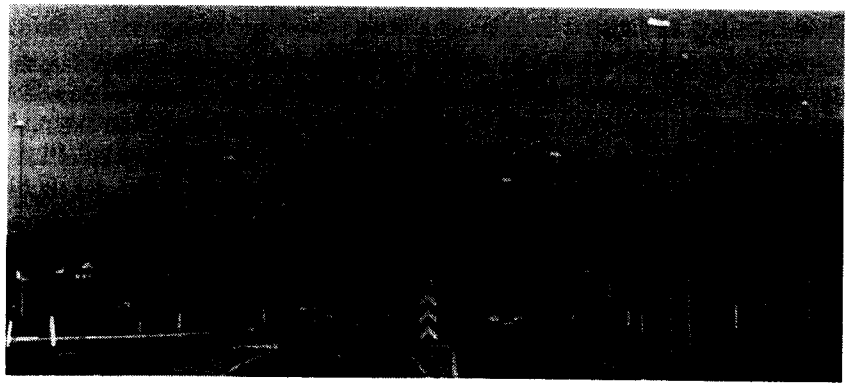
Figur 5.16 En tilstedeværelsesdetektor kan benyttes til at indkoble en hjælpefase, når en kø på detektoren viser, at der er behov for ekstra grøntid for venstresvingende.

Moderne trafikstyring

Teknologiudviklingen gennem 1980'erne har bevirket, at man ved ombygninger og nyetableringer i dag indbygger mere og mere sofistikerede funktioner i styringen af anlæggene. En svensk strategi benævnt LHOVRA (Vägverket, 1982) bliver hyppigt anvendt i Danmark ved ombygninger af signalregulerede kryds i åbent land men også ved anlæg med bynære omgivelser. I Danmark anvender vi følgende LHOVRA-funktioner:[4,5]

- L: Lastbilprioritering
- H: Hovedretningsprioritering
- O: Ulykkesreduktion
- R: Rødkørselskontrol (mellemtidsforlængelse)

I signalanlæg i åbent land er andelen af uheld med lastbiler overrepræsenteret Med L-funktionen er der detektorer placeret i 300 m afstand fra krydset, som detekterer lastbiler, der kører over 60 km/h. Signalanlægget spærrer herefter for al forlængelse til sideretningen, og lastbilen ledes på denne måde igennem uden stop eller med så lille forsinkelse som mulig.



Bundet venstresving forebygger venstresvingsulykker, men kan give lange ventetider.

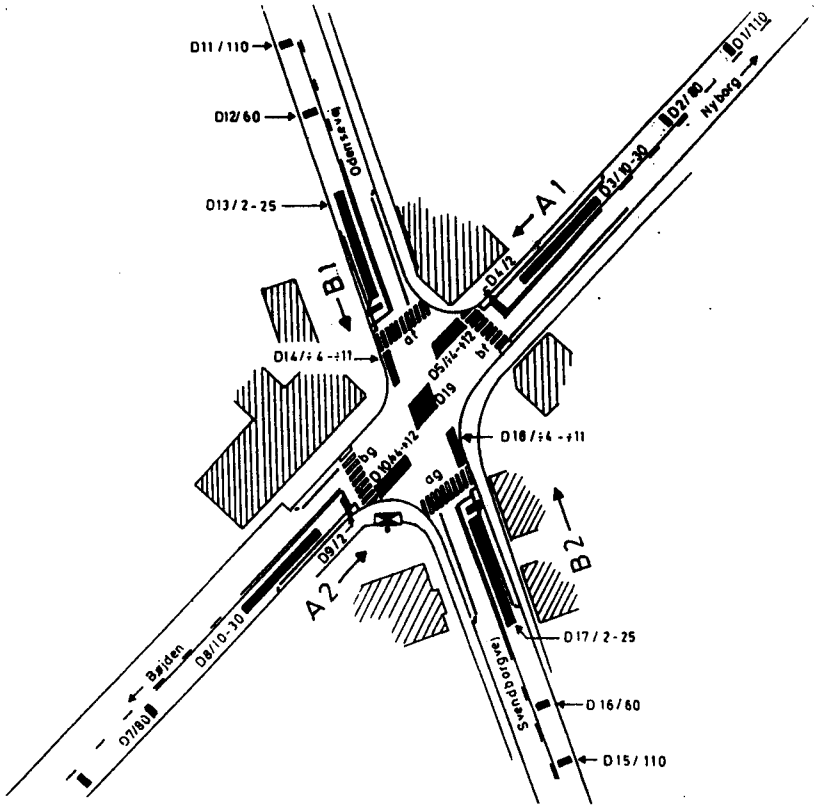
Hovedretningsprioriteringen medfører lidt større forlængelsestider pr. detektorpassage sammenlignet med traditionel trafikstyring. Dermed er det lettere for hovedretningen at opretholde grønt lys.

Antallet af bagendekollisioner er et problem i signalregulerede kryds, bl.a. fordi der sker mange pludselige stop, når signalet skifter fra grønt til gult. Hvis signalet skal til at skifte til gult, fordi den maksimale forlængelse er nået, og der stadig er køretøjer på vej mod krydset i en afstand af 50-140 m fra stoplinien tillades en ekstra grøntidsforlængelse. Med O-funktionen reduceres således sandsynligheden for, at signalet skifter til gult, når køretøjer er i denne afstand fra krydset, og trafikanten derfor har svært ved at træffe valget mellem at stoppe og at fortsætte. Antallet af pludselige opbremsninger kan derfor reduceres med et mindre antal bagendekollisioner til følge.

Med R-funktionen tillades en trafikstyret forlængelse af rødtiden på op til 2 sek umiddelbart efter gult lys, men inden signalet skifter til rødt/gult for tværretningen. Herved reduceres risikoen for kollisioner med tværtrafikken i de tilfælde, hvor bilerne ankommer til stoplinien i gultiden, og hvor der derfor er risiko for at de kører over for rødt lys.

Et fuldt udstyret LHOVRA anlæg kræver fem detektorer i hver af hovedretningens tilfarter, hvoraf den yderste er en dobbeltdetektor til registrering af lastbiler.

På figur 5.17 er vist et eksempel på detektorplaceringer i et kryds i bymiljø med funktionerne H, O og R. I A-retningen er der passagedetektorer i 80 og 110 m fra stoplinien. Ved stoplinien er der lange tilstedeværelsesdetektorer, der forlænger det grønne lys, så længe der er køretøjer på detektoren. Herved fås en meget præcis afslutning af grønperioden, idet den sidste bil netop skal til at passere stoplinien, når signalet skifter fra grønt til gult. Detektoren benyttes også til forlængelse af mellemtiden (rødt) ved R-funktionen.



Figur 5.17 Eksempel på detektorplacering i et kryds med moderne trafikstyring i bymiljø.

Krydset er 2-faset med hvilestillingen "Alt rødt". I krydsets hjørner er der derfor placeret tilstedeværelsesdetektorer, der anmelder cyklister, der venter på at svinge til venstre. Cyklister, som holder på disse detektorer, vil få grønt lys, når der ikke er mere trafik på den vej, hvorfra cyklisten kom. Samtidig kan detektorerne registrere cyklister, som standser på den forkerte side af stoplinien.

I midten af krydset ligger yderligere en tilstedeværelsesdetektor, der anmelder fasen for den tværgående retning efter 10 sek ophold på detektoren efter udløbet af minimumgrøntiden. Herved sikres, at venstresvingende kan fremtvinge et faseskift i de situationer, hvor der bliver ved med at komme modkørende trafik. Denne detektor benyttes også til forlængelse af mellemtiden, hvis der holder flere biler i krydset, som er ved at foretage venstresving under et faseskift.

5.8 Samordnede signalanlæg

Hvis der på en strækning findes en serie af signalanlæg efter hinanden, vil køretøjer, der starter fra et kryds, bevæge sig samlet frem mod det næste kryds. Det vil derfor være hensigtsmæssigt at tænde grønt i det efterfølgende anlæg på et sådant tidspunkt, at køretøjsbølgen fra det foregående kryds kan passere uden at skulle stoppe.

Dette forudsætter, at omløbstiden er den samme for alle anlæggene, så de virker i takt med hinanden. Dette sikres gennem synkroniseringskabler mellem krydsene eller meget præcise ure i styreapparaterne. Sådanne signalanlæg benævnes samordnede anlæg.

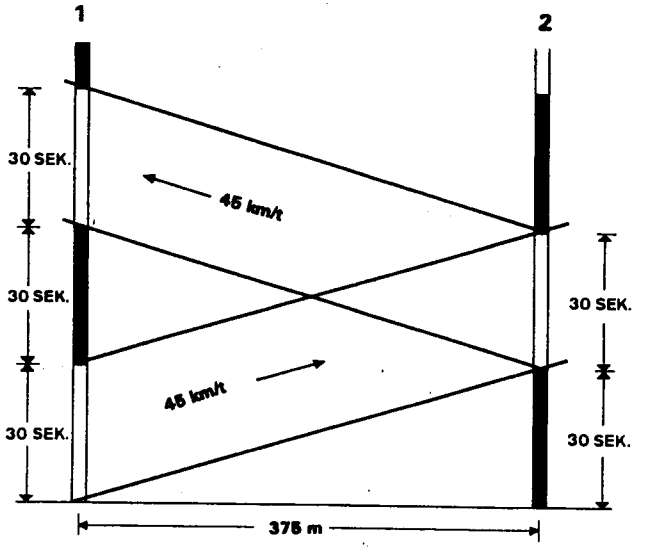
Da omløbstiden er den samme for alle anlæg, er det normalt det anlæg, der kræver den største omløbstid, som bestemmer valget af omløbstid for systemet, med mindre andre krav, som fx hensynet til en god dobbeltrettet grøn bølge, medfører valg af en anden omløbstid.

Hvis en samordning medfører, at trafikanter kan køre igennem en serie af signalanlæg med konstant hastighed, taler vi om en "grøn bølge".

Når en bølge af køretøjer bevæger sig mellem to kryds, vil der ske en vis spredning af køretøjerne. Jo større krydsafstand og middelhastighed, jo større spredning. Erfaringsmæssigt bør samordnede anlæg derfor ikke ligge længere fra hinanden end 800-900 m, hvis trafikanterne skal kunne opfatte samordningen som en grøn bølge. På forretningsgader med parkering, cyklister, krydsende fodgængere og urolige trafikforhold ophører fordelene ved samordning dog ved noget kortere krydsafstande. Kryds der ligger meget tæt på hinanden bør altid samordnes for at undgå uheldige køopstuvninger mellem krydsene og for at undgå, at trafikanterne skal tage fejl af signalerne i de to kryds.

Det er helt uproblematisk at etablere en grøn bølge for trafikken i den ene retning i en kæde af samordnede signalanlæg. En sådan samordning kan fx betjene myldretidstrafik med en udpræget retningsfordeling. Forskydningen mellem to anlæg skal blot svare til køretiden mellem de to kryds, evt. korrigeret for tidsforbruget til afvikling af en kø af indsvingende fra det foregående kryds.

Det kan være mere kompliceret at etablere en grøn bølge for begge retninger på en strækning. Hvis vi betragter figur 5.18 ses, at hvis der skal være grøn bølge i begge retninger, skal køretiden fra kryds 1 til kryds 2 plus køretiden fra kryds 2 til kryds 1 netop svare til ét signalomløb. Eller mere generelt skal køretiden, t, mellem krydsene være et multiplum af den halve omløbstid, idet der må regnes med samme hastighed i begge retninger:



Figur 5.18 En god grøn bølge i begge retninger kræver, at køretøjer fra kryds 2 til kryds 1 ankommer netop ét signalomløb efter køretøjerne startede fra kryds 1 mod kryds 2.

$$t = n \cdot \frac{C}{2} \qquad (5.10)$$

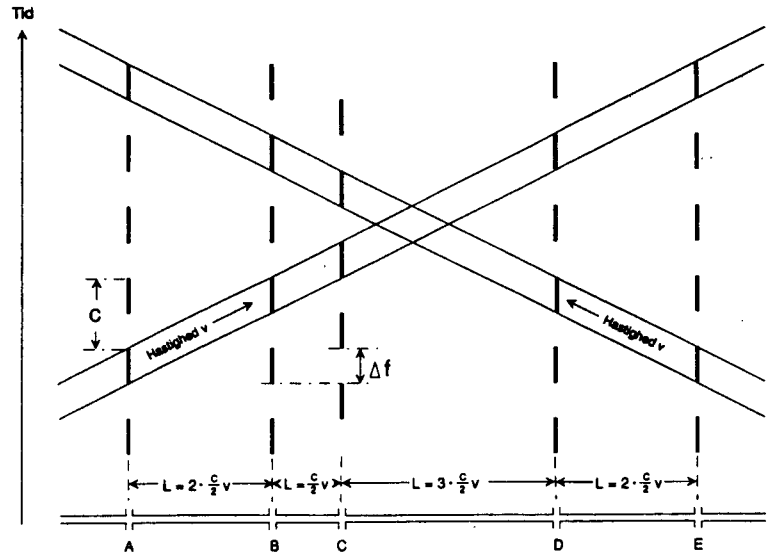
t: køretiden mellem krydsene
C: samordningens omløbstid
n: et helt positivt tal (normalt 1 eller 2)

Tidsforskellen f mellem start af grønt lys mellem to naboanlæg benævnes *forskydning* jf. figur 5.19. Hvis forskydningen mellem to signalanlæg er en halv omløbstid (grønt mod rødt) eller en hel omløbstid (grønt mod grønt), kan der i princippet altid tilvejebringes en dobbeltrettet samordning på en strækning. For at samordningen for trafikanterne skal kunne opfattes som en grøn bølge, er det dog en forudsætning, at trafikanterne ved en naturlig kørehastighed, v, møder grønt, når de ankommer til det efterfølgende signalanlæg. Da t = L/v, fås ved indsættelse i (5.10):

$$t = \frac{L}{v} = n \cdot \frac{C}{2} \qquad (5.11)$$

eller

$$L = n \cdot \frac{Cv}{2} \qquad (5.12)$$



Figur 5.19 I en dobbeltrettet grøn bølge er signalet i to naboanlæg i princippet det samme eller modsat (grønt/grønt eller grønt/rødt).

Med optimale krydsafstande kan der med de givne forudsætninger (omløbstid og køretøjernes hastighed) skabes en god dobbeltrettet samordning. Jo mere krydsafstandene afviger fra de optimale afstande, jo dårligere virker samordningen set fra trafikanternes synspunkt.

For n=1 indsat i (5.12) fås en samordning med en forskydning på en halv omløbstid, dvs. der er grønt i det ene signalanlæg, mens der er rødt i det næste (grønt mod rødt). For n=2 fås samtidigt skift til grønt lys i de to anlæg, dvs. samme signalvisning i hovedretningen i de to kryds (grønt mod grønt). Samtidigt (synkront) skift anvendes ved meget store eller ved meget små krydsafstande.

Samordning med trafikstyring

Samordninger er ofte tidsstyrede og med mulighed for gennem døgnet og ugen (jf. figur 5.6) at skifte mellem forskellige signalprogrammer, der hver især prioriterer et karakteristisk trafikmønster.

I en del samordninger anvendes dog trafikstyring i større eller mindre udstrækning til at modificere grøntiderne. Typisk er der kun placeret detektorer i sideretningen.[6]

Ved trafikstyret samordning med detektorer i sideretningen kan styreapparate programmeres, så sideretningen enten får grønt i hvert eneste omløb eller kun hvis der ankommer køretøjer. Sideretningen tillades at forlænge grøntiden, hvis der ved afslutningen af den faste del af grøntiden skulle vise sig at være flere køretøjer, der er på vej mod krydset. Hvis sideretningen ikke udnytter mulighederne for forlængelse, overføres den ubrugte tid til hovedretningen, som herved opnår en tidligere grønstart.

Rammerne for trafikstyring inden for en samordning er dog ikke så fleksible som for frit trafikstyrede anlæg, der fungerer uafhængigt af andre signalanlæg, fordi der skal tages hensyn til, at hovedretningen af hensyn til den grønne bølge skal garanteres grønt lys i en bestemt del af omløbet.

Trafikafhængigt valg af signalprogram

Undertiden udpeges nogle af detektorerne i et signalsystem til at afgøre, hvilket trafikmønster, der aktuelt er rådende i vejnettet. Resultatet benyttes til at vælge netop det signalprogram, der bedst afvikler trafikken. Detektorer, der medvirker til udpegning af det bedste signalprogram, benævnes strategiske detektorer.

På en strækning kan der fx være to strategiske detektorer til at måle trafikintensiteten i de to retninger og én eller flere til at måle sideretningens trafik i enkelte af krydsene. Ved at måle om trafikintensiteten på de strategiske detektorer ligger over eller under visse forudbestemte niveauer og kombinere disse oplysninger, afgøres hvilket trafikmønster, der er gældende, og det hertil passende signalprogram indkobles.

I Danmark findes der således 10-15 samordninger, hvor det er trafikken, der bestemmer samordningsplanen. Et eksempel på trafikafhængigt valg af signalprogram ses på et samordnet system af syv anlæg på ringvejen syd om Odense. Systemet har her mulighed for at vælge mellem et 92 sek morgenprogram, et 92 sek eftermiddagsprogram og et 54 sek program. De to signalprogrammer for myldretiden favoriserer trafikken i den mest trafikerede retning, mens 54 sek programmet giver en god grøn bølge i begge retninger.

Trafikafhængigt programvalg er især relevant, hvor trafikmønstret kan være vanskeligt at forudsige, og hvor det kan skifte meget hurtigt, fx i forbindelse med færgetræk, messer, udstillinger, ferier o.l.

Optimering af samordning med edb

Optimering af samordnede signalanlæg kan være en kompliceret sag at gennemføre, fordi der skal tages hensyn til trafikken i de to retninger, men også til den indsvingende trafik fra sidevejene. Med et engelsk edb-program, TRANSYT

(Traffic Network Study Tool), kan man få beregnet et optimalt signalprogram for et system af samordnede signalanlæg, hvad enten disse ligger på en strækning eller i et net. Programmet kræver følgende inddata:[7]

- Krydsafstande og krydsudformning
- Ønskehastighed mellem krydsene
- Omløbstid
- Faser, minimumgrøntider og mellemtider
- Trafikintensitet for hver strøm i nettet
- Sporfordeling og grøntimekapacitet i hver tilfart
- Optimeringskriterium

I inddata prissætter brugeren trafikanternes enhedsomkostninger ved stop og forsinkelse. Det er herved muligt at optimere efter en vilkårlig vægtning af stop og forsinkelse i vejnettet. I princippet ligestilles enhver trafikant, dvs. forsinkelsen for en indsvingende trafikant tillægges lige så stor vægt som forsinkelsen for en trafikant i hovedretningen. Det er dog muligt at vægte strækningerne forskelligt, så programmet prøver at forbedre samordningen på vægtede strækninger på bekostning af de uvægtede strækninger.

Under optimeringen søger programmet efter den signalindstilling, der bedst muligt opfylder det valgte optimeringskriterium. Når dette signalprogram er fundet, udskriver programmet start- og sluttidspunkterne for grønperioden for hver tilfart, kapacitetsudnyttelsen i hver tilfart, den samlede forsinkelse og antal stop i nettet samt det hertil medgående energiforbrug målt i liter benzin pr. time.

Erfaringerne fra de steder i Danmark, hvor TRANSYT har været benyttet til samordning viser, at antallet af stop og forsinkelse kan reduceres med 10-20 procent og benzinforbruget med 5-10 procent, når man sammenligner med et manuelt udformet signalprogram.

5.9 Fejl- og driftsovervågning af signalanlæg

I et system af signalanlæg er det af hensyn til trafiksikkerheden og trafikafviklingen væsentligt, at signalanlæggene hele tiden fungerer, som det var tilsigtet. Fejl kan fx skyldes påkørsel af signalmaster med efterfølgende slukning af anlægget, pærer kan brænde over, anlæggene kan blive stående i samme program eller i samme signalbillede, detektorer kan konstant give impulser, falde ud af drift, osv. Ved meget store systemer, som fx i København, Århus, Odense og Aalborg har man i mange år haft fejlovervågning af visse komponenter i anlæggene. Via synkroniseringskablerne eller telefonnettet er det muligt fra et centralt sted at have kontakt til funktionerne i hvert enkelt styreapparat, der er tilsluttet.

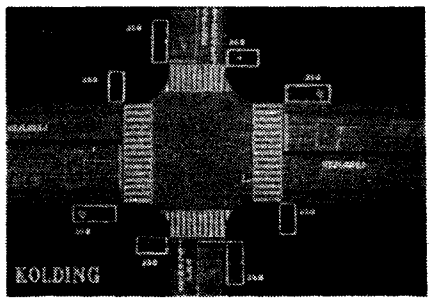
Med den hurtige udvikling i datateknologien er PC'ere nu blevet så billige og kraftige, at de kan benyttes som overvågningscentral for signalanlæg. Med en PC placeret hos den ansvarlige for driften af anlæggene, fx det lokale elværk, går en meddelelse ind på skærmen eller en tilsluttet printer hver gang, der sker væsentlige ændringer, eller der opstår en fejl på et signal eller en detektor. Man kan på skærmen eller på printeren straks se, hvad der er galt, hvor det er galt og kan vurdere, om det er en fejl, der kræver et øjeblikkeligt indgreb, eller om det er en fejl, hvis udbedring kan vente til en passende lejlighed.

På tilsvarende vis kan signalleverandøren fra en PC komme i kontakt med de enkelte dele af systemet via telefonnettet. Leverandøren kan derfor på vejbestyrelsens vegne udføre ændringer i signalparametrene og herigennem sikre, at signalanlæggene fungerer trafikteknisk optimalt.[8]

Detektorbelægninger og signalskift kan præsenteres på skærmen samtidigt med, at de finder sted i krydset. Sammen med løbende udskrifter af, hvad der sker i anlægget, kan skærmen benyttes til at kontrollere, om anlægget virker efter hensigten.

Ved at opsamle og lagre oplysninger om detektorpassagerne kan et overvågningssystem også benyttes til trafiktællingsfunktioner. Med en PC på den tekniske forvaltning kan forvaltningen selv iværksætte trafiktællinger i kryds, der er udstyret med detektorer. Tællinger kan anvendes både til planlægningsformål og til løbende trafikteknisk justering af anlæggene, så det samlede signalsystem afvikler trafikken så effektivt og så sikkert som muligt.

Nogle systemer indeholder også funktioner til automatisk beregning af antallet af stop og forsinkelse for køretøjerne i de enkelte tilfarter. Sådanne funktioner



Med et driftovervågningssystem kan man få on-line kontakt med de tilsluttede signalanlæg.

baseres på en sammenholdelse af detektorpassagerne med den aktuelle signalvisning, som jo kendes af styreapparatet. Oplysningerne opsamles i styreapparatet og kan sidenhen overføres til en PC i den tekniske forvaltning eller hos signalleverandøren, hvor oplysningerne kan benyttes i den trafiktekniske vedligeholdelse af signalsystemet.

I Danmark findes i 1994 over 25 operative overvågningssystemer, der typisk omfatter 10-50 kryds.

Litteratur

1 Signalhandboken - Utformning och drift av trafiksignalanläggningar, TRK, Transportforskningskommissionen, 1982.

2 Vejregler for signalanlæg, Vejdirektoratet, Vejregelsekretariatet, 1985.

3 Webster, F.V. Traffic Signals, Ministry of Transport, HMSO Road Research Laboratory, Road Research Technical Paper No 56, 1966.

4 Gautier, Eric. TRAFIK - en metodik til bedre trafikstyring. EB Trafik Systemer A/S, 1991.

5 Peterson, Alf m.fl. Signalreglering med LHOVRA-teknik. Projekteringshandbok. Vägverket, Publikation 1991:51, 1991.

6 Lauritzen, Steen. Styrestrategier for signalanlæg, Del 1 - et litteraturstudium, Institut for Veje, Trafik og Byplan, DtH. Notat 85-4, marts 1985.

7 Lauritzen, Steen. TRANSYT - et edb-program til beregning af grønne bølger, Dansk Vejtidsskrift, maj 1990.

8 Gautier, Eric. Effekt af automatisk overvågning trafiksignalanlæg, Dansk Vejtidsskrift, okt. 1990.

Kapitel 6

Trafiksikkerhed og uheldsbekæmpelse

Af N.O. Jørgensen

6.1 Trafiksikkerhedsarbejdets teoretiske grundlag

Grundlæggende synspunkter - Trafikuheld betragtes som systemsvigt

Siden 1960'erne har det været et overordnet teoretisk synspunkt, at trafikuheld må anses for at være udtryk for et svigt i et system bestående af *trafikanten, køretøjet og vejen*. Dette synspunkt er udviklet i forbindelse med serier af dybdeanalyser af konkrete uheld, som har været udført mange steder i verden. Undersøgelserne har ofte været udført af særlige udrykningshold med tværfaglig sammensætning. Holdene har søgt at nå frem til uheldsstederne samtidig med redningsfolk og politi, således at holdet har kunnet interviewe uheldsparterne. Ved denne type uheldsanalyser er systembetragtningen blevet anvendt til at påpege de fejl eller mangler i systemet, som har været af afgørende betydning for uheldet, fx fejlagtig trafikantadfærd, mangelfuld vejafmærkning, køretøjsmangler etc.

Selve beskrivelsen af uheldsforløbet er blevet inddelt i tre faser, som aldrig har fået en god dansk betegnelse, nemlig:

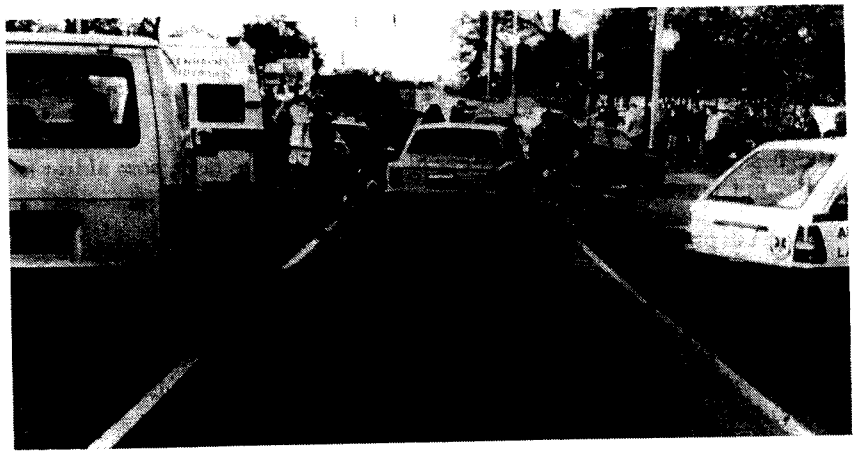
- pre crash phase
- crash phase
- post crash phase

Den første fase er den, som har størst betydning for studiet af uheldsforebyggelse, afværgemanøvrer o.l. Den anden fase er den, hvori uheldsmekanismen forløber, dvs. studiet af kollisionsdynamik og af køretøjsdeformationer samt af de mekanismer, som fører til personskaderne, er knyttet til denne fase. Den tredie fase omfatter redningstjeneste, hospitalsbehandling, revalidering mv.

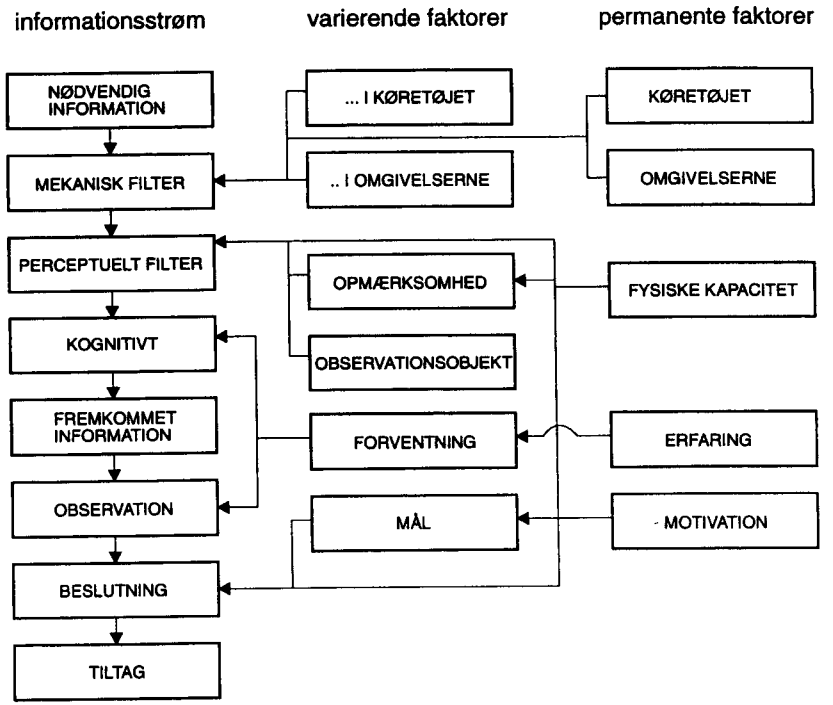
Begrebet *aktiv sikkerhed* benyttes om forhold, som har betydning for forebyggelse eller afværgelse af uheld. Her tænkes på en fornuftig trafikantadfærd, en hensigtsmæssig vejudformning, gode bremser osv. *Passiv sikkerhed* refererer til forhold, som reducerer konsekvenserne, givet at et uheld er indtruffet. Her er sikkerhedsseler og styrthjelme eksempler, men også en "blød" udformning af vejmiljøet, fx skilte monteret på standere med brudled, så påkørsel ikke er så kritisk for en bilist.

I forbindelse med dybdeanalyserne er en række vigtige begreber blevet genstand for diskussion. Et vigtigt punkt har været diskussioner omkring begrebet *uheldsårsag*. Mange forskere anser i dag dette begreb for praktisk uanvendeligt. Det skyldes, at i videnskabelig tankegang skal en årsag have en veldefineret virkning, og derfor kan en omstændighed, som synes at have "forårsaget" uheldet, ikke kaldes årsag, hvis den samme omstændighed også forekommer i situationer, hvor uheld ikke indtræffer. Fx kan glat føre i en kurve ikke siges at være en årsag til et givet uheld, fordi der sandsynligvis har været hundreder af biler, som har passeret stedet uden uheld. Der må altså have været andre faktorer, som bevirkede, at netop denne ene bilist havarerede.

Denne tankegang førte forfatterne bag arbejdet med den såkaldte *Fynsundersøgelse* til i stedet at arbejde med begrebet en *uheldsfaktor*.[1] En uheldsfaktor defineres som en omstændighed, som var til stede i et uheld, og uden hvilken uheldet ikke ville have fundet sted. Der kan være adskillige faktorer i et uheld. Denne betragtningsmåde har vist sig at være meget frugtbar. I forbindelse med Fynsundersøgelsen blev der udviklet et system til logisk afgrænsning af, hvilke typer af faktorer, som kan have været virksomme i et givet uheld, dersom uheldets faktiske forløb i tid og sted kan fastlægges.



Både trafikanter, køretøjet og vejen kan indgå som uheldsfaktor i et uheld.



Figur 6.1 Analysemodel baseret på informationsprocessen.

En anden tankegang er udviklet i et svensk projekt.[2] Denne tankegang, som benævnes *TRK-metoden*, anskuer trafikanters færden ud fra et informationssynspunkt, og uheldet opfattes som et udtryk for, at der har været et informationssvigt hos en eller flere parter i uheldet. Figur 6.1 illustrerer modellen for informationsprocessen under kørsel.

I et nordisk projekt er de to metodiske synspunkter søgt samarbejdet i analyser af en række uheld.[3]

Uheld set som udfald i en stokastisk proces - Poissonprocessen

Et andet vigtigt teoretisk synspunkt består i, at uheld betragtes som tilfældige den forstand, at tid og sted for et uheld aldrig kan forudsiges. Selv de implicerede parter vil ikke kunne forudsige uheldet mere end højst et par sekunder før kollisionen. Uheldenes tilfældige natur har ført til, at de kan anskues ud fra teorien for stokastiske processer, hvor uheldet betragtes som et udfald i processen

Betragter man en bestemt del af et vejnet, fx et bestemt vejkryds, kan man anskue uheldshændelserne i krydset som forløbet i en stokastisk proces. Processens udfald eller hændelser sker på tidspunkter, som antages at følge en sandsynlighedsteoretisk modellov.

En simpel antagelse om modelloven kunne være: Antag, at der gennemsnitligt sker m hændelser pr tidsenhed, at sandsynligheden for en hændelse i et kort tidsrum Δt er $m \cdot \Delta t$, og at sandsynligheden for mere end én hændelse i Δt er uendelig lille af højere orden, når $\Delta t \rightarrow 0$. I mere almindeligt sprog betyder disse forudsætninger, at uheldsintensiteten er konstant i tiden, at hændelserne sker fuldstændig uafhængigt af hinanden, og at hændelserne altid kan adskilles tidsmæssigt ved tilstrækkelig fin tidsmåling.

Disse forudsætninger betyder, at Poissons lov er gældende for processen. Poissons lov siger, at antallet af hændelser i tidsrummet t er givet ved:

$$P(x) = \frac{(mt)^x}{x!} \cdot e^{-mt} \qquad (6.1)$$

P(x): sandsynligheden for x hændelser i tidsrummet t, hvor x = 0, 1, 2, 3, ...
mt: det gennemsnitlige antal hændelser i tidsrummet t

Poissonprocessen har nogle vigtige egenskaber. Betragtes to uafhængige poissonfordelte variable med middelværdier m_1 og m_2, gælder det, at summen af par af observationer af de to variable igen udgør en poissonfordeling med middelværdi $m_1 + m_2$. Denne additivitet er afgørende for poissonfordelingens praktiske anvendelse i studiet af trafikulykker. Middelværdien i poissonprocessen vil nemlig variere med trafikken over dagen, ugen og året. Men hvis modellen blot gælder i kortere tidsrum, fx en time ad gangen, vil den også gælde for hele året, når årets timer summeres op.

Om Poissons fordeling gælder endvidere, at den kun har én fri parameter, nemlig middelværdien, dvs at når den kendes, kendes hele fordelingen. Fordelingens varians er lig middelværdien.

Poissons fordeling er nært knyttet til både binomialfordelingen og normalfordelingen. Udfører man et stort antal gange et binomialfordelt forsøg med en ganske lille sandsynlighed for positivt udfald, vil antal positive udfald kunne tilnærmes godt med en poissonfordeling. Når middelværdien mt bliver et stort tal, fx mt > 50, vil Poissons fordeling kunne tilnærmes godt med en normalfordeling.

Heraf følger, at de interessante anvendelser af Poissons fordeling typisk er sådanne, hvor middelværdien er et lille tal, fx $0 < mt < 20$. Poissons lov kaldes derfor "de små tals lov" eller "loven om de sjældne hændelser". Poissonfordelingens egenskaber samt en række mulige anvendelser i relation til trafik er beskrevet af Gerlough & Schuhl.[4]

Klassifikation af uheld i uheldsbekæmpelsen

Det teoretiske hovedsynspunkt bag den praktiske uheldsbekæmpelse i vejvæsenet er som nævnt, at indtrufne uheld kan antages at repræsentere udfald i en stokastisk proces, som beskriver vejens risikotilstand. Uheldene betragtes altså som tilfældige mht. tid og sted. Men uheldenes art og antal er vores vigtigste informationer om uheldsprocessen.

I det praktiske arbejde er der derfor stor interesse for oplysninger om de faktisk indtrufne uheld. Det er også vigtigt at klassificere uheldene efter den betydning, som stedet har haft for uheldene. Det er her især klassifikation efter den trafikale situation i uheldet, som har betydning. En overordnet klassifikation af uheldene efter deres relation til lokale forhold er foreslået af Landstrøm.[5] Den skal kort refereres her.

Hvis man skal påvirke risikoen på et sted gennem lokale vej- og trafiktekniske indgreb, må uheldene have relation til lokale forhold. Næppe alle uheld har det. Betragtningen er, at nogle uheld er *stedsubestemte*, dvs. at de kunne ske hvor som helst. De har ingen lokal tilknytning. Et eksempel kunne være uheld, som skyldes et eksploderende bildæk. Modsat disse står *stedsbestemte* uheld, der igen kan opdeles i *punktbestemte* og *strækningsbestemte* uheld. Som illustration kan nævnes, at fx tværkollisioner i et vejkryds er punktbestemte: de er betinget af, at to trafikstrømme skærer hinanden i netop dette punkt. For strækningsbestemte uheld gælder, at der overalt på en strækning findes en fælles omstændighed, som kan udløse uheld. Et eksempel på strækningsbestemte uheld kunne være cykeluheld, hvor cyklister i mørke har påkørt parkerede biler på en ubelyst vej med parkering tilladt. Sådanne uheld kan forekomme overalt på strækningen, dvs. de er strækningsbestemte, idet parkerede biler kan forekomme hvor som helst.

Når uheld er stedsbestemte, og forholdene på stedet er uændrede, kan man ud fra en rent praktisk synsvinkel *forvente gentagelse* af uheldet. Man kan nemlig forvente, at de faktorer, som i én situation var uheldsudløsende, vil forekomme igen. Spørgsmålet er med hvor stor hyppighed?

6.2 Datakilder om uheld

Flere statistiksystemer belyser uheldene

Vores viden om færdselsuheldene stammer fra forskellige datakilder. I det følgende vurderes datakildernes anvendelighed ud fra hensynet til vejvæsenets praktiske uheldsbekæmpelse. Andre hensyn, fx hensynet til forskningsformål, vil føre til andre vurderinger.

I vejvæsenets praksis har det hidtil været politiets rapporter om indtrufne uheld, som har haft størst praktisk betydning. Politiet skal optage rapport og indsende indberetning til Danmarks Statistik om alle personskadeuheld samt om alvorlige materielskadeuheld.

En række hospitaler rundt omkring i landet registrerer nu trafikskader på skadestuerne. Det har herved kunnet vises, at politiets rapporter langt fra indeholder data om alle personskadeuheld. Afhængigt af skadens sværhedsgrad og de implicerede trafikantarter varierer rapporteringens dækningsgrad fra at være nær 100% for uheld med dødelig udgang til at være under 10% ved lette cyklistskader indtruffet ved eneuheld. Lignende resultater er fundet i andre europæiske lande.

Der foreligger kun enkelte systematiske undersøgelser, som belyser hospitalsregistreringernes dækningsgrad, dvs. hvor mange personskader, som evt. behandles kun hos praktiserende læger eller i hjemmet. En enkelt undersøgelse har vist, at det samlede antal af alle typer af skader er mere end dobbelt så stort som det tal, der registreres på hospitalerne.[6] Dette synes også specielt at gælde trafikskader. Et enkeltstående resultat fra en undersøgelse af tilskadekomne børn i Odense[7] viser, at politiet havde kendskab til et antal tilskadekomne børn, som ikke var kendt på skadestuen. For alvorligere uheld, i dette tilfælde tilskadekomne cyklister og fodgængere på 7 - 14 år, der havde haft motorkøretøj som modpart, havde politiet kendskab til et antal tilskadekomne børn, som ikke kunne findes i skadestuens data. De svarede til 6 - 7% af de tilsvarende tal fra skadestuen. Data omfattede hele Odense kommune i årene 1981 - 89.

I forsikringsselskaber ligger naturligvis store datamængder om trafikuheld. Data ligger ofte i en form, som er mindre velegnet til praktisk uheldsforebyggelse. Der arbejdes bl.a. på internationalt niveau med at forsøge en praktisk udnyttelse af forsikringsdata i trafiksikkerhedsarbejdet.

I det praktiske arbejde i vejvæsenet vil det ofte være ønskeligt at supplere politirapporterne med data fra hospitalsregistreringer. De to datatyper har imidlertid væsensforskelligt dataindhold.

Politiindberetningernes svaghed er den varierende dækningsgrad. Deres styrke er, at de rummer oplysninger om og fra alle implicerede parter, at den, som skriver rapporten, har været på stedet, og at stedsangivelsen normalt er god. Rapporteringssystemet er landsdækkende og ensartet.

Skadestueregistreringernes svaghed er, at de kun omfatter personskader, og at de normalt må bygge på kun den ene parts oplysninger. Deres styrke er den høje dækningsgrad for de fleste skadestyper og den gode beskrivelse af personskadernes art og omfang. Det forventes, at der i løbet af få år vil komme en landsdækkende indlæggelsesstatistik for tilskadekomne i trafikken, men uden angivelse af uheldssted.

De forskellige datakilder er naturligvis opbygget med forskellige formål, og c er derfor ikke overraskende, at vejvæsenets formål tilgodeses forskelligt i da kilderne. I det følgende omtales specielt politiindberetningerne til Danmar Statistik, idet det er dem, som kan anvendes over hele landet. Som det fremgår, vejvæsenet direkte involveret i blanketarbejdet.

Politiindberetningssystemet

Politiindberetningssystemet, som er grundlaget for den officielle uheldsstatist der offentliggøres af Danmarks Statistik, fungerer i hovedtræk på følgende må Når politiet er alarmeret til et uheldssted, foretager politibetjenten på stedet afhøring af parter og vidner om hændelsesforløbet. Desuden registreres brem spor og andre synlige spor, som kan belyse uheldsforløbet. Samme dag påbeg des udfyldelse af den egentlige politirapport, der er det grunddokument, s politiet anvender ved sagsbehandlingen. Statistikblanketten indgår i rapportf mularen.

Så vidt muligt samme dag indsendes til Danmarks Statistik en lille forelø blanket med nogle få data om uheldet. Senest 5 uger efter uheldet indsendes c egentlige rapportblanket. Den indsendes via vejmyndigheden, de fleste ste amtet. Her omsættes politiets stedsangivelse til en stedskode med vejnummer kilometrering eller husnummer. Amtet beholder selv en kopi, oversender evt. kopi til den kommune, hvori uheldet er sket, og indsender den sidste blanke Danmarks Statistik. Fordelen ved dette system er, at både den lokale politim dighed, de lokale vejmyndigheder og Danmarks Statistik har identiske opl ninger liggende. I modsætning til tidligere er stedskoder nu påført, når materi når frem til Danmarks Statistik, og de lokale vejmyndigheder har allerede in mationerne.

Når data for et kvartal er færdigbehandlet i Danmarks Statistik, oversendes c maskinelt læsbar form til Vejdirektoratet, hvorefter det indgår i Vejdirektora uheldsdatabank. Herfra kan vejmyndigheder og andre - fx forskningsinst tioner - udtrække data i bearbejdet form. Der kan fx leveres oversigter over ul strækningsvis for en defineret årrække, se figur 6.2, eller statistiske bearb ninger af uheld for et geografisk område.

Det må forventes, at den skitserede blanketgang på et tidspunkt erstattes a inddatering af uheldsdata fra politiet direkte til en database, hvorfra de inte serede parter kan uddrage de samme informationer, som i dag kan uddrage blanketterne.

Figur 6.3 viser den uheldsblanket, som er i anvendelse i 1994. Der ske stadighed mindre ændringer i indberetningssystemet. Opbygningen er såle at der startes med *administrative data* (politikreds, journalnummer etc.), der

UHELDSOVERSIGT
FOR AMT 42 KOMMUNE 461 VEJ 42/547 FRA KMT
0/834 TIL KMT 6/856
UHELDSANALYSE MOTORVEJ SYD OM ODENSE, NØJ

Vejdatalaboratoriet
Udskrevet 10. Jun 1991
Side 1 af 32

Uheldsnummer	1	2	3	4	5	6
Journalnummer	23P18011300475	23P18011200421	23P18011400597	23P18011200753	23P18011300711	23P18011202199
Dato	6. Jul 1987	25. Maj 1986	22. Jul 1986	8. Sep 1986	26. Aug 1986	12. Maj 1989
Ugedag, kl.	Mandag 18:58	Onsdag 8:35	Tirsdag 12:20	Mandag 10:45	Tirsdag 22:47	Fredag 15:00
Vejnummer	Ldv 547	Ldv 547	Ldv 547	Ldv 547	Ldv 547	Ldv 547
Sted	Kat 0/ 834	Kat 0/ 834	Kat 0/ 834	Kat 0/ 834	Kat 0/ 909	Kat 1/ 421
Sidevejnr.	Ldv 519	Ldv 556	Ldv 556	Kaav 9622		
	1 kørte mod Ø	1 kørte mod V	1 kørte mod Ø	1 kørte mod N	1 kørte mod V	
Føre					Vådt	
Sigtforhold					Mørke	
Lysforhold					Regn	
Vejrforhold					tændt	
Vejbelysning						
Uheldssituation	410	312	660	410	250	140
Elementnr.	1 2	1 2	1 2	1 2	1 2	1 2
Elementart	Pbil Vare	Pbil Knal	Pbil Pbil	Pbil Cykl	Pbil Pbil	Pbil Vare
Hastighed	61-80	Lav 21-40	< 2041-60	Lav	41-60	
Alder	18 45	27 27	23 19	69 25	36 32	
Spiritus						
Dræbte	1					
Alv. tilsk.					1	1 1
Let tilsk.	1 1	1 1	1 1	1 1	1	
Uskadte						
Personer ialt	2 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1
Bemærkninger						Ekstraudskrift

Figur 6.2 Eksempel på uheldsoversigt.

DANMARKS STATISTIK
Sejrsgade 11 Postboks 2550 2100 København Ø

FÆRDSELSUHELD ENDELIG INDBERETNING
videresendes senest 5 uger efter uheldet

Tælling 7200

PKR/Tjenestested | Rapport optaget | Rapport ikke optaget | J nr

Udfærdiget af | Antal implicerede færdselselementer | I alt | Dræbte | Tilskadekomne | Uskadte

Uheldstidspunkt, ugedag, dato, kl. | Anmeldelsestidspunkt, dato, kl | Anmeldt af

Uheldssted, vej- gadenavn, nr | Bynavn

Kommunenavn | Grundpunkt (Kantpæl, km-sten, sidevej) | Afst. fra grundpunkt m | Retning fra grundpunkt N Ø S

Kort beskrivelse af uheldet

1 Føre: Tørt ☐1 Vådt ☐2 Glat ☐3
2 Sigtforhold: Sigtbart ☐1 Nedsat sigt ☐2
3 Lysforhold: Dagslys ☐1 Tusmørke ☐2 Mørke ☐3
4 Vejrforhold: Ingen nedbør ☐1 Regn ☐2 Tåge ☐3 Sne-slud-hagl ☐4 Stærk blæst ☐
5 Vejbelysning: Findes ikke ☐1 Tændt ☐2 Ikke tændt ☐3
6 Uheldets art
7 Skoleveje uheld: Ja ☐1 Nej ☐2
8 Hastighedsbegrænsning
9 Byzone område: Ja ☐1 Nej ☐2
10 Rendestensbygning
11 Vejudformning

	Part 1	Part 2
Færdselselementerne		
Færdselselementets art	Registreringsnr	Registreringsnr

12 Uheldssituations nr
13 Retning mod hvilken element nr. 1 kørte (før evt. svingning): N 1, NØ 2, Ø 3, SØ 4, S 5, SV 6, V 7, NV 8, Uopl 9
14 Vejrbejde: Ja ☐1 Nej

Elementoplysninger

15	16 Element nr.	17 Elementets art	18 Registreringsnr. Bogstav	19 Registreringsnr. Nummer	20 Gade- eller vejtype	21 Anlæg af cykelsti m.v.	22 Cykelstiens forløb ved kryds	23 Anvendelse af cykelsti	24 Impl. lod-omgivelsens placering	25 Manøvre	26 Kollisionspunkt	27 Vigepligtsforhold	28 Hastighedsskøn	29 Lygte- og refleksbrug	30

Personoplysninger

31	32 Person nr.	33 Personens art	34 Kørekort i. bevis år	35 Personskade	36 Skadens type	37 Hospital m.v.	38 Spiritusafvisning	39 Sygdom m.v	40 Sele eller styrthjelm	CPR-nr. 41 Dato	42 Måned	43 År	44 Løbe nr.	46

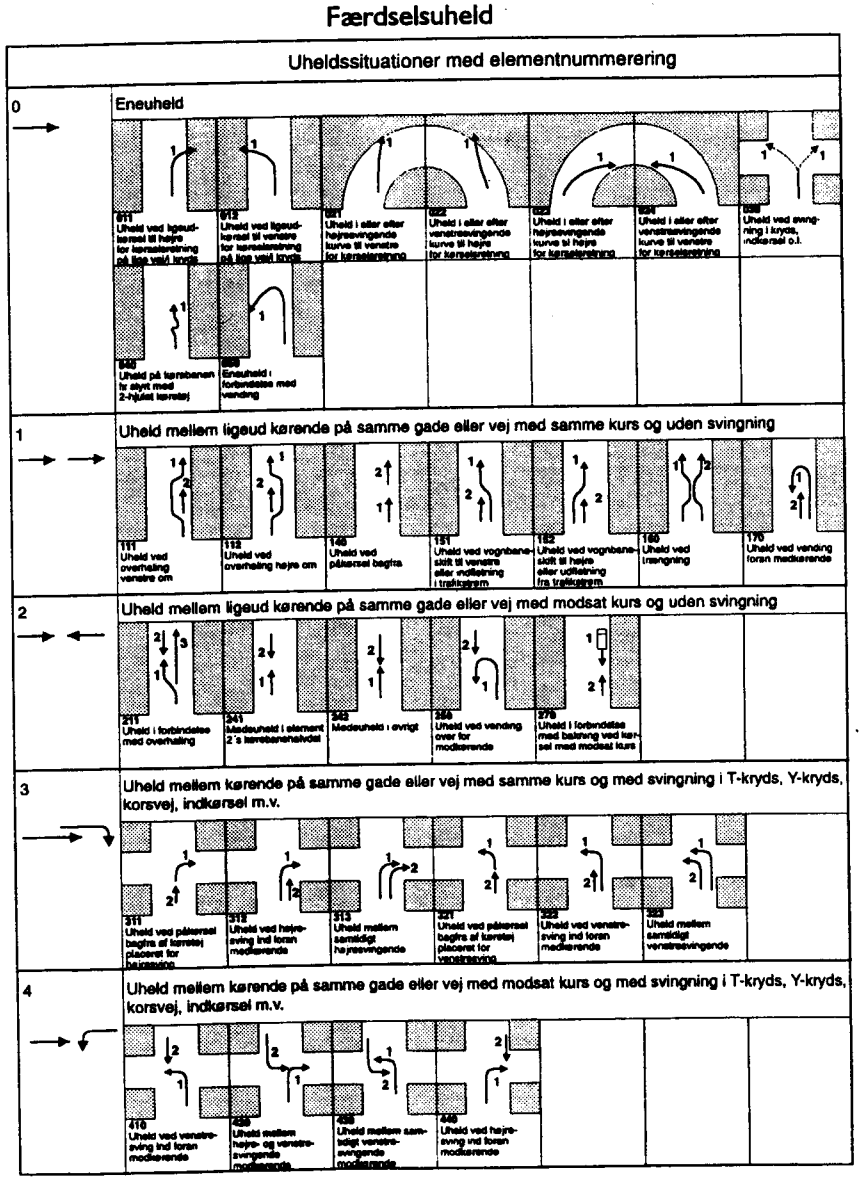
Udfyldes af vejmyndighederne

Kom-kode | By-kode | Vej-kategori | Vej-nr | Vej-del | Kmt

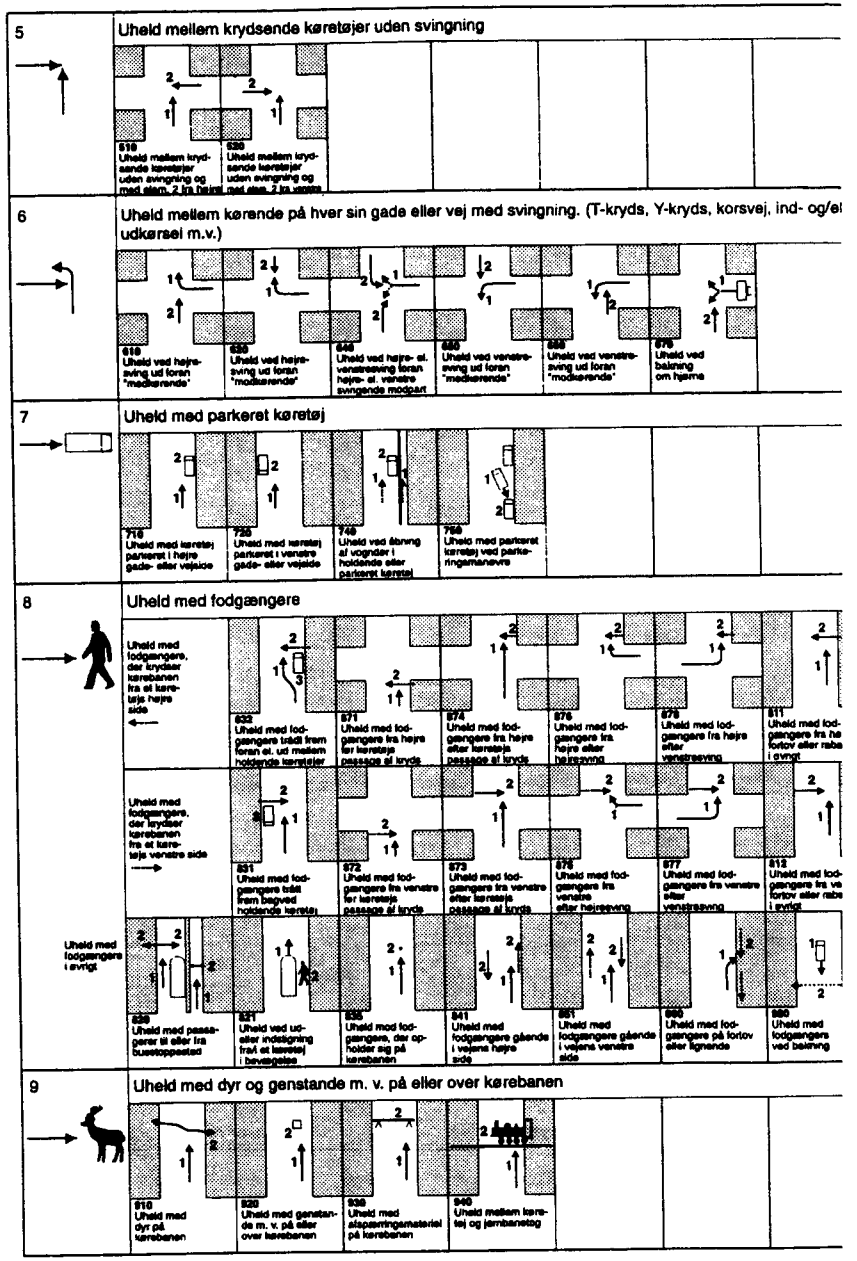
Uheld i kryds | Sideveje-kategori | Sidevej nr | Vejdel | Knude nr | Rampe | Hus nr

P137-01 (10-

Figur 6.3 Politiindberetning om personskadeuheld.



Figur 6.4 Uheldssituationsfortegnelse.



Figur 6.4 Uheldssituationsfortegnelse.

følger data om *uheldet* set under èt (tid, sted, verbal beskrivelse af uheldsforløbet, vejr og føre etc.), dernæst data om uheldets *parter* (personbil, cykel, autoværn etc.) og endelig om *personerne* knyttet til hver enkelt part (fører, passager, alder, køn, spirituspåvirkning, personskadens art etc.).

Af særlig interesse fra et vejteknisk synspunkt er dels stedsangivelsen, dels angivelsen på blanketten af det såkaldte *uheldssituationsnummer*. Uheldene er klassificeret efter den trafikale situation umiddelbart før uheldet indtraf. Der er opstillet en fortegnelse over uheldssituationerne, se figur 6.4. Det har vist sig at være en lettelse for politiet at angive uheldssituationen og kørselsretningen i kodet form frem for, at politiet i verbal form skulle beskrive hver enkelt parts kørselsretning og manøvrer. Ud fra uheldssituationen og de angivne kørselsretninger er det som oftest muligt at fastlægge i hovedtræk, hvor og hvorledes et uheld har fundet sted.

6.3 Vejvæsenets uheldsbekæmpelse

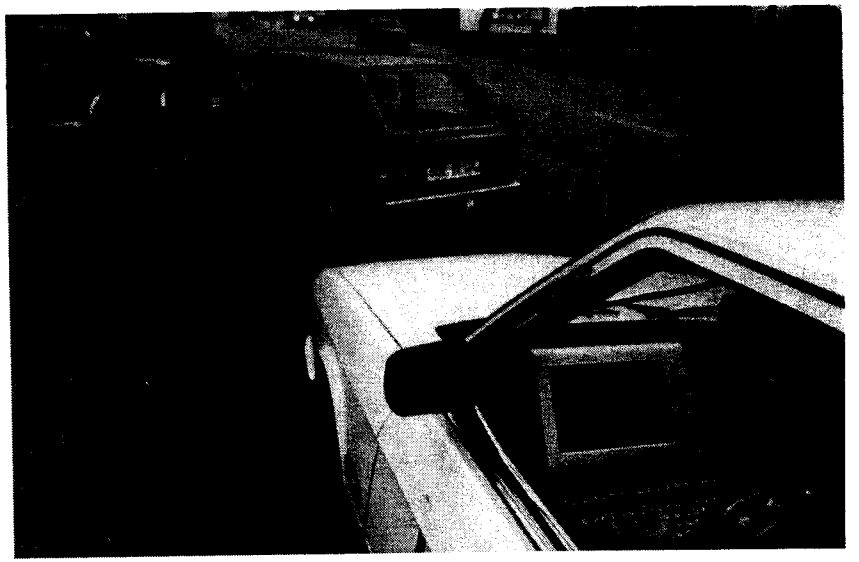
Sortplet arbejdet, teoretisk baggrund

Sortplet arbejdet bygger på den idé, at der i vejnettet findes steder, som indeholder et særligt risikomoment, og som derfor giver anledning til mange ulykker. Sådanne steder er de såkaldte *sorte pletter* (engelsk: black spots).

Tænker man nøjere efter, indser man, at begrebet kun er brugbart, hvis der er tale om *lokale, permanente omstændigheder*, som giver anledning til ulykker. Ydermere, da trafikanterne, som omtalt i afsnit 11.3, i betydeligt omfang kompenserer for *øjensynlige* risikomomenter, må en sort plet formodentlig rumme et risikoskabende forhold, som ikke er tydeligt for trafikanterne. Heri ligger altså, at der på en sort plet må ske flere uheld, end på steder med tilsyneladende samme trafikale forhold. Alt dette indebærer, at sorte pletter kun kan defineres og udpeges gennem en sammenligning med resten af vejnettet.

Der er velkendt, se afsnit 11.3, at forskellig vejstandard og forskellig trafikbelastning fører til forskellig uheldsrisiko. Sammenligner vi en bygade, der har blandet trafik, med en motorvejsstrækning, der har ren biltrafik, skal vi forvente, at bygaden har højst uheldstal set i forhold til trafikkens størrelse. Da dette forhold på forhånd er kendt, kan bygaden ikke udpeges som sort plet, alene fordi den afviger stærkt fra motorvejen. Sortpletudpegning må altså ske inden for samme vejstandard.

Kun systematiske observationer kan afsløre, om sorte pletter i den betydning, som her anvendes, eksisterer i praksis. Det gør de.



Et fremtidsbillede - endnu i 1994 indberetter politiet uheld på papirblanketter.

Udpegning og afhjælpning af sorte pletter

Hvis det skal være muligt i praksis at finde frem til vejtekniske indgreb, som ka afhjælpe indtrufne uheld, er det som regel nødvendigt at have et ikke alt for lill antal uheld at arbejde med, fx 5 - 10 uheld. Ellers er det for vanskeligt at få indtryk af hvilke faktorer, som er fælles for uheldene. Man må huske, at det er d fælles omstændigheder ved et antal uheld, som er nøglen til forståelsen af d forhold, som har bragt trafikanterne i vanskeligheder. Ved udpegning af sort pletter må antallet af uheld indgå i metoden.

Udpegningen af sorte pletter må indebære en prioritering af lokaliteter me henblik på afhjælpning af uheld. I dansk praksis har tre hovedsynspunkter vær anvendt:

1. Uheldstætheden benyttes som udvælgelsesgrundlag, dvs. de steder, hvor de geografiske koncentration af uheld er størst, behandles først.
2. Uheldsfrekvensen benyttes som udvælgelsesgrundlag, dvs. de steder, hv der sker flest ulykker i forhold til trafikbelastningen, altså hvor uheldsrisiko for den enkelte trafikant er størst, behandles først.
3. Steder, hvor afvigelsen mellem forventet og observeret uheldstal statistisk s er størst, behandles først. (Metoden uddybes i det følgende).

I begrænsede analyser - fx analyser af uheldsbilledet i en by - er det normalt metode 1 eller 2 eller en kombination, som anvendes. Man kan fx først inddele byens vejnet i kryds og enkeltstrækninger, og derpå liste dem efter faldende uheldstæthed. Man udtager derefter fx de 20 kryds og de 20 strækninger, som ligger højest. For dem udregnes uheldsfrekvenser, og listerne ordnes nu efter faldende uheldsfrekvens. Hvis man herefter udtager de 10 øverste kryds og strækninger på listerne til nøjere analyser, har man udtaget vejelementer, hvor både uheldstæthed og uheldsfrekvens er relativt høje for byen. Høj tæthed skulle sikre, at der er uheld at arbejde med, og høj frekvens skulle sikre, at der foreligger en usædvanlig risiko. Denne metodik har vist sig brugbar i praksis.

Figur 6.5 viser et eksempel på en uheldsanalyse i et kryds.

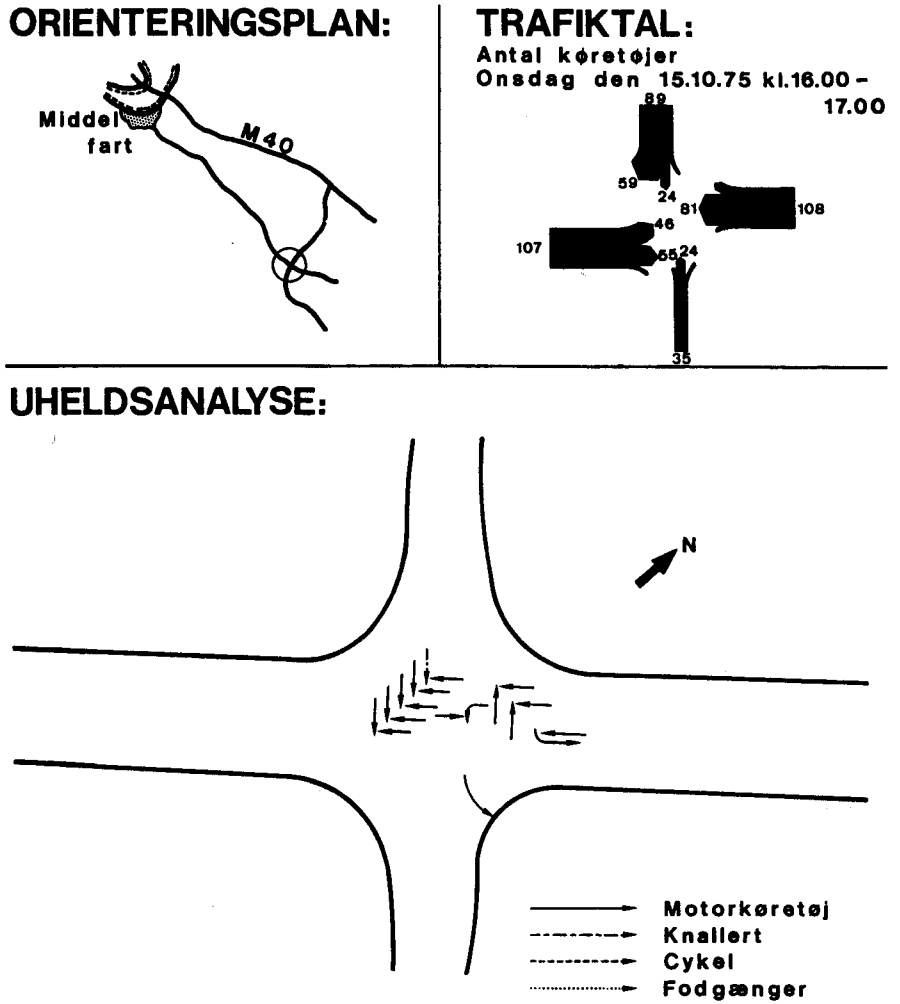
Den tredie metode har været anvendt i Danmark i en årrække af Vejdirektoratet i forbindelse med en rutinemæssig udpegning af sorte pletter på det overordnede vejnet, altså hovedlandeveje og landeveje. Baggrunden for dette metodevalg kan kort beskrives således. Den koordinerede uheldsstatistik - betegnelsen for en statistikoversigt opbygget løbende siden 1967 - har tydeligt vist, at der er store forskelle i uheldstæthed og uheldsfrekvenser mellem forskellige vejtyper. Udpegning på landsniveau efter uheldstæthed eller uheldsfrekvens ville stort set føre til udpegning af lokaliteter indenfor bestemte vejtyper, som på forhånd kendes som uheldsbelastede. Derfor ville en detailbehandling af mange delstrækninger på disse vejtyper næppe være hensigtsmæssig, fordi behandlingen burde bestå i en regulær hævning af vejstandarden. Der, hvor en lokal behandling er nyttig, er jo netop de steder, hvor uheldstallet afviger fra, hvad man skulle forvente for den pågældende vejtype. Det er sådanne lokaliteter, der kunne opfattes som "trafikfælder". Her burde der være gode muligheder for at fjerne de unormale forhold, når de er blevet afdækket statistisk.

Metoden kan da bestå i, at man for givne vejstrækninger beregner et forventet uheldstal U_{forv} ud fra kendskab til vejtypen. Dette tal sammenlignes med et observeret uheldstal U_{obs}. Hvis forskellen er signifikant i statistisk forstand, er der grund til at tro, at stedet er unormalt højt uheldsbelastet, og der er grund til at iværksætte en lokal udbedring.[8]

Hvorvidt forskellen er signifikant kan afgøres, hvis den stokastiske variation er kendt. Her benyttes antagelsen om, at variationen kan beskrives ved Poissons fordeling. Om forskellen er signifikant kan med tilnærmelse ses af størrelsen:

$$Z = \frac{U_{obs} - U_{forv} - 0{,}5}{\sqrt{U_{forv}}} \qquad (6.2)$$

Hvis Z > 2 er forskellen signifikant på 2½% niveau. Jo større Z-værdi jo større statistisk sikkerhed i afvigelsen mellem U_{obs} og U_{forv}.



Figur 6.5 Eksempel på en uheldsanalyse i et kryds i form af et såkaldt kollisionsdiagram.

Eksempel

På en 3,1 km lang strækning af en landevej, 2 spor, 6,5 m bred uden randbebyggelse, årsdøgntrafik 5200 v/døgn, er der i to år sket i alt 8 uheld. Er strækningen en sort plet?

U_{forv} beregnes ud fra tabel over a og p værdier, se afsnit 11.3 tabel 11.2:

$$U_{forv} = 2 \cdot 3{,}1 \cdot 458 \cdot 10^{-6} \cdot 5200^{0{,}83} = 3{,}45 \tag{6.3}$$

$$Z = \frac{8 - 3{,}45 - 0{,}5}{\sqrt{3{,}45}} = 2{,}18 \tag{6.4}$$

Efter dette er strækningen en sort plet, idet det observerede uheldstal 8 afviger statistisk fra det forventede på 3,45. Bemærk, at et uheldstal på 7 eller derunder vil føre til $Z < 2$, og altså til at strækningen ikke kan klassificeres som sort plet. Denne tilnærmelsesmetode er velegnet til håndregning.

En anden metode til at gøre det samme anvendes af Vejdirektoratet. Den kaldes "glider-metoden". For en given vejtype og trafikbelastning udregnes det, hvor kort en strækning skal være, for at et observeret uheldstal på fx 3 er signifikant for højt i forhold til det forventede. 3 uheld er for højt, hvis det forventede uheldstal er < 0,62, idet sandsynligheden for 3 eller flere uheld da er under 2½%, hvilket ses ved indsættelse i (6.2). Man udregner altså den vejlængde, som har et forventet uheldstal på 0,62 i den undersøgte periode. Denne vejlængde flyttes ("glider") hen over vejen, indtil der findes 3 uheld inden for strækningen. Man har da fundet en sort plet. Denne metode er velegnet til en edb-afsøgning af vejnettet i den koordinerede uheldsstatistik.

Eksempel

På den foran omtalte vejstrækning må der forventes:

$$2 \cdot 458 \cdot 10^{-6} \cdot 5200^{0{,}83} = 1{,}11 \text{ uheld/km} \tag{6.5}$$

i en periode på 2 år. Det forventede antal uheld skal være 0,62. Den søgte længde L findes da af:

$$L \cdot 1{,}11 = 0{,}62 \Rightarrow L = 0{,}560 \text{ km} \tag{6.6}$$

dvs., at hvis der sker 3 uheld (eller flere) på to år inden for en strækning på 560 m, er der tale om en sort plet på den pågældende strækning.

Ved en omskrivning af formel (6.1) kan man udtrykke direkte, at uheldene antages at være tilfældigt fordelt både tidsmæssigt og geografisk. Antager man, at der på en vejstrækning sker gennemsnitligt k uheld pr km vejlængde pr år - dvs. at uheldstætheden er k - kan (6.1) skrives:

$$P(x) = \frac{(k \cdot L \cdot t)^x}{x!} \cdot e^{-kLt} \tag{6.7}$$

P(x): sandsynligheden for x hændelser på strækningen af længden L i tidsrummet t for x = 0, 1, 2, 3, ...

kLt: det gennemsnitlige antal hændelser på strækningen af længden L i tidsrummet t.

Ud fra formel (6.1) kan man udlede fordelingen af længderne af tidsintervallerne mellem uheldstidspunkterne. Antag, at x = 0. P(0) udtrykker da sandsynligheden for, at der er 0 hændelser i intervallet t. Det betyder at:

$$P(0) = e^{-mt} \tag{6.8}$$

Formel (6.8) udtrykker sandsynligheden for, at der er mindst t tidsenheder til næste uheldshændelse. Formeludtrykket kaldes *exponentialfordelingen*. Bemærk, at i (6.1) er det m, som er den frie variabel, mens det i (6.8) er t, som er den frie variabel.

Sættes i (6.7) x = 0, fås svarende til (6.8) en exponentialfordeling:

$$P(0) = e^{-ktL} \tag{6.9}$$

Her kan L, afstanden mellem uheldsstederne, betragtes som den frie variabel.

Exponentialfordelingen kan afbildes som en ret linie på enkelt-logaritmisk papir med logaritmisk ordinatakse. En observeret fordeling af afstande mellem uheldspunkter kan sammenlignes med den forventede exponentialfordeling, dvs. den fordeling, som ville fremkomme, hvis uheldene var tilfældigt fordelt langs strækningen. Om den forventede fordeling gælder, at dens middelværdi, som er gennemsnitsafstanden mellem to uheldspunkter, er det reciprokke af uheldstætheden. Den teoretiske rette linies beliggenhed kan fastlægges ud fra, at ordinatværdien svarende til middelværdiens abscisse er 0,368 i en exponentialfordeling.

Eksempel på anvendelser af fordelingstyper

Poissonfordelingen

Antag, at der i et kryds er sket 7 uheld på 5 år, dvs at der er sket 1,4 uheld pr år i gennemsnit. Sandsynlighederne for 0, 1, 2, osv. uheld pr år kan beregnes ud fra (6.1) eller slås op i en tabel over poissonfordelingen. Man finder for mt = 1,4:

x	=	0	1	2	3	4	5	6
P(x)	=	0,25	0,35	0,24	0,11	0,04	0,01	0,00

Tabellen viser, at med en middelværdi på 1,4 uheld om året skal man forvente, at en fjerdedel af årene vil være uheldsfri, mens både 2, 3, 4 og 5 uheld vil forekom-

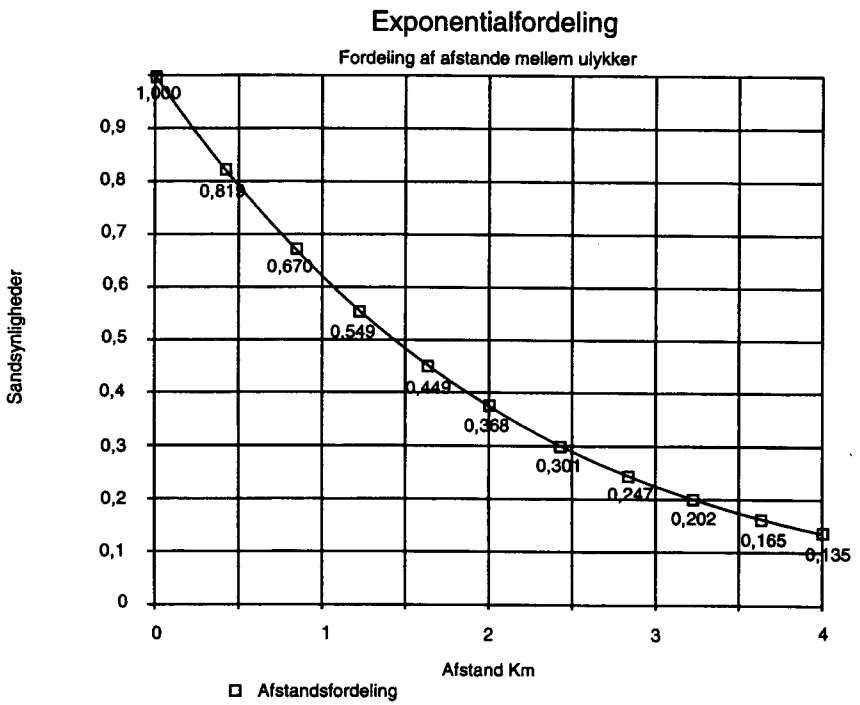
me af og til. Den store variation i uheldstal fra år til år på samme lokalitet, som er velkendt i praksis, er altså helt i overensstemmelse med Poissons lov.

Exponentialfordelingen

Antag, at der på 50 km vej er sket 25 uheld pr år, altså at der er sket 0,5 uheld pr år pr km vej. Svarende til (6.9) fås en exponentialfordeling:

$$P(L) = e^{-0,5L} \qquad (6.10)$$

Fordelingen er vist på figur 6.6. Figuren tolkes således, at sandsynligheden for, at der er mindst 1,4 km mellem to uheldspunkter er 50%. Afstanden mellem uheldene er det reciprokke af uheldstætheden. Når uheldstætheden her er 0,5 betyder det, at gennemsnitsafstanden mellem uheldspunkterne er 1:0,5 = 2,0 km. Det kan vises, at middelværdien i en exponentialfordeling svarer til ordinatværdien 0,368, dvs at 36,8% af afstandene er større end middelværdien, mens 63,2% er mindre end middelværdien i en exponentialfordeling.



Figur 6.6 Eksempel på exponentialfordeling.

6.4 Uheldsbekæmpelse i praksis

I det følgende skitseres, hvorledes et projekt til uheldsbekæmpelse kan udarbe des i praksis. Vejdirektoratets trafiksikkerhedsafdeling har udarbejdet et sæ vejledningshæfter, som beskriver arbejdsgangen.[9] Her gennemgås nogle hove træk.

Idet det her er forudsat, at et bestemt vejkryds er udvalgt til sikkerhedsmæss behandling, vil arbejdet kunne bestå af følgende trin:

1. Indsamling af uheldsdata for krydset
2. Indsamling af vej- og trafiktekniske data om krydset
3. Uheldsanalyse ud fra trin 1 og 2.
4. Udarbejdelse af alternative forbedringsforslag
5. Valg og udførelse af forbedringsprojekt
6. Undersøgelse af projektets virkning efter anlæg

Ad 1: Her indsamles gennem politiet og evt. andre datakilder al tilgænge information om stedfundne uheld for en passende periode dog næp over 5-6 år, idet mange trafikale forhold erfaringsmæssigt ændres o en længere årrække.

Ad 2: Her fremskaffes relevant planmateriale, tilgængelige tælledata, opl ninger om trafikregulering, tidligere ændringer o.l. Der bør norm foretages besigtigelse af stedet - herunder observeres trafikantadfærd og der tages en række fotos. Krydset bør gennemkøres i bil og på cyk de retninger, som uheldsparterne har kørt. Evt. særlige forhold som dårlig vedligeholdelse eller utilstrækkelig afvanding noteres. Oversig forhold registreres. Muligvis bør der foretages supplerende trafikt linger, fx af cykeltrafik, som sjældent er registreret.

Ad 3: I den detaljerede analyse af uheldene undersøges en række forh såsom uheldssituation, uheldsparter, vejr og føre, lysforhold og part nes kørselsretninger. Resultaterne sammenfattes ofte dels i et såka kollisionsdiagram, dels i nogle statistiske oplysninger, se figur 6.5 Hovedideen bag analysen er, at nøglen til forståelse og dermed til kæmpelse af uheld ligger i en afdækning af de omstændigheder, som fælles for flere uheld. Hvis den samme uheldsfaktor optræder ved fl uheld, vil fjernelse af faktoren betyde, at disse uheld forsvinder. Ana sen sigter derfor på at finde de fælles faktorer i uheldene.

Ad 4: Der findes ingen standardmetode til at opstille løsningsforslag. Fra en række sager har man erfaring for, at bestemte fællestræk i uheldene peger på bestemte løsningsmuligheder. Nogle eksempler kan nævnes.

Hvis der i et vigepligtskryds sker mange tværkollisioner (uheldssituation 510/520 se figur 6.4), er der mulighed for, at trafikanter på sidevejen simpelthen overser krydset. En tydeliggørelse af krydset ved opsætning af store vigepligtstavler, anlæg af heller, placering af lysmaster el.lign. kan hjælpe på problemet. Også en signalregulering af krydset vil sandsynligvis hjælpe, men man må da være forberedt på, at uheldsbilledet skifter således, at tværkollisioner forsvinder, men i stedet sker der uheld af type 410 - venstresving foran modkørende - og af type 140 - bagendekollisioner.

Venstresving fra en primærvej mod en sekundærvej uden signalregulering giver anledning til uheld af type 410 og 140. Der er erfaring for, at disse uheld ofte afhjælpes gennem anlæg af venstresvingsspor på primærvejen. Et sådant anlæg vil medføre en samlet breddeudvidelse, som kan gøre det vanskeligere for cykler og fodgængere at krydse vejen. Man skal altså vurdere, om en løsning for en bestemt gruppe af trafikanter kan tænkes at skabe problemer for andre trafikanter.

I en række tilfælde kan uheld henføres til, at trafikanter ikke har afpasset hastigheden efter forholdene. I sådanne tilfælde kan lokale hastighedsbegrænsninger være et godt og billigt virkemiddel, også selv om hastighedsgrænsen ikke overholdes fuldstændigt. Meget generelt sagt gælder det, at hastighedsgrænser ikke overholdes, men at de påvirker hastighederne.



Også "afmærkning" af sorte pletter bruges i det uheldsbekæmpende arbejde.

Ved udarbejdelse af forslag bør det iøvrigt altid overvejes, om der er fle mulige løsninger, som hver for sig løser større eller mindre dele af konstaterede problemer med forskellige omkostninger. Da bu getrestriktioner altid vil være til stede, er det nødvendigt at overv rentabiliteten af de enkelte løsningsforslag. Muligvis vil det være lø nende at gennemføre et større antal billige løsninger over det samle vejnet i stedet for at lave nogle få men meget gode løsninger. Eksempl på uheldsanalyser med løsningsforslag, oftest flere og i forskellig pr klasse for hvert enkelt problem kan bl.a. findes i en eksempelsamling f Vejdirektoratet, SSV.[10]

Ad 5: Valg mellem forskellige løsningsforslag indgår normalt i en trafikøkon misk vurdering. Der henvises til afsnit 13.2 og 13.3. Selve udførelsen anlæggene beskrives ikke her.

Ad 6: Efter udførelsen af et uheldsbekæmpelsesprojekt bør der foretages undersøgelse af den uheldsreducerende effekt af anlægget. Formålet dels at undersøge, om den forventederentabilitet er opnået, dels at ko trollere, om de forventede uheldsreduktioner er opnået samt om uforu sete risikomomenter er dukket op. En systematisk indsamling af erfari ger fra udførte anlæg kan føre til forbedrede retningslinier for uheldsb kæmpelsesarbejder. Selve effektundersøgelsen rummer nogle statistis metodeproblemer.[11] En vejledning fra Vejdirektoratet, SSV giver en ræ ke praktiske anvisninger.[12] Et eksempel på en større effektundersøgel er givet i afsnit 11.5.

Litteratur

1 Fynsundersøgelsen om trafikuheld, Transportforskningsudvalget, 1968.

2 Redogörelse för en försöksverksamhet, Försäkringsbranschens Trafiksäkerhetskomite, TRK's Havarikommission, Stockholm, 1978.

3 Äldre bilförares olyckor i korsninger, NTR Rapport 53, Nordisk Trafiksikkerhedsråd, Lund, 1990.

4 Gerlough, D. & Schuhl, A., Poisson and Traffic, ENO foundation, Saugatuck, 1955.

5 Landstrøm, H., Uheldsbekæmpende vejforanstaltninger, metoder og eksempler, Rådet for Trafiksikkerhedsforskning, Rapport 8, København, 1971.

6 Lauritsen, J., Tilskadekomst og Behandlingskontakter - i en stikprøve af befolkningen. Forskningsrapport 9/1987, Odense Universitet, Institut for Sundhedsøkonomi og Sygdomsforebyggelse, 1987.

7 Magelund, L., Børn og trafik - Hovedrapport, Rapport nr. 65, Institut for Veje, Trafik og Byplan, DTH, 1992.

8 Jørgensen, N.O., The Statistical Detection of Accident Black Spots, International Study Week, Rotterdam, 1972.

9 Detaljeret analyse af uhelds-, vej- og trafikdata, Vejdirektoratet, SSV, Næstved, 1975.

10 Forslag til forbedringer. Eksempler, Vejdirektoratet, SSV, Næstved, 1977.

11 Holmskov O. & Lahrmann H., Er sortpletbekæmpelse vejen frem, Dansk Vejtidsskrift nr. 2, 1993.

12 Sikkerhedsmæssig effekt, Vejledning for vejbestyrelser,Vejdirektoratet, SSV Næstved, 1981.

Kapitel 7

Funktionel klassifikation og vejstandarder

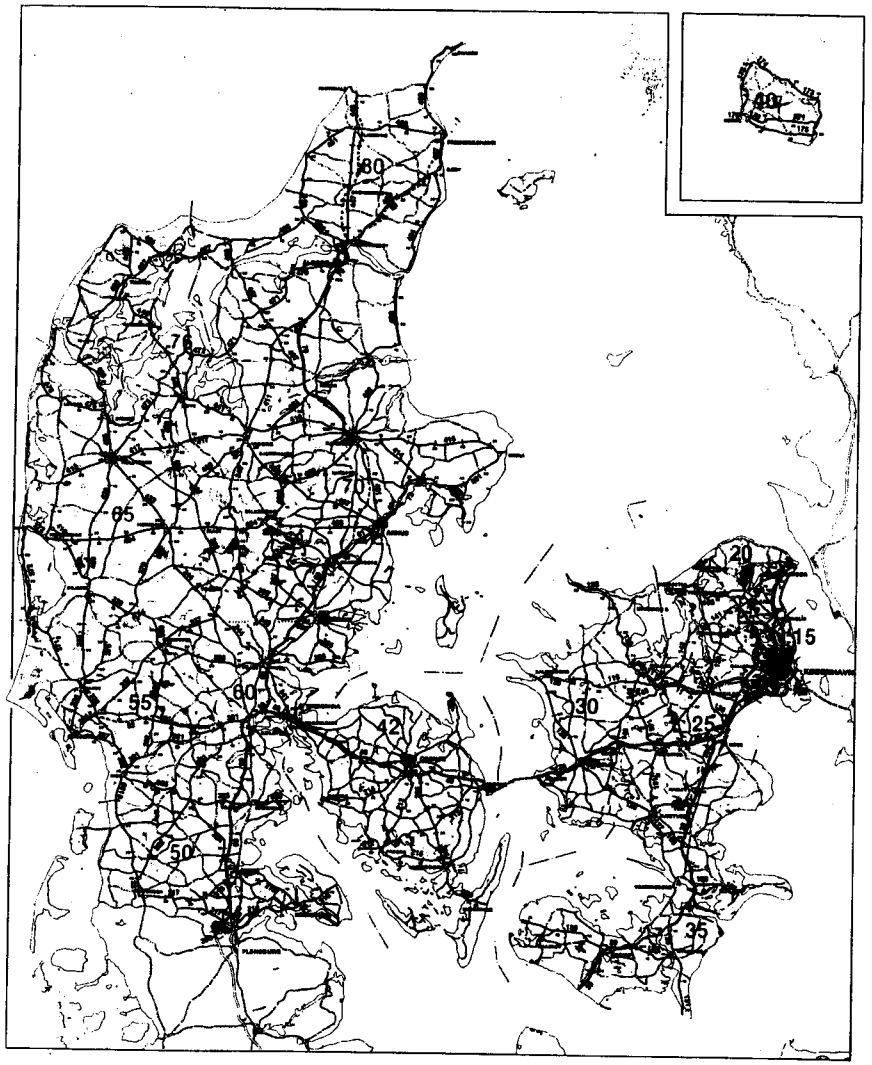
Af Steen Leleur

7.1 Administrativ og funktionel vejklassifikatio

Efter vejloven i 1972, hvor automatisk statsrefusion til større anlægsarbejder fi den såkaldte vejfond bortfaldt, blev vejene opdelt i hovedlandeveje, landeveje c kommuneveje, idet staten, amtskommunerne og primærkommunerne blev s kaldt vejbestyrelsesmyndighed for hver sin kategori af veje. Som vejbestyrelse myndighed for hovedlandevejene dvs. statens veje er Vejdirektoratet ansvarl for anlæg samt drift og vedligeholdelse af disse veje på i alt 4.537 km pr. 1/1 1993, mens tekniske forvaltninger under amts- og byråd samt kommunalb styrelser i de enkelte amter og kommuner varetager tilsvarende opgaver p landeveje og kommuneveje, i alt på henholdsvis 7.056 og 59.447 km. I vejloven indeholdt bestemmelser, der skal sikre koordination mellem de tre vejbestyrels idet den øverste sektormyndighed er Trafikministeriet og hermed trafikminist ren. Hovedlandevejene omfatter naturligt nok det overordnede landsdækken vejnet, herunder motorvejsnettet og de internationale vejforbindelser, mens la devejsnettene og de kommunale vejnet har regional og lokal karakter. Hovedla devejsnettet fremgår af figur 7.1.

En væsentlig baggrund for udformningen af de administrative vejnet, udover allerede omtalte generelle principper, var et politisk ønske om en uændret øk nomisk byrdefordeling mellem staten og kommunerne, hvorved nettenes o fang i nogen grad blev bestemt. Ved funktionel vejklassifikation anlægges c alene en funktionsmæssig og teknisk synsvinkel, hvorfor der med hensyn nogle strækninger kan være uoverensstemmelse mellem deres administrati tilhørsforhold og en klassifikation af dem baseret alene på funktionelle princ per. Med i dette hører dog, som det vil fremgå af det følgende, at en funktio klassificering næppe vil kunne gøres hel entydig.

Formålet med en funktionel vejklassifikation er at opdele vejsystemet i kategor eller vejklasser, der gør det muligt at medtage vejens funktion ved fastlæggels af vejens standard. Baggrunden for at klassificere indses nemmest på indire måde.



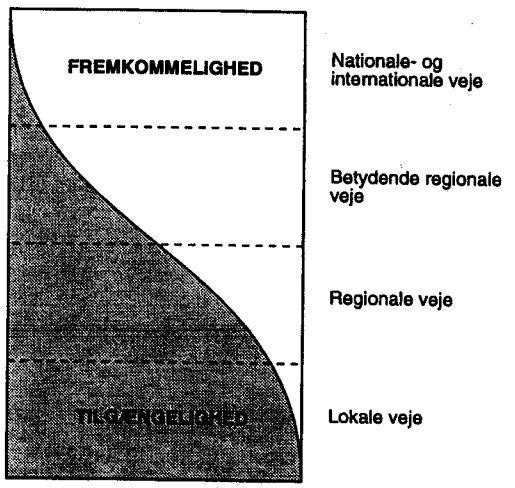
Figur 7.1 Hovedlandeveje pr. 1/1 - 1994.

Ikke alene af økonomiske årsager, men også af andre grunde forekomme indlysende, at vejnettet overalt ikke kan være af samme standard. Den stan og funktionsmæssige graduering, som findes i det nuværende vejsystem antages at være en egenskab, der også vil kendetegne et fremtidigt net u hvilke kriterier, der vil blive lagt til grund for anvendelsen af vejbudgetterne foranliggende årrække.[1]

De to generelle hovedopgaver, som må iagttages ved den funktionelle kla cering af et vejnet, er fremkommelighed og tilgængelighed. Alene ud f projekteringssynspunkt er disse funktioner uforenelige. Ved eksempelvis m veje med høj fremkommelighed er tilgængeligheden nedsat som følge af re få fra- og tilkørselsmuligheder for at fastholde motorvejens egenskaber. M findes ved veje med lav hastighed og mange tilsluttende veje, herunder adg veje til bebyggelse, en høj grad af tilgængelighed. Veje mellem disse yderka rier udgør projekteringsmæssigt et kompromis mellem disse uforenelige fc i funktionsmæssig henseende. I figur 7.2 er disse principper for funktionel k ficering gengivet skematisk.

Ved funktionel vejklassifikation skal forstås opstilling og anvendelse af et s principper, hvorefter det samlede vejnet kan opdeles i kategorier dvs. vejkl Vejene i samme vejklasse er kendetegnet af fælles karakteristika.

I forbindelse med opstilling af danske standardtyper for veje i åbent land bl principper, der fremgår af tabel 7.1 formuleret. Det fremgår, at de to hove gaver om fremkommelighed/tilgængelighed udtrykkes ved i alt 4 vejled vejklassekarakteristika, og at vejene i åbent land opdeles i i alt 4 vejklasser.[2]



Figur 7.2 Principper for funktionel vejklassifikation.

VEJKLASSE	BESKRIVELSE			
	tilladelige trafikarter	adgangsforhold	knudepunkts-udformning	vejledende afstand mellem kryds
I	motortrafik[1)]	facadeløs	2 plan, evt. 1 plan kanaliseret	5 km
II	motortrafik[1)] eller alle trafik-arter separeret	facadeløs	1 plan kanalise-ret, evt. 2 plan	2 km
III	alle trafikarter, separeret	facadeløs evt. adgangs-begrænset	1 plan kanali-seret, evt. ikke kanaliseret	1 km
IV	alle trafikarter, separeret eller blandet	ikke adgangs-begrænset	1 plan	-

[1)] Gang-, cykel- og knallerttrafik kan med fordel afvikles ved anlæg af parallelle stier i egen tracé, eller ad svagt trafikerede veje

Tabel 7.1 Vejledende vejklassekarakteristika for veje i åbent land.

De beskrevne karakteristika skal opfattes som langsigtede mål, der bør tilstræbes i forbindelse med vejnettets ombygning/udbygning. Klasse I omfatter nationale og internationale vejforbindelser, mens klasse II er vigtigere regionale veje. Klasse III udgøres af de regionale veje, mens klasse IV er vejene i åbent land af lokal betydning. Forsøg har været gjort på at underbygge klassificeringen med hvilke byer, der forbindes af de enkelte vejforbindelser, idet de enkelte byer fordeles på centertyper, der er fastlagt i forbindelse med den fysiske planlægning.[3] Dette er omtalt nærmere i afsnit 14.4.

For veje og gader i byområder anvendes en opdeling i to vejklasser, trafikveje eller lokalveje, i kombination med i alt 4 referencehastigheder, fra 1): høj over 2): middel og 3): lav til 4): meget lav, jf. tabel 7.2.[4]

Hastighedsklasse	Referencehastighed	Trafikvej	Lokalvej
Høj	70-80 km/h	+	-
Middel	50-60 km/h	+	+
Lav	30-40 km/h	(+)	+
Meget lav	10-20 km/h	-	+

(+) angiver benyttelse alene lokalt og under særlige forhold

Tabel 7.2 Hastighedsklasser for veje i byområder.

Den funktionelle klassifikation har betydning ved, at den tydeliggør vejsystemets struktur og sammenhæng med den øvrige infrastruktur og ved at etablere et udgangspunkt i forbindelse med fastlæggelse af geometriske vej- og gadestandarder. Funktionelle klassificeringsbetragtninger kan således på den ene side

opfattes som et aktivt planlægningsredskab, hvilket vil blive nærmere omtalt i kapitel 14, og på den anden side som det første trin i forbindelse med fastlæggelsen af den geometriske udformning af et givet vej- eller gadeanlæg. Sidstnævnte bliver behandlet i afsnit 7.2 for standarder i åbent land og i afsnit 7.3 for standarder i byområder. I afsnit 7.4 gives en nærmere beskrivelse af nogle af de anvendte geometriske parametre og baggrunden for deres fastlæggelse.

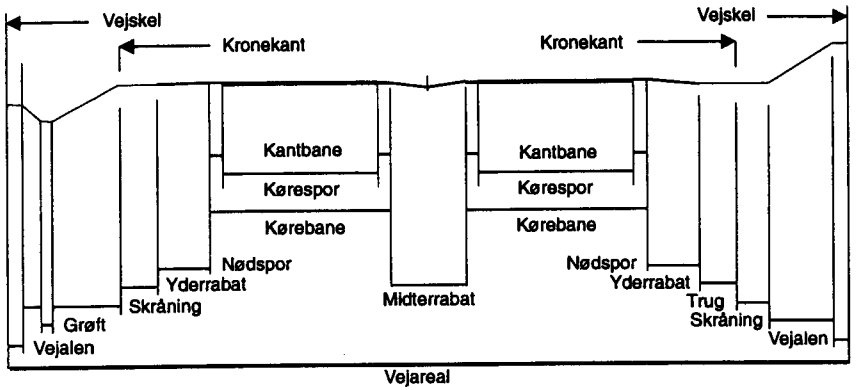
7.2 Vejstandarder i åbent land

De nugældende vejstandarder for åbent land foreligger i form af et Typekatalog for nye veje og stier, som blev udsendt i 1981[2]. Kataloget er et af resultaterne af et vejregelarbejde, der forestås af et vejregelsekretariat i Vejdirektoratet. I arbejdsgrupperne sidder bl.a. repræsentanter for alle tre vejbestyrelser. Vejregelforslag behandles i et vejregeludvalg og en vejregelkomite inden de færdige vejregler udsendes af trafikministeren, som gennem vejloven er bemyndiget til at "fastsætte almindelige regler og normer for anlæg, drift og vedligeholdelse af de offentlige veje, herunder for vejenes forhold til omgivelserne, for entreprisebetingelser og for sådanne forhold, som i øvrigt er af betydning for vejnettets ensartethed og trafiksikkerhed". Vejregler kan foreligge som 1): normer, der altid skal følges, men dog kan fraviges med dispensation af trafikministeren, som 2): retningslinier, der så vidt muligt bør følges med mindre omstændighederne i det konkrete tilfælde gør det nødvendigt eller fordelagtigt at fravige dem og som 3): vejledninger, hvis anvendelse normalt vil være hensigtmæssig. Vej- og stitypekataloget falder i sidstnævnte kategori, men i forbindelse med ministerens udsendelsescirkulære hedder det, at "Vejtypekataloget er ikke vejregler i traditionel forstand men entydige løsninger, men et planlægningsredskab, hvis anvendelse kræver, at brugeren nøje fastlægger de mål og forudsætninger, der skal lægges til grund for vej- og stitypevalget".[5]

Vej - og stityper

Vejtypekataloget opererer med 13 forskellige vejtyper, der spænder fra en 6-sporet motorvej, bredt profil, med en samlet kronebredde på 44,5 m til en 1-sporet vej med 5 m kronebredde. Yderrabattens yderste kant benævnes kronekant, og afstanden fra kronekant til kronekant er kronebredden. De forskellige tværprofilelementers betegnelse og definition fremgår nærmere af figur 7.3.[6]

De nævnte 13 standardtyper er fordelt på de 4 vejklasser omtalt under afsnit 7.1, dog således at en vejtype som grundtype kan anvendes i mere end en vejklasse. Eksempelvis kan en ofte forekommende vejtype som type 7 med 8 m kørebanebredde anvendes i såvel klasse I, klasse II og klasse III, dog med visse justeringer



Figur 7.3 Definition af tværprofilelementer.

som omfatter den anvendte dimensioneringshastighed samt ændrede yderrabatter. Dimensioneringshastigheden er den hastighedsforudsætning, der er lagt til grund for beregning af kurveradier og oversigtsforhold. I klasse I og II vil type 7 endvidere kunne anlægges som motortrafikvej dvs. alene forbeholdt motoriseret trafik. I figur 7.4 er sammenhængen mellem de 4 vejklasser og de 13 vejtyper vist.

I forbindelse med et foreliggende typevalg forudsættes den aktuelle vejklasse fastlagt i forbindelse med vejplan- og/eller funktionsovervejelser. Herved afgrænses et antal mulige typer. Hvilken type, der så bør vælges, kan vurderes ud fra en kapacitetsdimensionering, som beskrevet i kapitel 3 eller en mere omfattende samfundsøkonomisk beregning, som beskrevet i kapitel 14.



Valg af vejtype afhænger af vejklasse, trafikintensiteten og samfundsøkonomi.

nr.	typebetegnelse	dimensioneringshastighed for vejklasse: I	II	III	IV	kapacitet [1] (biler/time)	kørebanebredde (m) [2]
1	6-sporet motorvej, bredt profil	a				2x5600	2x12,25
2	4-sporet motorvej, bredt profil	a				2x3700	2x 8,5
3	6-sporet motorvej, smalt profil	a	a			2x5600	2x11,5
4	4-sporet motorvej, smalt profil	a	a			2x3700	2x 8,0
5	4-sporet vej med midterrabat [3]	b	b [4]	b [4]		2x3700	2x 8,0
6	bred 2-sporet vej [3]	b	b	b		3300	11,0
7	2-sporet vej [3]	b	b	b		1900	8,0
8	2-sporet vej		b	b	c	1700	7,0
9	2-sporet vej			c	c	1200	6,0
10	2-sporet vej				d	1000	5,0
11	1-sporet vej				e	-	4,0
12	1-sporet vej				e	-	3,5
13	1-sporet vej				e	-	3,0

a	110/120 km/time
b	90/100 km/time
c	70/80 km/time
d	50/60 km/time
e	30/40 km/time

1) Den maksimale trafikintensitet under forudsætning af vandret terræn og en lastbilprocent på 15.
2) Inclusive kantbaner for typerne 1-7 (0,5 m) og striber for typerne 8 og 9 (0,25 m)
3) Kan i klasse I og II udføres som motortrafikveje.
4) Kan i særlige tilfælde udføres uden midterrabat.

Figur 7.4 Sammenhæng mellem vejklasse og vejtype samt vejtypernes kapacitet under bestemte forudsætninger.

Antallet af grundtyper i hver vejklasse skal ses ud fra ønsket om en passende graduering samt ønsket om en vis regularitet, der kommer til udtryk ved, at ikke for mange typer bør være mulige. Samtidig udtrykker den laveste standard i hver vejklasse, den minimumsstandard, som på lang sigt ønskes etableret.

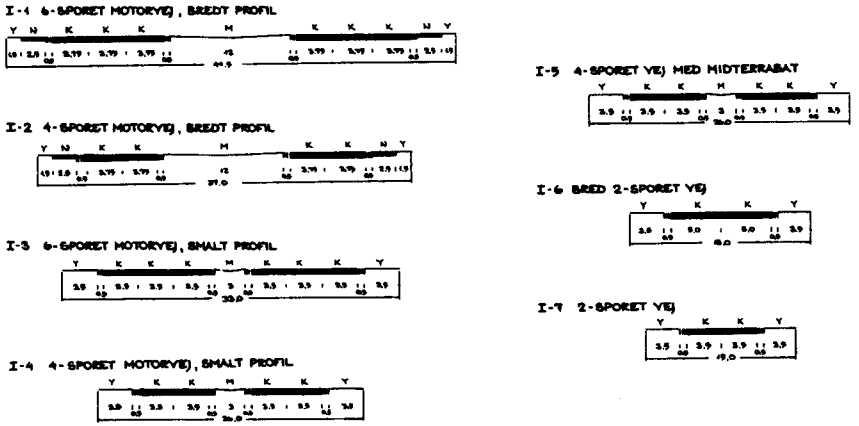
Valg af vejtype kan på ovennævnte baggrund sammenfattende beskrives ved følgende relation:

$$\text{vejtype} = f_1 \text{ (vejklasse, trafikintensitet, samfundsøkonomi)} \qquad (7.1)$$

De enkelte standardtyper, der indgår i de 4 vejklasser, fremgår af figurene 7.5 - 7.8. Indregnes, at flere af typerne kan anvendes i flere klasser, fås i alt 24 forskellige strækningsstandarder.

Vejtypenummer	TYPEBETEGNELSE	Kronebredde (m)	TVÆRPROFILELEMENTER				
			Yderrabat (m)	Nødspor (m)	Kantbane (m)	Kørespor (m)	Midterrabat (m)
I-1	6-sp. motorvej, bredt profil	44,5	1,5	2,5	0,5	3,75	12,0
I-2	4-sp. motorvej, bredt profil	37,0	1,5	2,5	0,5	3,75	12,0
I-3	6-sp. motorvej, smalt profil	33,0	3,5	-	0,5	3,5	3,0
I-4	4-sp. motorvej, smalt profil	26,0	3,5	-	0,5	3,5	3,0
I-5	4-sp. vej med midterrabat	26,0	3,5	-	0,5	3,5	3,0
I-6	bred 2-sporet vej	18,0	3,5	-	0,5	5,0	-
I-7	2-sporet vej	15,0	3,5	-	0,5	3,5	-

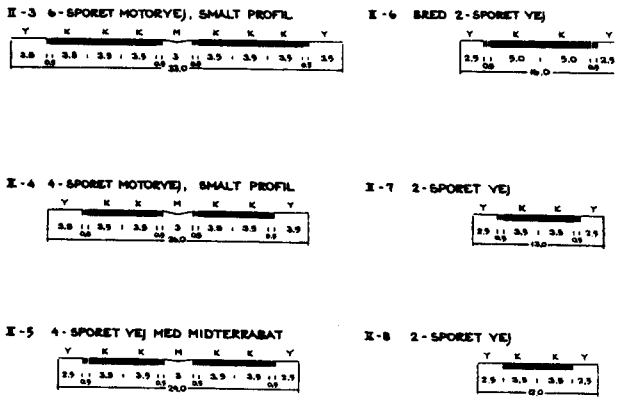
For type I-1, I-2, I-3 og I-4 kan midterrabatten variere fra 12 m indtil minimumsbredden 3 m, når autoværn forefindes. Type I-5, I-6 og I-7 udføres fortrinsvis som motortrafikveje. I type I-3, I-4 og I-5 kan der evt. anlægges et egentligt nødspor inden for det anførte yderrabat-areal.



Figur 7.5 Tværprofiler for vejtyper i vejklasse I.

Vejtypenummer	TYPEBETEGNELSE	Kronebredde (m)	TVÆRPROFILELEMENTER				
			Yderrabat (m)	Nødspor (m)	Kantbane (m)	Kørespor (m)	Midterrabat (m)
II-3	6-sp. motorvej, smalt profil	33,0	3,5	-	0,5	3,5	3,0
II-4	4-sp. motorvej, smalt profil	26,0	3,5	-	0,5	3,5	3,0
II-5	4-sp. vej med midterrabat	24,0	2,5	-	0,5	3,5	3,0
II-6	Bred 2-sporet vej	16,0	2,5	-	0,5	5,0	-
II-7	2-sporet vej	13,0	2,5	-	0,5	3,5	-
II-8	2-sporet vej	12,0	2,5	-	-	3,5	-

For type II-3 og II-4 kan midterrabatten variere fra 12 m indtil minimums bredden 3 m, når autoværn forefindes. Type II-5, II-6, II-7 og II-8 kan udføres som motortrafikveje. Type II-8 forudsættes kantlinie-afgrænset idet kantliniens funktion for de øvrige typers vedkommende varetages a kantbanen. I type II-3, II-4 og II-5 kan der evt. anlægges et egentlig nødspor inden for det anførte yderrabat-areal.

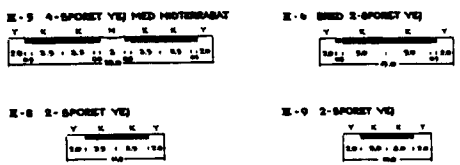


Figur 7.6 Tværprofiler for vejtyper i vejklasse II.

vejklasse III

Vejtypenummer	TYPEBETEGNELSE	Kronebredde (m)	TVÆRPROFILELEMENTER				
			Yderrabat (m)	Nødspor (m)	Kantbane (m)	Kørespor (m)	Midterrabat (m)
III-5	4-sp. vej med midterrabat	23,0	2,0	-	0,5	3,5	3,0
III-6	Bred 2-sporet vej	15,0	2,0	-	0,5	5,0	-
III-7	2-sporet vej	12,0	2,0	-	0,5	3,5	-
III-8	2-sporet vej	11,0	2,0	-	-	3,5	-
III-9	2-sporet vej	10,0	2,0	-	-	3,0	-

Type III-8 og III-9 forudsættes kantlinie-afgrænset, idet kantliniens funktion for de øvrige typers vedkommende varetages af kantbanen. Veje med liniebustrafik bør have en kørebanebredde på mindst 7,00 m.

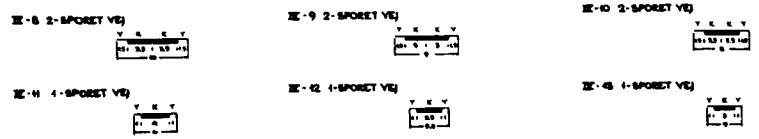


Figur 7.7 Tværprofiler for vejtyper i vejklasse III.

vejklasse IV

Vejtypenummer	TYPEBETEGNELSE	Kronebredde (m)	TVÆRPROFILELEMENTER				
			Yderrabat (m)	Nodspor (m)	Kantbane (m)	Kørespor (m)	Midterrabat (m)
IV-8	2-sporet vej	10,0	1,5	-	-	3,5	-
IV-9	2-sporet vej	9,0	1,5	-	-	3,0	-
IV-10	2-sporet vej	8,0	1,5	-	-	2,5	-
IV-11	1-sporet vej	6,0	1,0	-	-	4,0	-
IV-12	1-sporet vej	5,5	1,0	-	-	3,5	-
IV-13	1-sporet vej	5,0	1,0	-	-	3,0	-

Type IV-8 og IV-9 forudsættes kantlinie-afgrænset. Veje med liniebustrafik bør have en kørebanebredde på mindst 7,00 m.



Figur 7.8 Tværprofiler for vejtyper i vejklasse IV.

Stitypekataloget omhandler såvel stier i egen trace samt stier som elementer af veje. For klasse I veje gælder, at stianlæg bør udføres i egen trace, evt. kan stitrafikken afvikles på paralleltløbende, mindre betydende veje. Det samme er tilfældet for klasse II og III, såfremt de pågældende veje er udført som motortrafikveje. For veje i klasse II, III samt IV kendetegnet ved en dim. hast. på 70 km/h og derover kan stier etableres enkeltrettede som element af vejen, mens stitrafikken kan afvikles blandet med biltrafikken i klasse IV ved en dim. hast. på 60 km/h og lavere. Tværprofilelementer for stityper inden for disse to kategorier fremgår af figur 7.9 og figur 7.10.

Dobbeltrettede stier som element af vejen er ikke omtalt i kataloget på grund af manglende baggrundsviden, men er behandlet i et cirkulære, hvis forskrifter skal følges i modsætning til kataloget, som alene er vejledende.[7] Ifølge cirkulæret udsendt i 1981 skal dobbeltrettede cykelstier i åbent land langs veje være mindst 2,5 m brede, mens dobbeltrettede fællesstier skal have en bredde på mindst 3,0 m. Disse værdier kan dog ved lav trafik nedsættes til henholdsvis 2,0 m og 2,5 m. Ved afgrænsning mod faste genstande som hegn og træer skal minimumsbredden øges med 0,3 m.

Cirkulæret foreskriver, at disse stier skal være adskilt fra en eventuel vejkørebane med mindst 3,0 m, som dog ved lav trafik kan nedsættes til 1,0 m. Endvidere kræves, at der skal opsættes hegn til beskyttelse af stitrafikanterne ved en skillerabatbredde mindre end 1,5 m. For stier i egen trace i kataloget gælder for afstanden til en eventuel vej, at den skal "være så stor, at de to færdselsårer med sikkerhed opfattes som adskilte". Cirkulæret blev udsendt for at forhindre anlæg af dobbeltrettede stier langs veje med for lav en sikkerhed for stitrafikanterne.

Både vejtyper og stityperne i kataloget er opstillet med henblik på nyanlæg. Eksisterende veje og stier kan dog bedømmes ud fra en sammenligning med den standard, kataloget peger på, såfremt nyanlæg havde været aktuelt. Kataloget beskæftiger sig dog ikke med egentlige kassationskriterier.

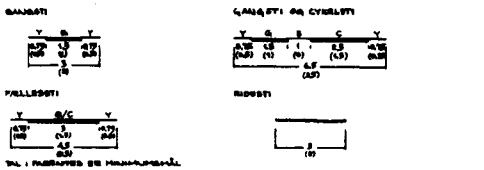
For stityperne gælder, at de hovedsageligt er opstillede ud fra kvalitative overvejelser.

Vejknudepunkter

Der skelnes mellem 2- og 1-plansknudepunkter. Knudepunkter i mere end 2-planer på det danske vejnet vil kun forekomme sjældent, men kendes fra fx U.S.A. I Los Angeles - bilernes by - findes der mange eksempler på vejknudepunkter i 3- og 4-planer.

2-plansknudepunkter forekommer i forbindelse med:[8]

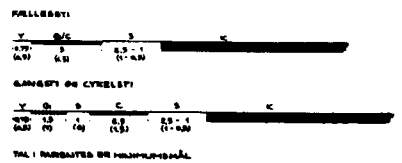
TVÆRPROFIL-ELEMENTER / STITYPER		Yderrabat (m)	Gangsti (m)	Skillerabat (m)	Cykelsti (m)	Fællessti (m)	Yderrabat (m)	Kronebredde (m)
gangsti	vejl.	0,75	1,5	-	-	-	0,75	3,0
	min.	0,50	1,0	-	-	-	0,50	2,0
fællessti	vejl.	0,75	-	-	-	3,0	0,75	4,5
	min.	0,50	-	-	-	1,5	0,50	2,5
gangsti og cykelsti	vejl.	0,75	1,5	1,0	2,5	-	0,75	6,5
	min.	0,50	1,0	0,0	1,5	-	0,50	3,5
ridesti	vejl.	-	-	-	-	-	-	3,0
	min.	-	-	-	-	-	-	2,0



Figur 7.9 Tværprofilelementer for stier i egen trace.

TVÆRPROFILELEMENTER / STITYPER		Yderrabat (m)	Gangsti (m)	Skillerabat (m)	Cykelsti (m)	Fællessti (m)	Skillerabat mellem kørebane og sti * (m) Dimensioneringshastighed på vej 100-90 km/t	80-70 km/t	60-50 km/t	40-30 km/t
blandet trafik	vejledende	-	-	-	-	-			-	-
	minimum	-	-	-	-	-			-	-
fællessti	vejledende	0,75	-	-	-	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0
	minimum	0,50	-	-	-	1,5	1,0	0,5	0,5	0,5
gangsti og cykelsti	vejledende	0,75	1,5	1,0	2,5	-	2,5	2,0	1,5	1,0
	minimum	0,50	1,0	0,0	1,5	-	1,0	0,5	0,5	0,5

* Skillerabat mellem kørebane og sti kan overfladebehandles. Yder skillerabatten herefter ikke fysisk adskillelse svarende til græsrabat, skal den forsynes med kantpæle.



Figur 7.10 Tværprofilelementer for enkeltrettede stier langs veje.

- Forbindelsesanlæg, dvs. knudepunkter mellem to eller flere højklassede veje, fx motor- eller motortrafikveje. Forbindelserne etableres ved forbindelsesramper, der er karakteriseret ved, at de starter i en frakørsel (udfletning) og ender i en tilkørsel (indfletning).
- Tilslutningsanlæg, dvs. knudepunkter mellem en højklasset vej, fx en motortrafikvej, og en skærende vej af lavere klasse. Forbindelserne etableres med tilslutningsramper, der er karakteriseret ved, at de starter i en frakørsel og ender i et vejkryds eller starter i et vejkryds og ender i en tilkørsel.
- Hankeanlæg, dvs. knudepunkter mellem to veje, hvor forbindelserne etableres med hanke. En hank er en vej, der forbinder veje i to planer, og som er tilsluttet disse i T-kryds. Hanke er normalt bestemt for dobbeltrettet trafik.

Som eksempler på forekommende danske forbindelsesanlæg er i figur 7.11 vist en principskitse af et Y-anlæg, et trekantanlæg og et trompetanlæg i to udgaver. Som eksempler på tilslutningsanlæg er vist et ruderanlæg og et sløjfeanlæg, sidstnævnte i 4 udgaver, ligesom der er vist en principskitse af hankeanlægget.

1-plansknudepunkterne udgøres af prioriterede kryds og rundkørsler, som er beskrevet i kapitel 4 og af signalregulerede kryds, som er beskrevet i kapitel 5. Specielt kan henvises til figur 4.3 - figur 4.6, der viser principskitser af de anvendte typer.

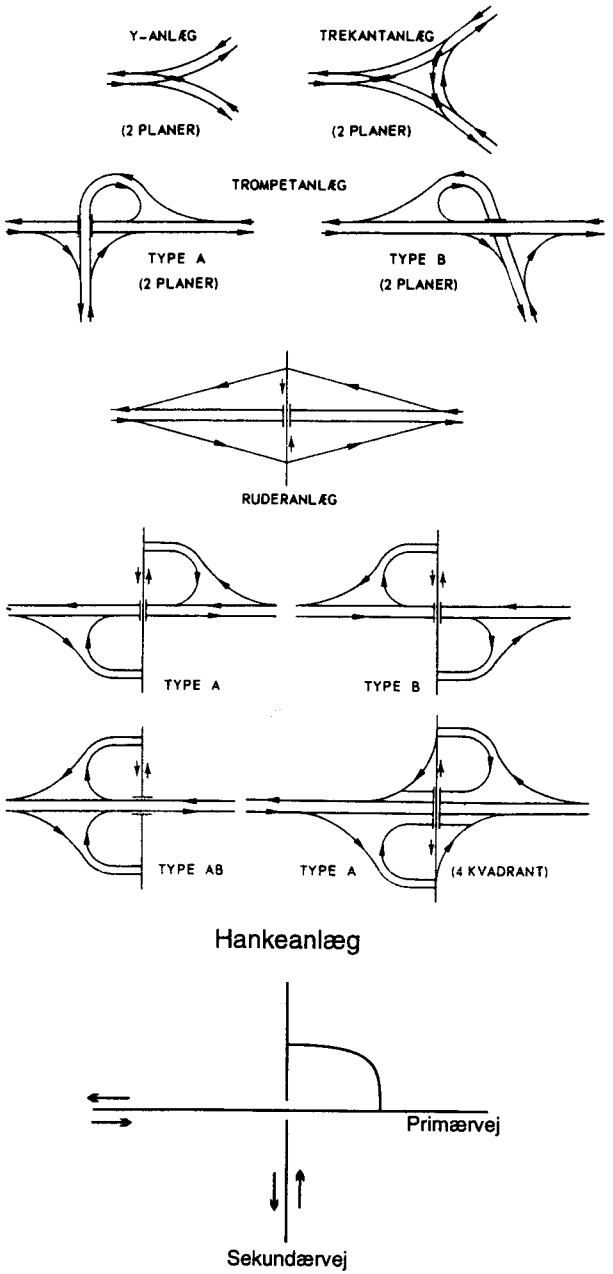
Vejregler for 2-plansknudepunkter foreligger i form af Projekteringsregler for motorveje fra 1970.[9]

Vejregler for 1-plansknudepunkter i åbent land foreligger med Vejregler for vejkryds i åbent land.[10] Krydskataloget tager udgangspunkt i det omtalte Vejtypekatalog og opstiller udover 10 vejkrydstyper en valg- og projekteringsprocedure. I forbindelse med proceduren skitseres en metode til økonomisk konsekvensvurdering. Der peges imidlertid også på, at miljøhensyn, æstetik, tryghed og komfort bør indgå og at disse faktorer "ikke, eller kun vanskeligt" kan beskrives ved en økonomisk model. Iøvrigt henvises til kapitel 4.

Valg af krydstype kan på baggrund af Vejkrydskataloget sammenfattende beskrives ved følgende relation:

$$\text{krydstype} = f_2\,(\text{vejklasse(r)},\ \text{samfundsøkonomi},\ \text{kvalitative faktorer}) \qquad (7.2)$$

Sammenlignes med (7.1) ses, at typefastlæggelsen ved vejkryds er mere sammensat end det er tilfældet med vejtyper.



Figur 7.11 Principskitser af forskellige 2-plansknudepunkter.

7.3 Vejstandarder i byområder

Sammenlignes opgaven med at fastsætte vejstandarder i byområder med d tilsvarende opgave i åbent land gælder, at forholdene i byområder som regel mere komplicerede, hvorfor generelt anvendelige procedurer ikke lader sig c stille i den udstrækning, det er muligt i det åbne land.

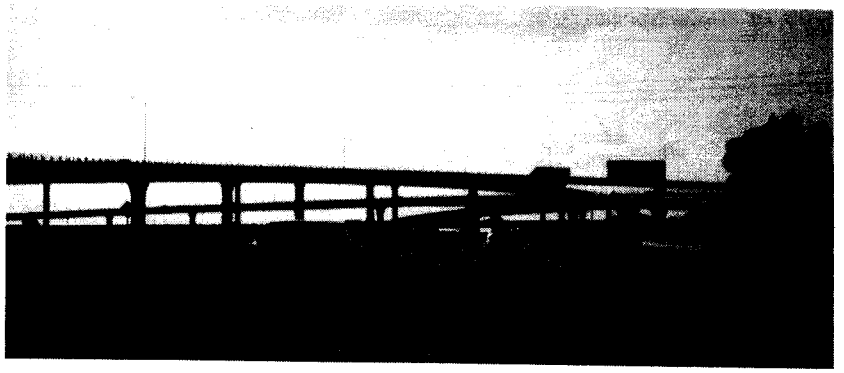
Ovennævnte lader sig bl.a. aflæse af, at meget rigoristiske klassificeringsskema som SCAFT[11] og RIGU[12], som var de svenske forbilleder i 1970'erne for dans overvejelser, nu er afløst af en meget enkel tankegang med en opdeling i trafik je og i lokalveje, omend det som beskrevet tidligere sker i kombination med opdeling i hastighedsklasser. Resultatet af arbejdet med vejstandarder i byom der er indeholdt i vejreglerne om "Byernes trafikarealer", som er udsendt i 199

Vej- og stityper

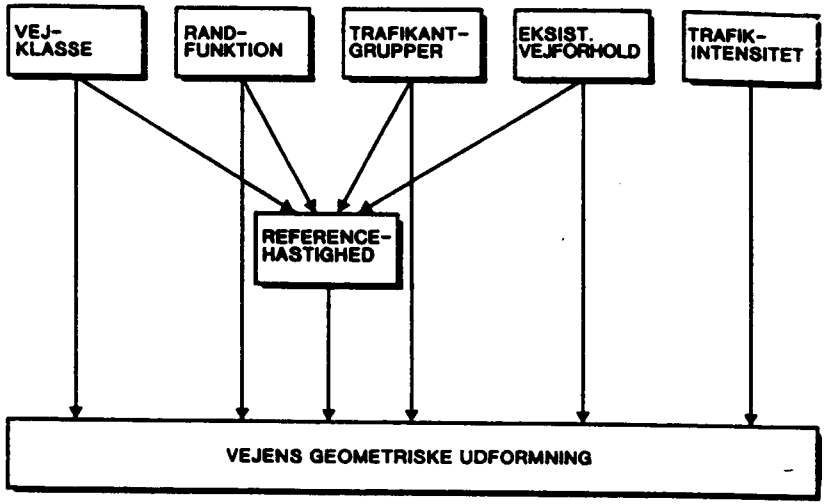
En oversigt over de faktorer, der bør have indflydelse på den geometriske u formning af en vej - eller gade - i byområde, er vist i figur 7.12.

I alt anvendes 13 hovedtyper for trafik- og lokalveje samt 4 hovedtyper for sti Hovedtyperne er vist uden breddeangivelser, idet en samlet bredde-tilpasni sker ved hjælp af en eksempelsamling, der er opdelt efter hovedtyperne. O delingen af de enkelte typer fremgår af figur 7.13 - figur 7.19.

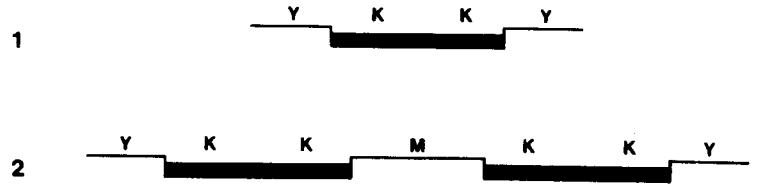
Hvad angår trafikveje vil hovedtype 1 og 2 typisk blive brugt i byområder, hv den hårde og bløde trafik er adskilt, mens hovedtype 3 og 4 kan bruges f trafikveje i de lavere hastighedsklasser. Suppleres hovedtyperne 1-4 med cykel fås hovedtyperne 5-8, som vil være de mest anvendte trafikveje i byområder.



I Los Angeles findes der knudepunkter i 4 planer.

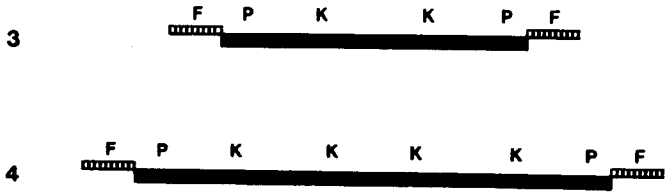


Figur 7.12 Principskema for fastlæggelse af vejstandard.



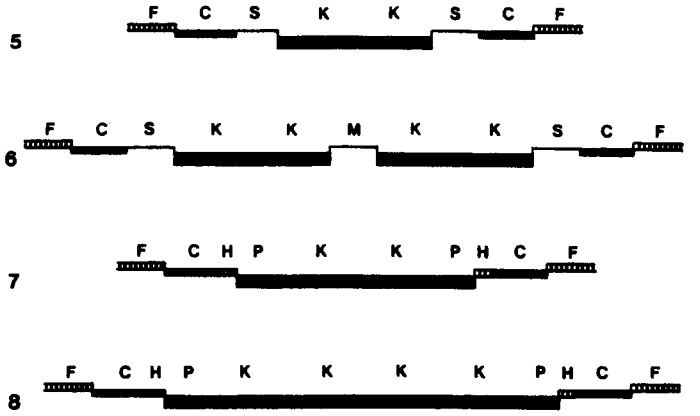
Y: Yderrabat K: Kørespor M: Midterrabat

Figur 7.13 Hovedtyper, trafikveje, områder med trafikadskillelse.



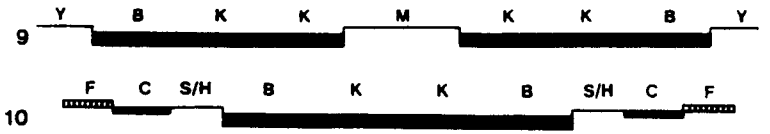
F: Fortov P: Parkering

Figur 7.14 Hovedtyper, trafikveje med parkeringsspor.



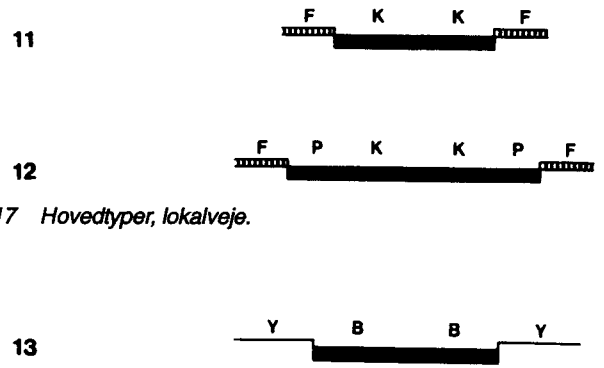
C: Cykelsti S: Skillerabat H: Helle

Figur 7.15 Hovedtyper, trafikveje med cykelsti.



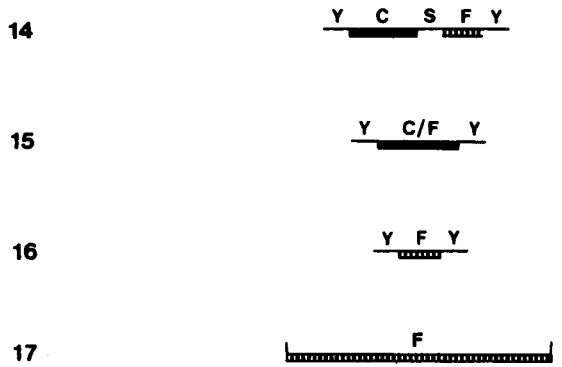
B: Busspor

Figur 7.16 Hovedtyper, trafikveje med busspor.



Figur 7.17 Hovedtyper, lokalveje.

Figur 7.18 Hovedtype, busveje.



Figur 7.19 Hovedtyper, stier.

Hvad angår busspor, forekommer disse sjældent og trafikveje med både busspor og parkering næsten aldrig. Mht. trafikveje med busspor er der valgt at skelne alene mellem busspor med cykelsti henholdsvis uden jf. hovedtype 9-10.

Lokalveje forekommer som hovedtype 11-12, henholdsvis uden og med parkeringsspor.

Med hensyn til busveje, hovedtype 13, kan denne type også forekomme med cykelsti og/eller fortov.

Hvad angår stier i byområder er der opstillet følgende 4 hovedtyper. Hovedtype 14 som anvendes til hovedstier med mange cyklister/knallertkørere og fodgængere. Hovedtype 15 anvendes til hovedstier med få cyklister/knallertkørere og/eller fodgængere samt til lokalstier, mens hovedtype 16 er til lokalstier uden cykel/knallerttrafik. Hovedtype 17 omfatter gågader af forskellig karakter, og kan udover fodgængerarealerne indeholde arealer, hvor kørsel og parkering er tilladt for biler og/eller cykler.

Der er anført følgende generelle sammenhænge mellem hastighedsklassen og antal kørespor, jf. tabel 7.3. Endvidere er der anført følgende sammenhænge mellem hastighedsklassen og køresporsbredden, jf. tabel 7.4.

Hastighedsklasse		Sporantal			
		6	4	2	1
Høj	(70-80 km/h)	x	x	x	
Middel	(50-60 km/h)	x	x	x	
Lav	(30-40 km/h)			x	x
Meget lav	(10-20 km/h)			x	x

Tabel 7.3 Antallet af kørespor afhængigt af hastighedsklassen.

Hastighedklasse		Køresporsbredde
Høj	(70-80 km/h)	3,50 m
Middel	(50-60 km/h)	3,50-3,25 m
Lav	(30-40 km/h)	2,75 m
Meget lav	(10-20 km/h)	2,50 m

Tabel 7.4 Vejledende køresporsbredder.

Med hensyn til tværprofilernes trafikafvikling, herunder antallet af kørespor, må en vurdering tage udgangspunkt i krydsenes kapacitet, som i byområder oftest er den afgørende faktor.

Busspor bør normalt have en bredde på 3,5 m, men under særligt snævre forhold og kun over korte strækninger kan bredden reduceres til 3,0 m som minimum.

Med hensyn til bredden af cykelstier peger vejreglen på de i tabel 7.5 anførte bredder.

	Sti langs vej	Sti i egen tracé
Ensrettet cykelsti	2,2 m (1,7 m)	-
Dobbeltrettet cykelsti	2,5 m (2,5 m)	2,5 m (1,7 m)
Cykelsti som del af delt sti	1,7 m (1,5 m)	-
Dobbeltrettet fællessti	3,0 m (3,0 m)	3,0 m (1,7 m)
Cykelbane (incl. 0,30 m kantlinie)	1,5 m (1,2 m)	-

Tabel 7.5 Vejledende bredder og vejledende minimumsbredder (i parentes) for stier i byområder.

Vejkryds

Ved bestemmelsen af vejkrydstypen i byområder er anført følgende faktorer:

- antal grene i krydset - køresporantal på de tilstødende veje
- forekomsten af cykelsti eller cykelfelt på de tilstødende veje
- væsentlige foranstaltninger for fodgængere (fortove, fodgængerfelter, heller)
- prioritering (vigepligtsforhold)
- evt. signalregulering

Det er dog vurderet, at en inddeling i vejkrydstyper på grundlag af kombination og variation af disse faktorer vil føre til et uoverskueligt stort antal typer, hvorfor følgende krydstyper er udvalgt som hovedtyper:

- signalregulerede kryds
- prioriterede, ikke-signalregulerede trevejskryds (T-kryds)
- prioriterede, ikke-signalregulerede firevejskryds (F-kryds)

- overkørsler fra sideveje
- rundkørsler
- ikke-prioriterede kryds (dvs. kryds med højrevigepligt)

Vejreglen behandler ikke vejkryds ude af niveau. Ved behandling af sådanne kryds kan dens anvisninger for udformning af de vejtilslutninger, der fremkommer ved etablering af ramper/hankeløsninger bruges.

I vejreglen er anført de i tabel 7.6 viste sammenhænge mellem hastighedsklassen og vejkrydstyper.

Hastighedsklasse	Meget lav	Lav	Middel	Høj
Vejkrydstyper	(10-20 km/h)	(30-40 km/h)	(50-60 km/h)	(70-80 km/h)
Signalregulerede kryds		x	x	(x)
Prioriterede, ikke-signalregulerede F-kryds		x	x	(x)
Prioriterede, ikke-signalregulerede T-kryds		x	x	x
Overkørsler fra sideveje	x	x	x	(x)
Rundkørsler		x	x	x
Ikke-prioriterede kryds	x	x		

Sammenhænge markeret med kryds i parentes er ikke anbefalelsesværdige, og bør derfor ikke benyttes ved nyanlæg.

Tabel 7.6 Sammenhænge mellem hastighedsklassen for primærvejen og vejkrydstyper i byområder.

En række spørgsmål i forbindelse med vejkrydstyper er mere detaljeret behandlet i kapitel 4 og 5.

Valg af vejstandarder i byområder må knyttes nøje til planlægningsovervejelserne i den konkrete sammenhæng. Trafikplanspørgsmål for henholdsvis biltrafik, let trafik og kollektiv trafik er behandlet i kapitel 14, 15 og 16.

7.4 Geometriske parametre

I forbindelse med vejstandarder i åbent land er anvendt begrebet dimensioneringshastighed, mens begrebet referencehastighed er anvendt ved vejstandarder i byområder. Begge begreber har betydning for udformningen af det enkelte vejanlæg, omend sigtet er forskelligt.

Dimensioneringshastighed

Den mindst tilladelige kurveradius R_{min} afhænger af dim. hast. v_d samt af bremse- og sidefriktionskoefficienterne μ_b og μ_s. For en maksimal sidehældning i_{maks} = 60‰ er fundet R_{min}-værdierne i tabel 7.7.[8]

For motorveje i Danmark er v_d = 120 km/h, hvilket ifølge projekteringsreglerne foreskriver en "exceptionel minimumsradius" på 1000 m, en "minimumsradius" på 1500 m og en "mindste normalradius" på 2500 m.[6] I Vejtypekataloget er anvendt V_d-intervaller benævnt a-e for den enkelte vejtype i kombination med vejklassen, jf. i øvrigt figur 7.4.

Vd	30 km/h	40 km/h	60 km/h	80 km/h	100 km/h	120 km/h
Nordisk Vejteknisk Forbund						
μ_b		0,40	0,38	0,36	0,34	0,32
μ_s		0,20	0,10	0,13	0,10	0,07
R_{min} m		48	129	265	492	872
Vejregler for gadeprojektering						
μ_b	0,36	0,33	0,31			
μ_s	0,18	0,16	0,15			
R_{min} m	30	57	135			
Motorvejsregler						
μ_s						0,06
R_{min} m						945

Tabel 7.7 Min. kurveradier for forskellige dim. hast.-værdier.

Referencehastighed

Mens dim. hastigheden kan ses som en øvre sikker hastighed, når forholdene iøvrigt tillader det, er referencehastigheden v_r et udtryk for en ønsket hastighed for trafikafviklingen. Hastighedsdæmpende foranstaltninger kan således komme på tale for at opnå en fastsat v_r-værdi.[4] Alle geometriske parametre i "Byernes trafikarealer" er relateret til en referencehastighed.

Litteratur

1 Leleur, S., Klassificering af veje i åbent land, notat. Vejdirektoratet, 1976.

2 Typekatalog for nye veje og stier i åbent land. Vejdirektoratet, Vejregeludvalget, 1981.

3 Skitse til Vejplan, Vejdirektoratet, Vejplanudvalgene, 1975.

4 Byernes trafikarealer, Vejdirektoratet, Vejregeludvalget, 1991.

5 Cirkulære om typekatalog for nye veje og stier i åbent land, Ministeriet for offentlige arbejder, 1981.

6 Bruun-Nielsen, S., Beskrivelse af danske hovedlandevejstyper, bidrag til nordisk rapport, Nordisk Vejteknisk Forbund, Udvalg 22, rapport nr. 9, 1992.

7 Cirkulære om etablering af dobbeltrettede cykelstier langs veje, Ministeriet for offentlige arbejder, 1981.

8 Thagesen, Bent, Lærebog i vejbygning - Bd.1 Trafik og geometri. Polyteknisk Forlag, 1984.

9 Projekteringsregler for motorveje, Vejdirektoratet, 1970.

10 Vejregler for vejkryds i åbent land, Vejdirektoratet, Vejregeludvalget, 1983.

11 Riktlinjer för stadsplanering med hänsyn till trafiksäkerhet. Publ. nr. 5, SCAFT, Statens planverk, 1968.

12 Riktlinjer för gators geometriska utformning, RIGU 73, Statens Vägverk och Svenska Kommunförbundet, 1973.

Kapitel 8

Vejafmærkning og trafikinformatik

Af Henrik S. Ludvigsen og Jan Kildebogaard

8.1 Indledning - vejafmærkning

Færdselsloven fastlægger de grundregler efter hvilke, vi færdes i trafikken.[1] Efterhånden som trafikkens intensitet og hastighed er øget, har der været et stigende behov for yderligere instrukser til trafikanterne, således at de i konkrete situationer hurtigt og sikkert kan tage de rigtige beslutninger. Vejafmærkningen er et sådan sæt supplerende instrukser, og bemyndigelsen til udarbejdelse af vejafmærkningsbekendtgørelsen findes da også i færdselslovens §95:

"Justitsministeriet fastsætter bestemmelser om udformning og betydning af:
a) færdselstavler,
b) afmærkning på kørebanen,
c) signalanlæg og
d) anden afmærkning eller indretning på eller ved vej til regulering af eller til vejledning for færdslen."

For trafikanterne er det yderligere således, at de anvisninger for færdsel som gives ved afmærkning som hovedregel skal følges forud for færdselslovens bestemmelser. Vejafmærkningen er derfor en meget vigtigt bestanddel af det moderne trafiksystem.

8.2 Myndigheder

Færdselsloven tillæger oprindeligt Justitsministeren beføjelser til at fastlægge afmærkningens udformning og betydning. Denne beføjelse er imidlertid - sammen med færdselsloven i øvrigt - overført til Trafikministeren. Fastlæggelsen af afmærkningens udformning og betydning sker i praksis ved udgivelse af vejafmærkningsbekendtgørelsen.[2] I dette dokument findes de færdselstavler, signalanlæg og andet til regulering, advarsel eller vejledning for trafikanterne, som det er tilladt at opstille langs offentlige veje. Eventuel anden afmærkning skal godkendes i Trafikministeriet. De nærmere retningslinier for fremgangsmåden ved opstilling er også fastlagt. Etablering af vejafmærkning sker som hovedregel

efter aftale mellem det lokale politi og vejforvaltningen. Vejejeren betaler for udførelsen. Hvis der opstår uenighed mellem parterne omkring afmærkningsspørgsmålet, afgøres sagen i Trafikministeriet. Trafikministeriet afgør også sager om vejvisning og om overtrædelse af bestemmelser fastsat i vejreglerne.

Hvis nogen opsætter vejafmærkning uden politi og vejmyndigheds godkendelse eller opsætter almindelige skilte, der ligner vejafmærkning, kan disse forlanges fjernet af politiet. Politiet kan også skride ind, hvis skilte, opslag eller lignende placeres på eller i forbindelse med afmærkning.

Vejafmærkningsbekendtgørelsen er suppleret af et cirkulære, der også udgives af Trafikministeriet.[3] Formålet med dette er primært at udstede de retningslinier af teknisk karakter, som ministeriet kræver opfyldt for anvendelse af den konkrete afmærkning. Cirkulæret er således rettet til politi og vejmyndigheder, hvor bekendtgørelsen har alle trafikanter som målgruppe. Trafikministeriet kan dispensere for reglerne i vejafmærkningsbekendtgørelse og -cirkulære.

Cirkulære om vejafmærkning indeholder ikke bestemmelser vedrørende vejvisningstavler. Disse regler er traditionelt udsendt af Trafikministeriet, i forbindelse med udarbejdelsen af vejregler.[4] Trafikministeriet - ved Vejregelorganisationen - forestår udarbejdelsen af vejregler såvel vedrørende vejafmærkning som vedrørende udformning af veje i øvrigt. I vejreglerne for afmærkning fastlægges præcise dimensioner, afstande m.v. Vejreglernes udformning vedrørende hastighedsbegrænsningstavlerne er vist i appendix 8.1.

8.3 Vejafmærkningens struktur

Hovedopdelingen i vejafmærkning er følgende:

- Færdselstavler
- Vejvisningstavler
- Kant- og baggrundsafmærkning m.m.
- Afmærkning på kørebanen m.m.
- Signalanlæg

Færdselstavler opdeles igen i:

- Advarselstavler
- Vigepligtstavler
- Forbudstavler
- Påbudstavler
- Oplysningstavler og
- Undertavler

Denne struktur er ikke speciel dansk. Den går i større eller mindre udstrækning igen i alle vesteuropæiske lande. Dette skyldes, at grundreglerne for vor afmærkning (og færdselsregler) er fastlagt i Wienkonventionen fra 1968. Denne konvention under FN binder de lande, der har ratificeret teksten vedrørende vejafmærkning til at anvende bestemte tavler til bestemte formål - og ingen andre. Selv om ikke al vejafmærkning, der anvendes i Danmark, kan findes i Wienkonventioner med senere tillæg, søges alle nye danske tavler indpasset i den overordnede struktur.[5] Således er:

- advarselstavler trekantede med hvid bund, rød rand og sorte symboler
- forbudstavler runde med hvid bund, rød rand og sorte symboler
- påbudstavler runde med blå bund og hvid symbolik
- oplysningstavler firkantede med blå bund og hvid symbolik
- servicetavler firkantede med blå rand, hvid bund og sort symbolik

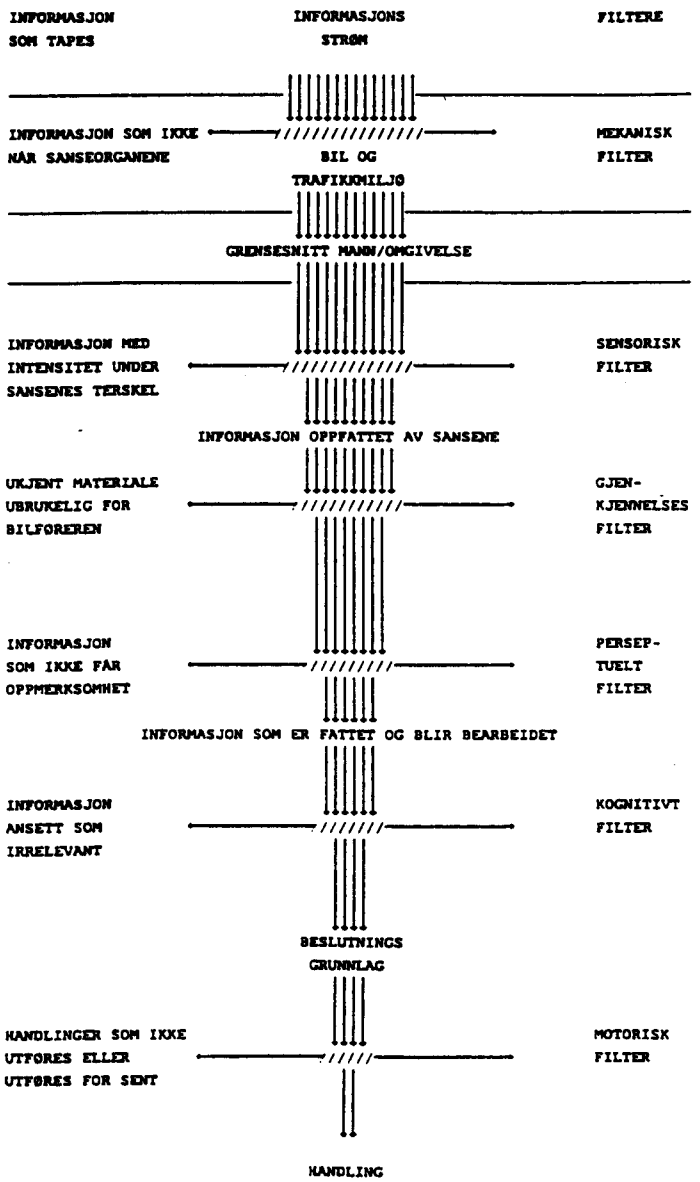
Ud fra form og farve skulle det således være muligt at klassificere en tavle uden at have fået præcise oplysninger om tavlens betydning. Da tavlerne er tilvejebragt ved "et internationalt kompromis", er der imidlertid mange undtagelser. Der rejses da også ofte tvivl, om trafikanter i almindelighed til fulde forstår tavlesystemet. En rund blå tavle med cykelsymbol betyder, at cyklisten *skal* køre på stien. En tilsvarende firkantet tavle er kun et godt råd.

Af hensyn til international trafik tilstræbes det yderligere i så vid udstrækning som muligt at anvende symboler i stedet for tekst.

Mange lande er opmærksomme på "skilteskoven" og søger at reducere skiltemængden. Anvendelse af områdetavler kan bidrage til dette. Disse tavler indfører en eller flere bestemmelser i hele det område, der er afgrænset af tavlerne. Byzonetavlen og tavlen, der angiver opholds- og legeområde, er eksempler på sådanne tavler. Områdetavlerne kræver imidlertid øget indlæring, idet tavlerne indfører et helt sæt regler. Undersøgelser har da også vist, at mange trafikanter i dag ikke er bekendt med zonebegrebet. Forståelse af afmærkningen er imidlertid kun ét af problemerne i forbindelse med trafikanternes opfattelse af trafiksituationen.

8.4 Informationsprocessen

For at en trafikant kan rette sig efter vejafmærkningen er det nødvendigt, at vedkommende på et tilstrækkeligt tidligt tidspunkt kan se afmærkningen og forstå, hvad den betyder. Den informationsproces, som trafikanten er et led i, er opstillet af Glad m.fl. og gengivet på figur 8.1.[6] Et andet eksempel på en model for informationsprocessen under kørslen er illustreret i figur 6.1.



Modell av informasjons-strømmen fra mottak av informasjon til beslutningsgrunnlag for handling og utførelse av denne

Figur 8.1 Model af informationsstrømmen fra modtagelse af information til beslutningsgrundlag for handling og udførelse af denne.

De trafikale omgivelser er fyldt med information (signaler), som har betydning for føreren. Visse signaler registreres ikke af trafikanten. Fx fordi en vejtavle er skjult af andre trafikanter. Et *mekanisk filter* har sorteret informationerne. Blandt de signaler, der når frem til føreren, vil der være nogle, som er så svage, at føreren ikke sanser dem. De går tabt i et *sensorisk filter*. Blandt det, som sanserne registrerer, vil der være impulser, som føreren ikke genkender, som noget han skal anvende *(genkendelsesfilter)*. Yderligere er der information, som ikke får førerens opmærksomhed, selv om de er tilgængelige for ham *(perceptuelt filter)*. Blandt de signaler, som bliver fattet og bearbejdet, vil der ske en sortering. Trafikanten vil frasortere, hvad han anser for irrelevant information *(kognitivt filter)*. Det, der nu er tilbage, er trafikantens subjektive oplevelse af trafiksituationen. Det er den, han beslutter og handler ud fra.

Den beskrevne informationsproces påvirkes af en række overordnede funktioner:

- *Motivation*, der hos trafikanterne ofte er at nå et mål hurtigt og bekvemt
- *Erfaringer* fra tidligere situationer. Disse vil påvirke opmærksomhed og forventninger
- *Forventninger*, som igen er påvirket af motivation og erfaringer
- *Opmærksomhed*, der er påvirket af de tre ovenstående funktioner, og som kan styres. Således ser og hører vi bevidst efter bestemte ting i forskellige situationer

Det er en meget kompleks proces, der ligger til grund for beslutningstagning i trafikken, og den blotte fysiske tilstedeværelse af fx en bestemt vejtavle er således ikke et tilstrækkeligt grundlag for at trafikanterne opfører sig som tilsigtet.

8.5 Vejafmærkningens funktion og udformning

Vejafmærkningen har følgende opgave:

- *at advare* trafikanter om farlige eller specielle forhold ved vejen. Dette sker fx ved anvendelse af advarselstavler og varslingslinier
- *at regulere* trafikken. Dette sker fx ved stop-tavler, forbuds-tavler, vigelinier og signalreguleringer
- *at vejlede* trafikanter om vejens forløb og anvendelse. Dette sker fx ved oplysningstavler, vejvisningstavler, kantafmærkninger og vognbanelinier

Afmærkning på kørebanen er et vigtigt hjælpemiddel i denne sammenhæng, idet informationerne kan opsamles af føreren, uden at opmærksomheden afledes fra vejen. Afmærkningen på kørebanen er almindeligvis sammenhængende over en længere strækning. I modsætning til afmærkning med tavler giver dette føreren mulighed for at indsamle informationer over en længere vejstrækning.

Med henblik på at give trafikanterne mulighed for at opfatte vejtavlerne er der opstillet følgende retningslinier:

"Tavlerne skal have en sådan størrelse og placeres på en sådan måde, at de både i lys og mørke umiddelbart opfattes inden for en sådan afstand, at trafikanterne får tilstrækkelig tid til at reagere over for de forhold, som tavlerne vedrører. Hvor der ofte er tæt trafik, skal placeringen så vidt muligt vælges således, at andre trafikanter ikke skjuler tavlerne. Tavlerne skal normalt placeres næsten vinkelret på den færdselsretning, de er gældende for."

Det gælder endvidere, at der normalt kun opsættes 2 tavler med tilhørende undertavler på samme stander, og tavler, der vedrører forskellige forhold, skal opsættes med en sådan indbyrdes afstand, at trafikanterne kan nå at opfatte hver enkelt tavles betydning.

Der forskes imidlertid fortsat meget i, hvad der er de korrekte mål for vejtavler og deres placering.

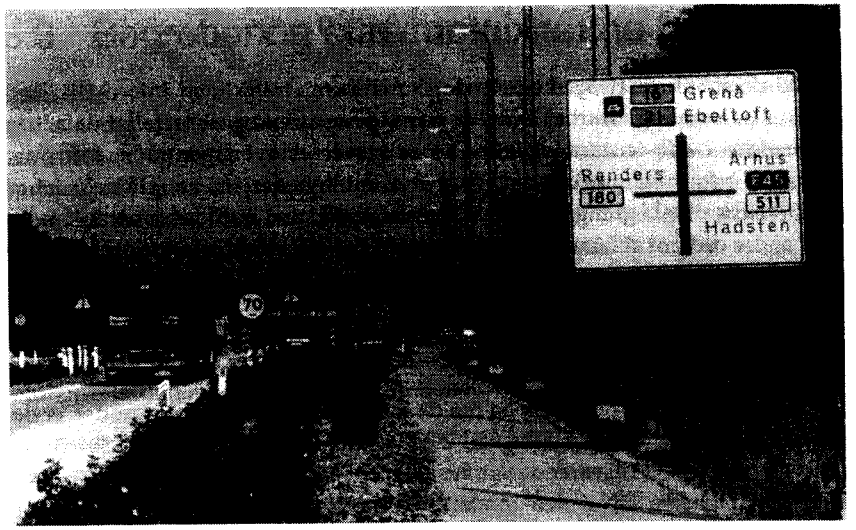
Ved fastlæggelse af sådanne dimensioner må følgende overvejes:

- færdselstavlens størrelse
- færdselstavlens kompleksitet
- afstanden fra vejen til færdselstavlen
- den tilrådighed stående tid til at aflæse tavlen (dvs. chaufførens synsevne kombineret med hastigheden)
- trafikbilledets kompleksitet

Tætheden af vejtavler er ofte meget stor og undertiden unødvendig stor. En kritisk gennemgang af afmærkningen i tyske byer har vist, at det er muligt at reducere antallet betydeligt.

Vejtavlers og kørebaneafmærkningens lystekniske egenskaber har stor betydning for muligheden for at opfatte afmærkningen. Der skal således være en vis kontrast mellem afmærkning og baggrund i alle situationer.

Synligheden af vejafmærkning i mørke afhænger i stor udstrækning af kvaliteten af de reflekterende materialer og af tavlernes renholdelse. De moderne reflekterende folier tilbagekaster bilens lys, således at tavler, der er placeret i de foreskrevne positioner, kan ses på stor afstand alene med bilernes lys. Tilsvarende gør sig gældende for mange stribematerialer, der er suppleret med retroreflekterende



Tætheden af vejtavler er ofte meget stor.

perler. Synligheden af såvel tavler som kørebaneafmærkning påvirkes dog i nogen grad af vejrforhold. Tavler kan ofte være vanskeligt læselige på grund af dugdannelse, og striber kan specielt være vanskelige at opfatte i regnvejr. Under disse betingelser forbedres synligheden betydeligt, hvis striberne profileres (opbygges af små stave eller toppe af stribemateriale).

8.6 Afslutning - Vejafmærkning

Selv om vejafmærkning som tidligere nævnt allerede i stor udstrækning koordineres internationalt, er der ingen tvivl om, at dette arbejde vil blive intensiveret i årene fremover. Det danske medlemskab af EU vil antageligt føre til en større eller mindre harmonisering. Et sådant arbejde er allerede startet i forbindelse med tekniske krav til afmærkningsmateriel, således at der også på dette område bliver et fælles marked uden tekniske handelshindringer.

Internationalt foregår der tillige en rivende udvikling omkring informationsteknologi. Man må således forvente at fx variable tavler om nogle år ofte vil optræde langs vore veje. Langt mere raffinerede informationssystemer mellem køretøj og vejomgivelser er imidlertid allerede under udvikling. Om dette henvises til de næste afsnit.

8.7 Hvad er trafikinformatik?

Trafikinformatik er et nyt begreb, der kombinerer trafik med informatik, som dækker indsamling, bearbejdning og anvendelse af information (eller data, som det hedder i edb-terminologien). Det er blevet et nyt fagområde, fordi den moderne informationsteknologi giver nye muligheder for at rationalisere og effektivisere planlægningen og styringen af trafikken. Trafikinformatik handler med andre ord om at håndtere data om trafikken eller data af betydning for den. Formålet er at skabe en sikrere, mere effektiv og mere miljøvenlig vejtransport.

Integreret og dynamisk

Det at samle data ind om trafik og om de forhold, trafikken foregår under, er der sådan set ikke noget nyt i. I kapitel 2 er beskrevet, hvordan trafiktællinger og analyser foretages. Tilsvarende samles data fra signalanlæg, fra vejr- og vejforhold osv. Det nye er, at den moderne teknologi tillader, at vi kan opbygge sammenhængende informationssystemer, hvor alle trafikale data kan samles og udnyttes effektivt. Vi taler med andre ord om *integrerede systemer*.

Fordelene er åbenlyse: Arbejdsgangene kan rationaliseres, og de data, der indsamles til eet formål, kan senere bruges som grundlag for et andet. Det kan være data fra trafikovervågning, der senere bruges til en trafikmodel, se nærmere i kapitel 10, eller data fra et trafiksignal, der anvendes til at give trafikanterne information om rutevalg.

En anden væsentlig nyskabelse er de dynamiske systemer, dvs. at trafikken kan styres og trafikanterne informeres på baggrund af helt friske oplysninger, der i et vist omfang automatisk indsamles og sendes ud. De kan så bagefter anvendes til mere statistisk prægede formål.

Trafikantinformation

Det mest karakteristiske nyskabelse er dog, at det bliver muligt at udnytte de indsamlede oplysninger til direkte at informere, vejlede eller styre trafikanterne i bilerne. Man vil ofte opleve, at begrebet trafikinformatik anvendes mere eller mindre synonymt med trafikantinformation. Det er ikke korrekt, og det er derfor vigtigt at slå fast, at den del af informationssystemerne, der henvender sig direkte til trafikanterne, kun er en enkelt del af et stort, samlet system. I det følgende vil disse sammenhænge blive beskrevet nøjere.

8.8 Begreber og struktur

Trafikinformatik er et nyt fagområde, og den tilhørende terminologi er derfc under stadig udvikling. Som nævnt drejer det sig bl.a. om at integrere en rækk anvendelser, og netop denne integration gør det svært at præcisere en kla opdeling af fagområdet. Det kompliceres yderligere af, at udviklingen i høj gra er teknologidrevet. Det betyder, at der ikke altid skelnes klart mellem fx d *funktioner*, der skal udføres, og de *systemer*, der skal gøre det.

Forskellen er, at en funktionsbeskrivelse omfatter *hvad* der skal udføres, mens e systembeskrivelse omfatter *hvordan* det skal udføres. Et system består således a en række komponenter som fx apparatur og edb-programmer, som anvendes t implementeringen af en eller flere funktioner.

Beskrivelsen af trafikinformatik bør baseres på funktioner, da disse mest direkt afspejler interessenternes ønsker og krav og derfor kun ændres med forholdvi lav hastighed. Systemer er derimod afhængige af den teknologiske udvikling som går meget stærkt, og et system afspejler derfor "kun" en på nuværend tidspunkt hensigtsmæssig måde at imødekomme interessenternes ønsker o krav på.

For at skabe et vist overblik, har vi inddelt funktionerne inden for *trafikinformatik ken i 8 hovedområder*, jf. figur 8.2. Til hvert område hører en række funktioner, son igen kan splittes op i delfunktioner. En funktion kan godt findes i flere område (fx rutevejledning), ligesom samme delfunktion kan gå igen i flere funktioner (f lokalisering af et køretøj).

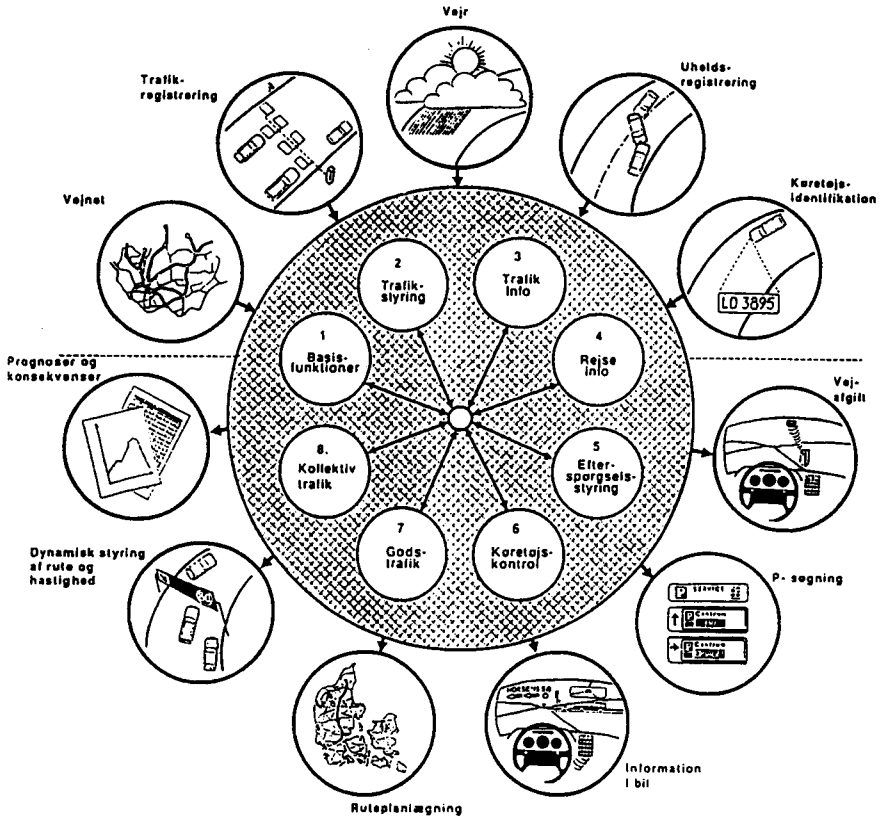
Basisfunktioner

Basisfunktionerne omfatter primært:

- Traditionelle registreringer af bl.a. trafik, vejr, vejoverflade og luftforurenin samt behandling af disse
- Indsamling og organisation af grunddata, som anvendes inden for flere andr områder, især vejnetsdata, men også oplysninger om fx køretøjspositioner o køretøjsstatus
- Etablering af net til udveksling af informationer mellem de enkelte systemer

Trafikstyring

Der findes ingen skarp grænse mellem dette område og området trafikinforma tion. Målet med funktionerne inden for trafikstyring er imidlertid ud fra all



Figur 8.2 Oversigt over trafikinformatik (eksempler).

relevante data at fastlægge styringsbeslutninger og styringsvariable (fx lukning af kørespor og justering af trafiksignalernes programmer).

Trafikstyringsfunktionerne opdeles normalt efter, om de gælder for strækninger, kryds eller trafiknet. Trafikstyring på netniveau, fx sænkning af tilgængeligheden til en by med stor luftforurening, vil typisk blive videreført som styringsparametre for diverse strækninger og kryds i henhold til den fastlagte strategi.

Trafikinformation

Trafikinformation er rettet mod trafikanten, og gives mens han er undervejs. Formålet er dels, at trafikanten skal kunne finde vej, dels at give en så problemfri trafikafvikling som muligt. Det søges opnået ved at give præcis, relevant og

aktuel information. Det vil sige, at informationen skal gives på rette tid og sted og give mulighed for at træffe de rigtige beslutninger.

Trafikinformationen kan deles op i tre typer:

- Oplysninger om unormal trafikafvikling, fx uheld, vejarbejder, kødannelser, hvor trafikanten selv skal træffe beslutning ud fra informationen, som fx kommer gennem radio
- Individuel information til den enkelte trafikant om fx optimal rute
- Oplysninger om unormal trafikafvikling som ovenfor, men hvor oplysningerne anvendes automatisk af et rutevejledningssystem i bilen

Rejseinformation

Rejseinformation er den information trafikanten gives inden rejsen påbegyndes for at kunne træffe den rigtige beslutning om valg af især transportmiddel, rute og tidspunkt. Informationen skal være aktuel og desuden afspejle den enkelte trafikants valgkriterier med hensyn til bl.a. pris, ankomsttidspunkt og præferencer for visse transportmidler.

Rejseinformationssystemer vil være med til at sikre en bedre fordeling af rejserne på transportmidler, på vejnettet og på forskellige tidspunkter.

Efterspørgselsstyring

De overordnede mål med efterspørgselsstyring er, ligesom for rejseinformation, at fordele rejserne bedst muligt på transportmidler, på de enkelte trafiknet og på tidspunkter.

Vejafgifter er en af styringsmulighederne, men afgifterne vil kun medvirke til opfyldelse af målene, hvis de gøres afhængige af vejens trafikale status, dvs. de gennemføres som såkaldte Road Pricing systemer.

Parkeringsstyring er en anden mulighed, hvormed man kan styre efterspørgslen specielt i bycentre, hvor en stor del af trafikanterne er afhængige af offentlige parkeringspladser.

Køretøjskontrol

Køretøjskontrol forventes at give et meget væsentligt bidrag til forøgelse af trafiksikkerheden, men den mest grundlæggende forudsætning er et system i bilerne til automatisk registrering af andre trafikanter inden for en vis sikker-

hedszone. Denne meget komplekse problemstilling søges beskrevet og løst inden for Prometheus projektet.

Herudover baseres køretøjskontrollen på registrering af køretøjets og chaufførens tilstand, på registrering af sigtbarhed og vejoverfladetilstand samt på styringssignaler, der modtages fra trafikstyringsfunktioner tilknyttet vejnettet.

De vigtigste funktioner inden for køretøjskontrol vil være bestemmelse af afstand til og relativ hastighed i forhold til øvrige trafikanter, samt efterfølgende anbefalinger til trafikanten eller direkte styring af køretøjet.

Godstrafik

Dette område omfatter funktioner, der kun er relevante for transportfirmaet, og funktioner der er relevante for både vejmyndighederne og transportfirmaet. Blandt de første kan nævnes:

- Flåde- og ruteplanlægning og styring
- Sporing af køretøjer
- Optimering af vognladningsstørrelser

Funktioner af relevans for begge parter:

- Tunge køretøjer holdes væk fra visse dele af vejnettet
- Rutelægning og overvågning af igangværende transporter af farligt gods
- Registrering af chaufførens tilstand og arbejdsbetingelser

Kollektiv trafik

Området kollektiv trafik omfatter funktioner, der anvendes af trafikselskabet, samt funktioner der er rettet mod passagererne. Først trafikselskabets funktioner:

- Planlægningssystemer der anvender statiske data til fx ruteplanlægning, køreplanlægning, køretøjsplanlægning og planlægning af vagtskemaer for chauffører
- Planlægning og styring af vedligeholdelse og reparation af køretøjsflåden
- Dynamisk kontrol og styring fx i nødsituationer, ved uhensigtsmæssig fordeling af passagerer mellem køretøjer og ved indsættelse af ekstra køretøjer

Funktioner rettet mod passagererne:

- Information om rutevalg mm. under rejsen
- Automatiske betalingssystemer

8.9 Funktioner og systemstruktur

Som nævnt tidligere findes der endnu ikke en entydig terminologi på området. I notatet "Intelligente veje og biler - Markedsmuligheder for nordiske virksomheder fra Vejdatalaboratoriet[7] blev et antal funktioner defineret og grupperet efter deres kommunikationsbehov. Den første gruppe omfatter køretøjsbaserede funktioner, der ikke forudsætter kommunikation med omverdenen:

1. Intelligent manøvreringshjælp (bremser, styring, gear etc.)
2. Synsforbedring (Ultraviolet-kørelys, synsforstærkning)
3. Overvågning og registrering af fører og køretøj ("black box")
4. Autonom navigationshjælp og rutevejledning
5. Autonom afstandskontrol

Den anden gruppe omfatter funktioner, der forudsætter stadig kommunikation mellem biler indbyrdes eller mellem bil og infrastruktur ("den intelligente vej"):

6. Intelligent kørselsstyring (afstand, hastighed mv.)
7. Risikoadvarsel (vej-, vejr- og trafikforhold)
8. Navigationshjælp (dynamisk)
9. Rutevejledning (dynamisk)
10. Parkeringsinformation og -vejledning
11. Turplanlægning
12. Rejseinformationsservice (hoteller, tankstationer, seværdigheder mm.)
13. Integreret styring af bytrafik (signalanlæg mm)
14. Integreret styring af motorvejs- og landevejstrafik
15. Prioritering af køretøjer (udrykning, offentlig transport)
16. Automatisk betaling (broer, motorveje, parkering, generel vejafgift)
17. Overvågning, træning og håndhævelse ("automatisk politi")
18. Nødkald fra køretøj (inklusiv positionsbestemmelse)
19. Efterspørgselsstyring ("Demand Management")
20. Flådestyring (bus, taxi, fragt, post, politi m.fl.)
21. Fragtstyring (styring af last, container etc.)
22. Personsøgning og direkte meddelelser

Nogle af de nævnte funktioner er traditionelt udført uden kommunikation mellem bil og vej (fx 11, 12, 13 og 14). De bliver imidlertid væsentligt mere avancerede, når de bygger på trafikdata, der løbende samles ind fra bilerne, ligesom information og signalering kan føres direkte ind i bilerne.

Også den tredje gruppe, der omfatter funktioner, som ikke berører trafikanterne direkte, kan drage nytte af data, der opsamles fra køretøjerne som supplement til eller erstatning for data, der opsamles ad traditionelle kanaler:

23. Trafikstatistik
24. Trafikplanlægning (modeller mv.)

Det vil føre for vidt her at komme ind på en nærmere beskrivelse af de enkelte funktioner, her henvises til førnævnte notat.

En af de store udfordringer er at definere et samlet kommunikationssystem, der kan håndtere alle disse funktioner i forskellige kombinationer. Det gælder om at undgå de problemer, som fx radio- og TV-branchen tidligere har haft med udstyr, der ikke passede sammen. Systemet skal på een gang være veldefineret, være åbent for forskellige typer af udstyr og samtidigt være flexibelt over for nye behov og muligheder. Det er ikke nogen let opgave!

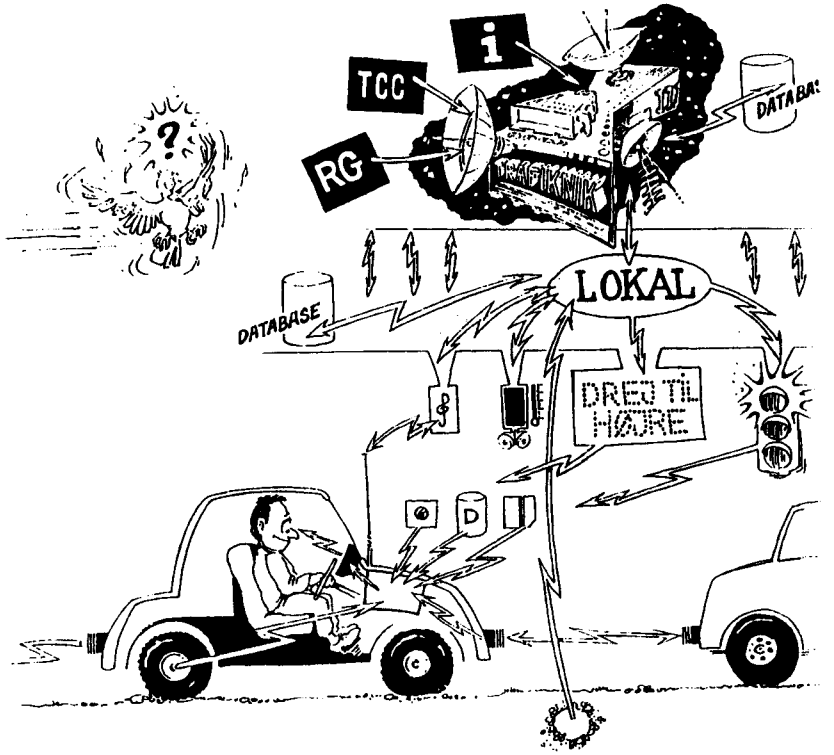
Man forestiller sig en standardiseret kommunikationsgrænseflade i bilen, der kommunikerer med omverdenen uden at trafikanten behøver at bekymre sig om, hvilket kommunikationsmedie, der bruges. Det kan være satellit, mobiltelefon, radio RDS (Radio Data System) eller lokale vejfyr, der bruges i flæng afhængigt af funktionen og den fysiske og geografiske placering af bilen. RDS blev i en begrænset form indført i Danmark i 1993.

Eksempel
I Berlin kan man opleve en prototype på et dynamisk rutevejledningssystem. Projektet, der hedder LISB (Leit- und Informations-System Berlin), har været i drift siden 1988. Det består af tre komponenter: et udstyr i bilen, infrarøde sendere på nogle af byens trafiksignaler og en trafikcentral, der bogstaveligt talt samler alle trådene, jf. figur 8.4.

I *bilen* findes udstyr til selvstændig navigation samt til kommunikation med infrastrukturen. Endelig er der et display, der kan give trafikanten rutevejlening samt en fjernbetjening til at taste information ind i systemet med (fx bestemmelsessted).

Kommunikationen sker via infrarød transmission mellem enhederne på signalanlæggene ("det 4. lys") og en enhed placeret foran bilens bakspejl.

Trafikcentralen består primært af et kraftigt edb-anlæg, der holder styr på vejnettet samt på de meldinger, der skal til og fra bilerne. Oplysninger om

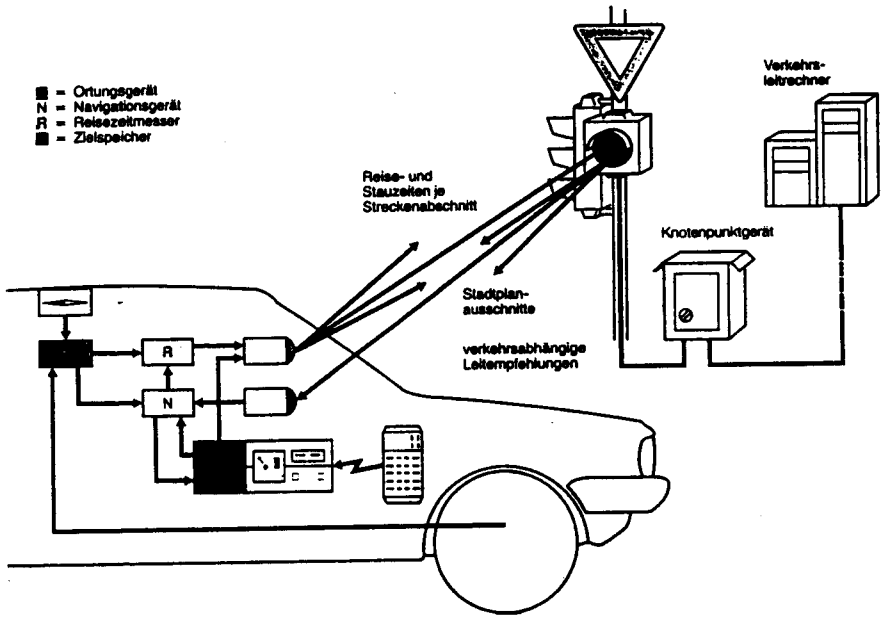


Figur 8.3 Systemstruktur?

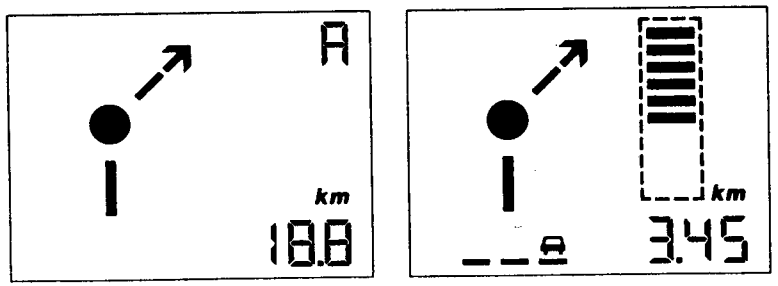
rejsetid på de enkelte strækninger modtages fx direkte fra bilerne, der registrerer, hvornår de passerer vejfyrene.

Man sætter sig ind i bilen og taster sit bestemmelsessted ind. På displayet kommer nu en retningsangivelse og en luftlinieafstand, baseret på det autonome navigeringsudstyr. Man kører af sted, og første gang, man passerer et vejfyr, får man en kvittering ved et lydsignal og en ny signatur på skærmen jf. figur 8.5.

Herefter bliver man dirigeret ved hjælp af skærmen og en stemme, så man ikke behøver at se på skærmen hele tiden (i så fald ville sikkerhedsgevinsten være tvivlsom). Prøvebilen bruger tysk tale, men tanken er naturligvis, at en dansk bil "taler dansk", uanset hvor den er i Europa. Før krydsene får man besked om at vælge bane, og man får en "nedtælling" til næste kryds. Det er meget afslappende at køre med, fordi man ikke behøver at koncentrere sig om vejskilte og evt. kort, men kan koncentrere sig om trafikken.



Figur 8.4 LISB-systemet.



Figur 8.5 Ruteangivelse for hhv selvstændig navigation og under systemkontrol.

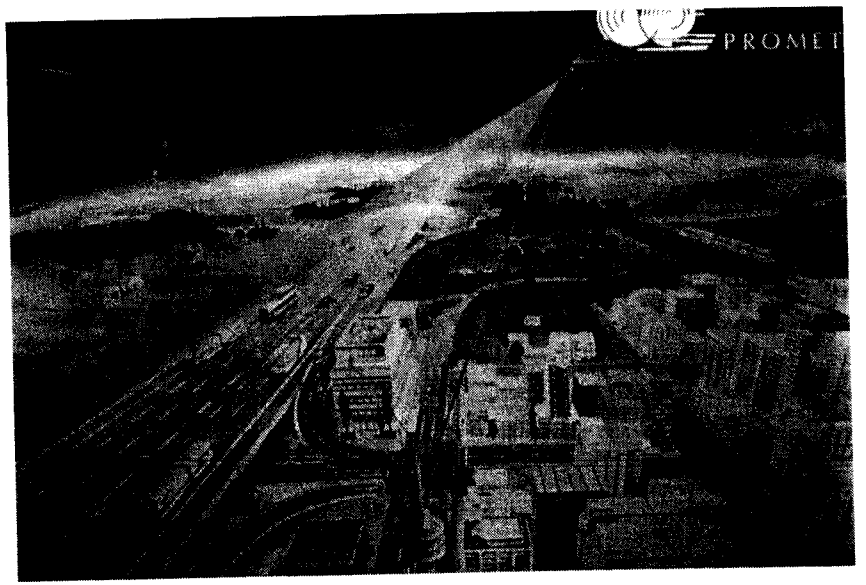
Systemet er primært beregnet til rutevejledning, men giver dermed også mulighed for at dirigere trafikken i byen. Det bliver nu udviklet til et generelt kommunikationssystem. En væsentlig ulempe ved systemet er, at udgifterne til infrastruktur er ret høje. Det er derfor nok tvivlsomt, om denne type system bliver særlig udbredt i praksis.

8.10 Forskning og udvikling

Trafikinformatik er et nyt område, og der foregår en meget intens forsknings- og udviklingsaktivitet på feltet. Bedst kendt er de store europæiske programmer DRIVE og Prometheus. Prometheus blev startet i 1987 af de europæiske bilfabrikker, der sammen ville udvikle "den intelligente bil". Som et modstykke hertil startede EF i 1988 DRIVE, der tilsvarende skal udvikle den "intelligente vej". Der er altså en klar arbejdsdeling, og der har løbende fundet en koordinering af aktiviteterne sted.

Der foreligger ikke meget offentligt materiale om Prometheus' aktiviteter, mens DRIVE løbende har orienteret om de igangværende projekter.[8,9,10] Gennem DRIVE-programmet (DRIVE-II), der startede i januar 1992, er der satset på at prøve den udviklede teknologi af i praksis i en række pilotprojekter. I disse projekter er der desuden arbejdet med strategier for styring og information. Endelig er der en række problemer, der skal løses i forbindelse med implementeringen af systemerne. Som et eksempel kan nævnes hele lovgivningen omkring afmærkning, ansvarsforhold, overvågning af individer mm. Forskningen i trafikinformatik vil blive fortsat i forbindelse med EU's 4. rammeprogram, der påbegyndes i 1995.

Også i USA og Japan arbejdes der målrettet på at udvikle den intelligente bil og vej. I USA har man organisationen ITS America (Intelligent Transportation Society of America) for alle interesserede parter: myndigheder, rådgivere, transport-



I forskningsprojektet Prometheus vil de europæiske bilfabrikker i fællesskab udvikle "den intelligente bil".

virksomheder, bil- og elektronikindustri, trafikantorganisationer m.fl. Organisationen driver hele den amerikanske F&U-indsats på området med støtte fra regeringen. I Japan har man tilsvarende organisationen VERTIS (Vehicle, Road and Traffic Intelligent Society).

Den europæiske pendant til ITS America og VERTIS er ERTICO (European Road Transport Telematics Implementation Co-ordination Organisation), som blev startet i 1991. I 1994 afholdtes i Paris den første verdenskongres for anvendelse af telematik inden for transportområdet.[11] Telematik er en anden ofte benyttet betegnelse for trafikinformatik.

Hvad gør vi herhjemme?

Fra dansk side deltager vi i DRIVE-programmet og andre EU projekter, både på forsknings- og udviklingssiden og i pilotprojekter. Både myndigheder, DTU, rådgivere og industrien er repræsenteret her. Derudover arbejder Vejdirektoratet på en strategi for, hvordan disse nye systemer bedst kan udnyttes i Danmark, og specielt hvilke krav, de stiller til data, teknologi og organisation.

Som afslutning kan det være på sin plads at erindre om, at de "smarte" systemer, vi bliver præsenteret for, ikke er meget værd, hvis ikke den bagvedliggende organisation og strategi er i orden, og hvis ikke de nødvendige data er til stede. Der bliver således udfordringer nok til fremtidens trafikingeniører.



Skiltning som forrudeinformation.

Appendix 8.1 - Eksempel på vejregel

Nedenfor er gengivet henholdsvis Bekendtgørelse om Vejafmærkning og Cirkulære om Vejafmærkning. Bekendtgørelsers og cirkulærers tekst skal følges og kan kun fraviges ved dispensation fra Trafikministeriet. I eksemplet er denne tekst vist med kursiv. Normer (som vises med dobbelt anførselstegn i margin) skal ligeledes følges og kan kun fraviges ved dispensation fra Trafikministeriet. Retningslinier (vist med enkelt anførselstegn i margin) bør følges, medmindre det konkrete tilfælde gør det nødvendigt eller fordelagtigt at fravige dem. Stoffet er yderligere inddelt i Vejledninger (ingen markering) og Kommentarer (vist med punktum og indrykning). Det bemærkes, at nedenstående eksempel på vejregel ikke indeholder normstof.

C 55 "Lokal hastighedsbegrænsning"

Bekendtgørelse om vejafmærkning, C 55
"Lokal hastighedsbegrænsning"

Hastighedsbegrænsningen kan ved vægtangivelse på undertavle begrænses til kun at gælde for køretøjer, herunder vogntog, hvis samlede tilladte totalvægt overstiger den angivne. Begrænsningen gælder uanset bestemmelsen i §12, stk. 2, indtil den ophæves ved ophørstavle, ved afstandsangivelse på undertavle eller ved angivelse af anden hastighedsbegrænsning.

Cirkulære om vejafmærkning, C 55
"Lokal hastighedsbegrænsning"

81. Vedrørende fastsættelse af lokale hastighedsbegrænsninger i andre tilfælde end ved jernbaneoverkørsler henvises til Justitsministeriets cirkulære om lokale hastighedsbegrænsninger.

Ved jernbaneoverkørsler, hvor der er tinglyst oversigt, skal der etableres lokal hastighedsbegrænsning de sidste 100 m før overkørslen.

Tavlen skal gentages efter alle betydende sideveje højst 50 m efter vejindmundingen og ved accelerationsbaner højst 50 m efter disses afslutning. Hvis sidevejen har en lavere hastighedsbegrænsning end den vej, der svinges ind på, kan ovenstående maksimale længde på 50 m øges indtil 150 m afhængig af de lokale forhold.

I øvrigt skal tavlen så vidt muligt gentages mindst for hver 500 m i tættere bebygget område og mindst for hver 800 m uden for tættere bebygget område (for motorveje 1500 m)

Lokal hastighedsbegrænsning ophæves bl.a. af E 42 "Motorvej", E 44 "motorvej ophører", E 55 "Tættere bebygget område" og E 56 "Ophør af tættere bebygget område".

Skal en lokal hastighedsbegrænsning gælde forbi en af disse tavler, skal C 55 gentages ved eller højst 60 m efter tavlen. C 55 må dog aldrig opsættes nærmere end 30 m før eller efte

E 55 "Tættere bebygget område", da dette efter de internationale bestemmelser vil betyde, at den på C 55-tavlen angivne hastighedsbegrænsning gælder for hele området efter E 55.

Forvarsling anvendes ikke ved C 55. I stedet kan hastigheden, hvor der er behov for det, nedtrappes med fx. 20 km for hver 200 m.

C 55 skal på veje med mere en en vognbane for samme færdselsretning opsættes ved begge sider af kørebanen.

Etablering af lokale hastighedsbegrænsning kan i særlige tilfælde være begrundet af en fare afmærket med advarselstavle, og i sådanne tilfælde opsættes første C 55-tavle på stander fælles med advarselstavlen. C 55 kan fx. opsættes sammen med A 19, A 31, A 33, A 36, A 37 og A 39, men ikke under A 41 og A 42.

Når tavlen opsættes ved jernbaneoverkørsler anvendes den i standardstørrelse og placeres i begge vejsider.

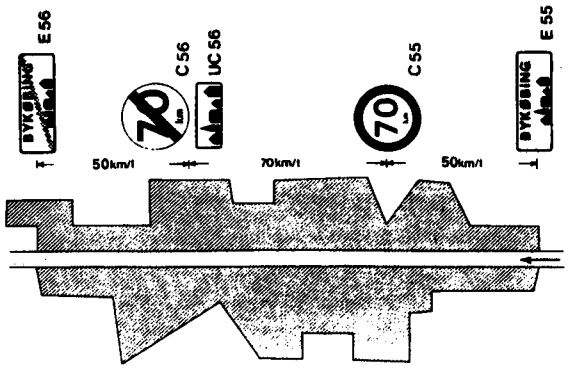
Hvor gentagelse af tavlen er vanskelig på grund af vejkonstruktionen fx. i, tunneler eller på smalle broer, der er længere end 500 m, forsynes C 55-, tavlen med undertavle type U 2 med strækningsangivelse.

Når den lokale hastighedsbegrænsning er højere end den generelle, hastighedsbegrænsning, fx på større veje i byområder, bør tavlen kunne opsættes efter sideveje, der har samme karakter af gennemfartsveje som den omhandlede vej og eventuelt ligeledes har en hastighedsbegrænsning, der er højere end den generelle.

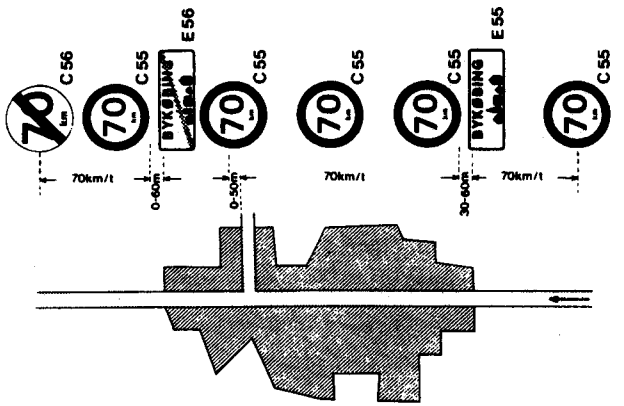
I byområder hvor de betydende sideveje ligger meget tæt kan C 55 opsættes med undertavle U 2 med strækningsangivelse for hver 500 m jf. principperne vist i Figur 3.

Figur 1 og 2 viser eksempler på afmærkning af lokal hastighedsbegrænsning gennem et tættere bebygget område. Det vedrører tavlerne C 55, C 56, E 55 og E 56 - se i øvrigt de sidstnævnte under oplysningstavlerne.

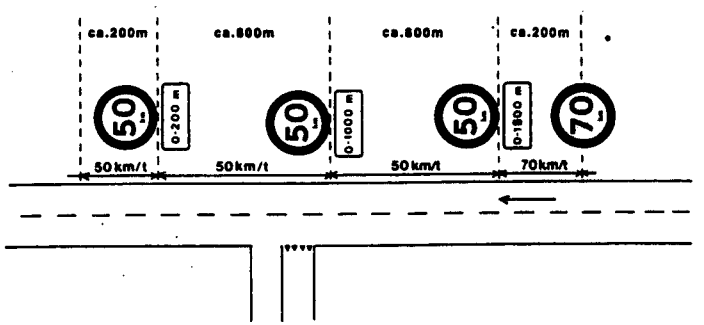
Af hensyn til overskueligheden er afmærkning ikke vist på tegningerne for retningerne fra venstre mod højre.



Figur 1 *Hævning af den generelle hastighedsgrænse inden for byzone.*



Figur 2 *Fortsættelse gennem byzone af hastighedsbegrænsning, der gælder uden for byzone.*



Figur 3 *Eksempel på hastighedsnedtrapning, gentagelsestavler og ophør uden for tættere bebygget område. Inden for tættere bebygget område er ækvidistancen mellem gentagelsestavler 500 m.*

C 56 "Ophør af lokal hastighedsbegrænsning

Bekendtgørelse om vejafmærkning, C 56
"Ophør af lokal hastighedsbegrænsning"
Tavlen kan være forsynet med undertavle med bysymbolet fra tavle E 55 for at understrege, at tavlen er opsat inden for tættere bebygget område.

Cirkulære om vejafmærkning, C 56
"Ophør af lokal hastighedsbegrænsning"
82. Tavlen kan udelades, hvor C 55 med strækningsangivelse er opsat 200 m eller mindre foran det sted, hvor hastighedsbegrænsningen ophører. Dette gælder dog ikke, når den angivne lokale hastighedsbegrænsning er højere end den generelle hastighedsbegrænsning for den pågældende vejstrækning, således at ophøret af den lokale hastighedsbegrænsning medfører en lavere tilladt hastighed.

Hvis det ikke af forholdene på stedet tydeligt fremgår, at man befinder sig inden for tættere bebygget område, kan tavlen C 56 forsynes med undertavle med bysymbolet fra tavle E 55.

C 56 kan opsættes alene i venstre vejside på bagsiden af C 55-tavlen for den modsatte færdselsretning. Dette gælder dog ikke, når den lokale hastighedsbegrænsning er højere en den generelle hastighedsbegrænsning for den pågældende vejstrækning.

- Lokal hastighedsbegrænsning kan - foruden ved anvendelse af C 56, C 59,
- E 42, E 44, E 55 og E 56 - også bringes til ophør som angivet under C 55.

Litteratur

1 Bekendtgørelse af Færdselslov. Justitsministeriets lovbekendtgørelse nr 735 af 24. august 1992.

2 Bekendtgørelse om Vejafmærkning. Justitsministeriets bekendtgørelse nr 590 af 24. juni 1992.

3 Cirkulære om Vejafmærkning. Justitsministeriets cirkulære nr. 96 af 24. jun 1992.

4 Vejregler. Vejudstyr. Færdselstavler 1992, Afmærkning på kørebanen 199 Afmærkning med vejvisningstavler 1986, m.fl.

5 European rules concerning road traffic, signs and signals. Vienna 1986 Geneva 1971-1973. European Conference og Ministers of Transport, February 1974.

6 Trafikanters forståelse for skiltning og kørebaneafmærkning. Et litteratu studium. Rådet for Trafiksikkerhedsforskning. Notat 3/1991.

7 Intelligente veje og biler - Markedsmuligheder for nordiske virksomhede Notat 3, Vejdatalaboratoriet, 1992.

8 DRIVE 91 - The DRIVE Programme in 1991. EF-kommissionen, DG XII Bruxelles, 1991.

9 Advanced Telematics in Road Transport. Proceedings of the DRIVE Conference, Brussels, February 4-6, 1991. EF-kommissionen, ELSEVIE Amsterdam 1991.

10 DRIVE 92 - The DRIVE Programme in 1992. EF-kommissionen, DG XII Bruxelles, 1992.

11 ERTICO, Proceedings of the First World Congress on Applications Transport Telematics and Intelligent Vehicle - Highway Systems, Vol. I,II III, Artech House, 1994.

Kapitel 9

Trafikplanlægningens mål og midler

Af Steen Leleur

9.1 Trafikplanlægning og vejtransport

En samfundsmæssig interesse i at regulere og styre trafiksektoren kan ses under to synsvinkler, nemlig 1): en kortsigtet med hensyn til trafikafvikling, hvor det gælder om - under de aktuelle muligheder og betingelser - at tilrettelægge afviklingen af trafikken bedst muligt og med færrest genevirkninger, og 2): en mere langsigtet, hvor udviklingen i trafiksektoren planlægges og påvirkes under hensyntagen til de mål og midler, der kan nås en politisk enighed om. I bogens foregående kapitler har sigtet primært været af trafikteknisk art mht. trafikafvikling, mens der i de følgende kapitler fokuseres på trafikplanlægning med særlig vægt på vejtransport.

Vejtrafik og andre transportformer

Den del af den danske transport, som benytter vejene, indtager en dominerende rolle sammenlignet med de øvrige transportformer banetransport, lufttransport og søtransport. Således udgør transport med bil, bus og cykel ca. 90% af det samlede persontrafikarbejde og lastbiltransporten ca. 80% af godstransportarbejdet. Fordelingen på transportformer i 1992 er opsummeret i nedenstående oversigt:[1]

	Persontransport (personkm)		Godstransport (tonkm)
Bil, bus og cykel	92%	Lastbil	76%
Bane	6%		8%
Fly	1%		-
Færge	1%	Skib/færge	16%

Tabel 9.1 Fordeling af persontrafikarbejde og godstransportarbejde i 1992 på transportformer.

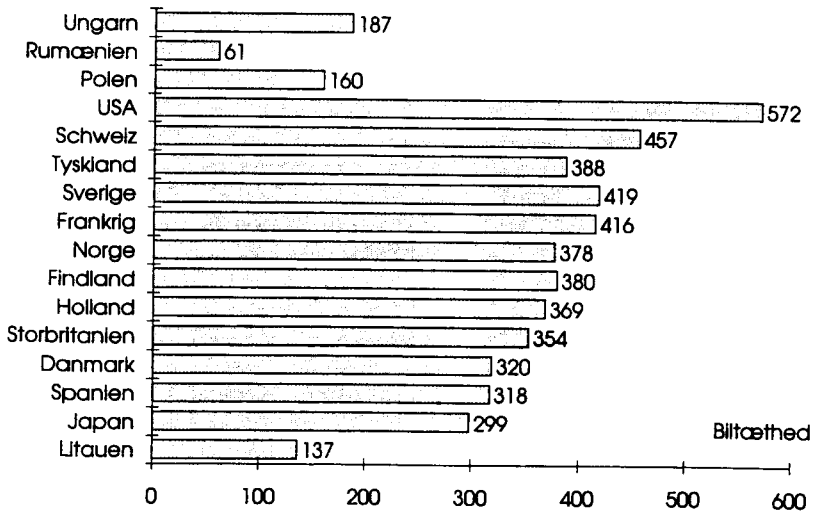
Som det er beskrevet i kapitel 1, kan transport ses som et samspil mellem efterspørgsel i form af transportbehov og udbud i form af det service- og omkostningsniveau, som den enkelte transportform indebærer. Med til at komplicer

samspillet - som der også er blevet gjort rede for - er, at en lang række sektorer og samfundsforhold både påvirker og påvirkes af trafikken. Yderligere kompliceret bliver billedet, når forståelse af trafiksektoren kan etableres som såkaldt forklarende faktorer på såvel samfunds- som individniveau dvs. i form af begreber og modeller på såvel makro- som på mikroniveauet.

Med hensyn til persontrafikken kan dens hastige vækst ses som et samspil mellem et stadigt rigere samfund kombineret med den enkelte husstands ønske om at omsætte den forøgede indkomst bl.a. i form af bilerhvervelse. Denne tendens er den samme i en række lande. I figur 9.1 er vist antal personbiler pr. 1000 indbyggere, også benævnt biltætheden.[1]

Som det ses, er USA i nærheden af en biltæthed på 600. Hvorvidt der hermed nås et mætningsniveau er uafklaret, ligesom det er uklart om de andre lande i løbet af en længere årrække - med en fortsat velstandsstigning forudsat - vil nå et niveau, der svarer til det amerikanske. På nuværende tidspunkt er der intet, der tyder på, at biltætheden noget sted er stagnerende. Hvor stærk den indbyggede tendens er, kan ses af, at oliekrisen i 1973, omend meget synlig i form af bilfrie motorveje om søndagen, kun har sat sig spor som en midlertidig udskydelse af trafiktilvæksten (se figur 1.1).

Med hensyn til godstransport internationalt indtager lastbilen en markant rolle. Med hensyn til de samlede godstransporter inden for EU gælder, at lastbilen udfører over 72%, mens banen står for 7% og skib. incl. de indre vandveje udgør 21%. Andelen for godstransport med fly er helt marginal (under 0,5‰). Tendensen er, at lastbilens stilling styrkes, hvorimod banerne mister markedsandele.[2]



Figur 9.1 Biltætheden i en række lande i form af antal personbiler pr. 1.000 indbyggere.

Udviklingen af mål på vejtrafikområdet

Mål og midler i trafikplanlægningen må ses på baggrund af det samfundsmæssige udviklingsperspektiv.

I 1960'erne, hvor vejtrafikkens tilvækst for alvor tog fart i forbindelse med højkonjunkturen, påbegyndtes udbygningen af det store motorvejs-H. Det mål, som her tilgodeses, kan sammenfattes i begrebet A): fremkommelighed, hvilket indebærer høj og relativ uforstyrret rejsehastighed. Indeholdt i målet om fremkommelighed er tidsbesparelse og besparelse i kørselsomkostninger. Samtidig tilgodeser motorvejsudbygningen også B): sikkerheden, idet kørsel på motorveje er markant sikrere end på andre veje. En nøjere forståelse af trafikafviklingens kvalitetsniveau, jfr. beskrivelsen af serviceniveau-begrebet i kapitel 3, var også med til at sikre, at strækninger med laveste niveau blev ombygget/nyanlagt først, hvorfor man også kan tale om C): komfort som et mål i planlægningen. En helt systematisk vurdering af vejnettet blev påbegyndt i form af vejinventering, hvor hver enkelt strækning blev målt igennem og tildelt en point-værdi med hensyn til dens konstruktive tilstrækkelighed samt med hensyn til sikkerhed og komfort. Resultatet af dette arbejde indgik i "Skitse til Vejplan" i 1975.[3] Med i vejplanskitsen var også en vurdering af behovet for manglende led i vejnettet, hvormed man også også kan aflæse, at et mål som D): tilgængelighed indgik "Skitse til Vejplan" var den første samlede vejplan for det overordnede vejnet, ide både hovedlandevejene, landeveje samt vigtigere kommunale veje indgik. Pla nens resultat forelå som tre femårs planer for udbygningen 1975-1990. Planens samlede udbygningsprogram er ikke tilnærmelsesvist gennemført, hvilket hæn ger sammen med en efterfølgende kraftig reduktion af de offentlige inve steringsmidler til nyanlæg af veje. Planen har dog vist sig at have været gansk robust med hensyn til de prioriteringer af behovene for nyanlæg, der var inde holdt i opdelingen mellem de tre femårs perioder. Dette fremgår af, at mange a planens projekter er udført, dog over et noget længere tidsrum end forudsat vejplanskitsen, men i den prioriterede rækkefølge.

I midten af 1970'erne gjorde en række nye mål sig gældende i vejplanlægninger ikke mindst ønsket om, at miljøfaktorer skulle indgå i planlægningen. Vej direktoratet tog denne opgave op ved i forbindelse med udarbejdelsen af e prioriteringsmetode at indarbejde målene E): støjreduktion, F): barriereredukti samt G): luftforureningsreduktion på kvantitativ vis.[4] Sammen med tids-, kø sels- og uheldskonsekvenser samt det enkelte projekts drifts- og anlægsudgift beregner metoden en såkaldt førsteårsforrentning, som kan bruges til at ran ordne anlægsprojekterne. Metoden er blevet anvendt til prioriteringsundersøge ser i 1979, 1981 og 1984.[5] Disse undersøgelser var aktualiserede af de nedskårn budgetrammer.



71% af persontransportarbejdet bliver udført med bil og godt 5% med cykel.

Med hensyn til trafikplanlægningen i byområder er et mål som H): bykvalitet aktuelt. En baggrund herfor skal ses i, at udbygnings-løsninger med nye vejanlæg ofte med fordel kan kasseres til fordel for løsninger, der lægger op til en mere balanceret brug af byens arealer.[6] Store gadegennembrud bringer ofte kun trafikken op på et højere niveau indtil samme trængselsniveau er nået igen. Samtidig hermed kan så andre problemer være opstået, fx på tilbringergader og -veje. Ikke kun i større byer er bykvalitet et trafikplanmål. Bykvalitet er også en væsentlig effekt i forbindelse med etableringen af miljøprioriterede gennemfarter, som er påbegyndt i midten af 1980'erne ved byer med gennemkørende trafik på vejnettet i det åbne land.[7] Med i bykvalitet hører også samspillet med den fysiske planlægning, som det kommer til udtryk i den vejledning for kommunernes trafikplanlægning, som er udsendt af Planstyrelsen.[8] Trafikplanlægningen kan således være et aktivt element i forbindelse med at gennemføre intentionerne i den fysiske planlægning. Det mest markante aktuelle eksempel udgøres af den planlagte Ørestad, hvis attraktivitet bl.a. begrundes ud fra en beliggenhed med god transportinfrastruktur.[9]

Senere tilkomne mål i forbindelse det overordnede vejnets udbygning er I): erhvervseffekter og J): sammenbinding af landsdele og lande. I forbindelse med en planlægningsundersøgelse af de midt- og nordjyske tværveje i 1989 har Vejdirektoratet søgt kvantitativt at opgøre betydningen af et forbedret vejnet for

erhvervslivet.[10] Med i erhvervseffekterne er de såkaldte logistikeffekter, som fremkommer ved, at lagerreduktioner kan foretages på grund af en opnået pålidelighed med hensyn til tid og sted af komponenter i en produktionsproces gennem høj transportregularitet.[11] Man har dog ikke kunnet etablere et metodegrundlag, som kan parallelliseres med, hvad der er er tilfældet for de øvrige mål eller projekteffekter. Det samme er tilfældet med en kvantificering af betydningen af "sammenbindings"-effekten fra Storebæltsforbindelsen samt fra de faste forbindelser over Øresund og Femarnsund.[12,13]

Transport er en integreret del af et moderne samfund. Et mål som K): mobilitet kan bruges til at udtrykke fordelen ved, at specialfunktioner i samfundslivet kan udvikles og bindes sammen gennem en nødvendig kommunikation, hvoraf den fysiske transport af personer og gods er en vigtig del. Udover en økonomisk fortolkning af betydningen af mobilitet kan også knyttes en social. Mobilitet - eller snarere mangel på samme - kan give sig udtryk i form af sociale konsekvenser pga. af nedsatte kontaktmuligheder. Mobiliteten som mål er vanskelig at knytte til bestemte elementer i transportnettet, hvorfor man kan tale om en systemeffekt i form af værdien af at have et mere eller mindre udviklet transportsystem. En anden systemeffekt, som gør sig gældende, er L:) de langsigtede miljøkonsekvenser i form af akkumulerede miljøskader, hvor transport er hovedårsag eller en medvirkende årsag. Et eksempel på førstnævnte er skovdøden, som primært sættes i forbindelse med bilernes udstødningsgasser, mens et eksempel på sidstnævnte er drivhuseffekten, hvor bilernes udstødning er en enkelt af de medvirkende forureningskilder. I målsættet for trafikplanlægning indgår miljøkonsekvenser således både lokalt, jf. målene E, F og G samt nationalt/globalt jf. L.

Med hensyn til udviklingen i målsættet for trafikplanlægning har to tendenser gjort sig gældende. Den første består i, at mål, som udtrykker forbedringer trafikalt set som højere fremkommelighed i form af nedsat rejsetid og reducerede kørselsomkostninger er blevet suppleret med mål for trafikkens gener dvs. mål for trafiksikkerhed i form af reduktion af ulykker og mål for reduktion af trafikkens miljøgener for tilgrænsende områder, fx støjreduktion. Den anden tendens består i, at målene fra at være knyttet til konkrete trafikforslag og deres placering er udstrakt til ikke blot at være af lokal, men også af regional/national og af national/global karakter. Således må erhvervseffekter og sammenbindingseffekter karakteriseres som regionale/nationale, mens mobilitet og de langsigtede miljøkonsekvenser har betydning såvel nationalt som internationalt. I alt er nævnt 12 forskellige mål, som skematisk kan rubriceres på følgende måde, idet de regionale/nationale mål kan karakteriseres ved at være en blanding af de lokale måls stedbundne karakter og de nationale/globale måls karakter af systemeffekter:

Lokale mål	Regionale/nationale mål	Nationale/globale mål
Fremkommelighed	Erhvervseffekter	Mobilitet
Sikkerhed	Sammenbindingseffekter	Langsigtede
Komfort		miljøkonsekvenser
Tilgængelighed		
Støjreduktion		
Barriereeffekt		
Luftforurening		
Bykvalitet		

Et af de grundlæggende spørgsmål, som kan stilles i forbindelse med planlægningen af trafiksystemets udvikling, drejer sig om betydningen af en forøget mobilitet overfor betydningen af de hertil knyttede akkumulerede, langsigtede miljøkonsekvenser. Politikerne kan næppe afæskes et entydigt svar, men på indirekte vis kan en vurdering af den betydning systemeffekterne tillægges, ses ud fra den stillingtagen, der gør sig gældende i forbindelse med konkrete planer, der bliver fremlagt. Som eksempler på trafiksystemplaner med forskelligt sigte skal i afsnit 9.3 gives en beskrivelse af en række plandokumenter og rapporter udsendt gennem de seneste år.

Alle de ovenfor nævnte mål kan ikke tillægges samme betydning, hvilket hænger sammen med, at de midler i form af projekter i videste forstand, som kan tages i anvendelse, samt regulerende indgreb af forskellig art, vil indebære konkrete målafvejninger og kompromisser. Trafikplanlægningens opgave er at synliggøre spektret af valgmuligheder i form af konsekvensbeskrivelser og herigennem forbedre grundlaget for den politiske stillingtagen. Et problem for trafikplanlægning - og for andre typer planlægning - er, at videngrundlaget som regel altid vil kunne forbedres, hvilket vil fremgå af det følgende, hvor planlægningsprocessen beskrives.

9.2 Planlægningsprocessen

Formålet med planlægning er at kombinere mål med midler, så en ønsket udvikling fremmes mest muligt.

Som nævnt ovenfor knytter en lang række mål sig til trafik- og vejsektorområdet. En stor del af disse er projekt-specifikke, hvormed menes, at det enkelte projekt, hvad enten det er en mindre vejombygning, et nyanlæg af en længere motorvejsstrækning eller en ny busrute i et byområde, kan konsekvensbeskrives med hensyn til måleffekter. Konkrete eksempler herpå er beskrevet i kapitel 14. De to sidstnævnte mål i målsættet nævnt ovenfor er system-specifikke forstået på den

måde, at de knytter sig til omfanget og sammensætningen af trafiksystemet mer end til enkeltprojekter. Ikke mindst ved store investeringsprojekter på trafikom rådet bør begge de system-specifikke mål om mobilitet og langsigtede miljøkon sekvenser inddrages og afvejes.

Planlægningstankegangen

Planlægning spænder bredt som aktivitet. Man kan tale om planlægning i forbin delse med en prioriteret indsats ved black-spot bekæmpelse, ligesom man ka tale om planlægning i forbindelse med kortlægning og konsekvensbeskrivelse a langsigtede udviklingsstrategier. I begge tilfælde har planlægningen en teknis og en politisk komponent. Ved black-spot bekæmpelsen er det politiske indhol nok så meget knyttet til selve størrelsen af den samlede investering på årsbasis t black-spot programmet, idet anerkendte planlægningsprincipper og -metode sikrer den mest effektive anvendelse af de investeringsmidler, der er stillet t rådighed. Ved planlægningen af langsigtede udviklingsstrategier, fx om indsa sen skal koncentreres i byområder eller i det åbne land eller på store enkeltpr jekter eller mange mindre udbygnings- og ombygningsprojekter, udstrækkes de politiske komponent også til midlerne og de underliggende principper. Når d imidlertid er berettiget at tale om planlægning i begge tilfælde skyldes det, at e række elementer i planlægningsprocessen er de samme i begge de nævnte tilfælde

Traditionelt ser man planlægningstankegangen beskrevet ved følgende trin:

1. Problemformulering
2. Opstilling af mål
3. Opstilling af planforslag
4. Konsekvensberegning af planforslag
5. Vurdering og valg af planforslag
6. Implementering

Dette planlægningsskema er nyttigt såvel ved opstilling af black-spot prograr met som ved arbejdet med den langsigtede udviklingsplan, hvilket er baggru den for, at man taler om planlægning i begge tilfælde.

En nyere erkendelse af, at planlægningens betydning ligger i den faktiske indfl delse den har - eller får - på konkrete beslutninger - kommer dog ikke til udtr gennem skemaet.[14]

Inden en nærmere beskrivelse af planlægningsprocessen skal derfor fokuseres de elementer, der indgår ved et beslutningsforløb - dvs. i beslutningsprocesse Den efterfølgende model af planlægningsprocessen er således knyttet til forståelse af processerne ved beslutningstagen. Man kan derfor tale om en besl ningsorienteret model af planlægningsprocessen.

Beslutningsprocessen

Beslutningsprocessen kan idealiseret beskrives ved i alt 5 trin, jf. figur 9.2:[15]

I en indledende søgefase, trin 1, klarlægges problemet og i trin 2 og 3, som ligeledes er søgefaser, klarlægges alternativer og disses konsekvenser. På trin 4 sammenlignes alternativerne og på trin 5, som er den egentlige beslutning, foregår valg af alternativ. Målsætning og information er af betydning på alle trin, men på diagrammet er det søgt anskueliggjort, at behovet for information sædvanligvis er størst i den første del af beslutningsprocessen, mens målsætningen - den aktive afgrænsning af målsættet og den direkte eller indirekte afvejning af de indgående mål - gør sig stærkere gældende i den sidste del. Til at begynde med orienterer beslutningstageren sig relativt ubundet i mængden af muligheder. Efterhånden indsnævrer antallet af relevante alternativer sig, og de udpegede mål gør sig stærkere gældende for til sidst at være udslagsgivende ved det endelige valg af alternativ.

Som det fremgår af diagrammet er beslutningsprocessen iterativ, og der må forventes ofte flere returneringer til tidligere trin med justering af målsætning og informationsindhentning.

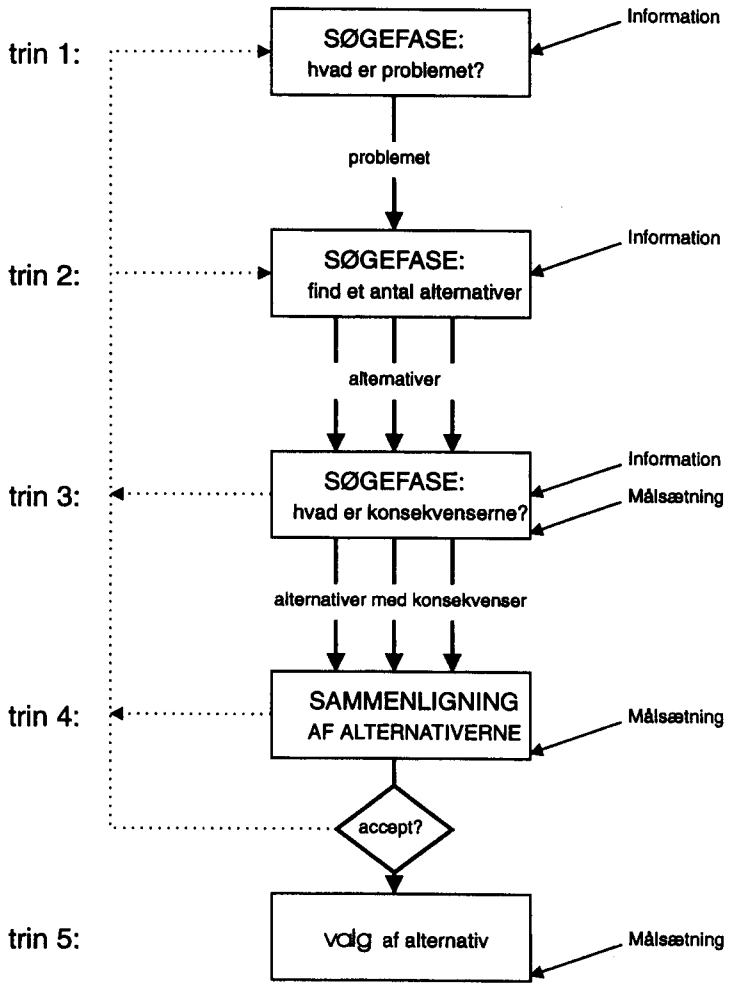
I et planlægningsforløb træffes en mængde beslutninger af højst forskellig karakter og af vidt forskellig rækkevidde, men som regel alle på en eller anden måde af betydning for det endelige resultat. Delbeslutninger indgår i overordnede beslutninger og er med til at påvirke det endelige resultat af planlægningsarbejdet.

Planlægningen fremstår på denne baggrund som en søge-lære proces eller søge-lære-forhandle proces, når de involverede parter forhandler planlægningsspørgsmål undervejs i forløbet.[16]

En beslutningsorienteret planlægningsmodel

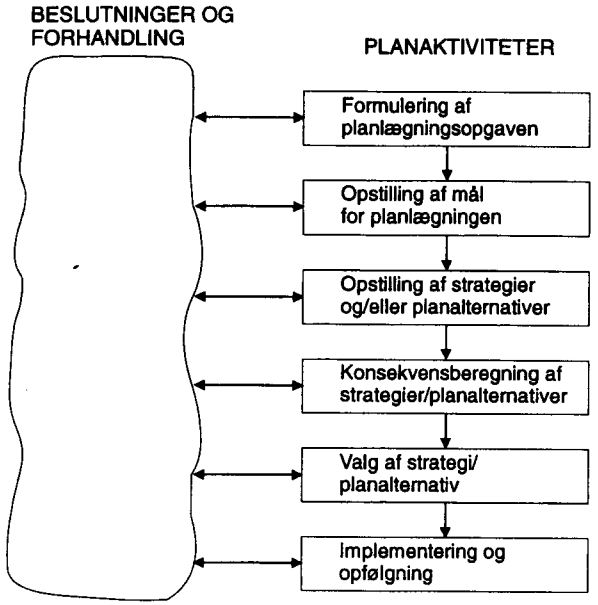
Det traditionelle planlægningsskema er i for sig ikke i modstrid med ovennævnte model af beslutningsprocessen. Planlægningsskemaet giver imidlertid indtryk af planlægning som en teknisk disciplin alene, hvilket er en for snæver opfattelse. Afgørende delbeslutninger mv. kan være kritiske for det videre forløb, hvorfor en planlægningsmodel bør afspejle, at 1): beslutninger indgår i planlægningen og at 2): planlægningen lægger op til at påvirke beslutninger. I figur 9.3 er vist en sådan beslutningsorienteret planlægningsmodel.

Den beslutningsorienterede planlægningsmodel udtrykker, at planlægningen udgøres af et samspil mellem Søge-Lære-Forhandle aktiviteter (SLF-aktiviteter). Hermed blandes planlægningsopgavens tekniske muligheder og bindinger med muligheder og bindinger af organisatorisk og politisk art. Et krav, der på denne



Figur 9.2 Model af beslutningsprocessen.

baggrund bør stilles til planlægningen som en demokratisk aktivitet, er, at processens samlede forløb forekommer forståeligt og gennemskueligt med hensyr til de kritiske faktorer. Kun herigennem kan planlægningens resultater accepteres.[16]



Figur 9.3 En beslutningsorienteret planlægningsmodel: Planlægningsprocessen som et SLF-samspil mellem beslutninger og planaktiviteter i (Søge-Lære-Forhandle).

9.3 Planlægningsperspektiver

I det følgende skal gennemgås nogle plandokumenter og rapporter, der giver hver sit perspektiv på det fremtidige danske vejtrafiksystem.

"Veje i fremtidens Danmark"

Dette plandokument, som er udgivet af Dansk Vejforening i 1991, ønsker ikke at begrænse biltrafikken og lægger et samlet forslag frem til, hvordan hastigheder kan øges samtidigt med, at trafiksikkerheden og miljøet kan forbedres.[17]

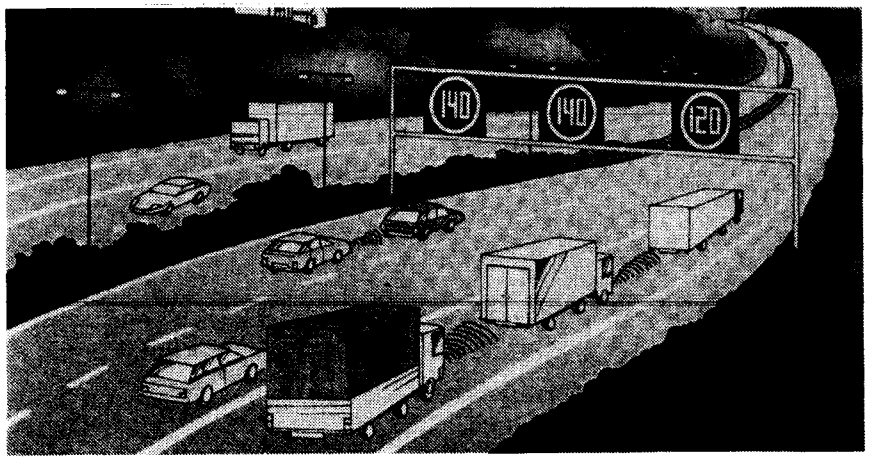
Der er opstillet følgende fem hovedmål for vejtransportsystemet:

I: At fremme erhvervslivets konkurrenceevne
II: At forbedre trafiksikkerheden
III: At reducere miljøproblemerne
IV: At forbedre vejtrafikanternes service
V: At drive vejtransportsystemet billigst muligt

Planens hovedforslag er etableringen af et sammenhængende, elektronisk styret motorvejsnet på ca. 5.300 km, som skal udgøre det fremtidige overordnede vejnet. Planen opererer med en inddeling af motorvejsnettet i følgende tre klasser:

1. Et ca. 600 km langt 6-sporet supermotorvejsnet, som fremkommer ved ombygning/udbygning af de nuværende strækninger i det store H. To af de seks spor reserveres til lastbiler over 6 tons. Som følge af elektronisk styring er den størst mulige hastighed fastsat til 140 km/h for personbiler og 120 km/h for lastbiler. Supermotorvejene vil betjene de største danske byer, herunder de tre landsdelscentre. Supermotorvejen er illustreret i figur 9.4.
2. Et ca. 1700 km langt 4-sporet standardmotorvejsnet, hvis udstrækning er fastlagt, så alle byer med over 10.000 indbyggere vil blive betjent af nettet, såfremt de ikke er betjent af supermotorvejsnettet. Standardmotorvejene er ligeledes tænkt forsynet med elektronisk styring og foreslås dimensioneret til en højeste hastighed for personbiler på 130 km/h og for lastbiler på 110 km/h.
3. Et ca. 3.000 km langt 2-sporet semimotorvejsnet, som skal betjene alle byer med over 3.000 indbyggere, som ikke er betjent af super- eller standardmotorvejsnettet. Disse semimotorveje dimensioneres til en hastighed på 120 km/h for personbiler og 100 km/h for lastbiler. I en vis udstrækning tænkes nettet udstyret med elektronisk styring. Semimotorvejene anlægges uden skæringer i niveau, hvorved de vil adskille sig fra nuværende motortrafikvejsstrækninger. Overalt vil vejene blive ført uden om byerne.

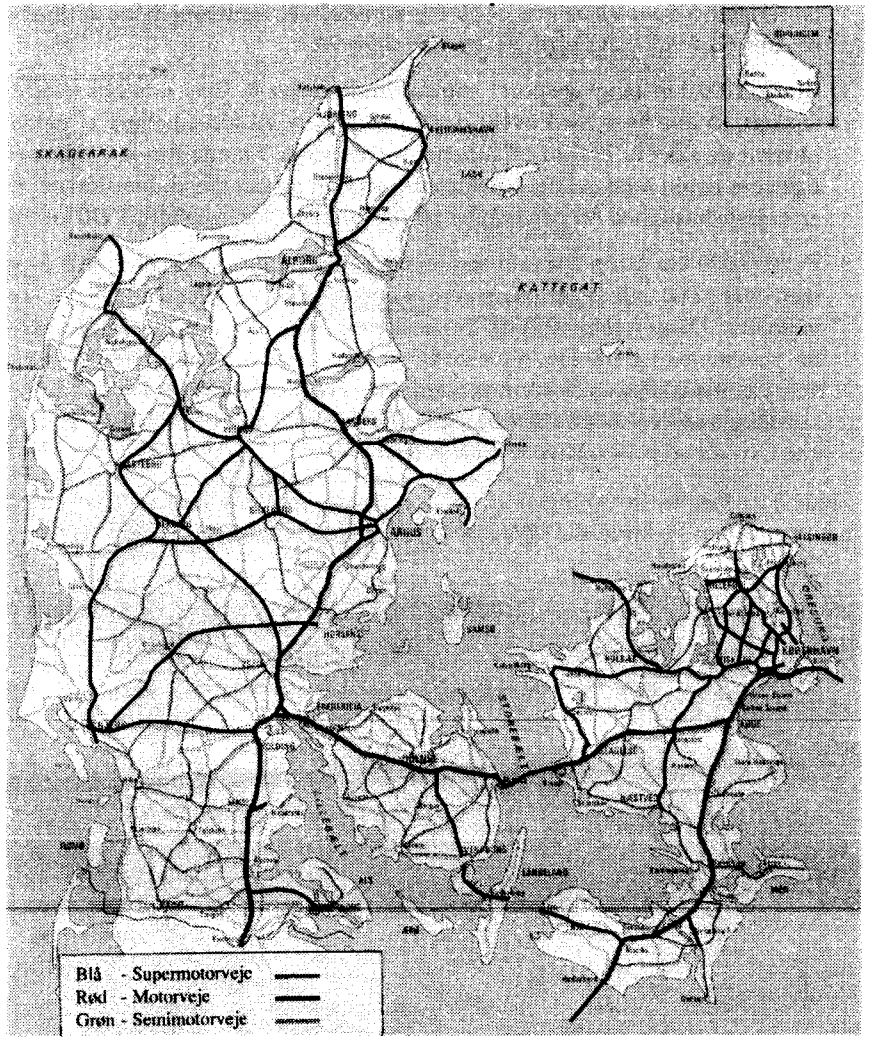
Figur 9.5 viser udstrækningen af det foreslåede, samlede motorvejsnet. Med hensyn til den elektroniske styring, som indgår i alle tre net, peges der som



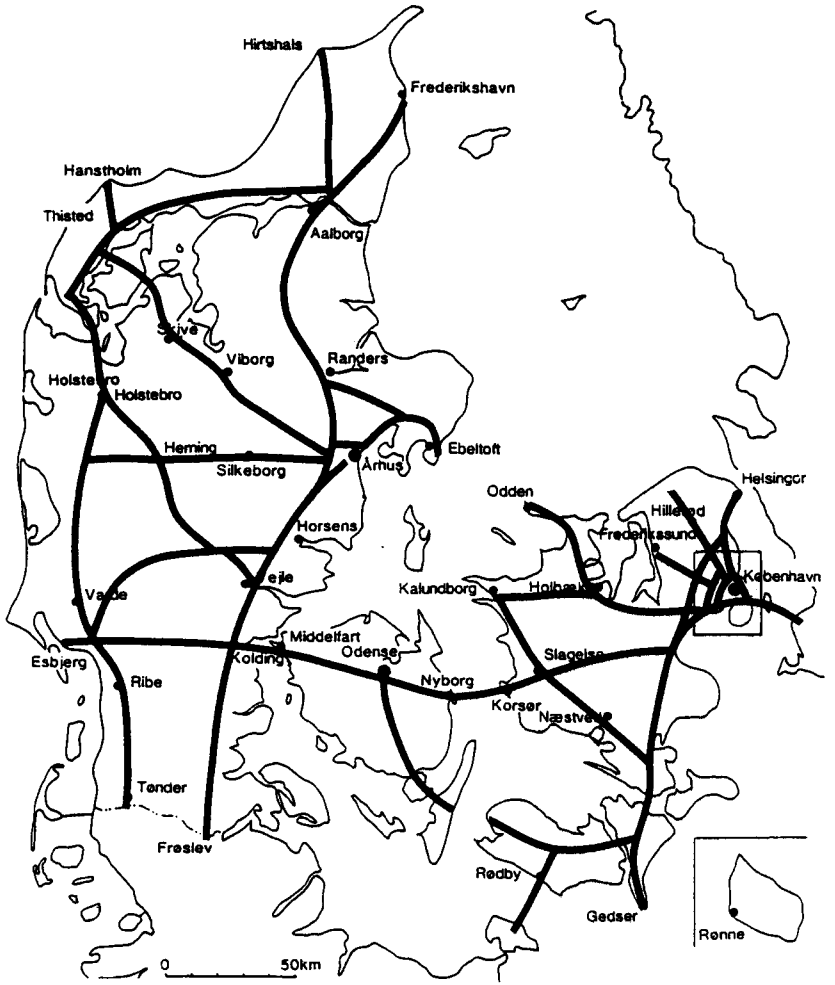
Figur 9.4 Skitse af de foreslåede supermotorveje i "Veje i fremtidens Danmark".

specifikation på a): elektronisk afstandskontrol via et signal på instrumentpanel, b): overhalingstilladelse også på instrumentpanel baseret på detektorer i vejbanen samt c): elektroniske lystavler, som etableres med mellemrum til angivelse af maksimale hastigheder ud fra trafikmængder og vejrforhold samt til forvarsling af kødannelser og biler med motorstop.

Sammenlignes Dansk Vejforenings planforslag for det overordnede vejnet med et scenario for dette vejnet år 2015 udarbejdet af Vejdirektoratet også i 1991 og vist i



Figur 9.5 Danmarks overordnede vejnet i år 2010 ifølge "Veje i fremtidens Danmark" udgivet af Dansk Vejforening.



Figur 9.6 Danmarks overordnede vejnet i år 2015 ifølge "Fremtidens veje" udgivet af Vejdirektoratet.

figur 9.6, ses, at Vejforeningen bl.a. ud fra de angivne standarder satser på den største udbygning.[18] Vejdirektoratet opererer i sin fremtidsvision med et såkaldt stamvejnet bestående af motor- og motortrafikveje.

Med hensyn til byernes vejnet foreslår Vejforeningen hastigheden nedsat fra de nuværende 50 km/h til 40 km/h og på boligveje en generel hastighedsgrænse på 30 km/h. På de lokale veje uden for byområder bør hastigheden ifølge forslaget sættes til 60 km/h. Vejforeningen anbefaler samtidigt fysiske ændringer for

lokalvejene i byområder, så cykel- og fodgængertrafik får større arealer til rådighed og peger på omfattende beplantning som afskærmningsmulighed mellem vej og cykel/gangsti, jf. figur 9.7.

Hvad angår trafiksikkerheden mener Vejforeningen med sit forslag at kunne reducere antallet af dræbte og tilskadekomne med ca. 3.900 om året i tilgift til de ca. 4.600, som er den årlige reduktion som påregnes ved gennemførelsen af Færdselssikkerhedskommissionens færdselssikkerhedspolitiske handlingsplan fra 1988. Sammenlagt fås hermed en reduktion på i alt ca. ¾ af det nuværende antal dræbte og tilskadekomne om året på ca. 11.000.

Vejforeningens forslag bygger på en samlet investering i det overordnede vejnet frem til 2010 på i alt ca. 60 mia. kr. Strategien er en stærk differentiering af vejnettet i hastighedsklasser, ikke kun i åbent land men også i byområder, samtidigt med, at der satses på elektronisk styring.

Sammenfattende må forslaget ses som stærkt vækstorienteret med hensyn til biltrafikken. Med hensyn til miljøgener hedder det således, idet der citeres fra s. 34 om mulighederne for reduktion af bilernes luftforurening:

Et problem, som ikke umiddelbart kan løses i dag, er en reduktion af CO_2-udslippet. Det har derfor været foreslået, at man for at reducere CO_2-udslippet skulle begrænse biltrafikken. For det første ville en sådan begrænsning have betydelige samfundsøkonomiske



Figur 9.7 Illustration af lokalveje i byområder fra "Veje i fremtidens Danmark" (oprindelig fra "Hovedlandeveje gennem byer - et idékatalog, Vejdirektoratet, Planlægningsområdet, 1981).

ulemper, og for det andet ville en begrænsning af bilforbruget blot føre til øget energifor brug i erhvervslivet, eksempelvis fordi der skal opretholdes flere lagre og produktions steder.

CO_2-problemet er et globalt problem og bør løses ved at sætte ind, der hvor reduktione kan ske billigst muligt. Den mest effektive måde at begrænse CO_2-problemet på i dag e enten at genplante skov i regnskovsområderne eller investere i energieffektive kraftværk i østlandene og visse udviklingslande.

"Regeringens transporthandlingsplan"

Sammen med rapporten "Energi 2000"[19] fra 1990 udgør "Regeringens transpor handlingsplan"[2] også fra 1990 to sektorministeriers - energiministeriets og trafil ministeriets - opfølgning af den såkaldte Brundtlandrapport[20] fra 1987. Begge c to nævnte rapporter har baggrund i "Regeringens handlingsplan for miljø c udvikling"[21] fra 1988, som blev udarbejdet ud fra Brundtlandrapportens udvi lingsperspektiv.

Brundtlandrapporten - opkaldt efter den norske statsminister, som stod i spids for den Verdenskommission, som forestod arbejdet - påpeger bl.a. følgen emneområder:

- Forstærket global drivhuseffekt med deraf følgende risiko for uoverskueli klimaforandringer
- Forsuringsskader på naturen, bygningsværker mv.
- Helbredsproblemer

Det er Brundtlandrapportens fortjeneste, at disse emner for alvor er blevet sat dagsordenen i de enkelte landes planlægning. Centralt i Brundtlandrapporte analyse er nødvendigheden af en såkaldt bæredygtig udvikling. Hermed mer en udvikling, der tilfredsstiller dagens behov uden at ødelægge fremtidige ge rationers mulighed for at tilfredsstille deres behov til den tid. Med hensyn økonomisk vækst påpeges det, at væksten må ske inden for de grænser natu sætter og under hensyntagen til en mere jævn fordeling af goder mellem lande Forbrugsmønstret - og herunder også transportforbruget - i de rige lande, s Danmark hører til, må bringes i overensstemmelse med de globale økologi rammer.

Trafikkens miljøkonsekvenser er et sammensat felt, men består bl.a. af bidra nedenstående hovedkomponenter:

- Kuldioxid (CO_2) er årsagen til halvdelen af det menneskeskabte bidra drivhus-effekten
- Svovldioxid (SO_2) er hovedårsagen til forsuring af miljøet, som fx viser sig s skov- og fiskedød

- Kvælstofilter (NO og NO_2, tilsammen benævnt NO_x) medvirker til forsurings-problemet. I byer udgør NO_x også et sundhedsproblem, især for astmatikere, da stoffet påvirker luftvejene

I kapitel 12 er givet en nærmere beskrivelse af disse hovedkomponenter sammen med en gennemgang af trafikkens miljøkonsekvenser.

Efter en række analyser munder transporthandlingsplanen ud i en række mål for bl.a. ovennævnte komponenter, idet 1988 er brugt som reference-niveau:

- Der skal ske en stabilisering af energiforbrug og CO_2-emission inden år 2005 og en reduktion på 25% frem til år 2030
- Der skal ske en reduktion af NO_x på mindst 40% inden år 2000, en reduktion på 60% inden år 2010 og en yderligere reduktion frem til år 2030
- Der opstilles ikke måltal særskilt for SO_2, da udslippet fra transportsektoren ikke er vurderet af særlig betydning.

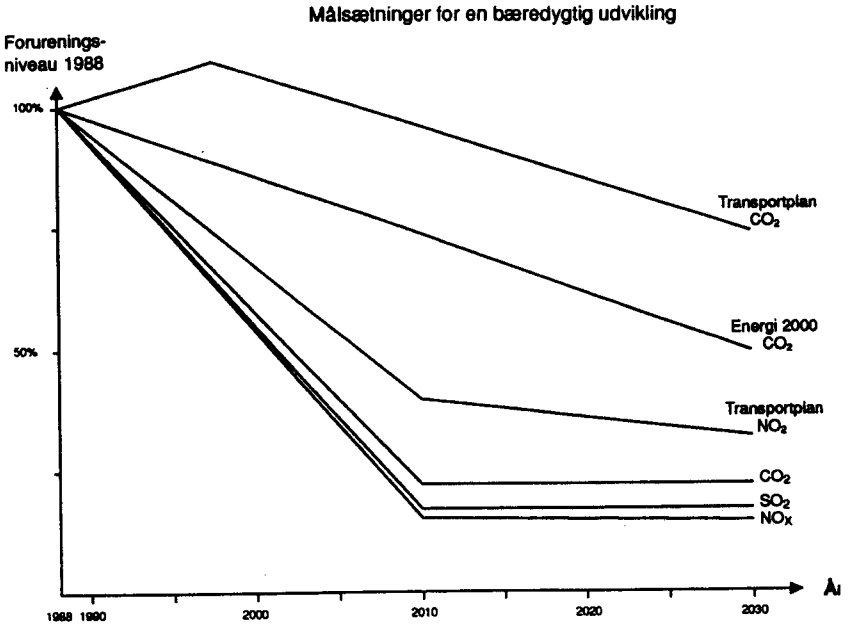
Hvorvidt en bæredygtig udvikling er opnåelig på dette grundlag står ikke helt klart ud fra rapportens tekst. En bæredygtig transportpolitik udlægges nemlig mere som en effektivisering inden for nogle valgte rammer end ud fra størrelsen af disse rammer. Således hedder det til indledning i rapportens kapitel 10 om handlingsplan:

En bæredygtig transportpolitik har som hovedformål at fremme et effektivt fungerende trafiksystem til gavn for borgerne og erhvervsliv, hvor trafikkens skadelige virkninger, fx i form af miljøbelastninger og trafikuheld, minimeres i overensstemmelse med gældende målsætninger.

En mere konkret analyse af transport og bæredygtig udvikling er foretaget i Teknologinævnets projekt afrapporteret efteråret 1991 med "Energi, trafik og miljø".[22] Her er der taget udgangspunkt i såkaldt kritiske komponent-belastningsværdier, som angiver de maksimalt tilladelige belastninger, der vurderes ikke at ville medføre varige skader på natur eller mennesker. Der er anvendt talværdier, der bygger på arbejde i Nordisk Råd- og FN regi. Med hensyn til CO_2 er FNs klimapanel, IPCC, nået frem til, at koncentrationen af CO_2 i atmosfæren bør stabiliseres på dagens niveau, hvilket betyder, at det nuværende udslip fra hele jorden skal mindskes med mere end 60%. Såfremt der samtidigt skal være mulighed for U-landene til at øge deres energiforbrug, skal der ske en yderligere reduktion i de industrialiserede lande.

I Teknologinævnets rapport er anført følgende måltal, også med 1988 som reference-niveau:

- CO_2-udslippet skal reduceres med 77% (til 14,7 mio.tons/år)
- SO_2-udslippet skal reduceres med 82% (til 43.000 tons/år)



Figur 9.8 Sammenstilling af mål mht. bæredygtig udvikling i Teknologinævnets projek "Energi 2000" og "Regeringens transporthandlingsplan".

- NO_x-udslippet skal reduceres med 85% (til 37.000 tons/år)

Målene er forudsat nået i 2010. I figur 9.8 er målene i projektet vist sammen me målene i "Energi 2000" og " Regeringens transporthandlingsplan":

Markant ved denne sammenstilling er transporthandlingsplanens lave mål fc reduktion af CO_2 sammenlignet med de to øvrige rapporter. Baggrunden herfc er den forudsatte vækst for persontrafik på 40% og for godstransport på 55%.

Teknologinævnets projekt foretager en analyse af transportsektorens mulighed for at opfylde de formulerede mål. Hertil kræves drastiske ændringer, bl. forudsætter man, at ¾ af den persontrafik, der i dag sker med bil, kan overflytte til kollektive trafikformer. Selv hermed kan måltallene for en bæredygtig udvil ling ikke nås. Således kan CO_2 begrænses med 55% (måltal 77%) og NO_x me 80% (måltal 85%). Det konkluderes, at det tilsyneladende ikke er muligt at forer en bæredygtig udvikling med en trafikvækst på 40%-55%, hvilket udmøntes følgende fundamentale stillingtagen: Skal transportsektoren slippe med lave miljøkrav ? Eller skal vi hellere bremse trafikvæksten?

Hvilket udviklingsperspektiv?

I Vejforeningens udviklingsperspektiv sættes mobilitet og individuel trafik i højsædet, mens Teknologinævnets projekt fremhæver nødvendigheden af en satsning på et miljøvenligt, kollektivt trafiksystem ud fra en bedst mulig opfyldelse af målene for en bæredygtig udvikling. At trafiksektoren i Danmark skal indrette sig på en bæredygtig udvikling er formuleret både i "Regeringens transporthandlingsplan" og i "Trafik 2005", som vil blive omtalt nedenfor.

Et dansk udviklingsperspektiv må naturligvis ses i en europæisk sammenhæng. Af stor betydning er således den transportkrise, som er blevet forudset af den såkaldte Group Transport 2000 Plus med rapporten "Transport in a Fast Changing Europe" fra 1990.[24] Krisen er af såvel trafikafviklingsmæssig art som miljømæssig og forudsiges for de centrale dele af Europa. Med en tidsmæssig forskydning må det forventes, at disse trafik- samt trafikskabte problemer vil nå et tilsvarende omfang i Danmark. Disse spørgsmål er indgået centralt i arbejdet med "Trafik 2005" og i EU-kommissionens hvidbog om en fælles europæisk transportpolitik "The Future Development of The Common Transport Policy", som blev udsendt i december 1992.[25]

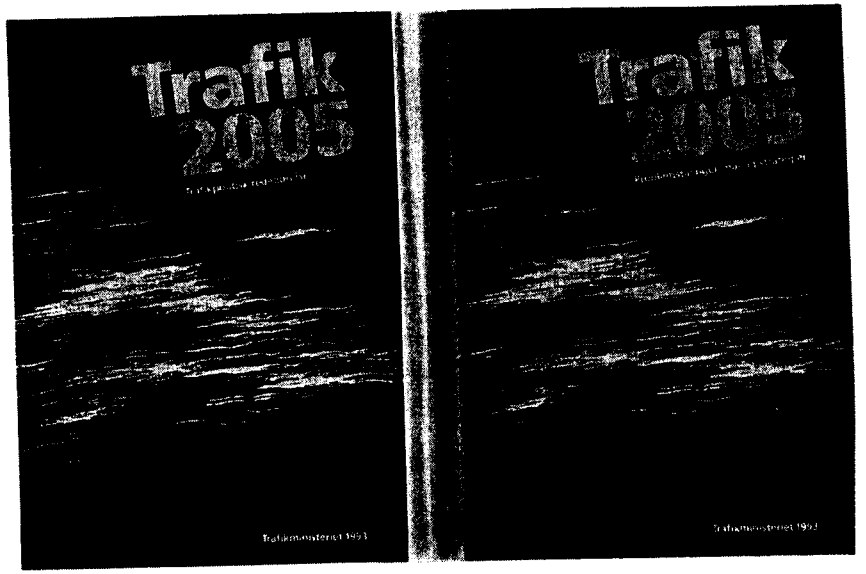
Relateres udviklingsperspektivet til det opstillede målsæt for trafikplanlægning i afsnit 9.1 ses, at en påtrængende opgave er en stillingtagen til betydningen af systemeffekterne mobilitet og de langsigtede miljøvirkninger. Dette skyldes ikke mindst den over årene uændrede og tilsyneladende konstante anskaffelse af nye biler som en del af velstandsstigningen.

"Trafik 2005" - Mod en ny balance

Ovennævnte spørgsmål er som nævnt behandlet i den trafikpolitiske redegørelse "Trafik 2005", som er udsendt af Trafikministeriet december 1993 sammen med en trafikplan omhandlende problemstillinger, mål og strategier.[26]

Vedrørende mål og strategier hedder det i "Trafik 2005":
Det er regeringens opfattelse, at der på transportområdet i årene frem skal skabes en ny balance mellem udvikling og miljø, baseret på princippet om bæredygtig vækst.
Opgaven bliver at udvikle og omlægge transportsystemet, så der opnås den nødvendige mobilitet inden for de grænser, der sættes af hensynet til ressourceforbruget og miljøbelastningen, herunder energi, klima, luftforurening, færdselsulykker og støjbelastning.
Både person- og godstransportarbejdet forventes at stige markant de næste 10-20 år. Det er regeringens opfattelse, at denne trafikvækst må påvirkes, så væksten og dens miljøkonsekvenser samlet set bliver mindre end det, der ellers kunne forventes.

Regeringen vil forfølge fem overordnede strategier for at nå sine mål:
1. *Påvirkning af trafik- og transportarbejdets omfang og fordeling på transportmidler.*



"Trafik 2005" består af rapporterne "Trafikpolitisk redegørelse" og "Problemstillinger, mål o strategier", december 1993.

2. *Forbedring af alternativerne til biltransport.*
3. *Begrænsning af forureningsproblemerne.*
4. *Nyorientering af trafikinvesteringerne.*
5. *Styrkelse af planlægning og forskning på trafikområdet.*

"Trafik 2005" fastholder Transporthandlingsplanens mål vedr. CO_2-udslip o luftforurening, som er beskrevet tidligere. Mest problematisk er CO_2-begræn ningen. En "alt-andet-lige" beregning viser således et energiforbrug og CO_2 u slip på index-værdi 113 i år 2005 med 100 svarende til 1988-situationen. Hvorl des en stabilisering på 1988-niveauet i år 2005 vil kunne nås, illustreres genne foretagne beregninger af en såkaldt TP 2005 pakke. Pakken har følgende virk midler:

- 50% forøgelse af busser og togs transportarbejde gennem overflytning biltrafik
- overflytning af ⅓ af de korte bilture til cykeltrafik eller gang
- 5% højere belægning i personbiler

Gennem disse ændringer er CO_2-emissionen beregnet at kunne reduceres index-værdi 113 i år 2005 til 106 målt i forhold til 1988-situationen. De resteren 6 procent-point vil, påregnes det, fx kunne opnås ved en differentiering af de fa

afgifter til fordel for mere energieffektive køretøjer og en forhøjelse af brændstofpriserne.

Ud over en stabilisering i år 2005 er der også gennemført beregninger, der belyser en 20% reduktion i år 2010. Udover TP 2005 pakkens virkemidler inddrages her virkemidler som anvendelse af bio-brændstof, forøgelse af lastbilernes kapacitetsudnyttelse, indførelse af lette busser samt CO_2-afgift som led i en international aftale.

Den trafikplanlægning, der lægges op til med "Trafik 2005", er mindre sektoropdelt end det hidtil har været tilfældet. I en vision om fremtidens trafiksystem, som afslutter rapporten vedr. problemstillinger, mål og strategier som et muligt fremtidsbillede og her er gengivet som appendix 9.1, hedder det, at *danskerne har fundet en ny balance mellem behovene for mobilitet og rent miljø.*

9.4 Modeltyper

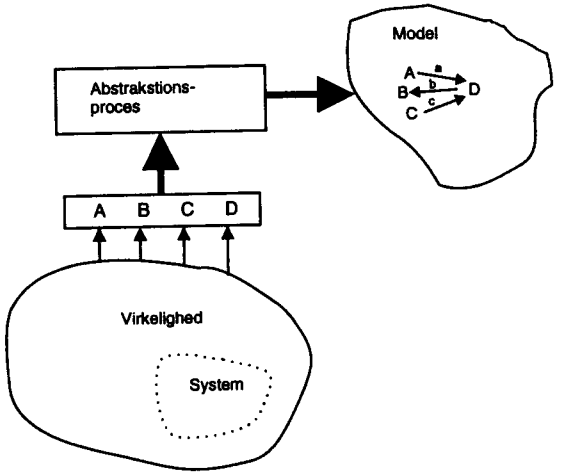
Karakteristisk for trafikplanlægningen er, at den i de enkelte trin, jf. figur 9.3, betjener sig af en række modeller. Formålet med en model er at afbilde nogle træk ved en reel eller tænkt virkelighed på en måde, så der opnås indsigt i nogle sammenhænge, der er af betydning for den foreliggende planlægningsopgave. Opbygning af en model bliver således en abstraktionsproces, hvorigennem et systemudsnit af virkeligheden repræsenteres af en model, jf. figur 9.9.[27]

Karakteristiske dele af processen er:

- Afgrænsning af det system, som ønskes model-beskrevet
- Valg af et relevant variabel-sæt (eller sæt af faktorer). I figuren repræsenteret ved store bogstaver
- Formulering af hypoteser om sammenhænge mellem variable. I figuren repræsenteret ved små bogstaver

Modeller vil umiddelbart kunne inddeles som verbale modeller, fysiske og ikoniske (ligedannede) modeller fx en skalamodel af en by eller bro, grafiske modeller som blokdiagrammer og organisationsskemaer eller matematiske modeller, som består af matematiske symboler og formler.

Trafikplanlægning betjener sig af alle disse modeller. For en nærmere forståelse af, hvad modeller kan - eller nok så vigtigt, hvad de ikke kan - er en opdeling af modeller, her specielt de matematiske modeller, efter deres formål i planlægningen mere hensigtsmæssig. Det er således relevant at operere med følgende modeltyper:



Figur 9.9 Opbygning af en model som en abstraktionsproces.

- *Prediktive modeller* dvs. modeller, hvor formålet er at forudsige en fremtidig situation
- *Deskriptive modeller* dvs. modeller, hvor formålet er at opnå en funktionel beskrivelse af et system
- *Normative modeller* dvs. modeller, hvor formålet er at foreskrive eller vælge, hvad der bør gøres

Trafikplanlægning vil, ihvertfald for større planopgaver, typisk være en sammenkædning af disse modeltyper, hvor forskellige emner behandles. For de prediktive modeller fx: trafikefterspørgsel, prognoser, elasticitet, trafikgeneration og trafikattraktion, for de deskriptive modeller fx: trafiknet, kapacitet, trafikafvikling sikkerhed og miljøpåvirkning og for de normative modeller fx: økonomibegreber investeringskriterier, cost-benefit analyse og multi-kriterie analyse. Disse emner m.fl. er nærmere beskrevet i de øvrige kapitler.

Modeltypernes forskellige formål bevirker også, at de er forskellige mht. de typer svar, de kan give. Eksempelvis må prediktive modeller altid ses ud fra forudsætninger, som indeholder usikkerhed som følge af fremskrivning, og normative modeller ud fra parameterværdier, der direkte eller indirekte er værdiorienterede. Generelt at påberåbe sig modellers rigtighed eller det modsatte uden at gøre sig deres specifikke type og formål klart er enten meningsløst eller ideologisk.

Såfremt modeltyperne relateres til trafikteknik og trafikplanlægning, kan man sige, at hovedvægten mht. anvendelse af deskriptive modeller falder inden for trafikteknik, mens hovedvægten mht. de prediktive og normative modeller falder inden for trafikplanlægning.

Appendix 9.1 Uddrag af "Trafik 2005"

En vision

Op gennem 1990'erne blev det i stigende grad klart for befolkning og politikere, at trafikken udgjorde en af de store trusler mod miljøet i både Danmark og resten af verden. Der skete et markant holdningsskift hos befolkningen, og den krævede hurtig handling for at undgå mellemeuropæiske og amerikanske tilstande inden for transportsektoren.



Ulykker, luftforurening, støj, utryghed hos især bløde trafikanter, voksende trængsel på vejene og overforbrug af knappe energiressourcer var de problemer, som danskerne dengang stod over for at løse. Det er lykkedes, og vel at mærke uden at den økonomiske vækst i samfundet blev sat i bakgear, og uden at danskernes mobilitet blev forringet.

Trafikkens skadevirkninger er nu bragt under langt bedre kontrol end i 90'erne på trods af det faktum, at omfanget i trafikken er vokset, både den kollektive og den individuelle.

De to hovedingredienser i processen, miljøpolitiske beslutninger samt den rivende teknologiske udvikling, har i høj grad været afhængige af henholdsvis internationale aftaler og forskerinitiativer.

Mange af de trafikpolitiske beslutninger, der har tilskyndet danskerne til at opføre sig mere miljøvenligt i trafikken, er henlagt til EU, FN osv.

Men danske politikere er gået videre end kollegerne i de fleste andre lande. Initiativerne har især gået på at ændre danskernes trafikadfærd gennem høje, men differentierede afgifter på transport, kombineret med offentlig støtte til miljøvenlige trafikformer.

Den anden hovedårsag til, at trafikken ikke belaster miljøet i så høj grad som tidligere, er den teknologiske udvikling. Kraftigt tilskyndet af de miljøpolitiske beslutninger har transportmiddelindustrien bragt energiforbrug, udslip og støj markant ned på deres produkter. Det gælder både biler, tog, busser, skibe og fly. Alternativer til fossile brændstoffer, sol og brint, er i øvrigt tæt på det kommercielle gennembrud, lyder meldingen fra forskerne.



Når Danmark har kunnet være med i spidsen, hænger det sammen med den almindeligt accepterede opfattelse, at livskvalitet ikke bare er frihed til at bevæge sig uhindret og hurtigt, men også at bo, arbejde og holde fri i omgivelser, der ikke er forpestede af voldsom trafik.



Danskerne har fundet en ny balance mellem behovene for mobilitet og rent miljø. Danmark er blevet hjemsted for en række nyskabende virksomheder på miljøområdet og samtidig et turistmål for mange udlændinge. Begge dele har udløst en positiv beskæftigelseseffekt.

Desuden er den fysiske planlægning nu indrettet, så alle nye byggerier vurderes nøje trafikalt og miljømæssigt, inden der gives grønt lys.

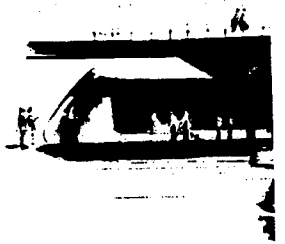
Få ulemper i trafikhverdagen

Trods stigende trafik oplever danskerne, at deres hverdag er mindre præget af ulemperne ved transport. Trafikken er mere spredt over dagen end i 90'erne, og flere kører kollektivt og på cykel. Myldretiderne er ikke længere så markante på grund af den mere fleksible arbejdstid, og fordi mange arbejder hjemme eller er på orlov.

Bykernerne er næsten bilfri og behagelige at opholde sig og færdes i, og i boligområderne er gaderummet blevet til et sted, hvor folk mødes, og børn leger. Trafikken afvikles på beboernes betingelser via lave hastigheder og indskrænkning af kørebanerne.

Vejafgifter og kørselsrestriktioner i følsomme områder er metoden, når folk skal opmuntres til at vælge den mest miljøvenlige løsning på deres transportbehov.

Afgiftsstrukturen, både på bilkørsel og bilkøb, samt transportfradraget er generelt sådan indrettet, at de tilskynder danskerne til at købe energiøkonomiske



og miljøvenlige biler og til oftere at lade bilen stå. Det sidste er især tilfældet i byerne og på de lange stræk, og samfundet har her sørget for tiltrækkende alternativer til bilen.

Avanceret teknologi holder sit indtog overalt i trafikken. F. eks. sker rejseplanlægningen ved computeren derhjemme eller på jobbet. På skærmen får man overblik over samtlige rejsemuligheder, priser og andre serviceydelser i forbindelse med rejsen som hotelreservation eller billeje. Derefter bestiller man én billet, der gælder til alle transportmidler på rejsen.

Bilen bruges mest i fritiden

De fleste familier har mindst én bil i garagen. Bilen er mest praktisk til indkøb, familiebesøg, weekendture, eller når børnene skal til fritidsaktiviteter.

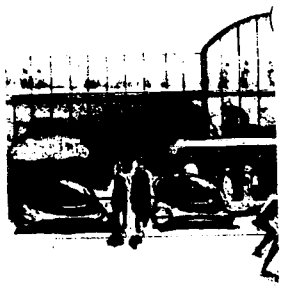
Også den første del af den daglige rejse til jobbet, nemlig ned til stationen, sker tit bag rattet. Men det er for dyrt og for tidskrævende at køre i bil hele vejen, for kollektiv trafik eller cykel er billigere og mindst lige så hurtig. En del har dog valgt at enes om samkørsel. På den facon bliver det billigere for den enkelte, og en fyldt bil har også adgang til busbanen ind mod bycentret.

Til gengæld bruger danskerne kun sjældent bilen, når de skal langt væk hjemmefra. På ferier og forretningsrejser tager danskerne hellere tog eller fly og lejer så en bil på rejsemålet, hvis der er brug for det.

Det danske vejnet er af høj standard. De midler, der er til rådighed, anvendes først og fremmest til vedligeholdelse og til forbedring af det eksisterende vejnet og sikkerheden. Avanceret teknologi til styring af trafikstrømmene har gjort det muligt at udnytte kapaciteten bedre og undlade kostbare nyanlæg. Derfor er vejnettet ikke udbygget væsentligt, siden motorvejs-H'et stod færdigt, og Storebælts- og Øresundsbroerne kom til. Femer Bælt har også fået sin faste forbindelse.

Intelligente biler og veje

Computer- og kommunikationsteknologien er baggrunden for,



at man allerede er nået et pænt stykke vej i udviklingen af intelligente veje og biler. En ny bil vil om få år være forsynet med egen computer som standardudstyr.



Allerede nu har mange bilister installeret den og kan kommunikere direkte med en trafikcentral, der sørger for at oplyse om vejarbejde, kødannelse, rutevalg, hastighedsbegrænsninger, vejrforhold, ledige P-pladser m.m. til trafikanterne.

Hele systemet er gearet til at over tage styringen af trafikken og de enkelte bil fuldstændig. F.eks. er automatisk hastighedsregulering via trafikcentralen, og altså uafhængigt af bilisten selv, forlængs teknisk muligt. De intelligente biler kan også kommunikere mec hinanden - der kan indbygges automatisk nedbremsning, hvis man kommer for tæt på en forankørende.

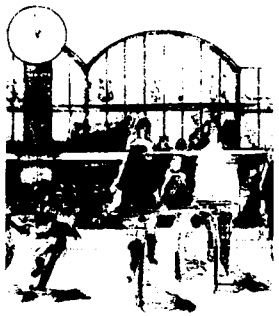
Der er installeret elektroniske be talingskort i frontruden på bilerr

Bilisterne behøver ikke at stands op for at betale den vejafgift, som er introduceret på de mest befærdede veje. Den opkræves automatisk ved hjælp af elektronisk kommunikationsudstyr lanç vejnettet, og prisen afhænger a sted og tidspunkt for kørslen.

Sikkerheden på vejnettet er øget væsentligt siden 1990'erne, både via intelligente biler og veje, men også gennem en konsekvent bekæmpelse af de sorte pletter på vejnettet og omfattende trafiksaneringer i byerne.

Hurtigt og billigt med bus og tog

Den kollektive trafik er blomstret op siden nedturen i 80'erne og begyndelsen af 90'erne. Ligesom biltrafikken har busser og tog også nydt godt af den nye teknologi. Avancerede højhastighedstog sørger for hurtig, komfortabel og relativt billig transport øst-vest i Danmark og til det nærmeste udland. Både ferie- og forretningsrejsende benytter i høj grad toget.



Det nordiske højhastighedsnet går fra Norge og Sverige igennem Danmark til Hamburg, hvor der er tilslutning til det centraleuropæiske højhastighedsnet. Ekspres- og IC-busser supplerer på rejsemål, hvor der ikke findes jernbaneforbindelse.

Både de nationale regeringer og EU har givet store tilskud til udvikling af tog og byggeri af jernbaner, indrettet til høje hastigheder.

I København står regionaltog, bl.a. over Øresund, et udbygget S-togsnet, bybaner til Amager og brokvarterne, suppleret af en ringbane, og et fintmasket busnet til rådighed for trafikanterne. De kollektive transportmidler er meget lette og dermed energieffektive, kører på miljøvenligt brændstof eller el og støjer minimalt.

Pris, komfort, frekvens og hastighed kan mageligt konkurrere med bilens. Moderne stationer og terminaler i yderdistrikter og forstæder er forsynede med P-arealer, så bilister hurtigt og bekvemt kan skifte, når de skal ind til byen. Transportsystemerne hænger sammen, så det er helt almindeligt at kombinere bil og cykel med tog og bus på rejsen.

Computer- og kommunikationsteknologien sørger også i den kollektive trafik for hurtige og præcise informationer til passagererne under rejsen og ved skift f. eks. om forsinkelser og næste afgang. Informationsteknologien benyttes tillige ved billettering og til at give den kollektive bustrafik fortrinsret i kryds.

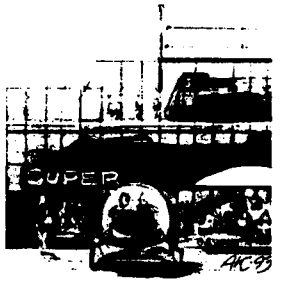
I de øvrige større danske byer er bybaner også sat på dagsordenen, og busnettet er udbygget væsentligt. Det har, sammen med vej- og P-afgifter og en ændret trafikprioritering, øget passagertilgangen i busserne.

Kollektiv trafik i mindre byer og på landet udføres først og fremmest af minibusser eller teletaxier.

Taxi er i øvrigt en integreret del af det kollektive trafiksystem og afløser ofte bus og tog på yderstrækninger f.eks. om aftenen eller i weekends.

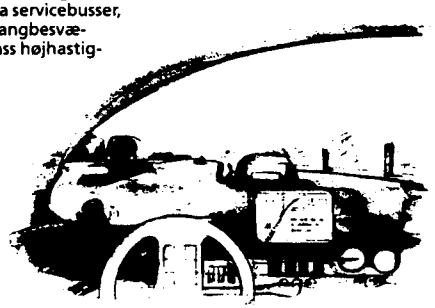
Det kollektive trafiktilbud er i det hele taget meget alsidigt. Det spænder lige fra servicebusser, for bl.a. ældre og gangbesværede, til business class højhastighedstog.

EU, stat, amt og kommuner yder betragtelige tilskud til kollektiv bytrafik, dels af miljømæssige grunde, dels fordi de dårligst stillede også skal kunne bevæge sig rimelig frit. Men tilskuddene er øremærkede, nemlig til den urentable trafik, som samfundet ønsker udført af de nævnte grunde.



Flyet har mistet den betydning, det havde i indenrigstrafikken i begyndelsen af 90'erne. Den faste forbindelse over Storebælt og højhastighedstoget fjernede store dele af eksistensgrundlaget. Den flyvning, der er tilbage internt i Danmark, er fortrinsvis fødetrafik til internationale flyforbindelser og taxiflyvning i begrænset omfang.

Internationalt, særlig på de lange afstande til USA og Fjernøsten, er det gode tider i flybranchen. Passagertallet og mængderne af luftfragt på disse destinationer ligger højt.



Flyet indgår i det integrerede transportsystem. De fleste vigtige lufthavne betjenes således af jernbane - Københavns Lufthavn har fået sin egen station med både højhastigheds- og nærtog. Dette har givet muligheder for de særlige fly-tog, hvor man kan checke in og aflevere sin bagage allerede, når man står på toget. Man kan således aflevere sin bagage i Randers eller Sønderborg for så først at få den udleveret igen i Tokyo eller Los Angeles.



Det koster relativt cirka det samme at flyve som i 90'erne. Denne pris dækker over højere miljøafgifter, men lavere omkostninger på grund af den frie konkurrence i luftfarten.

Danmark er stadig færgernes land, selv om de faste forbindelser nu sørger for at binde landsdelene sammen. Der er nemlig igen pustet liv i de danske øer, fordi man kort efter 2000 indsatte hurtige, miljøvenlige katamaranfærger. Det har sat skub i turismen, og samtidig kan øboeren nu passe et job på fastlandet.

I København er der indsat vandbusser langs havnefronten.

Fredeligt - og sundt - at bo i byen

Gadebilledet i de større byer har ændret udseende siden 1990'erne. En stor del af biltrafikken er væk i bykernerne. Det er ikke længere usundt at opholde sig og bo i byen. Folk benytter sig i stort omfang af cykel og gå-ben, eller af de støjsvage, rene og energivenlige busser, bybaner eller tog. De biler, der ses på gaderne, kører fortrinsvis på el og tilhører primært varedistributionsselskaber eller beboerne i city.

Både byrummet og de kollektive transportmidler er kunstnerisk udsmykket. Det ligger i naturlig forlængelse af den tendens, man har set siden 2000. Teater og musik, caféer og forretninger har gjort bycentrene til kulturelle oaser, fulde af aktivitet. Der er store åbne, ofte overdækkede, pladser og gaderum, som er reserveret til fodgængerne, og cyklisterne har fået deres eget stinet, både ind til centrum og på kryds og tværs. Kvarterer, bygninger, gamle industri- og havneområder er saneret og byfornyet, og det har skabt en række nye muligheder for fritids-, kultur- og forretningsliv. Bløde trafikanter kan tage mange smutveje i byen.

Arealet til kørebaner og P-pladser er blevet begrænset, så der er blevet plads til busbaner og mere plads til cykel- og fodgængerarealer. Der opkræves afgifter for de udefra kommende bilister, der ikke kan undvære deres køretøj i byen.



I forstæderne og i boligområde er der indført meget lave hastig hedsgrænser for biltrafikken. C farts- og ringveje sørger for at lede gennemkørende trafik ud om byerne.

Stationernes rolle som centre e bygget ud med offentlig servic og forretninger. Mange menne færdes dér, og det gør det mer trygt at tage tog og bus.

I de mellemstore byer findes de centrale P-huse, med samme funktion som terminalerne i de større byer.

Cyklister og fodgængere har h holdsvis cykelstier og fodgæng zoner for sig selv. Den konsekv trafikseparering har gjort det meget sikkert og trygt at færd byen.

Bilen dominerer på landet

Bilen er stadig helt domineren når landboere og de mindre by indbyggere skal befordres; me





den kollektive trafik har fået flere passagerer, efter at betjeningen blev ændret, således at der i højere grad køres efter kundernes behov.

Det er trygt at færdes til fods eller på cykel i småbyerne, der har fået miljøprioriterede hovedgader eller omfartsveje. Sikkerheden på vejene i åbent land er forbedret bl. a. ved ombygning af kryds, bedre afmærkning, specielt af kurver, og fjernelse eller afskærmning af faste genstande, der stod for tæt på vejen. Cyklister og fodgængere har fået cykelstier nær



byerne og på strækninger i det åbne land med megen cykeltrafik.

Gods på tog og skib

Godstransporten er vokset støt siden 1990'erne. Væksten i den internationale godstransport over lange afstande er i stort omfang flyttet fra lastbil til tog og skib, dels fordi afgifterne er høje på lastbilkørsel, og dels fordi der er investeret store statslige og private penge i et net af godsterminaler over hele Europa, der kan håndtere både lastbil-, jernbane- og også skibsfragt, hvor der er adgang til havn.

Disse effektive terminaler sørger for, at varetransporterne udføres på den mest energibesparende og miljøvenlige måde. Ligesom i persontrafikken er transportsystemet sammenhængende, og erhvervslivet har samtidig inddraget transport som en integreret del af produktionen. Begge dele har effektiviseret transporterne og nedbragt tomkørslen betydeligt.

Det samme har teknologien. Satellit- og computer-teknik har muliggjort den stramme styring og kvalitetsovervågning af godsstrømmene, som er en nødvendighed for kunderne, især for de af dem, der producerer højt forarbejdede og derfor kostbare varer. Og den slags virksomheder er der mange af som følge af den internationale arbejdsdeling, der har reduceret den lavteknologiske produktion i Danmark og EU markant.

I Danmark sker im- og eksport til Østersøområdet i stort omfang på coastere, mens toget har en stærk markedsposition syd- og nordpå. Transittrafik til og fra Skandinavien går via det danske jernbanenet.

De korte indenlandske transporter, som udgør langt hovedparten af den samlede godsbefordring, er næsten udelukkende et anliggende for lastbilen - dog har toget nogle få nicher.

Der er udviklet særlig miljøvenlige køretøjer til at distribuere varerne fra terminalerne ud til husstandene. Inden for overskuelig tid skal de fleste forbrugere ikke længere selv slæbe deres dagligvarer hjem. Flere firmaer har allerede fået succes med at levere direkte på hjemadressen efter bestilling over hjemmecomputeren. Andre firmaer i byerne har lige så stor succes med lokal distribution på cykel.



Epilog

Danmark er nu bragt ind i en god cirkel, hvor indbyggerne bruger stadig mindre tid og energi på transport i dagligdagen, uden at det opleves som en indsnævring af den personlige frihed til at bevæge sig uhindret. Tværtimod - rejselysten i ferier og weekends har aldrig været større.

Den danske model for et bæredygtigt transportsystem stiller dog stadig nye udfordringer til både befolkning og politikere. Det er vigtigt hele tiden at være åben for nye muligheder for forbedringer.

Litteratur

1 Tal om vejtrafik, Vejdirektoratet, Sektorplanafdelingen, 1994.

2 Regeringens transporthandlingsplan for miljø og udvikling, Trafikmi steriet, 1990.

3 Skitse til vejplan. Vejplanudvalgene, Vejdirektoratet, 1975.

4 Skitse til prioriteringsmetode for større hovedlandevejsarbejder, Vejdir toratet, 1980.

5 Prioriteringsundersøgelse for større hovedlandevejsarbejder 1979, Pric tering 1981 & Prioritering 1985-87, Vejdirektoratet, 1980,1981 & 1984.

6 Gunnarsson, S.O. & Leleur, S., Trends in urban transport planning - T current shift in solving urban transport problems, PROSPECT no. 2, Jour of the International Federation for Housing and Planning, 1989.

7 Herstedt, L., Erfaringerne fra Vejdirektoratets forsøg med Miljøpriorite Gennemfart i tre forsøgsbyer, Dansk Vejtidsskrift nr. 1, 1990.

8 Miljø og trafik i kommuneplanlægningen, Planstyrelsen, 1992.

9 Ørestaden - Idekonkurrence/Ideas competition, Ørestadsselskabet, 199

10 De jyske tværveje. Hovedrapport & Erhvervsrapport, Vejdirektoratet, 19

11 Trafikøkonomi og logistik, Trafikministeriet, Planlægningsafdelingen, I gistikgruppen, 1987.

12 Erhvervsøkonomiske effekter af fast Storebæltsforbindelse mm., A/S Sto bæltsforbindelsen, Peter Rosendal, International Transportrådgivni 1989.

13 Storebæltsforbindelsens samfundsmæssige betydning, A/S Storebæltsf bindelsen, 1989.

14 Meyer, M.D. & Miller, E.J., Urban Transportation Planning - A Decisi Oriented Approach. McGraw-Hill Series in Transportation, 1984.

15 Leleur, S., Behøver vi konsekvensanalyser på et højere niveau ?. Nord Vejteknisk Forbund, konferenceindlæg, Tapiola, Finland, 1981.

16 Leleur, S., Planlægning af multi-mål-systemer. Rapport 40, Institut for V Trafik og Byplan, DTH, 1984.

17 Veje i fremtidens Danmark, Dansk Vejforening, 1991.

18 Fremtidens vejtransport, Vejdirektoratet, 1991.

19 Energi 2000, Energiministeriet, 1990.

20 Vor fælles fremtid. FN-forbundet og Mellemfolkeligt Samvirke, Brundtlandkommissionen, 1987.

21 Regeringens handlingsplan for miljø og udvikling, Miljøministeriet, 1988.

22 Jørgensen, K., Energi, trafik og miljø - en sammenhængende teknologivurdering, TeknologiNævnets rapporter 1991/5, 1991.

23 Vi når det ikke - Bæredygtighed og vækst på kollisionskurs i trafikken, pjece, TeknologiNævnet, 1991.

24 Transport in a Fast Changing Europe, Group Transport 2000 Plus, 1990.

25 The Future Development of The Common Transport Policy, Commission of The European Communities, Bruxelles, December 1992.

26 Trafikministeriet, Trafik 2005, Trafikpolitisk redegørelse samt Problemstillinger, mål og strategier, 1993.

27 Solem, O., Generell Systemteori. Tapir, 1978.

Kapitel 10

Trafikprognoser og -modeller

Af N.O. Jørgensen og Steen Leleur

10.1 Prognoseteknikker

Tidshorisonten for ny vejinfrastuktur gør det nødvendigt at udarbejde prognoser for trafikefterspørgslen, så der kan foretages en dimensionering i overensstemmelse med en fremtidig trafikintensitet, hvilket tidligere er beskrevet i kapitel 3 forbindelse med valg af vejtype. For vejprojekter vil man typisk bruge en horison på 20-30 år, mens store broprojekter dimensioneres ud fra en endnu længere periode. Sidstnævnte skyldes, at en senere kapacitetsforøgelse må forventes a være både særdeles vanskelig og kostbar.

Vækstkurver

Tilvækst i trafikintensitet skyldes en sammenhæng med samfundsmæssige fak torer som indbyggerantal, bruttonationalprodukt, industriproduktion, biltæthe mv., hvis samlede virkning har været en forøgelse af vejtrafikken over en årræk ke. Ofte kan væksten karakteriseres ved såkaldte vækstkurver, hvoraf den mes simple er en ret linie, som fremkommer ved ekstrapolation eller fremskrivnin med en konstant årlig tilvækst:

$$\frac{dy}{dt} = b \Rightarrow y = a + b \cdot t \qquad (10.1$$

y: Afhængig prognosevariabel
t: Uafhængig tidsvariabel, fx antal år efter prognosens basisår
b: Konstant årlig tilvækst
a: Basisårets niveau, som fremkommer som integrationskonstant

En anden ofte forekommende vækstkurve er den eksponentielle kurve, sor fremkommer ved en tilvækst, der er proportional med den allerede opnåed størrelse. Denne form for tilvækst benævnes sommetider geometrisk tilvækst o er vist med (10.2), mens (10.1) tilsvarende sommetider omtales som aritmetis tilvækst.

$$\frac{dy}{dt} = b \cdot y \Rightarrow y = a \cdot e^{bt} \qquad (10.2)$$

y, t, a: Som tidligere angivet
b: Konstant, som angiver tilvæksten proportionalt til y
e: Basistallet for den naturlige logaritme

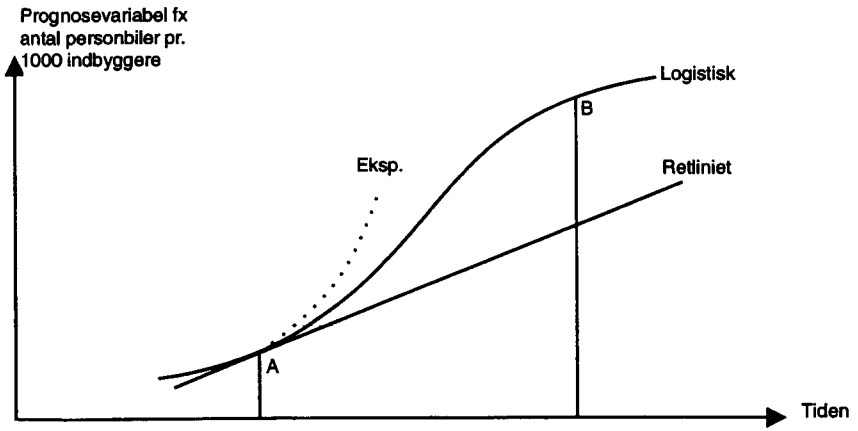
Mange vækstforløb er karakteriseret af et mætningspunkt, idet væksten efterhånden aftager for til sidst at nå et konstant niveau. Et sådant forløb er beskrevet ved den såkaldt logistiske kurve, hvor væksten først er eksponentiel, herefter retlinet for så til sidst at være aftagende og nå et konstant slutniveau. Dette forløb fremkommer ved, at tilvæksten er proportional med produktet af den allerede opnåede størrelse samt den resterende tilvækst, jf. (10.3):

$$\frac{dy}{dt} = \frac{b}{Y_S} \cdot y \cdot (Y_S - y) \Rightarrow y = \frac{Y_S}{1 + c \cdot e^{-bt}} \qquad (10.3)$$

y, t, b: Som tidligere angivet
c: En konstant, som fremkommer ved integration
Y_S: Vækstforløbets mætningsniveau

I figur 10.1 er de tre ovenfor beskrevne vækstkurver angivet. Man kan bemærke, at såvel den rette linie som den eksponentielle kurve indgår i den logistiske kurve, hvorfor disse vækstkurver over en årrække kan være gode tilnærmelser til et langsigtet, logistisk forløb.

I slutningen af 1960'erne - dvs. ved udgangen af det årti, hvor det for alvor i Danmark blev almindeligt at anskaffe bil - blev der gennemført et stort teoretisk



Figur 10.1 Skitse af tre hyppigt anvendte vækstkurvetyper: Retliniet, eksponentiel og logistisk vækst.

arbejde med henblik på valg af den bedste prognosemetodik.[1] Herunder blev bl.a. ovennævnte kurver undersøgt ud fra historiske data, prognosehypoteser og sammenligninger med andre lande, ikke mindst USA. Et resultat heraf blev en prognose i 1969, hvor man for personbiler ventede en gennemsnitlig årlig nettotilvækst frem til år 2000 på 70.000 biler og for vare- og lastbiler på 5.200. Hvor svært det kan være at lave prognoser fremgår af, at Vejdirektoratet 4-5 år senere i forbindelse med arbejdet med Skitse til Vejplan nedjusterede prognosen for personbiltilvæksten fra 70.000 til først 58.000 biler pr. år og herpå til 40.000, bl.a. forårsaget af oliekrisen i 1973.[2]

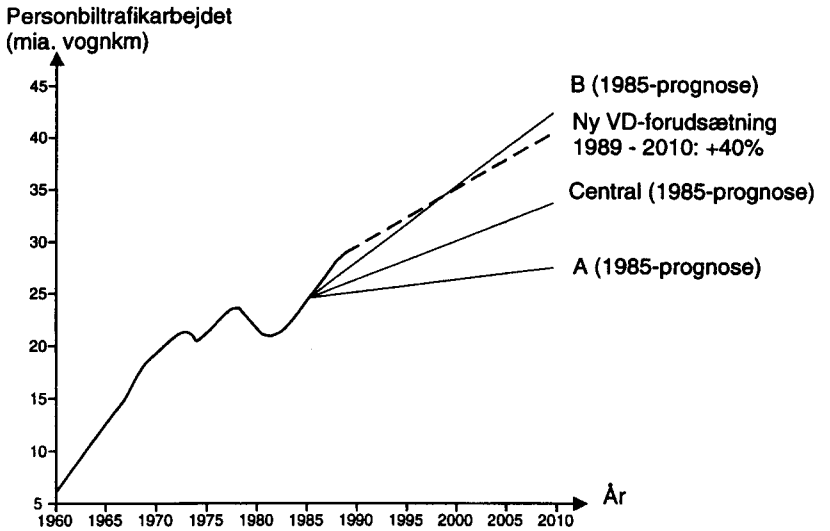
Vejdirektoratet har med 3-5 års mellemrum med baggrund i Finansministeriets økonomiske prognoser gennemført prognosestudier, hvor den forventede trafiktilvækst er angivet som årlige procentvise stigninger for henholdsvis person- og lastbiltrafik med sidstnævnte defineret som biler med totalvægt over 2 t.[3,4,5] Den seneste prognose udført i 1990 indeholder følgende forventede stigninger:

Vejdirektoratets prognose 1989-2010:	Persontrafik gnms. årligt	Lastbiltrafik gnms. årligt	Vejtrafik i alt
	1,6%	2,6%	1,8%

Ved opstillingen af denne prognose har man baseret sig på en referencemodel for den danske transportsektor 1988-2030, som er udarbejdet af COWIconsult for trafikministeriet.[6] En regressionsanalyse af sammenhængen mellem det samlede persontransportarbejde og bruttonationalproduktet (BNP) for perioden 1970-1988 gav en korrelationskoefficient (R^2) på ikke mindre end 0,96. Dette blev kombineret med en prognose for BNP for 1988-2010, som Finansministeriet havde udarbejdet ved hjælp af en ADAM-modelkørsel med udgangspunkt i den daværende regerings økonomiske plan fra 1989. I sin seneste prognose har Vejdirektoratet forladt den vifteform med en høj- og lav udvikling, man brugte i 1985-prognosen udarbejdet i 1987. I figur 10.2 er vist den seneste 1989-prognose for personbiltrafikarbejdet sammenlignet med 1985-prognosen.[5]

Andre prognoseteknikker

Udover vækstkurver kan også anvendes mere sammensatte prognoseteknikker fx økonometriske metoder og scenario-fremskrivning. De økonometriske metoder bygger på regressionsanalyse, hvorigennem indflydelsen fra mange faktorer vejes sammen. Den økonometriske metode ligger til grund for den omtalte samfundsøkonomiske ADAM model, som anvendes af Finansministeriet i forbindelse med de økonomiske prognoser. Regressionsanalyse omtales iøvrigt nærmere i forbindelse med beskrivelsen af den såkaldte 4-trins trafikmodel i afsnit 10.3.

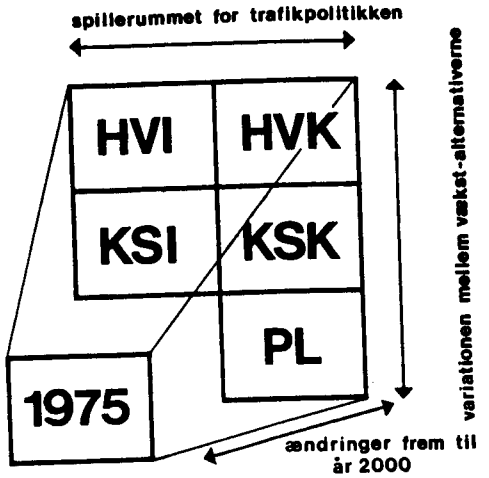


Figur 10.2 Vejdirektoratets 1989-prognose for personbiltrafikarbejdet frem til 2010 sammenlignet med 1985-prognosen.

Scenario-fremskrivning består i en formulering af en række fremtidige situationer, de såkaldte scenarier, hvis formål gennem kombination af nogle udviklingsmuligheder, er at belyse et muligt udviklingsspektrum. Ved scenario-formuleringen søger man at sikre, at der er sammenhæng og konsistens mellem de enkelte faktorer, der indgår i det enkelte scenario. Det mest fremtrædende danske trafikstudie, der har anvendt scenario-teknikken, er det såkaldte T-ATV studie fra 1979, jf. figur 10.3.[7]

Hvert af de fem scenarier er behandlet nærmere i rapporten. En række træk er fælles og vurderes således at have en høj grad af sandsynlighed, men som det fremgår af figur 10.3 adskiller scenarierne sig ved den valgte trafikpolitik i kombination med et valgt vækstalternativ. Herigennem søger man at afdække kritiske størrelser gennem konsekvensberegning af det enkelte scenario.

Scenario-teknikken rummer mulighed for mere bevidst at arbejde med alternative udviklingsmuligheder og vurdere betydningen af forskellige virkemidler i relation til nogle langsigtede mål. Mere gængse fremskrivninger kan indgå i arbejdet med scenarierne. Typisk vil scenarier fremstå som en blanding af kvantitative og kvalitative faktorer.



Figur 10.3 T-ATV studiets fem forskellige scenarier. HV: Højvækst. I: Individuel trafikpolitik. K: Kollektiv trafikpolitik. KS: Krisesamfund. PL: Planlagt lavvækst.

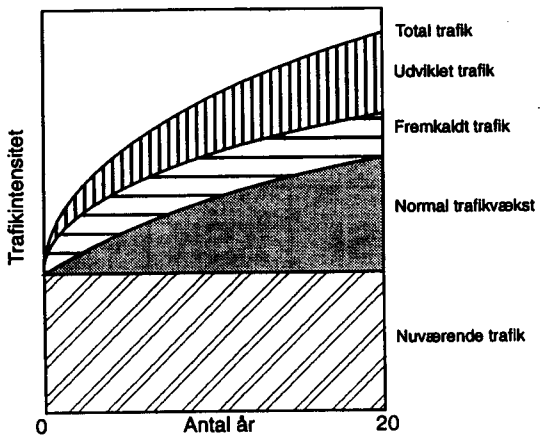
10.2 Vækstfaktormodellen

Den mest simple trafikmodel er den såkaldte vækstfaktormodel. Modellens grundide består i at relatere trafikken til faktorer som befolkningsvækst, vækst i biltæthed mv. og benytte opstillede prognoser herfor som baggrund for en fremskrivning af den nuværende trafik. En anvendelse af vækstfaktormodellen til fremskrivning bør ske med udgangspunkt i en analyse af de forskellige komponenter, som en given fremtidig trafikstrøm kan være sammensat af.

Trafikkomponenter

I figur 10.4 er vist en fremtidig trafikstrøm og dens sammensætning af fire forskellige komponenter, som beskrives nedenfor. Det forudsættes, at der netop er udført udbygning af en given vejstrækning:[8]

1. *Nuværende trafik* - Denne basiskomponent kan være suppleret med såkaldt *tiltrukket trafik*, som kan være vejtrafik, der nu vælger denne forbedrede rute, eller der kan være tale om anden trafik, der nu overgår til vejtrafik (bane til bil fx) eller anden type vejtrafik (bus til bil fx).
2. *Normal trafiktilvækst* - Denne vækstkomponent fremkommer ved en kombination af ændret kørselsomfang af den enkelte bil, ændret biltæthed og ændre befolkningstal i de områder, vejen betjener.



Figur 10.4 Trafikkomponenter i den fremtidige trafikstrøm på en udbedret vejstrækning.

3. *Fremkaldt trafik* - Denne komponent fremkommer ved, at den udbedrede strækning er så attraktiv, at der nyskabes trafik. Ved større anlæg som broer taler man om et såkaldt *trafikspring*. Den fremkaldte trafik adskiller sig fra den tiltrukne ved, at der er tale om et rejsebehov, der først realiseres nu.

4. *Udviklet trafik* - Denne komponent fremkommer ved, at det kan være attraktivt at lokalisere sig i nærheden af gode trafikanlæg. Over en årrække opstår så ny bebyggelse, der trafikbetjenes af det udbedrede vejanlæg.

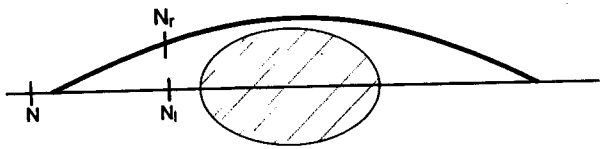
Det ses af figur 10.4, at komponenterne normal trafiktilvækst og udviklet trafik vokser nogenlunde jævnt over årene, mens fremkaldt trafik er karakteriseret ved at nå sin endelige værdi i løbet af 1-2 år, for herefter at indgå som et nogenlunde konstant bidrag. I forbindelse med de fleste udbedringsprojekter vil den tiltrukne, fremkaldte og udviklede trafik være af meget beskedent omfang sammenlignet med den normale trafiktilvækst. Kun store motorvejsanlæg og broanlæg vil medføre bidrag, der bør indgå i trafikfremskrivningen.

Vækstfaktorfremskrivning: enkeltstrækning/forlægning

Principperne for vækstfaktorfremskrivning på en given strækning kan illustreres ved hjælp af en simpel netændring, hvor en vej forlægges uden om en by. I et snit uden for byen vil trafikstrømmen kunne opdeles i en regional del N_r og en lokal del N_l, hvormed trafikken, opgjort som ÅDT i begge retninger tilsammen, i basisår 0 kan skrives:

$$N_0 = N_{0,r} + N_{0,l} \qquad (10.4)$$

Idet N_l omfatter trafik med et turendemål i byen, vil denne trafik ikke forventes at bruge omfartsvejen, som det vil være tilfældet med N_r. En oversigtsskitse er vist i figur 10.5.



Figur 10.5 Oversigtsskitse over trafikopsplitning i en regional og en lokal del i forbindelse med anlæg af en omfartsvej.

Med brug af vækstfaktor f_B for udviklingen i biltæthed og f_I for befolkningsændringen, begge akkumuleret over en prognoseperiode på fx 20 år, fås følgende:

$$N_{20} = f_B \cdot f_I \cdot N_0 \qquad (10.5)$$

Trafikændringen fremkommer ved, at der er et ændret antal biler til rådighed pr. 1000 indbyggere i kombination med et ændret antal indbyggere. Det er her forudsat, at den enkelte bil har uændret årligt kørselsomfang. Såfremt f_B og f_I geografisk set ikke er konstante, bør fremskrivningen opdeles. Uden for de største byområder vil en god tilnærmelse dog være at regne f_B konstant og alene betragte variationen af f_I, som ud fra trafiktypernes oplande kan opdeles i en regional faktor $f_{I,r}$ og en lokal faktor $f_{I,l}$. På dette grundlag fremskrives N_r og N_l hver for sig:

$$N_{20} = f_B \cdot f_{I,r} \cdot N_{0,r} + f_B \cdot f_{I,l} \cdot N_{0,l} \qquad (10.6)$$

Den lokale vækstfaktor $f_{I,l}$ kan eksempelvis stamme fra en befolkningsprognose udarbejdet som del af kommuneplanlægningen. Den regionale vækstfaktor $f_{I,r}$ skal sammenfatte vejens opland mht. regional- og fjerntrafik. Ses der imidlertid bort fra sidstnævnte, som under danske forhold i almindelighed vil være forsvindende, kan $f_{I,r}$ bestemmes som et vægtet gennemsnit af de lokale vækstfaktorer i vejens regionale opland undtaget det aktuelle lokalområde, i alt fx n områder. Vækstfaktorernes respektive befolkningsantal i år 0 bruges som vægte:

$$f_{I,r} = \frac{\sum_{i=1}^{n} f_{I,l,i} \cdot I_i}{\sum_{i=1}^{n} I_i} \qquad (10.7)$$

Det bemærkes, at (10.7) er opstillet under den forudsætning, at alle n lokalområder bidrager til den regionale trafik med et bidrag, der er proportionalt med I_i

Det vil kun i nogen grad være tilfældet, hvis udstrækningen af det regionale opland er stort, fx over 60-80 km. Eventuelt kan de fjernest beliggende områder medtages som større, samlede områder, fx amtsområder, hvor befolkningsantal og -prognose også vil være kendt, fx i forbindelse med regionplanlægningen. Eventuelt kan disse områders betydning vægtes ned ved at multiplicere I_i i både tæller og nævner for det pågældende område med en skønnet faktor mellem 0 og 1.

Bygges den pågældende omfartsvej, og der regnes med omend meget beskedne bidrag i form af tiltrukket trafik f_t, fremkaldt trafik f_f og udviklet trafik f_u dvs. hver især mindre end 5%, fås følgende to-leddede udtryk for N_{20}, hvor første led vil anvende omfartsvejen og sidste led indfaldsvejen ind til byen:

$$N_{20} = \left(f_B \cdot f_{I,r} \cdot N_{0,r} \cdot f_t \cdot f_f \cdot f_u\right) + \left(f_B \cdot f_{I,l} \cdot N_{0,l}\right) \qquad (10.8)$$

Det bemærkes, at (10.8) forudsætter, at tiltrukket, fremkaldt og udviklet trafik kun vil kunne gøre sig gældende på omfartsvejen. Den procentvise opsplitning af trafikken i en regional og lokal del afhænger selvsagt af de konkrete forhold. Ved små bysamfund langt fra større byer kan ved vigtige nationale og regionale ruter forventes værdier for den lokale andel på under 5%, mens større bysamfund i nærheden af de større byer vil bevirke en voksende andel af lokaltrafik.

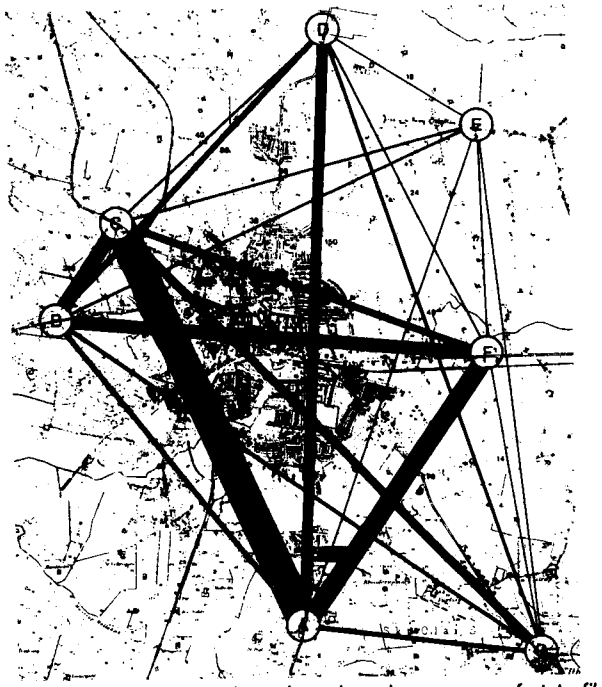
Vækstfaktorfremskrivning som prognosemetode er ovenfor illustreret for en enkeltstrækning i forbindelse med en simpel netændring som anlæg af en omfartsvej. Som det er fremgået, bygger trafikprognosen på en række skøn i forbindelse med kendskab til de anvendte vækstfaktorer. En mere systematisk brug af vækstfaktorfremskrivning finder sted ved fremskrivning af såkaldte turmatricer, som det er beskrevet nedenfor.

Vækstfaktorfremskrivning: turmatrix

I forskellige praktiske tilfælde gennemføres trafikanalyser, som klarlægger et rejsemønster mellem et antal analyseposter, jf. iøvrigt kapitel 2. Et eksempel er en gennemkørselsanalyse for en større by udført i forbindelse med planlægning af en omfartsvej. Figur 10.6 viser et sådant eksempel fra Hjørring.[9]

Her skal kort omtales den situation, hvor man ønsker en prognose opstillet ved en fremskrivning af det observerede rejsemønster. Ofte foreligger der antagelser om, at visse af de talte strømme vil få en procentvis stigning af kendt størrelse i prognoseperioden. Man forventer altså, at alle de strømme, som passerer en bestemt analysepost, stiger med samme faktor. Heraf følger navnet vækstfaktormetode.

En ofte anvendt fremgangsmåde, den såkaldte Furness-metode med skiftevis afstemning af rækker og søjler, er illustreret i tabel 10.1.



Figur 10.6 Illustration af en gennemkørselsanalyse, hvor gennemfartstrafikken gennem byen: person-, vare- og lastbiler i begge retninger tilsammen er bestemt i tidsrummet 6-18.

Her antages det, at der gælder samme vækstfaktor på en given analysepost, hvad enten der ses på trafik fra eller til posten. Der foreligger altså i eksemplet et symmetrisk rejsemønster, men symmetri er dog ikke nødvendigt for anvendelsen af den metode, som skitseres her.

Øverst i tabel 10.1 står den observerede matrix. Yderst til højre ses de forventede vækstfaktorer. Der foretages først en rækkevis opskrivning af alle elementer med den faktor, som gælder for rækken. Herved fremkommer anden matrix, hvor rækkesummerne stemmer, men når der adderes lodret, stemmer summerne ikke med det forventede. Søjlerne ganges derefter igennem til søjlesummerne stemmer, som vist i tredie matrix, men nu stemmer rækkerne ikke. Afvigelserne er dog ret små. Efter endnu en korrektion af rækkerne fremkommer den fjerde matrix, hvor søjleafvigelserne nu er små.

I dette tilfælde kendes strømmene mellem alle analyseposter, dvs. at der kan opstilles en turmatrix, som vist øverst i tabel 10.1. I forbindelse med principperne for turfordeling omtales turmatricer nærmere.

Vækstfaktormodel: Illustration af række-søjle afstemning					Sum	Faktor
	0,00	20,00	30,00	40,00	90,00	1,00
	20,00	0,00	35,00	20,00	75,00	1,50
	30,00	35,00	0,00	40,00	105,00	1,33
	40,00	20,00	40,00	0,00	100,00	1,00
Sum	90,00	75,00	105,00	100,00	370,00	
Faktor	1,00	1,50	1,33	1,00		
Faktorer ganges ind rækkevis, søjler stemmer ikke:						
	0,00	20,00	30,00	40,00	90,00	
	30,00	0,00	52,50	30,00	112,50	
	40,00	46,67	0,00	53,33	140,00	
	40,00	20,00	40,00	0,00	100,00	
Sum	110,00	86,67	122,50	123,33	442,50	
Forventet	90,00	112,50	140,00	100,00	442,50	
Afvig. %	22,22	–22,96	–12,50	23,33		
Søjler ganges igennem til sum er lig forventet, rækker stemmer ikke:						
						Forventet
	0,00	25,96	34,29	32,43	92,68	90,00
	24,55	0,00	60,00	24,32	108,87	112,50
	32,73	60,58	0,00	43,24	136,55	140,00
	32,73	25,96	45,71	0,00	104,40	100,00
Sum	90,00	112,50	140,00	100,00	442,50	442,50
Rækker ganges igennem til sum er lig forventet. Søjleafvigelse minimal:						
	0,00	25,21	33,29	31,49	90,00	
	25,36	0,00	62,00	25,14	112,50	
	33,55	62,11	0,00	44,34	140,00	
	31,35	24,87	43,79	0,00	100,00	
Sum	90,27	112,19	139,08	100,97	442,50	
Forventet	90,00	112,50	140,00	100,00	442,50	
Afvig. %	0,30	–0,28	–0,66	0,97		

Tabel 10.1 Vækstfaktormodel med række-søjle afstemning.

Denne procedure med skiftevis afstemning af rækker og søjler benyttes også ofte ved andre metoder end vækstfaktormetoden. Det kan vises, at metoden er konvergent.

Andre procedurer har også været anvendt som vækstfaktormetoder fx gennemsnitsfaktormetoden, som simpelthen består i, at hvert enkelt element i matricen

multipliceres med gennemsnittet af rækkens og søjlens vækstfaktor. Metoden kan anvendes med og uden afstemning. Mere sammensatte procedurer som Fratar- og Detroit metoden har også været brugt. Her kan til gengæld opnås konvergens med et færre antal iterationer.[10]

10.3 4-trins modeller

De såkaldte 4-trins modeller eller sekventielle modeller er udviklet i 1960'erne i forbindelse med en række bytrafikstudier - først i USA siden i en række andre storbyer verden over. Til trods for deres tilsyneladende ret generelle karakter har de en række begrænsninger, som nok må føres tilbage til deres oprindelse som et trafikalt planlægnings- og prognosesystem til brug i by- og regionplanlægning. Anvendelser i andre trafikale sammenhænge har derfor ofte vist sig mindre overbevisende.

Modellerne er udviklet i en periode, hvor edb-teknikken slog igennem som et betydningsfuldt praktisk hjælpemiddel, og de var i begyndelsen af 1960'erne nogle af den tids mest omfattende edb-anvendelser til civile formål. De beregningsmetoder, som idag anvendes, er stærkt prægede af de senere års udvikling i matematiske optimeringsteknikker, som kræver stor edb-regnekraft, men tankegangene i modellerne kræver ikke store forudsætninger inden for disse teknikker.

4-trins modellerne rummer en række grundlæggende regneoperationer, som i større eller mindre omfang anvendes i andre modeltyper. De beskrives her, og der refereres siden til dem i afsnit 10.4 om andre modeller.

Modelopbygningens tankegang

I de tidligere arbejder omkring 4-trins modeller finder man ideerne omtalt som "simulationsmodeller". Idag bruges denne betegnelse oftest om regnetekniske beskrivelser af individuel adfærd med et stærkt stokastisk element, altså fx en beskrivelse af trafikale køsystemer, som er for komplicerede til en analytisk løsning, og hvor modellen giver et tilnærmet måleresultat.

"Simulation" betyder imidlertid "efterligning". Ideerne bag 4-trins modellerne, som de blev udviklet i 1960'erne, er, at de skal efterligne beslutningsproces og rejseadfærd for byboeres daglige rejser. Interessen var især koncentreret om behovet for trafiknettets udbygning, og derfor var spidsbelastningerne - og det er i praksis bolig-arbejdsstedsrejserne - i forgrunden ved modelopstillingen.

Tankegangen kan derfor beskrives ved, at vi "simulerer" arbejdstager A's daglige rejseadfærd set som fire faser:

A skal på arbejde, dvs. en tur skal foretages (fase 1).

Rejsen starter i hjemmet og bestemmelsesstedet er arbejdspladsen. Udgangspunkt og endepunkt er altså fastlagt (fase 2).

A kan nu oftest vælge blandt flere mulige transportformer: gang, cykel, bil, bus eller tog, evt. kombinationer heraf. Valget sker ud fra egne muligheder og de muligheder, som det offentlige transportsystem tilbyder (fase 3).

Når transportmåden er valgt, foretages et vejvalg. Er det givet, at fx bil er valgt, hvilken rute mellem hjem og arbejdssted er da ønskelig? (fase 4).

Det er disse 4 faser, som skulle simulere arbejdstager A's rejseadfærd. Som analyserne og beregningerne modelmæssigt foretages, behandles de som 4 trin i form af uafhængige processer og i den angivne rækkefølge. Det er som i al anden modelbygning diskutabelt, om dette er en god tilnærmelse.

For at nævne nogle problemer: Der er næppe tvivl om, at der er en sammenhæng mellem, hvor arbejdstagere bor, og hvor de arbejder. Men kan det beskrives statistisk? Er valget af bopæl påvirket af det offentlige transportsystem? Svaret er naturligvis "Ja, i et vist omfang", men betyder det, at trin 2 og 3 ikke kan udføres i separate beregninger?

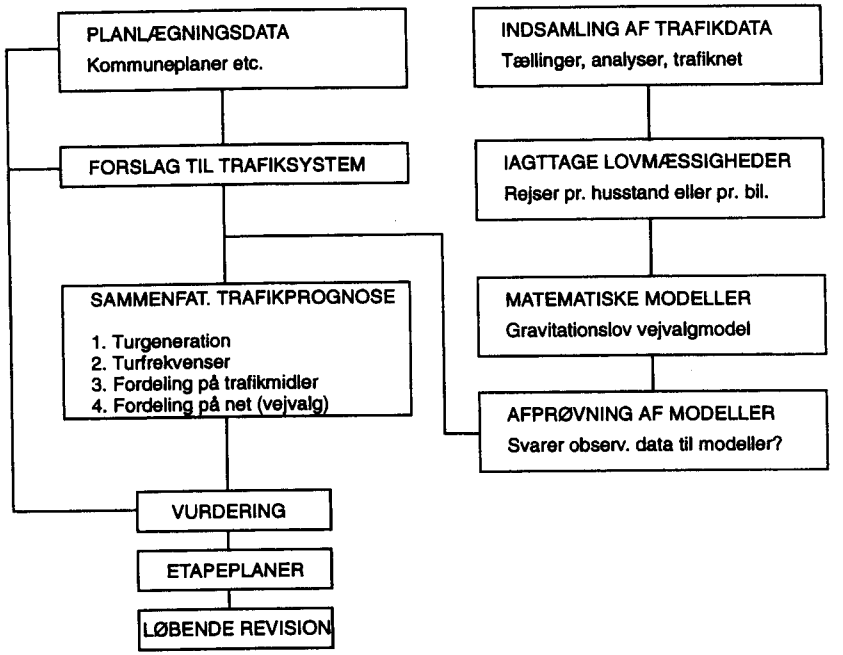
Og endnu mere kritisk: Hvis hele tankegangen overføres på andre rejsetyper, fx bolig-indkøb rejser, er så ikke allerede første trin, der omhandler om en rejse overhovedet foretages, netop afhængigt af, hvilket transportmiddel, som er til rådighed? Bilejeren kan nøjes med færre ugentlige indkøb end cyklisten, og hvor man foretager sine indkøb afhænger også af transportmidlet. Trin 2 og 3 skal måske ombyttes? - Alle disse indvendinger vil blive berørt i det følgende og deres mulige konsekvenser for modelformuleringerne behandlet.

Opstilling af en 4-trins model - Oversigt

Nedenfor beskrives de enkelte trin i opstillingen af en 4-trins model. Overordnet består arbejdet af:

- en dataindsamlingsfase
- en analysefase, hvori selve modellen opstilles, og
- en prognosefase, hvori den praktiske anvendelse foregår

Figur 10.7 viser en skematisk optilling af elementerne i en sådan modelopbygning, og det er antydet, hvorledes den indpasses i den samlede planlægningsproces.



Figur 10.7 Skematisk fremstilling af en planlægningsproces omfattende en 4-trins model.

Ud fra *planlægningsdata*, fx regionplaner og kommuneplaner, specificerer man det *trafiksystem*, som man ønsker en prognose for. Før prognosen kan opstilles, må der foretages en *indsamling af byplandata og trafikdata*. Der tænkes her først og fremmest på indsamling af data vedrørende rejsevanerne. I storbyer opgør man fx ved en hjemmeinterviewanalyse det samlede antal personrejser, deres udgangspunkt og endepunkt og deres fordeling på trafikmidler. Endvidere indsamles data om husstandene: Antal personer, antal biler, indkomst o.l. Ved at opdele materialet geografisk på zoner i byen kan man afsløre mellem hvilke områder de største rejsebehov ligger. Endvidere kan man *iagttage lovmæssigheder* i materialet såsom rejsetallets afhængighed af biltal eller indkomst. Disse lovmæssigheder må gives et kvantitativt udtryk i *matematiske modeller*, fx formler, som udtrykker det samlede antal rejser ud af en zone som funktion af zonens indbyggertal, antal beskæftigede, biltal, indkomst eller lignende. Der tænkes også på rejselove, som angiver, hvorledes de ture, som starter i en zone, fordeler sig over resten af byen. Der må foretages en *afprøvning af modellerne*, dvs. man prøver at beregne det samlede trafikbillede på analysetidspunktet, hvorefter man sammenligner med resultater af samtidige trafiktællinger. Denne afprøvning kaldes ofte *kalibreringen*. Når prøverne falder tilfredsstillende ud, er man klar til at starte på selve *trafikprognosen*, som falder i de 4 nævnte modeltrin.

1. *Turgenerationen* for en zone er det samlede antal rejser, som skabes i zonen i den tid, man betragter. Ud fra de byplanmæssige data kan man skønne de fremtidige værdier af de relevante størrelser, som man har fundet frem til ved at iagttage lovmæssigheder og opstille disse i modeller. Man må altså skønne antal husstande, biltæthed, antal beskæftigede eller lignende. På tilsvarende måde som for turgenerationen kan man definere et begreb *turattraktionen*, som er det samlede antal rejser, der tiltrækkes i den betragtede zone. Turattraktionen kan beregnes ved formler af samme karakter som dem, der gælder for turgenerationen. Betegnelserne turgeneration og turattraktion anvendes ikke ens i alle undersøgelser og prognoser.

2. Man ønsker nu at bestemme *turfordelingen*, dvs. man vil finde, hvorledes turene fordeler sig i byområdet. Man søger derfor en turmatrix, dvs. en matrix, som angiver, hvorledes de ture som genereres i hver zone, fordeler sig over samtlige zoner i området.

3. I større byer vil man herefter *fordele samtlige ture på transportmidler* dvs. på bilture, ture med kollektive trafikmidler og evt. cykel/gang ture. Behandling af cykel/gang ture kompliceres af, at de ofte udgør en deltur af kollektivrejserne. Denne beregning - ofte benævnt ved det engelske fagudtryk *"modal split"* - er problemfyldt og mange modeltyper har været anvendt. I mindre byer vil man ofte overspringe trin 3 i figur 10.7 og alene se på bilture.

4. Det sidste trin i prognosen er at fordele biltrafik og evt. de øvrige trafikarter på trafiknettet, dvs. udføre den beregning, som kaldes *vejvalg*. Her findes velafprøvede modeltyper, som er beregningsmæssigt effektive, i hvert fald for biltrafikkens vedkommende. Modeller for fordeling af den kollektive trafik på nettet har dog givet anledning til problemer. Modeller for cykeltrafik har kun undtagelsesvis været gennemført og med omdiskuterede resultater.

I det følgende beskrives nogle af elementerne i ovennævnte planlægningsproces nærmere.

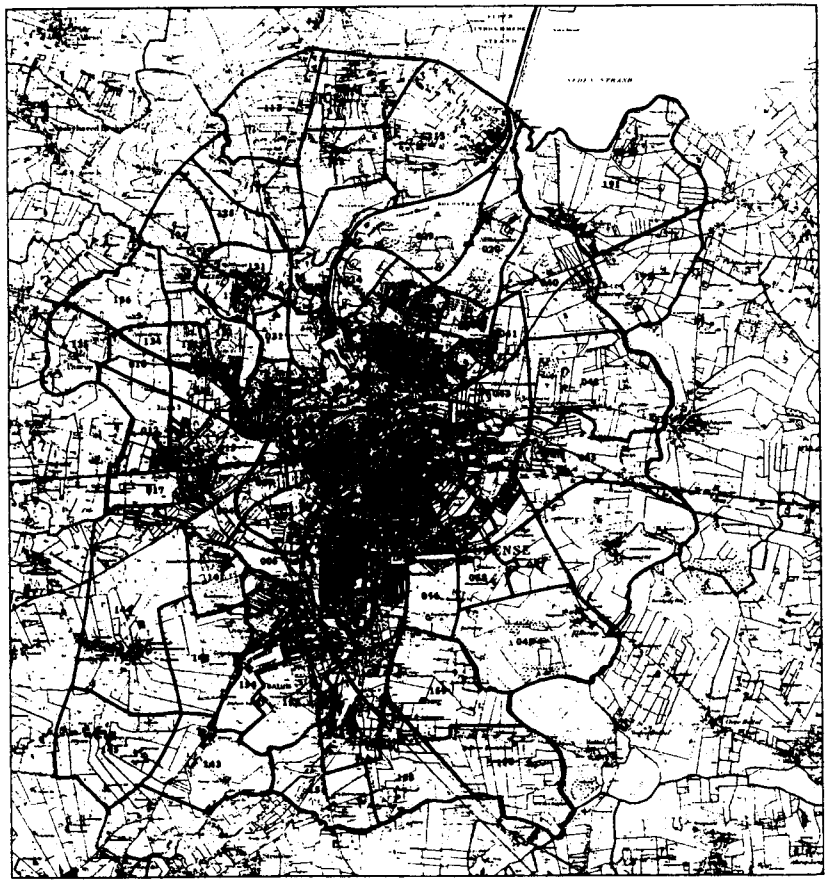
Zoneinddeling og netmodeller

En forudsætning for alle de følgende beregninger er, at der skabes en forenklet beskrivelse af det geografiske område og det trafiknet, som ønskes analyseret.

Tankegangen er oftest, at området først opdeles i geografiske zoner, der siden hen i beregningerne betragtes som punkter. Zoneinddelingen skal ske under hensyn til, at den skal være hensigtsmæssig i dataindsamlingsfasen, dvs. den må ofte følge grænser, som fx anvendes i kommuneplanlægningen, idet det letter indsamlingen af data om boliger, erhvervsarealer, institutioner mv.

Et andet vigtigt forhold er, at størrelsen af zonerne må afpasses efter detaljeringsgraden i de efterfølgende undersøgelser. Det vil typisk sige små zoner nær de kritiske områder i trafiknettet - fx i bymidten -, hvor man gerne vil kunne vurdere virkningerne af planlægningsdispositioner. Omvendt bør zoner langt fra interesseområderne gøres store, fordi dataindsamlings- og dataanalyseomkostninger stiger stærkt med zoneantallet. Figur 10.8 viser et eksempel på en zoneinddeling i forbindelse med opstilling af en trafikmodel for Odense.[11]

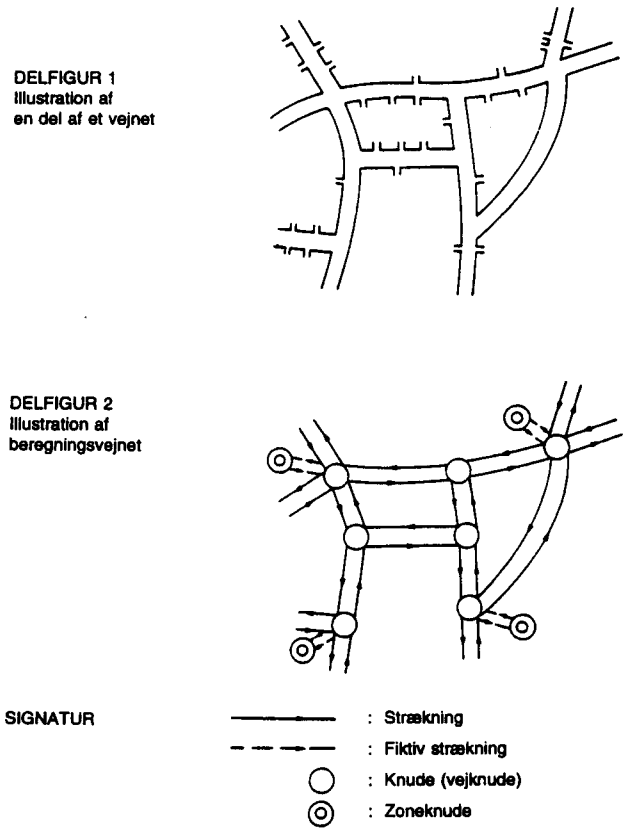
På tilsvarende måde er det i det videre arbejde nødvendigt at begrænse sig udvælgelsen af de strækninger af vejnettet, som behandles. Strækninger, som har ren lokal betydning inden for en zone, udelades af netmodellen.



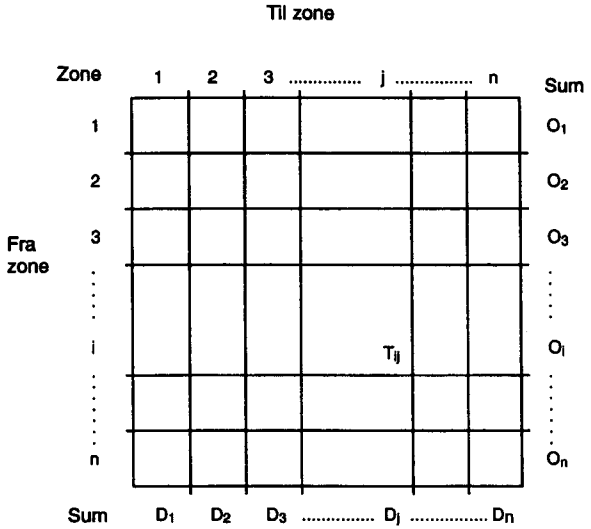
Figur 10.8 Eksempel på zoneinddeling. i Odense.

Måden at beskrive nettet på til beregninger er følgende: Nettet antages at bestå af knuder og af strækninger med en kendt længde. Zoner repræsenteres af særlige zoneknuder. Kun i disse kan trafik komme ind i eller ud af nettet. I alle andre strækninger kan trafikken passere op til en vis mængde - kapaciteten af strækningen. I knuder kan trafikken frit skifte fra én strækning til en vilkårlig anden. Ofte anvendes ensrettede strækninger, og i så fald kan trafik kun flyde med ensretningen og i en knude derfor kun skifte til en strækning ensrettet bort fra knuden. Skitse af et virkeligt vejnet og et beregningsvejnet er givet i figur 10.9.[10]

Figuren illustrerer, hvorledes zoneknuderne opfattes som fiktive tyngdepunkter for rejser til og fra de geografiske områder. De fiktive strækninger til og fra det virkelige net repræsenterer lokaltrafikkens adgang til hovednettet. Den egentlige lokaltrafik i et område regnes ikke at belaste nettet. Denne trafik svarer til rejsetallene i diagonalelementerne i en turmatrix, altså T_{ii}-værdierne, jf. figur 10.10.



Figur 10.9 Illustration af en del af et vejnet med tilhørende beregningsvejnet.



Figur 10.10 Opbygningen af en turmatrix.

I et beregningsvejnet er følgende tre begreber vigtige: *rute, træ og neg*, jf. figu 10.11.[10]

- En rute går fra én zoneknude gennem knuder og strækninger til en ande zoneknude. Den korteste af alle de mulige ruter mellem to zoneknuder er : særlig betydning
- Et træ fra en given zoneknude er samlingen af korteste ruter fra denne zon knude til alle øvrige zoneknuder i nettet
- Et neg eller et rutebundt er den mængde af korteste ruter i træerne, so passerer en given strækning

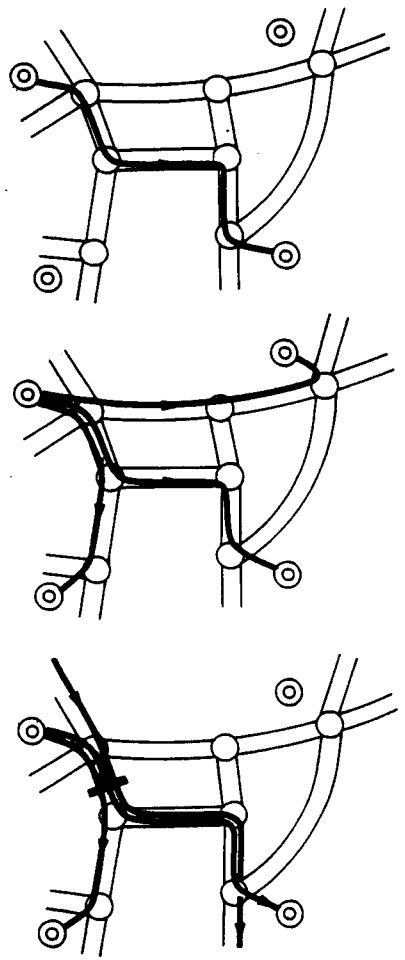
Beregning af træer kan foretages ved hjælp af bl.a. Moore's algoritme. Princip består i på baggrund af udgangszonen - roden - systematisk at tilføje enkeltstræ ninger og sammenligne rejselængder fra roden. Nås samme zone ad flere forsk lige ruter, kan den korteste udvælges og indgå i den videre søgning.[10]

Ud over korteste ruter og træerne af korteste ruter er man også interesseret i sel rejseafstanden mellem alle zonepar. Opstilles for hver zone (1...n) en række m afstandene fra den betragtede zone til alle øvrige zoner, fås en (n × n) matrix, so er identisk med afstandsmatricen D_{ij} omtalt senere under turfordeling. Norm skønnes diagonalværdierne D_{ii} ud fra zone i's geografiske størrelse. Eventu kan det lokale vejnets udformning indgå i dette skøn.

DELFIGUR 1
Illustration af den korteste rute mellem to zoner

DELFIGUR 2
Illustration af et træ fra en zone, dvs. samlingen af korteste ruter fra zonen til alle andre zoner

DELFIGUR 3
Illustration af et rutebundt ("neg") for en strækning



Figur 10.11 Illustration af korteste rute, træ og neg.

I det foregående er alene anvendt strækningers længde ved definitioner af ruter og træer. Man kan naturligvis i stedet for længder indsætte fx rejsetider, rejseomkostninger el.lign. og gennemføre tilsvarende beregninger, hvis man i prognosesituationen anser disse størrelser for de relevante. Der bliver da fx tale om træet af de hurtigste ruter eller af de billigste ruter i stedet for de korteste ruter.

Der kan også anvendes vægtede udtryk mellem de parametre, man mener er et udtryk for den samlede rejsemodstand, fx mellem længde og og rejsetid. Disse vægte, som beskriver den trafikale adfærd, skal vurderes i forbindelse med det enkelte transportmiddel, der omfattes af modelopstillingen.

Turproduktion, turgeneration og turattraktion (trin 1)

Det spørgsmål, som behandles i det følgende, er i første række: Hvor mange ture foretages der i det område, som undersøges? En række forskellige teknikker har været bragt i anvendelse. Hvilke teknikker, der anvendes i praksis, afhænger af hvilke analyser, der er foretaget og hvilket grundlag i form af byplandata eller registerdata, som er tilgængeligt for prognoseberegningen.

I det følgende anføres der definitioner af nogle vigtige begreber.[10,11,12]

Ved *turproduktion* forstås et antal ture som gennemsnitligt produceres af en af de grundlæggende enheder i byområdets analyse og prognosedata over et tidsrum, som oftest er lig et døgn. Eksempelvis har man anvendt enheder som en husstand, en skatteyderenhed (skatteyder + afhængige personer fx børn), en personbil, en person over 18 år el.lign.

I analysefasen søger man efter sammenhænge mellem turproduktionen for den valgte type af enhed og egenskaber ved denne enhed. Der er to metoder, som har været anvendt ofte, nemlig *regressionsanalyse* og *kategorianalyse*.

Ved *regressionsanalyse* udtrykkes turproduktionen ved en sædvanligvis lineær funktion af formodet betydningsfulde variable, fx som nedenfor fra en ældre analyse i Washington DC: [12]

$$Y = aX_1 + bX_2 + cX_3 + dX_4 + e \qquad (10.9)$$

Y:	Antal ture pr. husstand
X_1:	Antal biler pr. husstand
X_2:	Afstand til centrum
X_3:	Boligtæthed
X_4:	Husstandsindkomst
a, b, c, d, e:	Konstanter fundet ved regression

Problemet ved regressionsanalyser er, at der gerne skal være en årsagssammenhæng mellem Y og de uafhængige variable X_1-X_4, ellers kan relationen være statistisk uholdbar i fremtiden. Hvis fx arbejdspladserne er koncentreret i centrum i analysesituationen men stærkt decentraliseret i prognosesituationen, er afstand til centrum sikkert en dårlig prognosevariabel.

Og mere kritisk, hvis fx to uafhængige variable i virkeligheden er stærkt indbyrdes afhængige, vil de tilhørende konstanter ifølge regressionsanalysens teori være upålidelige. Her må man formode, at antal biler pr. husstand er stærkt korreleret med husstandsindkomst, hvorfor betydningen af konstanterne a og d i udtrykket bliver usikker.

En metode til at undgå disse vanskeligheder er *kategorianalyse*. Ideen her er, at opdele enhederne, fx husstandene, i ret ensartede kategorier og derefter måle

turproduktionen pr. døgn (turraten) pr. husstand i hver kategori. Et eksempel fra en analyse i Odense vist i tabel 10.2 belyser teknikken. Det ses, at der er foretaget en opdeling af husstandene efter antal ture pr. analyseenhed. Kategorierne indeholder her også turformål.[11]

Husstandskategoriers turproduktion (turrater) opdelt på turformål								
bopæl-arb.	bopæl-skole	bopæl-indkøb	bopæl-andet	ikke bopæl	alle	lokale ture	oplands-ture	alle ture
0 1	0,1	0,1	1,2	0,5	0,6	2,5	0,1	2,5
0 2^+	0,3	0,5	2,9	1,1	1,2	6,0	0,3	6,3
1 0	1,3	0,2	0,7	0,5	1,2	3,9	0,3	4,2
1 1	1,7	0,2	2,2	1,1	1,7	7,0	0,4	7,4
1 2^+	1,8	2,6	2,7	2,2	2,7	11,9	0,7	12,7
2 0	3,1	0,2	1,3	1,1	2,2	8,0	0,7	8,7
2 1	2,8	1,3	2,8	2,7	3,5	13,0	0,9	14,0
2 2^+	3,4	3,5	2,7	3,0	2,7	15,3	1,1	16,4
alle	1,5	0,8	1,7	1,2	1,7	6,9	0,5	7,4

eks. 1 2^+: 1 erhvervsudøver samt 2 eller flere bipersoner

Tabel 10.2 Turrater fordelt på husstandskategori og turformål.

I et andet eksempel på en kategorianalyse fra Århus vist i tabel 10.3 er det bilturrater (ture pr. bil pr. døgn), som angives set i forhold til urbaniseringsgrad og boligform.[10]

Zonekarakteristika		Turproduktionsrate - ture pr. bil pr. hverdagsdøgn - for personbiler i:		
Urb. grad	Opl. grad	Etage	Parcel	Landbrug
1	1	3,89	4,69	3,39
	2	4,78	5,43	3,39
	3	3,89	4,11	3,39
2	1	3,89	4,69	3,39
	2	4,78	5,43	3,39
	3	3,89	4,11	3,39
3	3	3,89	4,69	3,73
4		3,34	4,28	4,28
5		3,76	4,57	4,57
6		4,43	5,10	5,10

Tabel 10.3 Bilturrater fordelt på zonekarakteristika og boligtype.

Valget af kategorier rummer principielt samme vanskelighed som valget af variable i regressionsanalyser, nemlig uafhængighed. Problemet er dog mindre her, fordi nogle tvivlsomme talværdier i en turratetabel ikke ødelægger værdien af de øvrige værdier, mens en forkert konstant i en regressionsformel påvirker alle anvendelser af formlen.

Mens turproduktion eller turrater er knyttet til analyseenheden, er *turgeneration* og *turattraktion* knyttet til de geografiske enheder dvs. zonerne. Mens turraterne bestemmer samtlige ture, evt. fordelt på formål, skal turgenerationen og turattraktionen bruges til at udtrykke den geografiske fordeling af turendepunkter. Da man på baggrund af analysearbejdets fremgangsmåde har mest styr på ture, der udgår fra og ender på bopælen, sondrer man mellem *bopælsbaserede* og *ikke-bopælsbaserede* ture. Alle ture, der har et turendepunkt i bopælen dvs. både udgående og indgående ture, siges at have et generationspunkt på bopælen, mens der for de ikke-bopælsbaserede ture gælder, at de har generationspunkt, hvor turen starter og attraktionspunkt, hvor den slutter. På denne baggrund vil en bolig-arbejdsrejse ud om morgenen og hjem om aftenen bestå af to ture, hvor begge ture er kendetegnet ved at være genereret af bopælen og attraheret af arbejdspladsen. Antalsmæssigt er de bopælsbaserede ture klart dominerende sammenlignet med de ikke-bopælsbaserede ture.

Som følge af disse definitioner anvender man to typer turmatricer, nemlig fra-til eller O-D (Origin/Destination) matricer samt G-A (Generation/Attraktion) matricer, hvor række- og søjlesummer ved sidstnævnte type i stedet for samlet antal udgående og indgående ture som ved O-D matricer, består af zonens samlede generation og attraktion.

Ved turmatricer på G-A basis er turenes retning således ikke umiddelbar som ved O-D matricer, men afhænger af det aktuelle tidsrum, hvor turene finder sted.

Betragtes fx en spidstime, er det uden betydning om trafikmønsteret beskrives med en O-D matrix eller en G-A matrix. Spidstime-studier er relevante for fx undersøgelse af nettets kapacitet. Betragtes derimod et døgn, som det vil være relevant ved trafikøkonomiske vurderinger, vil O-D matricen have en symmetrisk karakter, mens G-A matricen vil afspejle boliger og arbejdspladsers lokalisering og således danne baggrund for en beskrivelse af trafikkens retningsfordeling over døgnet. Et eksempel kan være en større by og trafikken på indfaldsvejene mellem forstæder med boliger og centrum med arbejdspladser. Ved en G-A matrix kan trafikken i hver retning nemt beregnes som middelværdien af samhørende matrixelementer. En forudsætning herfor er imidlertid, at der i det betragtede tidsrum faktisk er balance mellem udgående og indgående trafik i de enkelte zoner, som fx ved et døgn.

Mht. de bopælsbaserede ture, herunder bolig-arbejdsstedrejserne, er det oplagt, at generationen for en zone udregnes ud fra zonens antal af enheder - antal husstande og typer - i den pågældende zone. Mht. attraktionsværdien for en zone kunne antal arbejdspladser være et godt mål, hvis det kendes, men ofte må der ud fra analysedata laves en kategorianalyse, som bestemmer attraktionsrater for forskellige typer af arealanvendelse (bolig, kontor, butik osv.).

De ikke-bopælsbaserede ture behandles på forskellig vis. Sommetider indregnes de i generations- og attraktionsmodellen for de bopælsbaserede ture, idet der skaleres efter områdets samlede turproduktion. I andre tilfælde opstilles særskilte generations- og attraktionsmodeller, hvor det dog for enkelheds skyld vælges at bruge samme udtryk, uanset om det er en regressions- eller en kategorimodel, der benyttes.[10]

Det kan bemærkes, at ordene turproduktion, turgeneration og turattraktion har været anvendt forskelligt i forskellige analysearbejder.

Turfordeling og turmatricer (trin 2)

Den opgave, som skal løses, kan beskrives således: For hver af de n zoner kendes turgenerationen G_i og turattraktionen A_j (i,j = 1...n). Idet der gælder, at $\Sigma_i G_i = \Sigma_j A_i$ søges en turmatrix udfyldt med T_{ij}-værdier således, at række- og søjlesummer stemmer og sådan, at de repræsenterer det forventede rejsemønster i byen i fremtiden.

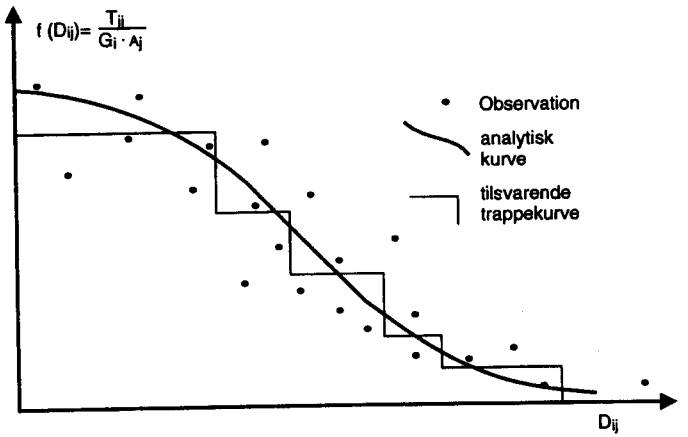
Et princip kan være, at man antager, at fx rejserne genereret i zone i, G_i, fordeles proportionalt med attraktionsværdierne i alle zoner A_j, sådan at jo større attraktion en zone har, jo flere af zone i's rejsende vil rejse mellem zone i og zone j. Det fører til udtrykket:

$$T_{ij} = \frac{G_i \cdot A_j}{\sum_j A_j} \qquad (10.10)$$

Således gælder, at zone j attraherer andelen $A_j/\Sigma_j A_j$ af zone i's rejser. Da $\Sigma_j A_j = \Sigma_i G_i$, kan udtrykket også skrives:

$$T_{ij} = \frac{A_j \cdot G_i}{\sum_i G_i} \qquad (10.11)$$

Hermed gælder, at af alle attraherede rejser til zone j er brøkdelen $G_i/\Sigma_i G_i$ genereret i zone i. Princippet fører til, at alle rækker er proportionale med rækken af søjlesummer A_j, og at alle søjler er proportionale med søjlen af rækkesummer G_i.



Figur 10.12 Tænkt plot af afstandsfunktion ud fra observeret turmatrix og afstandsmatrix. Indlagt en mulig tilnærmet trappefunktion.

En så simpel fordelingsmekanisme, hvor rejselængde og -tid er sat ud af kraft, er sjældent anvendelig i praksis. Det antages som hovedregel, at "alt andet lige" vil en rejsende vælge en kortere eller hurtigere tur frem for en længere eller langsommere tur. I praksis indgår derfor altid også et hensyn til afstand og/eller rejsetid foruden G_i og A_j værdierne ved beregning af T_{ij}.

Hvis der foreligger en observeret turmatrix, kan man danne sig et indtryk af afstandens betydning på følgende måde. Man udregner en afstandsmatrix D_{ij} svarende til turmatricen, altså afstandene mellem alle zonepar (i,j). Man kan tænke sig, at T_{ij} har den generelle form:

$$T_{ij} = G_i \cdot A_j \cdot f(D_{ij}) \qquad (10.12)$$

Ved omformning af (10.12) kan $f(D_{ij})$, som angiver afstandens betydning for rejsehyppigheden, umiddelbart plottes, idet den observerede turmatrix indeholder alle værdierne T_{ij}, G_i og A_j. Herved fremkommer grafen i figur 10.12.

Der har været ofret megen energi på at finde udtryk for afstandsfunktioner eller modstandsfunktioner eller omkostningsfunktioner, som de også sommetider betegnes. Allerede i 1891 formulerede Lill i forbindelse med jernbanetrafik følgende "rejselov", som er en analogi til Newton's massetiltrækningslov eller gravitationslov:

$$f(D_{ij}) = k \cdot D_{ij}^{-2} \qquad (10.13)$$

I stedet for (10.13) anvendes generelt funktioner af nedenstående type:

$$f(D_{ij}) = k \cdot D_{ij}^{-p} \quad \text{og} \quad f(D_{ij}) = k \cdot e^{-q \cdot D_{ij}} \qquad (10.14)$$

D_{ij}: Afstand mellem i og j (fysisk afstand, tid, omkostning eller kombination som *generaliseret omkostning*)

k,p, q: Modelparametre i form af konstanter (regression)

Som antydet på figur 10.12 har man i mange praktiske tilfælde erstattet et analytisk udtryk med en trappefunktion.

Uanset valget af afstandsfunktioner benævnes disse typer af turmodeller generelt *gravitationsmodeller*. Det er denne type modeller, som oftest anvendes i forbindelse med 4-trins modeller, men der er intet i vejen for at lade turmatricer beregnet ved vækstfaktormetoder indgå i stedet. Ved sidstnævnte tager man udgangspunkt i et observeret turmønster, mens gravitationsmodellen beregningsmæssigt opstiller et turmønster. Sommetider betegnes en sådan turmatrix i modsætning til en matrix baseret på analyser for en syntetisk turmatrix.

Et særligt spørgsmål opstår ved den praktiske anvendelse af gravitationsmodeller, nemlig om række- og søjlesummer skal stemme eller om afstandsfunktionen skal tilnærmes bedst muligt?

Problemet opstår, fordi en afstandsfunktion, som fx stammer fra en analyse, og som anvendes i formlen (10.12), ikke garanterer, at når værdierne for T_{ij} summeres vandret, så har summen værdien G_i. Dette kan imidlertid opnås gennem en normering af $f(D_{ij})$ ved, at man sætter:

$$T_{ij} = G_i \cdot \frac{A_j \cdot f(D_{ij})}{\sum_j A_j \cdot f(D_{ij})} \qquad (10.15)$$

Herved sikres, at $\Sigma_j T_{ij} = G_i$. Bemærk analogien mellem formlerne (10.10) og (10.15). I (10.15) er det nu ikke A_j, men $A_j f(D_{ij})$, der benyttes som vægtningsfaktor. Imidlertid vil det nu gælde, at dannes i stedet $\Sigma_i T_{ij}$ vil det normalt ikke give A_j.

Man kunne naturligvis have normeret på den anden led med G_i i nævneren i (10.15), så det ville det være A_j som stemte, men hermed ikke G_i.

Typisk vil dog gælde, at generationerne G_i er bedre bestemt end attraktionerne A_j. Dette skyldes bl.a. bedre kendskab til boligernes lokalisering i fremtiden.

I stedet for at vælge mellem om række- eller søjlesummer skal stemme, kan der anvendes en iterativ teknik, hvor både række- og søjlesummer bliver afstemt, jf. udtrykket i (10.16). Teknikken svarer til den tidligere omtalte Furness-metode med skiftevis række-søjle afstemning. Udgangspunktet her er imidlertid ikke en observeret turmatrix, men alene række- og søjlesummerne G_i og A_j samt afstande D_{ij} og en afstandsfunktion $f(D_{ij})$:

$$T_{ij}^{(n)} = G_i \cdot \frac{k_j^{(n-1)} \cdot A_j \cdot f(D_{ij})}{\sum_j k_j^{(n-1)} \cdot A_j \cdot f(D_{ij})} \qquad (10.16)$$

og:

$$k_j^{(n)} = \frac{A_j}{\sum_i T_{ij}^{(n)}} \cdot k_j^{(n-1)}$$

$T_{ij}^{(n)}$: Ture mellem zone i og zone j i iteration n på baggrund af G_i, A_j, D_{ij}, $f(D_{ij})$ samt $k_j^{(n-1)}$ værdier. Som startværdier $k_j^{(0)}$ anvendes (1,..,1). Iterationen afbrydes ved passende lave afvigelser på søjlesummerne, $(\sum_i T_{ij}^{(n)})/A_j$, fx under 3%.

Hvilken model - med hvilken tilnærmelsesteknik - som bør foretrækkes, afhænger af opgavens formål og datas lødighed.

I nogle situationer vil man kunne antage, at G og A værdier er de bedst bestemte for prognosesituationen, mens modstandsfunktionen er dårligt bestemt i analysefasen. Man vil i sådanne situationer sandsynligvis vælge en gravitationsmodel med både række- og søjleafstemning. Afstandsfunktionen gives da alene ved valg af talværdi for p eller q i (10.14). Man må være opmærksom på, at afstemningsprocessen i sig selv kan modificere matricers struktur. Når en afstemning efter både rækker og søjler er slut, er den oprindeligt valgte afstandsafhængighed modificeret, erfaringsmæssigt i retning af lavere p-værdi. Det vil sige, at hvis man analyserede en sådan afstemt matrix som om den var en observeret matrix, ville man finde en svagere afstandsafhængighed end svarende til den valgte p-værdi. For mange iterationer kan altså være betænkeligt.

Er der grund til at antage, at G-værdier (boliger) i prognosesituationen er godt bestemt, at afstandsfunktionen er undersøgt grundigt i analysefasen, mens A-værdierne er mere skønsmæssigt bestemt, vil man eventuelt anvende (10.15) direkte uden nogen iteration.

Der findes kommercielt tilgængeligt adskillige PC-programsystemer, som rummer en række raffinementer fx både række- og søjleafstemning samtidig med, at den samlede turlængdefordeling kendt fra en afstandsfunktion respekteres. Et princip er, at man starter med en parameterværdi i afstandsfunktionen, som efter række- og søjleafstemning fører til en turmatrix fra hvilken, man kan beregne en gennemsnitlig turlængde. Denne værdi anvendes i en iterationsformel (Hyman's metode), som fører til en ny parameter i afstandsfunktionen. Anvendelse af en iterationsteknik sikrer hurtigere konvergens end simpelt gætteri.[13]

I de fleste bytrafikstudier er det samlede rejsetal det givne, og problemet er at fordele rejserne geografisk, på trafikmidler og på net. I sådanne sammenhænge er gravitationsmodeller meget anvendt i praksis.

Fordeling på trafikmidler, "modal split" (trin 3)

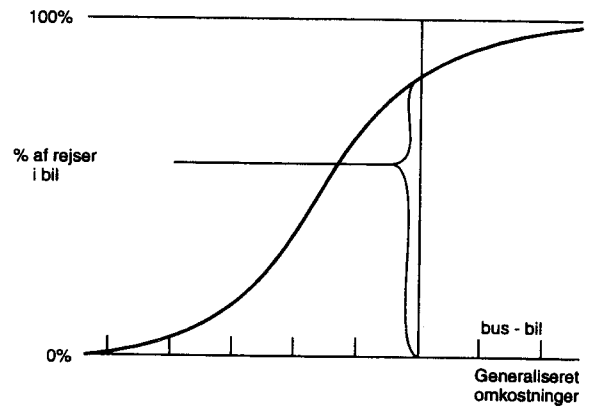
Som nævnt er dette punkt i modellerne det mest problemfyldte. Helt afgørende for valg af beregningstype er hvilke turformål, der behandles. Der findes fx ikke i danske studier nogen alment benyttet metode.

En af de grundlæggende modeltyper er de såkaldte *logitmodeller* (se afsnit 10.4), og der henvises i første række hertil.

Som en kort skitsering af teknikken i modal split beregninger betragtes her følgende situation: Der er beregnet et sæt T_{ij}-værdier for alle personrejser ved en gravitationsmodel. Hvis der fx søges rejser i to transportsystemer, nemlig et bilrejsenet og et bybusrejsenet, søges for hvert zonepar (i,j) to kvalitetsmål, som karakteriserer rejser i de to trafiknet. Disse vil typisk være af typen generaliserede omkostninger, hvori indgår tid og omkostning for bilrejsen og tid, omkostning og bekvemmelighed - fx skift mellem buslinier - for busrejsen, jf. iøvrigt omtalen af rejsemodstand i forbindelse med ruter og træer. I den forudgående trafikanalyse er der søgt opstillet en relation af den type, som ses i figur 10.13.

En kurve som figur 10.13 kan enten være rent empirisk fra analysedata eller teoretisk begrundet og derefter kalibreret fra analysedata. Undertiden "flyttes" sådanne kurver simpelthen fra én analyse til en anden, men det er en nødløsning, som bør undgås.

Her er formålet at finde en funktionstype, som tillader, at de to værdier for de generaliserede omkostninger - oftest i form af forskellen eller forholdet mellem dem - muliggør en procentuel fordeling af enhver værdi af T_{ij}, således at hele T_{ij}-matricen splittes i to: en T_{ij}(bil) og en T_{ij}(bus), som derefter hver for sig danner udgangspunkt for en beregning af belastningen på de to net.



Figur 10.13 Fordelingskurve for trafik mellem biltrafik og bustrafik.

Vejvalg (trin 4)

Formålet med vejvalgmodellen er at foretage en fordeling - eller udlægning - af rejserne fra en turmatrix ud på det aktuelle net. Fra turfordeling og evt. modal split kendes en aktuel turmatrix - fx en biltursmatrix.

Fra netmodellen kendes alle træerne, som angiver de korteste ruter mellem alle zonepar dvs. ruter med mindst rejsemodstand. Ofte fordeles trafikken på nettet alene efter de korteste ruter, dvs. al trafik mellem zonerne i og j lægges på den korteste rute fra i til j. Sommetider betegnes en sådan fremgangsmåde som "alt-eller-intet" vejvalg. Idet alle zonepar (i,j) gennemløbes, vil en given strækning i nettet blive belastet med summen af de elementer i turmatricen, hvis ruter passerer den givne strækning.

Hvis en strækning herved belastes ud over strækningens kapacitet, opstår et omfordelingsproblem. Alt efter beregningens formål kan man enten nøjes med at konstatere, at trafikken ikke kan afvikles på et eller flere steder i nettet, eller man kan forsøge at finde en sandsynlig virkelig fordeling, hvis nettet ikke udbygges på de kritiske steder.

Den fordelingstankegang, som hyppigst er søgt anvendt i vejvalgmodeller, er formuleret af Wardrop. Hans tanke er, at hver enkelt rejsende i nettet vil søge at optimere sin egen situation, dvs. at hvis trafikanten kan formindske sin rejsemodstand i form af nedsat rejsetid ved at skifte fra én rute til en anden rute, så gør trafikanten det. Wardrop forudsætter, at på hver enkelt strækning eksisterer der en sammenhæng mellem trafik og rejsetid således, at rejsetiden stiger ved stigende belastning. Det kan vises, at dette er identisk med følgende formulering: Rejser mellem to zoner vil være fordelt over de mulige ruter således, at ruter, som anvendes, har lige store rejsetider eller rejsemodstande, mens ruter, som ikke anvendes, har større rejsetider eller rejsemodstande.[14,15]

Der findes udviklet iterative metoder, som skaber en fordeling af trafikken over nettet i overensstemmelse med Wardrops tankegang. Princippet er, at først udlægges trafikken efter rute med mindst rejsemodstand uden indregning af eventuel forsinkelse på de enkelte strækninger. Såfremt en række strækninger belastes i nærheden af kapacitetsgrænsen, forøges rejsetiden på disse strækninger. På denne baggrund kan nye træer beregnes, og man kan iterere sig frem til en løsning. En af de anvendte algoritmer er Smock's algoritme, hvor strækningsbelastningen findes som et gennemsnit af de hidtil beregnede trafikmængder. Når ændringen i rejsemodstand er passende lille, stoppes iterationen.[10]

En række andre tankegange end ovennævnte har været forsøgt. En kritik mod Wardrops tankegang er, at den forudsætter, at trafikanterne faktisk kender tilstanden i hele nettet, for at Wardrops ligevægt kan indtræde. Og det gør trafikanterne naturligvis ikke. Metoder med et indhold af stokastisk rutevalg har derfor



Rejsetiden forøges ved stor trafikintensitet.

været forsøgt. Et eksempel er Burrell's vejvalgsmodel, hvor der anvendes rektangulære sandsynlighedsfordelinger omkring den enkelte strækning rejsemodstand m, fx som m ± 20%.[10]

I dansk praksis har man ofte alene betjent sig af fordeling efter korteste eller hurtigste ruter uden hensyn til mulige kapacitetsproblemer. Hvorvidt dette er fagligt forsvarligt må bero på en konkret vurdering af nettets kapacitets- og afviklingsforhold.

Regnetekniske hjælpemidler

I årenes løb er der udviklet en lang række edb-systemer til beregning af 4-trins modeller. I Danmark har fx Vejdatalaboratoriet udviklet et system, og en særlig dansk tilpasset version kaldet Amtstrafikmodellen er i brug.[16]

Et andet system i brug i Danmark er EMMA, hvor netopbygningen foretages med interaktiv grafik.[17]

Rådgivende firmaer udvikler ofte deres egne systemer særligt tilpasset deres kunders behov.

Her skal omtales et system, MOTORS, som også er i brug i Danmark, både kommercielt og til undervisning. Arbejdsgangen beskrives kort i det følgende.[18]

Der startes med opbygning af zoneinddeling og trafiknet i form af et vejnet og et kollektivt rutenet. I nettene defineres strækninger ved en længde, en hastighedsstandard og en kapacitet. I nettene udregnes træer og modstandsmatricer, idet

der anvendes en vægtning mellem rejseafstand og rejsetid - altså generaliserede omkostninger.

Herefter beregnes generations- og attraktionsdata, idet der er programmer til behandling af trafikanalysedata og byplandata ved regressions- eller kategorianalysemetoder.

Turfordeling kan beregnes enten ved en vækstfaktormetode eller en gravitationsmodel. Turfordelingsmatricen kan derefter opdeles i to matricer: en vejtransportmatrix og en offentlig transport matrix, idet hvert element i den oprindelige matrix fordeles i to elementer efter en fordelingskurve, der benytter forholdet eller forskellen mellem rejseomkostningerne i de to net som uafhængig variabel.

Endelig foretages vejvalgberegninger i vejnettet og rutebelastningsberegninger i det offentlige transportnet. Programsystemet indeholder forskellige muligheder for at indregne betydningen af strækningers kapacitet og indflydelsen på rejsetiden og hermed rutevalget.

MOTORS systemet indeholder også et matrixestimationsprogram, som er beskrevet senere. Det kræver ud over definition af zoner og net endvidere et antal talte belastninger på delstrækninger og evt. en historisk turmatrix.

Der er også muligheder for at udnytte et grafikmodul, som kan optegne net, træer, ruter etc.

Et andet PC-beregningssystem er TransCAD, som omtales senere i forbindelse med trafikmodeller og geografiske informationssystemer (GIS).

10.4 Andre modeltyper og modelteknikker

Alle kendte trafikmodeltyper er udviklet med henblik på særlige anvendelsesområder. De har derfor særlige fordele og begrænsninger. I dette afsnit behandles nogle modeltyper, som har vist sig anvendelige i en række praktiske situationer, og som er teoretisk eller praktisk interessante.

Logitmodeller

Logitmodeller hører til en modeltype, som kendes som individbaserede valgmodeller.[10] De er udviklet med det formål at beskrive individuelle valg mellem rejsemuligheder, hvor kvalitetsforskelle er målelige. De kan ses som forsøg på at imødekomme kritik af fx 4-trins modellens modal split-del, hvor en svaghed er, at trafikmiddelvalget foretages på grundlag af samme gennemsnitlige ("aggregerede") data.

Logitmodellens udgangspunkt er nytteteoretisk, idet et givet valg tænkes at repræsentere en målelig nytte for den, som vælger. Den arbejdstager, som rejser på arbejde, har større nytte af det end den "negative nytte" - dvs. udgift, tidstab, diverse gener -, som rejsen koster. Hvilken rejsemåde, der vælges, afhænger af hvilken, der har størst nytte (= mindst negativ nytte).

Nytten af at vælge alternativ a for person p benævnes U_{pa}. Det antages, at nytten kan skrives på formen:

$$U_{pa} = u_{pa} + \varepsilon_{pa} \tag{10.17}$$

Første led u_{pa} er en deterministisk, målelig størrelse, som angiver nytteværdien af omkostning, tidsforbrug, gener i form af trafikmiddelskift mm. Næste led ε_{pa} er en stokastisk variabel, som udtrykker nytten af forhold, som ikke er målt eller ikke er målelige, fx manglende viden om faktiske nytteværdibidrag, individuelle nyttebedømmelser o.lign.

Hvis man alene betragter 2 valgmuligheder, "1" og "2", og antager, at person p vælger alternativet med størst nytte, ser man, at alternativ 1 vælges, hvis:

$$\begin{aligned} & U_{p1} > U_{p2} \\ \text{eller} \quad & u_{p1} + \varepsilon_{p1} > u_{p2} + \varepsilon_{p2} \\ \text{eller} \quad & u_{p1} - u_{p2} > \varepsilon_{p2} - \varepsilon_{p1} \end{aligned} \tag{10.18}$$

Selv om $u_{p1} > u_{p2}$ er det ikke sikkert, at alternativ 1 vælges, da højre side i den sidste ulighed er en stokastisk variabel.

Nøjagtig hvilken modeltype, som kommer ud af det nytteteoretiske ræsonnement, afhænger af hvilken antagelse, der opstilles om fordelingen for den stokastiske variabel ε. Antages det, at ε følger en såkaldt Weibull fordeling, hvilket er en fordelingstype, som ligger ret nær en normalfordeling, kan det vises analytisk, at sandsynligheden S for valg af alternativ 1 har formen:

$$S(1) = \frac{e^{u_{p1}}}{e^{u_{p1}} + e^{u_{p2}}} \tag{10.19}$$

$$S(2) = 1 - S(1) \tag{10.20}$$

Hvis man i (10.19) forkorter brøken med $e^{u_{p2}}$ fås:

$$S(1) = \frac{e^{(u_{p1} - u_{p2})}}{1 + e^{(u_{p1} - u_{p2})}} \tag{10.21}$$

Eksponenten på begge sider af brøkstregen $(u_{p1} - u_{p2})$ udtrykker den deterministiske nytteforskel ved rejsemåderne 1 og 2. Antages nytten at være udtrykt ved det negative tidsforbrug t, får man:

$$u_{p1} - u_{p2} = -t_1 - (-t_2) = t_2 - t_1 = \Delta t \tag{10.22}$$

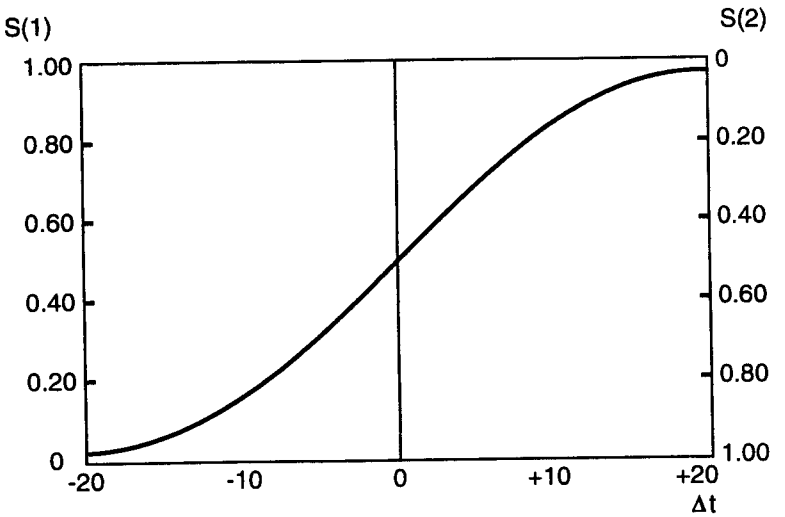
Heraf fremgår, at S(1) afhænger direkte af den målte rejsetidsforskel. Ved indsættelse fås:

$$S(1) = \frac{e^{\Delta t}}{1 + e^{\Delta t}} = \frac{1}{1 + e^{-\Delta t}} \tag{10.23}$$

Denne funktionstype er den logistiske funktion omtalt i afsnit 10.1 i forbindelse med prognoser. Figur 10.14 illustrerer udtrykket (10.23) i form af valgsandsynlighederne S(1) og S(2).[10]

Hvor der er tale om mange valgmuligheder, og hvor man forsøger at inddrage mange målelige forhold i nytteværdien, bliver formelapparatet mere kompliceret. Typisk vil de forskellige variable blive inddraget i lineære udtryk. Problemet bliver da at kalibrere konstanterne i en lineær ligning, så de bedst muligt gengiver et observeret valgmønster. Sådanne kalibreringer kræver et betydeligt datagrundlag og omfattende beregninger. Modeltypen har bl.a. været anvendt i forbindelse med prognoser for trafikken over en fast forbindelse over Store Bælt.[19] Med kun to valgmuligheder har logitmodellen været anvendt til at undersøge valget mellem kolletiv- og bilrejse for pendlertrafikken i København.[20]

Et eksempel på anvendelse af en logitmodel til vurdering af betydningen af vejafgifter findes i en studenteropgave.[21] Det undersøges her, om det er muligt at genbruge allerede opstillede modeller under de givne forudsætninger. Dette spørgsmål er interessant, da modellens opstilling i første omgang er ganske ressourcekrævende.



Figur 10.14 Valgsandsynlighederne ved transportmiddel 1 og 2 udtrykt ved nyttedifferencen $\Delta t = t_2 - t_1$ og den logistiske kurve.

En anden studenteropgave har undersøgt valg af transportmiddel (bil, tog) i forbindelse med rejser mellem København, Odense, Århus og Aalborg.[22] Kombinationen af transportmiddel og destination giver anledning til en mere sammensat anvendelse af logitmodellen (multinomial- og træ-logitmodel), hvortil programsystemet ALOGIT anvendes.[23] I opgaven bestemmes bl.a. pris- og tidselasticiteter for ovennævnte fjernrejser med bil og tog.

Simultane modeller: Direkte efterspørgselsmodeller

En gruppe af modeller søger at bestemme trafikefterspørgslen set i forhold til et givet trafiksystem - altså trafikudbuddet. Et væsentligt formål med sådanne modeller er at vurdere, hvorledes rejsetallet og fordelingen på trafikmodeller kan forventes at ændres, hvis trafikudbuddet - altså trafikanlæg eller trafikal service - ændres markant. Typiske eksempler vil være anlæg af broer til afløsning af færger, indførelse af hurtige tog osv. Den relative ændring i den samlede efterspørgsel kaldes som tidligere nævnt for trafikspringet.

En betydelig svaghed ved de sekventielle 4-trins modellerne er netop, at de ikke sigter mod at registrere efterspørgselsændringer. Trafikspring er derfor vanskelige at håndtere i 4-trins modellerne. Det hænger delvis sammen med den sekventielle opbygning.

For at imødekomme denne kritik er opbygget en gruppe modeller, som kaldes *simultane modeller* - som modsætning til sekventielle modeller. Tanken er at opstille et system af samtidige (simultane) betingelser, som søger at udtrykke alle kendte eller antagne relationer direkte mellem rejseefterspørgsel og udbudssystemet, herunder fx relationer, som i sekventielle modeller kun indgår i modal split efter, at det totale rejseniveau er beregnet. I en række af de kendte simultane modeltyper kan det direkte vises, hvorledes modelopstillingens enkelte dele modsvarer trinene i den sekventielle model.[10,24]

Som eksempel på en simultan model anføres her den såkaldte Kraft-SARC model. Rejserne mellem to zoner T_{ij} med et bestemt trafikmiddel beregnes ved udtrykket:

$$T_{ijm} = f(S) \cdot \left(h_1(Q) \cdot h_2(Q) \right) \qquad (10.24)$$

T_{ijm}: Antal ture mellem zone i og j med transportmåde m
S: Vektor som beskriver zonekarakteristika
Q: Vektor som beskriver transportsystemkvaliteter
f, h: Funktion med vektor som argument

Modellen antager mere specifikt, at:

$$f(S) = a_0 \cdot \left(P_i \cdot P_j \right)^{a_1} \cdot \left(I_i \cdot I_j \right)^{a_2} \qquad (10.25)$$

$$h_1(Q) = t_{ijm}^{b_1} \cdot c_{ijm}^{b_2} \cdot f_{ijm}^{b_3} \qquad (10.2$$

$$h_2(Q) = \prod_{y \neq m} \left[t_{ijy}^{b_{1y}(m)} \cdot c_{ijy}^{b_{2y}(m)} \cdot f_{ijy}^{b_{3y}(m)} \right] \qquad (10.2$$

P er befolkning, I er indkomst, t er rejsetid, c er rejseomkostning, f er afgang frekvens og y er konkurrerende transportmåde til m. Øvrige værdier er mode parametre.

Det ses, at P og I beskriver zonerne, mens t, c og f og dermed Q beskriv transportsystemet, $h_1(Q)$ beskriver den betragtede transportmåde, mens $h_2($(beskriver de konkurrerende muligheder. Betingelserne er rent multiplikative analysefasen bestemmes de relevante værdier af T, P, I, t, c og f for de aktuel zoner, zonepar og transportmåder. Hermed er grundlaget etableret for estimati af modelparametrene.

Da hele betingelsessystemet er multiplikativt, kan det logaritmeres, dvs. pa meterværdierne a_1, a_2, b_1 osv., som er eksponenter, kan efter logaritmering b stemmes ved multipel, lineær regressionsanalyse. Der findes idag også estim ringsteknikker, som ikke kræver logaritmering. De er mere krævende mht. regr kraft, men teoretisk mere korrekte.[25]

Når parametrene er bestemt, kan nye værdier for trafiksystemets kvaliteter ir sættes, og nye T-værdier bestemmes.

Beslægtede metoder til Kraft-SARC er Baumol-Quandt og McLynn modellen som bl.a. begge er matematisk mere komplicerede. En ulempe ved Kraft-SARC imidlertid estimationen af mange parametre.

Der er teoretisk indlysende fordele ved de direkte efterspørgselsmodeller. De velegnede til at behandle forskellige transportformer samtidig. Således gæl det, at i nogle af modellerne kan parametre direkte fortolkes som elasticiteter krydselasticiteter. Er modellen først kalibreret, er det relativt enkelt at kon kvensbedømme ret betydelige ændringer i transportsystemerne.

Modeltypens svagheder er for det første kalibreringsmetoden. Den multi regressionsanalyse og også de nyere estimeringsteknikker fordrer principielt de indgående variable er stokastisk uafhængige, men dette er sjældent opfy En af konsekvenserne af dette er i praksis, at ofte får nogle af parameterværd ne, fx en priselasticitet, et ulogisk fortegn. Det giver anledning til en del refor leringer, gentagne kalibreringer mv.

En anden praktisk planlægningsbetænkelighed er systemets karakter af "bl box". 4-trins modellens muligheder for at inspicere og rimelighedsbedøm resultatet af hvert trin, savnes i de simultane modeller.

Det skal endelig nævnes, at der er tale om *efterspørgsels*modeller. Vejvalgmodellernes mulighed for i beregningsforløbet at afbalancere belastninger i forhold til kapacitet findes således ikke.

De simultane modeller er udviklet med henblik på bedømmelse af "transportkorridorer". De har i Danmark netop været anvendt i sådanne tilfælde nemlig i forbindelse med Øst-Vest trafikken (dvs. Store Bælts forbindelsen) og Øresundstrafikken.[19,24,26]

Matrix-estimationsmetoder

I praksis står man ofte i den situation, at man i et område har en viden om trafikkens rejsemønster - altså en turmatrix, som dog er forældet eller historisk.

En måde at revidere matricen på er at skønne direkte over ændringer i generations- og attraktionstal ud fra byplandata. Herefter kan ændringerne beregnes med vækstfaktormetoden.

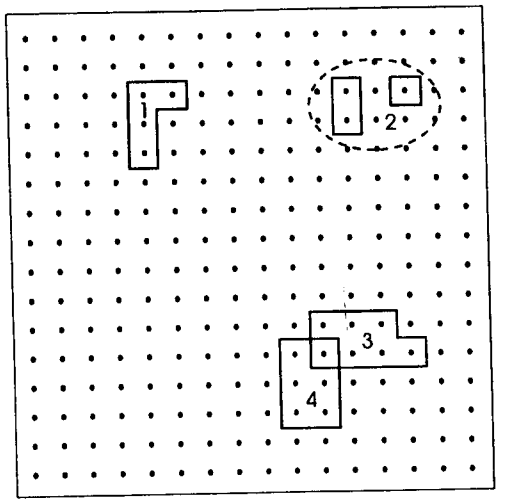
En anden tankegang er, at den historiske matrix må svare til en vis fordeling af trafikken på nettet, altså til et bestemt vejvalg. Hvis man i den aktuelle situation tæller på et antal strækninger i nettet, burde det være muligt at ræsonnere baglæns til ændringer i matricen.

Kort skitseret er tankegangen i metoden, at alle ruter, som benytter en bestemt strækning ("neget" af ruter), får en ny talværdi fra en tælling. Da neget repræsenterer en bestemt delmængde af turmatricens elementer, se figur 10.15, vil hver tælling i nettet give mulighed for en korrektion til flere eller færre elementer i turmatricen. Ved passende valg af tællesteder kan man måske opnå, at enkelte elementer i turmatricen indgår alene i en tælling, så der opnås en sikker korrektion. Normalt vil en tælling imidlertid dække mange elementer, ligesom forskellige tællinger kan dække delvis de samme elementer.

Muligheden for at regne baglæns fra tællingerne til en ny matrix består da i at lade de oprindelige T_{ij} værdier variere, indtil de bedst muligt svarer til sættet af tællinger. Alt efter hvorledes man her definerer "bedst muligt", fremkommer forskellige regneteknikker.[13]

Da korrektionerne er knyttet til turmatricens enkelte elementer, bør man sikre sig, at tællingerne tilsammen dækker alle matricens elementer. Man må også tænke på, at tællingerne både vil dække modeltrafikken mellem zoner og intern trafik i zoner, selvom modellen regneteknisk ikke lader den interne trafik i zonerne optræde på nettet.

En ofte anvendt metode til matrixestimation benytter entropibegrebet til at definere en "bedst mulig" overensstemmelse. Herfra udledes en regneteknik, som fx



Figur 10.15 Illustration af 4 tællinger svarende til 4 sæt af elementer i turmatricen. En tælling svarer således til et neg, hvor neget omfatter et eller flere elementer i turmatricen.

er anvendt i programsystemet MOTORS.[18] Også andre tankegange kan tænkes anvendt.[10]

I nogle tilfælde har man i stedet for at tælle lavet analyser af udgangspunkt- og endepunktszoner på udvalgte punkter i nettet, således at de enkelte elementer i turmatricen bestemmes direkte.

Praktiske erfaringer med metoderne viser, at det er ønskeligt med en temmelig god historisk matrix, hvis resultaterne skal være brugbare. Der må altså helst ikke være sket større ændringer i rejsemønsteret siden den historiske matrix blev målt.

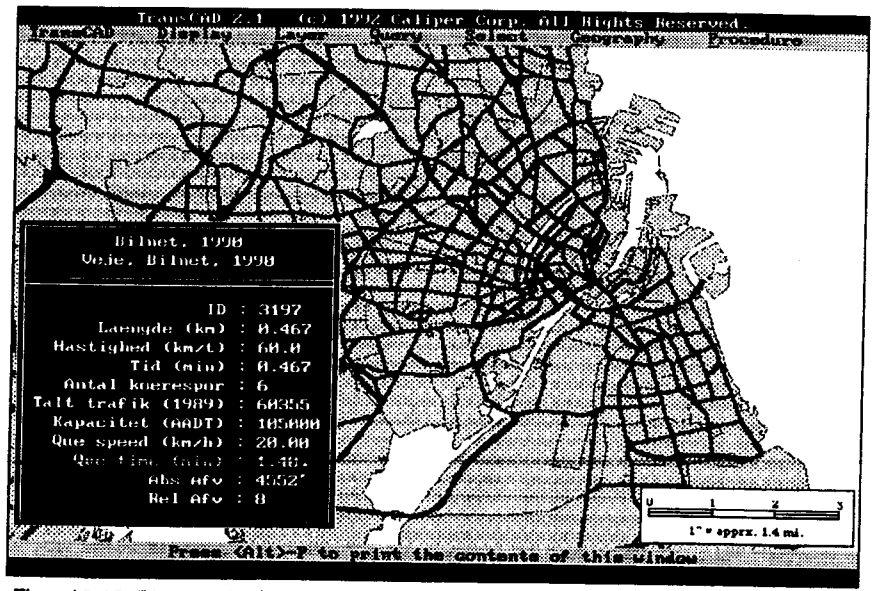
Trafikmodeller og geografiske informationssystemer (GIS)

En igangværende udvikling består i at nyttiggøre såkaldte geografiske informationssystemer (GIS) i forbindelse med trafikmodeller. GIS kan kort defineres som et databasesystem for geografiske data.[27] Samkøring af registre fx CPR i forbindelse med et digitalt grundkort, som kan ske inden for rammerne af en GIS-model, åbner mulighed for nye typer undersøgelser på et detaljeret niveau. Et eksempel herpå er undersøgelse af børns skolevej.[28]

Et generelt og ikke nyt problem ved større trafikmodeller består i mængden og håndteringen af de data, som kræves. Med anvendelse af GIS-modeller er sigtet endvidere at gøre denne del af trafikmodelprocessen mere fleksibel.

Der findes software systemer, som kræver arbejdsstationer, men også mindre systemer som TransCAD, der kun kræver en hurtig PC'er.[29] Den grafiske arbejdsflade, som anvendes, har stor betydning for at gennemføre en systematisk opsøgning af datafejl og tilpasning af trafikmodellen. Ved en opstillet TransCAD trafikmodel for Næstved er den relative fejl mellem beregnede trafikbelastninger og trafiktællinger således nedjusteret fra 50% til 20%. Modellens resultat iøvrigt skal vurderes ud fra, at den er baseret på en beregnet turmatrix baseret på tællinger som omtalt ovenfor.[30] Ved en efterfølgende modelberegning baseret på en ny matrixestimationsteknik er afvigelsen yderligere reduceret til ca. 5%.[31] Trafikmodeller af denne type er sammenlignet med opstilling af en traditionel trafikmodel med forudgående hjemmeinterviewundersøgelse betydeligt mindre omkostningskrævende. Der satses derfor på at udvikle de tælle-/GIS-baserede modeller. Et eksempel herpå er en opstillet model for København, jf. figur 10.16.[32]

På baggrund af en bevilling fra Transportrådet er igangsat et indsatsområde september 1994 om anvendelse af GIS i trafikplanlægningen (GIS-T) ved Institut for Veje, Trafik og Byplan, DTU. Projektet forløber foreløbigt frem til 1997. Modelopbygningen foretages her ved hjælp af softwaresystemet ARC/INFO, som er et mere omfattende og gennemtestet system end TransCAD.[33] Et hovedsigte med projektet er at integrere trafikmodeller, konsekvensberegningsmodeller samt beslutningsstøttemodeller.



Figur 10.16 Eksempel på GIS-baseret trafikmodel for Hovedstadsområdet. Datafeltet viser oplysninger for Langebro.

Litteratur

1 Bilprognose 1970-2000, Vejdirektoratet, 1969.

2 Skitse til vejplan samt Alternative vejplanskitser, Vejdirektoratet, 1975.

3 Perspektivplan for hovedlandevejene, Vejdirektoratet, 1982.

4 Vejdirektoratets trafikale forudsætninger vedr. udviklingen i vejtrafikken frem til år 2010, Vejdirektoratet, Økonomisk-Statistisk Afdeling, 1987.

5 Vejtrafikkens udvikling 1989-2010, Vejdirektoratet, Økonomisk-Statistisk Afdeling, 1990.

6 Referencemodel for den danske transportsektor 1988-2030, Trafikministeriet, Udarbejdet af COWIconsult, Rådgivende Ingeniører A/S, 1990.

7 Trafik 2000. Sammenfatning & Hovedrapport, Trafikforskningsgruppen - ATV, Akademisk Forlag, 1977.

8 Thagesen, B., Lærebog i vejbygning. Polyteknisk Forlag, 1984.

9 Trafikanalyser Hjørring, Anders Nyvig A/S, 1974.

10 Andersen, K.E., Persontrafikmodeller, rapport 32, Institut for Veje, Trafik og Byplan, DTH, 1980.

11 Trafikanalyser Odense, Anders Nyvig A/S, 1974.

12 Overgaard, K.R., Traffic Estimation in Urban Transportation Planning, Report 34, Technical University of Denmark, 1966.

13 Ortuzar, J.D. & Willumsen, L.G., Modelling Transport. Wiley, 1990.

14 Wardrop, J.G., Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research, Inst. of Civil Eng., Road Paper 36, London, 1952.

15 Jørgensen, N.O., Some Aspects of the Urban Traffic Assignment Problem, ITTE, University of California, Berkeley, 1963.

16 Trafikplanlægning: Amtstrafikmodel, Vejdatalaboratoriet, 1977.

17 Denver, Lene, Trafikmodeller og transporthandlingsplaner for byer, Dansk Vejtidsskrift nr. 10, 1991.

18 Steer, Davis & Gleave, MOTORS Version 3.0 User Manual, 1990.

19 Wätjen, W. m.fl., The Great Belt Link in Denmark, PTRC, 18th Summer Annual Meeting, Proceedings of Seminar A, 1990.

20 Schiøtz, O., Kollektiv transport eller bil i bytrafik, rapport 20, Vejdatalaboratoriet, 1976.

21 Larsen, Mette V., Transportmiddelvalg og vejafgifter, eksamensprojekt, Institut for Veje, Trafik og Byplan, DTH, 1990.

22 Albrechtsen, Niels, Fjernrejser i Danmark bestemt ved en logitmodel, eksamensprojekt, Institut for Veje, Trafik og Byplan, 1993.

23 Hague Consulting Group, ALOGIT Users' Guide version 3.2, 1992.

24 Bjørn Andersen, P., Prognosemodeller for interregionale persontransporter, teori og anvendelse, Institut for Veje, Trafik og Byplan, 1976.

25 Sjafruddin, Ade, Intercity Transport in Indonesia: Regional Development and Travel Demand Modelling, Institute of Roads, Transport and Town Planning. Technical University of Denmark, 1992.

26 Brix, J. & Nielsen, O.A., Fast Øresundsforbindelse - Beregning af trafikspringet for den regionale persontrafik på tværs af Øresund ved hjælp af en simultan trafikmodel, kursusarbejde, Institut for Veje, Trafik og Byplan, DTH, 1990.

27 Lewis, Simon, Use of Geographical Information Systems in Transport Modelling, ITE Journal, March, 1990.

28 Bidstrup-Rasmussen, Bo, Netværksanalyser på Digitale Kort, eksamensprojekt, Institut for Veje, Trafik og Byplan, DTH, 1990.

29 Caliper Corporation, TransCAD Reference Manual Version 2.0, 1990.

30 Mose, Christina, Trafikplanlægning med TransCAD i Næstved, eksamensprojekt, Institut for Veje, Trafik og Byplan, DTH, 1993.

31 Nielsen, Otto Anker, Optimal brug af persontrafikmodeller, rapport 76, Institut for Veje, Trafik og Byplan, DTU, 1994.

32 Stanton, William L. & Matthäi, Line, Traffic Planning in Copenhagen using TransCAD, eksamensprojekt, Institut for Veje, Trafik og Byplan, DTH, 1993.

33 Environmental Systems Research Institute, Inc., Understanding GIS, The ARC/INFO Method, 1993.

Kapitel 11

Trafikrisiko

Af N.O. Jørgensen

11.1 Baggrunden for trafiksikkerhedsarbejdet

Ulykker i vejtrafikken er daglige hændelser, som vi alle ved vil indtræffe. De indtræffer med stor regelmæssighed, selv om de i en vis forstand er tilfældige. De er blevet en del af hverdagen. Vi lever - og dør - med dette onde. Hvorfor tolererer vi det?

Tabel 11.1 giver et indtryk af problemets størrelse.[1] Den viser tal fra den officielle statistik over færdselsuheld med personskade i Danmark i årene 1980 - 1992. Antallet af dræbte personer, som er på 6 - 700 om året, er så stort, at næppe noget andet samfundsområde fremviser tilsvarende skadestal. Antallet af dræbte ved arbejdsulykker, som med rette har givet anledning til alvorlig bekymring, har i en årrække ligget omkring 100 om året. Kun kategorien "ulykker i hjemmet", som dækker et meget bredt spektrum af hændelser, medfører flere skader end vejtrafikken.

Er trafikuheld uundgåelige? Trafikken på vejene er et teknisk system skabt af mennesker for at give mobilitet. Trafikanterne skal kunne færdes hver for sig og

Antal personskader fordelt efter elementart 1980–1992
Casualties by type of unit 1980–1992

	Personskader										
		Elementart									
	I alt	Personbil	Varebil	Lastbil	Bus	Traktor	Motorcykel	Knallert	Cykel	Fodgænger	Andet
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1980	15 751	6 575	640	210	123	39	1 163	2 465	2 628	1 887	21
1981	14 311	5 923	615	215	166	38	991	1 934	2 655	1 739	35
1982	14 100	5 805	590	206	119	53	1 002	1 886	2 726	1 691	22
1983	13 806	5 576	526	147	158	36	1 080	1 732	2 775	1 765	11
1984	14 383	6 154	645	152	135	38	1 066	1 689	2 907	1 576	21
1985	14 627	6 705	734	169	165	62	861	1 616	2 695	1 608	12
1986	14 121	6 673	786	172	140	43	828	1 373	2 542	1 552	12
1987	12 714	5 936	722	130	124	42	690	1 155	2 370	1 525	20
1988	12 503	5 780	701	121	77	33	635	1 240	2 473	1 432	11
1989	12 315	5 452	736	100	79	39	639	1 282	2 676	1 301	11
1990	11 287	4 843	533	88	45	40	626	1 169	2 615	1 305	23
1991	10 871	4 666	596	75	95	42	548	1 113	2 419	1 300	17
1992	11 091	4 692	596	97	61	30	546	1 159	2 666	1 227	17

Tabel 11.1 Antal uheld og personskader 1980-1992.

stort set uafhængigt af hinanden. Frihed til at færdes indebærer frihed til at begå fejl, som kan være katastrofale for både trafikanten selv og for andre trafikanter. I et sådant system kan ulykker næppe fjernes totalt. Men hvor sikkert kan det gøres?

Der er næppe ret mange, som vil synes, at 6 - 700 dødsfald årligt i trafikken er acceptabelt. Problemet må imidlertid ses i lyset af, at uheldet og den alvorlige skade set i forhold til den enkelte og i forhold til trafikaktivitetens størrelse er en sjælden hændelse. Persontransporterne på vejene i Danmark androg i sidste halvdel af 1980'erne ca. 50 milliarder personkilometer om året, dvs. at der køres omkring 75 millioner personkilometer for hvert dødsfald. For den enkelte bilist (men måske ikke for den enkelte cyklist eller fodgænger) synes trafikken derfor rimelig sikker. Herved opstår en konflikt i form af et totalresultat på 6 - 700 dræbte og over 10.000 tilskadekomne, som er uacceptabelt for samfundet, over for den enkelte bilists følelse af trafikken som rimelig sikker. Så hvorfor skulle bilisten da ændre sin adfærd?

Det er dette *trafiksikkerhedsparadox*, at alle er enige om, at problemer et stort, men at ingen føler trang til selv at ændre adfærd, som har ført nogle forskere til at hævde, at trafiksikkerhedsproblemet i bund og grund er politisk. Vi kan nemlig fremtvinge adfærdsændringer, hvis der er politisk vilje til det, men vi er - som samfund betragtet - ikke villige til at købe mere sikkerhed, hvis prisen er, at vi skal reducere den almindelige bevægelsesfrihed i vejtrafikken væsentligt. Set på denne baggrund må svaret på det indledende spørgsmål blive et Ja! uheldene er uundgåelige indtil videre. Det interessante spørgsmål er da: Kan vi indenfor de nuværende politiske og økonomiske rammer forbedre forholdene? Også her er svaret et Ja! Erfaringerne fra det praktiske arbejde er, at det lønner sig at gå aktivt ind i uheldsbekæmpelsen.



Politiet får kendskab til omkring 20.000 ulykker om året.

11.2 Sikkerhedsarbejdets rolle i vejplanarbejdet

I vejplanarbejdet indgår sikkerhedsovervejelser i forskellige sammenhænge. Vejplanarbejdets hovedemne både for staten, for amterne og for kommunerne er en opstilling af et sammenhængende trafikvejsnet med så vidt muligt velbegrundede standarder for nettets enkelte dele mht. kapacitet, fremkommelighed, sikkerhed og miljø.

Vejplanlægningen baseres normalt på en funktionel klassificering af de enkelte dele af vejnettet således, at rejser til fjerne mål så vidt muligt skal kunne gennemføres med større hastigheder end rejser til nære mål. Dette indebærer, at, hvor det er muligt, adskilles fjerntrafik fra nærtrafik i nettet. I vejnettets klassificering indgår derfor også en hastighedsklassificering, dvs. at for hver vejstrækning fastlægges en referencehastighed, jf. afsnit 7.2 og 7.3.

Planlægning af byernes vejnet, som især er en kommunal opgave, har været genstand for en del teoridannelse. Heri indgår en række sikkerhedsvurderinger især med vægt på hensynet til cyklister og fodgængere. Disse forhold er behandlet i afsnit 14.1, 15.5, 15.6 og 15.7.

Det vides med sikkerhed, at for en given vejstrækning med en given trafik er uheldsrisikoen hastighedsafhængig således, at større hastigheder fører til flere og alvorligere uheld. Det er derfor af stor sikkerhedsmæssig betydning, at man i planlægningsprocessen nøje overvejer hastighedsklassificeringen.

Der opstår en planlægningsmæssig vanskelighed, hvor en og samme vej i virkeligheden tilhører to forskellige klasser. Det velkendte eksempel er en stor landevej, som løber igennem en lille by. Her opstår en konflikt mellem hensynet til den gennemkørende trafik, som har behov for stor hastighed, og til byens egen lokal- og oplandstrafik, som har behov for lave hastigheder af hensyn til krydsende lette trafikanter, parkerings- og svingningsmanøvrer etc. Hvor problemet søges løst, anvendes i Danmark oftest den ene af to løsningstyper: enten en omfartsvej som er en konsekvent men dyr løsning, eller en miljøprioriteret gennemfart, hvor den gennemgående trafik må underkaste sig hensynet til den lokale trafik, se iøvrigt rapporten "Effektvurdering af miljøprioriteret gennemfart i Vinderup".[2]

I vejplanarbejdet indgår også vurderinger af konkrete projekter: en omfartsvej om en mindre by, en ny motorvejsparcel, en omprofilering af en større vej osv. I sådanne projektvurderinger, såkaldte "forhåndsvurderinger", skal der blandt andet ske en vurdering af dels det forventede uheldstal på nye eller ombygged vejstrækninger, dels det forventede uheldstal på eksisterende strækninger, hvor trafikbilledet ændres kraftigt, fx ved aflastning fra en omfartsvej. Sikkerhedsiden af forhåndsvurderinger er omtalt i afsnit 11.4.

Det følger af det foregående, at der både i den overordnede planlægning og i detailplanlægningen er behov for en generel viden om sammenhæng mellem vejstandard og sikkerhed.

Som grundlag for vejplanarbejdet benyttes blandt andet det sæt af normer, som hedder vejreglerne, se fx "Byernes trafikarealer, Hæfte 0, Vejplanlægning i byområder".[3] Vejreglerne udarbejdes i Vejdirektoratet i nært samarbejde med andre vej- og trafikmyndigheder, ministerier, vejbrugere, forskningsinstitutioner etc. I vejreglerne defineres en række sikkerhedsstandarder direkte eller indirekte.

I det videngrundlag, som vejreglerne bygger på, indgår en række forskningsprægede analyser af relationerne mellem på den ene side trafikrisiko og på den anden side vejgeometri, vejafmærkning, krydsregulering, trafikkens størrelse etc. Arbejdet med at udvikle vejregler har derfor ofte været ikke blot en aftager af resultater men også en inspirationskilde for forskningen på området.

I vejplanarbejdet er der altså behov for viden om sammenhænge mellem vejstandard, trafik og ulykker i følgende tilfælde:

- rene nyanlæg
- betydelige ændringer af vejens standard
- betydelige ændringer af vejens trafikbelastning

Mange vejforvaltninger betragter det også som en del af planlægningsarbejdet at overvåge risikoen på vejnettet og at foretage udbedringer på lokaliteter, som viser sig at være særligt uheldsbelastede. Dette arbejde, der ofte kaldes "sort plet" arbejdet, er behandlet i afsnit 6.3.

11.3 Relationer mellem uheld, vejstandard og trafik

Man må forvente, at der eksisterer en sammenhæng mellem antallet af uheld på en vejstrækning, vejens trafik og vejens tekniske udformning eller standard.

Man må dog samtidig formode, at trafikanterne ikke frivilligt accepterer en meget høj risiko på strækninger med en dårlig standard. Det er sandsynligt, at trafikanterne vil forsøge gennem en ændret adfærd - oftest ved valg af lavere kørehastighed - at kompensere for en lavere vejstandard, så risikoniveauet ikke afviger alt for meget mellem vejtyperne. Det er imidlertid vanskeligt for trafikanterne at overskue hvilken kompensation, som er rimelig. Vi ved for eksempel, at trafikanterne kører anderledes i tåge og glat føre end i godt vejr, men alligevel er der forøget risiko i disse situationer. Trafikanterne kompenserer altså ikke tilstrækkeligt, eller også accepterer de mere eller mindre bevidst en risikoforøgelse

under særlige omstændigheder, jf. iøvrigt beskrivelsen af kapacitetsdiagrammet i afsnit 3.2.

Spørgsmålet om risikokompensation og risikoaccept har igennem 1980'erne og 90'erne været genstand for omfattende undersøgelser og for diskussioner mellem trafikforskere uden, at nogen afklaring er nået. Indtil videre må disse spørgsmål belyses ad statistisk vej.

Statistiske resultater

Siden midten af 1960'erne har Vejdirektoratet i samarbejde med amterne og Danmarks Statistik opbygget et datasystem, som populært kaldes "den koordinerede uheldsstatistik". Hovedideen bag dette system er, at det ikke er nok at vide, hvordan vejene ser ud på de steder, hvor der er sket uheld. Man må vide, hvordan hele vejnettet ser ud for at kunne påvise hvilke vejtyper, som har særligt mange eller særligt få uheld set i forhold til vejlængden og trafikkens størrelse.

Den koordinerede statistik er opbygget ud fra et vejnet, som består af statsvejene (hovedlandevejene) og amtsvejene (landevejene). Hvert uheld på dette vejnet, som politiet indberetter til Danmarks Statistik, stedfæstes, dvs. stedet angives med vejnummer og kilometerangivelse evt. husnummer.

For hele vejnettet har man desuden registreret en række vejtekniske data: Vejbredde, antal kørespor, randbebyggelsesforhold, krydsudformning og trafikregulering. Endvidere er trafikkens størrelse både på strækninger og i kryds angivet ved årsdøgntrafikken, estimeret ud fra et større antal tællinger fordelt ud over nettet.

Vejstrækninger

Det har vist sig hensigtsmæssigt at beskrive vejstrækninger ved tre parametre: Antal afmærkede spor, kørebanebredde samt om der er randbebyggelse. Endvidere betragtes motorveje og motortrafikveje som særlige kategorier. Ud fra disse parametre defineres i alt 16 strækningskategorier, se VDL rapport nr. 90.[4]

Med denne inddeling har det vist sig muligt at beskrive en sammenhæng mellem uheld, vejudformning og trafik. Uheldstætheden defineres som antal uheld pr. år pr. km vejlængde. Det gælder med tilnærmelse at:

$$U_t = a \cdot N^p \qquad (11.1)$$

U_t: Uheldstætheden
N: Årsdøgntrafikken
a, p: Konstanter bestemt ved regression for den enkelte vejtype ud fra uheldsobservationer. De varierer kraftigt fra den ene vejtype til den anden

Uheldsfrekvensen defineres som antal uheld pr 10^6 vognkilometer, som er afviklet på strækningen.

Uheldsfrekvensen U_f findes af:

$$U_f = \frac{U_t}{N \cdot 365} \cdot 10^6 \qquad (11.2)$$

eller:

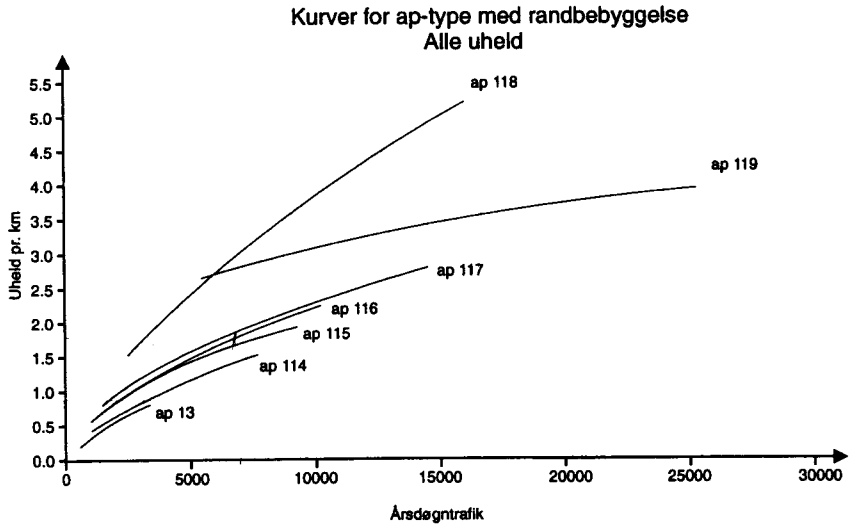
$$U_f = a \cdot N^{p-1} \cdot \frac{10^6}{365} \qquad (11.3)$$

Kendes U_f på en strækning af længden L kan (11.2) under anvendelse af $U_t = U/L$ omformes til følgende udtryk for antal uheld pr. år på strækningen:

$$U = U_f \cdot N \cdot 365 \cdot L \cdot 10^{-6} \qquad (11.4)$$

Resultater mht. parameterværdier offentliggjort af Vejdirektoratet for årene 1984 - 88 fremgår af tabel 11.2 og figur 11.1, som vedrører strækninger med randbebyggelse.[4]

Det er en svaghed ved den koordinerede uheldsstatistik, at hastigheden ikke indgår som parameter. Forklaringen er, at hastighedsmålinger ikke findes i et antal og et omfang, som tillader, at hastigheden inddrages på linie med de øvrige data.



Figur 11.1 Kurver for ap-typer med randbebyggelse. Kurverne er baseret på parameterværdierne i tabel 11.2.

Strækninger	ap-type	Længde årskm/5	Antal uheld 1984-88	a	p	Korrelationskoefficient	Uheldsfrekvens
Med randbebyggelse							
2-sporet vej under 6 m bred	113	175	397	0,001864	0,74	0,98	0,73
2-sporet vej 6-6,9 m bred	114	447	1704	0,005168	0,63	0,98	0,71
2-sporet vej 7-7,9 m bred	115	336	1845	0,013526	0,54	0,98	0,79
2-sporet vej 8-8,9 m bred	116	178	1014	0,008625	0,60	0,97	0,83
2-sporet vej 9 m og derover	117	154	1370	0,014047	0,55	0,89	0,67
3-sporet alm. vej	118	63	1016	0,009515	0,65	0,90	1,08
4-sporet alm. vej	119	69	1113	0,304912	0,25	0,80	0,64
Uden randbebyggelse							
Motorvej	121	624	197	0,000069	0,94	0,88	0,10
Motortrafikvej	122	263	418	0,000163	0,88	0,90	0,16
2-sporet vej under 6 m bred	123	2029	2394	0,000775	0,78	1,00	0,42
2-sporet vej 6-6,9 m bred	124	4399	7029	0,000458	0,83	1,00	0,32
2-sporet vej 7-7,9 m bred	125	1494	3510	0,000912	0,74	0,98	0,27
2-sporet vej 8-8,9 m bred	126	200	515	0,004021	0,59	0,86	0,35
2-sporet vej 9 m og derover	127	286	982	0,053933	0,29	0,83	0,25
3-sporet alm. vej	128	244	1324	0,1403259	0,27	0,82	0,43
4-sporet alm. vej	129	206	1242	0,174025	0,21	0,85	0,29
Andre strækninger	100	244	3023	0,000138	1,11	0,79	1,06
I alt	-	11411	27845	-	-	-	-

Tabel 11.2 Parameterværdier mm. i uheldsmodellen for strækninger. Person- o materielskadeuheld.

Hastigheden er sandsynligvis korreleret med den geometriske udformning. årenes løb har det normalt været således, at de særligt smalle 2-sporede veje, dv veje under 6 m bredde, har haft lidt lavere risiko end 6-7 m brede veje. Baggrur den er ikke undersøgt i detaljer, men antagelsen har været, at de smalle veje er a så lav standard - sandsynligvis også mht. kurveradier - at trafikanterne kompen serer ved lavt hastighedsvalg og i dette tilfælde overkompenserer en smule. Ma kan også vende synspunktet om og hævde, at når trafikanterne stilles overfor e



Nogle strækninger vil have langt flere uheld end forventet efter den koordinerede uheldsstatistik.

bedre vejstandard, vælger de at forøge hastighederne så meget, at den mulige sikkerhedsgevinst går tabt. Dette gælder dog ikke altid. En diskussion af og nogle data om spørgsmålet om hastighedsvalg, vejstandard og sikkerhed findes i en rapport fra Nordisk Vejteknisk Forbund.[5]

Cykelstier indgår ikke som parameter i tabel 11.2 og i figur 11.1. Årsagen er, at ved de første undersøgelser, som blev udført for at bestemme en sammenhæng mellem uheldstæthed og vejudformning kunne det ikke påvises, at veje med cykelstier havde lavere uheldstæthed end veje uden cykelstier. Dette kunne bl.a. henføres til, at cykeltrafikken ikke kendtes. Man må formode, at cykelstier især er anlagt, hvor cykeltrafikken er størst. Tilstedeværelse af cykelsti er derfor ikke tilfældig i forhold til ulykkestallet, hvorfor forudsætningerne for en traditionel statistisk analyse ikke er til stede. Undersøgelser med andre metoder har siden hen påvist gunstige virkninger af både cykelstier og cykelbaner i landområder.

Ud over de nævnte tekniske parametre har man fundet, at en række andre vejtekniske størrelser er af betydning for risikoen på vejstrækninger: Tilstedeværelse af yderrabat og kantbaner samt deres bredde, autoværn, kurveradier samt stigninger og fald. I vejtypekataloget findes tabeller med skøn over virkningerne af de nævnte forhold, se afsnit 11.6.[6]

Vejkryds

Det har vist sig vanskeligt at beskrive risikoforholdene i vejkryds lige så detaljeret som risikoforholdene på vejstrækninger. Det må formodes, at ikke blot biltrafikkens størrelse på hvert ben i krydset er betydningsfuld. Også størrelsen af de svingende strømme og cykeltrafikkens størrelse må spille en rolle.

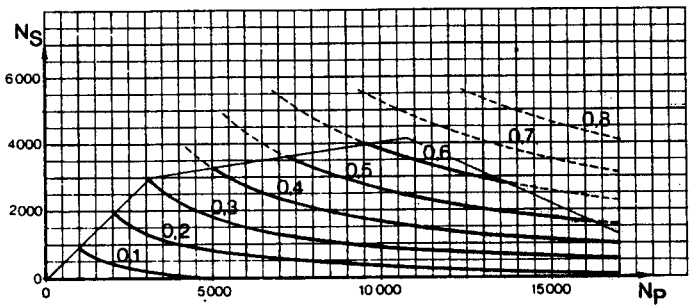
Forskellige undersøgelser, se fx IVTB rapport 39, tyder på, at det er en rimelig antagelse, at trafikrisikoen i vejkryds kan beskrives på følgende måde.[7]

Uheldstætheden U_t udtrykkes ved:

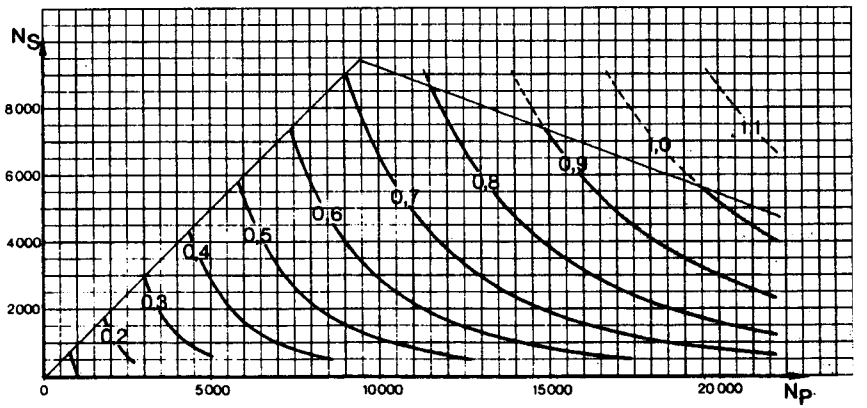
$$U_t = a \cdot N_P^{p1} \cdot N_S^{p2} \qquad (11.5)$$

U_t: Antal uheld pr. kryds pr. år (uheldstætheden)
a, p_1, p_2: Regressionskonstanter på baggrund af uheldsdata
N_P: Trafikintensiteten på den stærkest trafikerede vej (primærvejen)
N_S: Trafikintensiteten på den svagest trafikerede vej (sekundærvejen)

Denne beskrivelse er anvendt i "Vejregler for vejkryds i åbent land". Figur 11.2 og figur 11.3 viser eksempler på grafer, som giver sammenhængen mellem uheldstæthed samt primærvejens og sekundærvejens trafik.[8]



Figur 11.2 Uheldstæthed (personskadeuheld/år pr. kryds) i ikke-signalreguleret trevejskryds.



Figur 11.3 Uheldstæthed (personskadeuheld/år pr. kryds) i signalreguleret trevejskryds

Kryds	ap-type	Antal kryds	Antal uheld 1984-88	a	p1	p2	Korr. koeff.	Uheld pr. kryds pr. år
3-benede kryds								
Signalreguleret	130	137	683	0,000163	0,54	0,49	0,48	1,00
Anden regulering:								
Kanaliseret - med randbebyg. - uden randbebyg.	136 137	286 608	494 991	0,000124 0,000377	0,55 0,34	0,48 0,59	0,45 0,28	0,35 0,33
Ikke kanaliseret - med randbybyg. - uden randbebyg.	138 139	635 548	498 550	0,000033 0,000077	0,58 0,48	0,59 0,65	0,40 0,43	0,16 0,20
Fra- og tilkørsler med regulering fletning	131	552	75	-	-	-	-	0,03
4-benede kryds								
Signal reguleret:								
Kanaliseret - med randbebyg. - uden randbebyg.	142 143	190 172	1638 1438	0,000404 0,000278	0,47 0,38	0,49 0,65	0,76 0,68	1,72 1,67
Ikke kanaliseret - med randbebyg. - uden randbebyg.	144 145	16 1	118 0	0,002075 -	0,39 -	0,41 -	0,78 -	1,48 0,00
Anden regulering:								
Kanaliseret - med randbebyg. - uden randbebyg.	146 147	135 306	490 1281	0,001447 0,004432	0,05 0,09	0,81 0,65	0,39 0,36	0,73 0,84
Ikke kanaliseret - med randbebyg. - uden randbebyg.	148 149	120 64	274 170	0,000291 0,000053	0,22 0,14	0,82 1,21	0,43 0,60	0,46 0,53
Andre kryds	190	147	141	-	-	-	-	0,19
I alt	-	3917	8841	-	-	-	-	0,45

Tabel 11.3 Parameterværdier mm. i uheldsmodellen for kryds. Person- og materiel-skadeuheld.

Vejdatalaboratoriet publicerer med mellemrum talværdier for konstanterne a, p_1 og p_2 i formlerne for vejkryds, jf. tabel 11.3.[4] Disse værdier er baseret på uheld i perioden 1984-88.

11.4 Forhåndsvurderinger af sikkerhedsvirkninger

I planlægning og projektering af et nyt vejanlæg indgår sikkerhedsvurderinger i forskellige detaljeringsgrader i de enkelte faser af projektforløbet. På planlægningsstadiet, hvor der alene er behov for oversigtlige risikovurderinger, vil det

sandsynligvis være tilstrækkeligt at benytte de skøn over uheldsfrekvenser, som kan tages fra vejtypekataloget, jf. i øvrigt afsnit 11.6.[6]

I skitseprojekteringen, hvor der vælges vejtyper, krydstyper og linieføring, gennemføres også den trafikøkonomiske forhåndsvurdering. Opgaven vil typisk kunne bestå i, at der for en del af et vejnet skal ske en vurdering af det forventede uheldstal efter anlæg af en ny vej. De forventede uheldstal skal så sammenlignes med, hvad der kunne forventes i den samme periode, hvis den nye vej ikke anlægges. Vurderingen kunne tænkes opstillet, som vist i tabel 11.4. De anførte typenumre for strækninger fremgår af tabel 11.2 for strækninger, mens typenumrene for kryds fremgår af tabel 11.3.[4]

Strækninger		Type	ÅDT		Uheld i 3 år	
Vejdel	Længde (km)	nr.	gl. net	nyt net	gl. net	nyt net
strækning 1	2,7	124	3000	2400	2,9	2,4
strækning 2	4,1	124	7300	4000	9,1	5,5
strækning 3	3,1	125	6800	3000	5,8	3,2
ny vej 1	1,9	122	-	8900	-	2,8
ny vej 2	1,6	122	-	7000	-	1,9
Sum strækning					17,8	15,8

Kryds	Type	ÅDT primærvej		ÅDT sekundærvej		Uheld i 3 år	
Vejdel	nr.	gl. net	nyt net	gl. net	nyt net	gl.net	nyt net
kryds 1	149	1500	800	700	400	1,2	0,6
kryds 2	149	5400	3000	1100	600	2,5	1,1
nyt kryds 1	137	-	6000		900	-	1,2
nyt kryds 2	143	-	4500		1100	-	1,9
Sum kryds						3,7	4,8
Sum alle uheld						21,5	20,6

Tabel 11.4 Modelberegning for uheld i forhåndsundersøgelse i 3 års perioder.

I tabel 11.4 forudsættes det, at uheldstallet på de eksisterende strækninger gl. net beregnes teoretisk ud fra formel (11.1). I mange tilfælde kender man uheldstal fra en tidligere periode på det gamle net. Man ønsker da ofte at anvende disse data til at beregne forventede uheldstal på de eksisterende strækninger både i den uændrede situation og efter nyanlægget, hhv. gl. net og nyt net. Et problem ved denne fremgangsmåde er, at den kræver kendskab til sammenhængen mellem trafikkens størrelse og uheldene. Hvor trafikændringerne er små, altså ofte i gl. net, kunne uheldene blot regnes proportionale med trafikken. I det nye net er der ofte tale om betydelige trafikændringer, og det kan være kritisabelt blot at proportionere, idet der derved fremkommer et for optimistisk billede af uheldsbe-

sparelserne. Det skyldes, at når eksponenterne i formel (11.1) normalt er under 1, vil en trafikreduktion betyde en uheldsreduktion, som er procentisk mindre end trafikreduktionen. Antager man fx, at eksponenten er 0,74, som for strækningstype 125, betyder det, at uheldsændringen kan beskrives ved formlen:

$$U_{ny} = U_{gl} \cdot \left[\frac{T_{ny}}{T_{gl}}\right]^{0,74} \qquad (11.6)$$

U_{ny}/U_{gl}: Uheldstal i nyt/gammelt net
T_{ny}/T_{gl}: Trafiktal i nyt/gammelt net

Fordelen ved at benytte et målt uheldstal er bl.a., at hvis det net, som undersøges, af en eller anden grund har en unormal uheldsbelastning, vil dette indgå i beregningerne.

Forventede uheld på eksisterende strækninger efter nyanlægget er beregnet efter (11.6). Imidlertid rummer også denne fremgangsmåde en fejlmulighed, idet den tilfældige variation i uheldstallene er meget betydelig. Ved at basere en planlægningsberegning på tal, som er tilfældige udsving, kan sikkerhedsvurderingen tænkes at blive forrykket. Denne risiko er størst, hvor de observerede uheldstal er små.

Med hensyn til de nye veje i tabel 11.4 er uheldstal beregnet ved hjælp af (11.1) og for både eksisterende og nye kryds er anvendt (11.5).

Det kan også diskuteres om, det er rimeligt at regne med, at der sker så mange uheld som forventet efter den koordinerede uheldsstatistik på det nyanlagte vejnet. Den koordinerede uheldsstatistik giver det gennemsnitlige uheld på den pågældende vejtype, men det kan med rimelighed antages, at der på en nybygget vej sker færre uheld end på gennemsnittet af den pågældende vejtype, der består af både nye og gamle veje. Problemet er blot, at vi ikke ved, hvor meget bedre de nye veje er. I forhåndsundersøgelser udført at Vejdirektoratet er det valgt at forvente 60% af den koordinerede uheldsstatistiks tal på nye strækninger og 100% i nye kryds.

Valg af beregningsteknik for uheldstal ved forhåndsvurderinger har været diskuteret en del uden, at en endelig afklaring er nået.

11.5 Effektvurdering

Det er i almindelighed nyttigt at vurdere, om de forventede virkninger af en plan viser sig at holde stik, når anlægget er udført. I det følgende omtales kort en undersøgelse af de sikkerhedsmæssige virkninger af et motorvejsanlæg.[9]

Den sidste etape af den fynske motorvej var en ca. 25 km lang strækning syd om Odense. Åbningen ville nødvendigvis påvirke trafikken på hele det overordnede vejnet syd for den tidligere hovedlandevej igennem Odense. I forbindelse med motorvejsanlægget gennemførtes en række andre vejarbejder, bl.a. forlægning af Assensvej og Svendborgvej på nogle strækninger. De vigtigste af disse forlægninger blev åbnet sammen med motorvejsanlægget. De dele af vejnettet syd for Odense, som blev undersøgt, ses på figur 11.4.

Undersøgelsen er en før-efter undersøgelse, dvs. at der søges gennemført en sammenligning mellem uheldstallene før og efter anlægget af motorvejen. Imidlertid er en ren sammenligning mellem uheldene i før- og efter-situationen uinteressant. Det interessante vil være at sammenligne det faktiske uheldstal efter anlægget med et hypotetisk tal, nemlig det tal, som man skulle have forventet på det gamle net i efter-perioden, hvis motorvejen ikke var blevet anlagt. Årsagen er, at der erfaringsmæssigt igennem en årrække sker en så stor udvikling i uheldstallet på grund af trafikmængdeændringer, færdselslovsændringer, adfærdsændringer hos trafikanter mm., at en ren sammenligning mellem tal før og efter anlæggets åbning er urimelig.

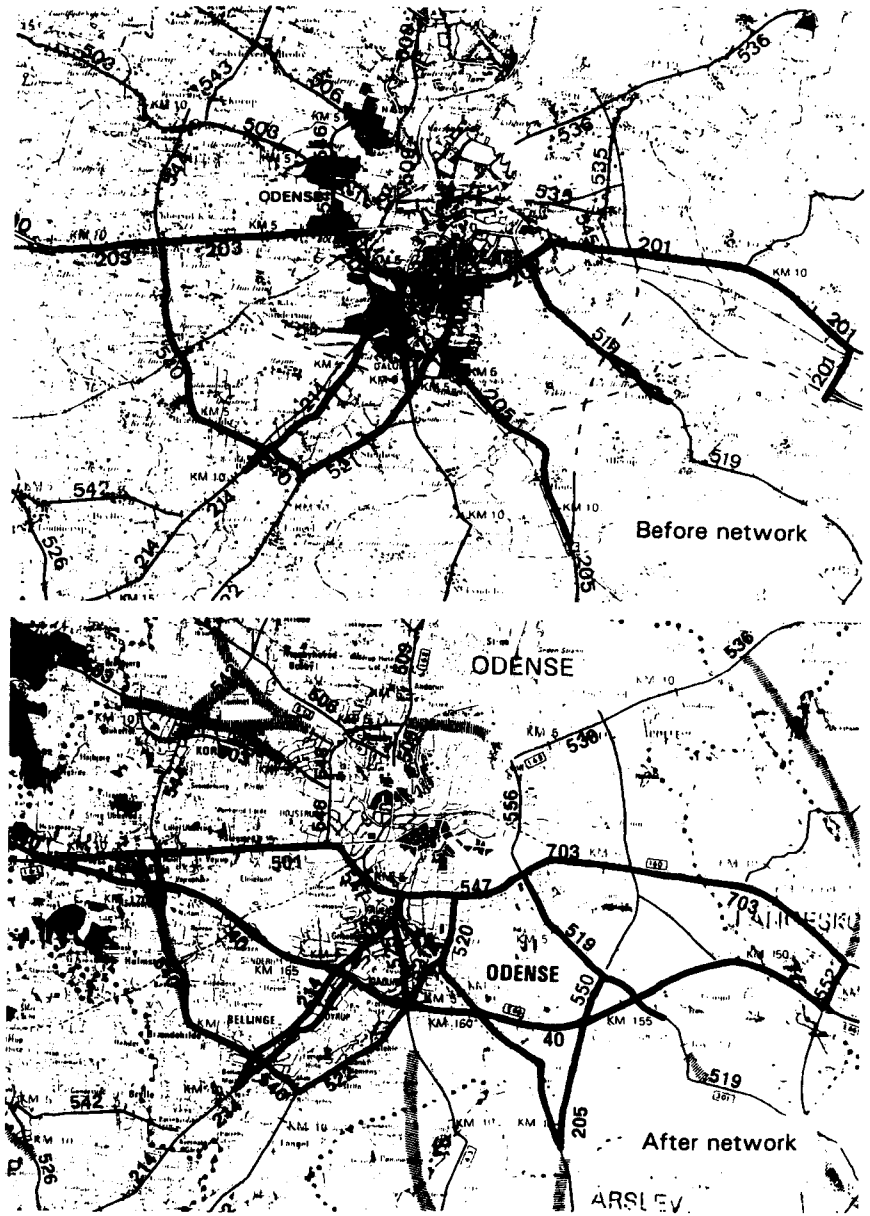
Den egentlige vanskelighed i en før-efter undersøgelse er derfor at beregne det hypotetiske tal for "forventet uheldstal efter". Normalt beregnes dette tal ud fra det observerede tal i før-perioden ved forskellige korrektioner. I dette tilfælde anvendtes følgende korrektioner:

- korrektion for generel udvikling
- korrektion for trafikspring ved åbning af motorvejen

Korrektion for generel udvikling kan gennemføres ved brug af *kontrolgrupper*. Ideen er, at en generel udvikling i uheldstallene som følge af vejrforhold, færdselslovsændringer eller andre forhold, som ikke virker rent lokalt, kan beskrives ved udviklingen i uheldstallene i et geografisk nærtliggende område. Uheldstallene opgøres i samme før og efter perioder som selve undersøgelsesområdet. I dette tilfælde valgtes det at benytte tre forskellige kontrolgrupper for at belyse, om valget af kontrolgruppe kunne medføre systematiske fejl. Som kontrolgruppe valgtes hele landet, hele Fyn og Odense politikreds. Fra uheldstallene for disse kontrolområder trækkes selve undersøgelsesområdets uheldstal, som naturligvis ikke kan indgå i kontrolgruppen.

Den almindelige trafikudvikling i landet må formodes at være fælles for undersøgelsesområdet og kontrolgrupperne. Derimod kan selve trafikanlægget frembringe et *trafikspring* i lokalområdet ud over den generelle trafikudvikling. Odense kunne der påvises et spring, som blev estimeret til 11%.

Ved korrektionen for trafikspringet opstår det spørgsmål, som er diskuteret afsnit 11.4, nemlig om uheldene bør korrigeres proportionalt med trafikspringe



Figur 11.4 Før-efter vejnet ved eksempel på effektvurdering.

eller om korrektionen bør være ulineær, jf. formel (11.6). I dette tilfælde anvendtes både en proportional og en ulineær korrektion med eksponent 0,7. Det betyder, at trafikspringet på 11% giver en korrektion på enten faktoren 1,11 eller faktoren $1{,}11^{0{,}7} = 1{,}076$.

Hovedresultaterne af undersøgelserne er opsummeret i tabel 11.5.

Alt efter hvilken kontrolgruppe og hvilken type trafikkorrektion, som vælges i tabel 11.5, fremkommer lidt afvigende skøn over sikkerhedsvirkningen. Tabellen viser dog, at de samlede trafiksikkerhedsvirkninger af motorvejsanlægget må anses for at være meget begrænsede. Resultatet er lidt overraskende, fordi motorveje har en meget lavere uheldsfrekvens end øvrige veje.

Mere detaljerede analyser af undersøgelsens data peger i retning af, at den beskedne bruttovirkning kan ses som en sum af en forbedret situation for bilisterne, men en forværring for cyklister og fodgængere. Data er dog så sparsomme, at sikre slutninger ikke kan drages.

Undersøgelsen må foreløbig betragtes som et enkeltstående resultat, der sandsynligvis ikke har generel gyldighed. Man må dog være opmærksom på, at der ikke altid vil være betydelige sikkerhedsgevinster forbundet med motorvejsanlæg.

	Anvendt kontrolgruppe		
	Danmark	Fyn	Odense pol.kr.
Observeret, før-periode	304	304	304
Forventet, efter-periode kun kontrolgruppekorrektion	278	276	271
proport. trafikkorrektion	309	307	300
ulineær trafikkorrektion	299	297	291
Observeret, efter-periode	294	294	294
Ændringer i %			
proport. trafikkorrektion	– 5%	– 4%	– 2%
ulineær trafikkorrektion	– 2%	– 1%	+ 1%

Tabel 11.5 Uheldsanalyse mht. personskadeuheld for motorvej syd om Odense Før-periode: 1981-84, efter-periode: 1986-89. Ingen af ændringerne e signifikante.

11.6 Sikkerhedsbetragtninger i vejtypekataloget

I vejtypekataloget er opstillet en metode, som tillader en vurdering af hvilken uheldsfrekvens, som kan forventes for vilkårlige vejanlæg i åbent land.[6] Beregningsmetoden er baseret på, at der kan opstilles en sammenhæng mellem uheldstal og værdien af de geometriske parametre, som indgår i vejprojektet. Det er endvidere en forudsætning, at krydsningsuheld og strækningsuheld kan beregnes uafhængigt af hinanden.

Til beregning af strækningsuheldsfrekvenserne er der i vejtypekataloget angivet relative uheldsfrekvenser svarende til eksempelvis forskellige yderarealbredder, horisontalkurveradier og kørebanebredder jf. tabel 11.6 - tabel 11.8.

Vejtypekatalogets metode er altså enklere end den i afsnit 11.3 angivne, idet man ved at regne med uheldsfrekvenser for alle vejtyper benytter talværdien 1,0 for eksponenten i formel (11.1). For vejkryds forenkles beregningerne yderligere, idet der regnes med kun 3 krydstyper og en fast uheldsfrekvens for hver. Denne forenklede metode gør det muligt at beregne en uheldsfrekvens for hver vejtype i vejtypekataloget. Når strækningsfrekvensen er beregnet, indregnes betydningen af krydsene ved, at der forudsættes anvendt bestemte typer af kryds i hver vejtype og en gennemsnitlig afstand mellem krydsene, som vælges afhængigt af vejklassen. Resultater fremgår af tabel 11.9 - tabel 11.11.

yderarealbredde (m)	relativ strækningsuheldsfrekvens	
	yderareal uden nødspor	yderareal med nødspor på mindst 2 m
1,0	160	-
1,5	125	-
2,0	110	100
2,5	100	90
≥ 3,0	95	85

Tabel 11.6 Relativ strækningsuheldsfrekvens som funktion af yderarealbredde.

horisontalkurveradius (m)	relativ strækningsuheldsfrekvens
≤ 400	170
400-700	140
700-1000	120
1000-1500	110
≥ 1500	100

Tabel 11.7 Relativ strækningsuheldsfrekvens som funktion af horisontalkurveradius.

typebetegnelse	kørebanebredde (m) (incl. evt. kantbaner)	relativ strækningsuheldsfrekvens
2-sporet vej	6	145
2-sporet vej	7	120
2-sporet vej	8	100
2-sporet vej	9	88
bred 2-sporet vej [1]	10	80
bred 2-sporet vej [1]	11	77
bred 2-sporet vej [1]	12	74
4-sporet vej [2]	16	77
4-sporet vej [3]	2 × 8,0	70
4-sporet vej [3]	2 × 8,5	70

[1] kan også udformes som 3-sporet vej
[2] uden midterrabat
[3] med midterrabat (ikke motorveje)

Tabel 11.8 Sammenhæng mellem kørebanebredde og relativ strækningsuheldsfrekvens for forskellige vejtyper.

nr.	typebetegnelse	personskadeuheld på strækninger pr. mio. vognkm i vejklasse:			
		I motorveje/ motortrafikveje	II motorveje/ motortrafikveje	II alm. veje trafikarter separeret	III alm. veje trafikarter separeret
1	6-sporet motorvej, bredt profil	0,08			
2	4-sporet motorvej, bredt profil	0,08			
3	6-sporet motorvej, smalt profil	0,09	0,09		
4	4-sporet motorvej, smalt profil	0,09	0,09		
5	4-sporet vej med midterrabat	0,12	0,13	0,14	0,15
6	bred 2-sporet evt. 3-sporet vej	0,13	0,14	0,15	0,17
7	2-sporet vej, 8 m	0,17	0,18	0,19	0,21
8	2-sporet vej, 7 m		0,22	0,23	0,26
9	2-sporet vej, 6 m				0,36

Tabel 11.9 Uheldsfrekvenser for krydsfri strækninger for forskellige vejtyper.

Fordelen ved denne forenklede teknik er, at det bliver muligt at sammenveje hensynet til trafikrisikoen med andre trafikøkonomiske størrelser (tidsomkostninger, kørselsomkostninger osv.), hvorved det kan afgøres hvilken vejtype, som er samfundsøkonomisk fordelagtigst under bestemte trafikbelastninger. Denne beregning er beskrevet i afsnit 14.5. En anden fordel er, at hvor man ikke har en

af standardvejtyperne, er det muligt ud fra de forskellige tabeller at vurdere betydningen af en ekstra bred yderrabat el. lign. Man kan således vurdere sikkerheden af et vilkårligt vejanlæg i forhold til de fastlagte vejtyper. I denne forbindelse skal det bemærkes, at de relative ændringer foretages ved justering af strækningsuheldsfrekvenserne som vist i tabel 11.9. Er en foreliggende uheldsfrekvens en total uheldsfrekvens fra tabel 11.11, skal krydsbidraget fra tabel 11.10 således fratrækkes først og så adderes igen efter justeringen.

nr.	typebetegnelse	krydsuheldenes bidrag til uheldsfrekvensen (personskadeuheld pr. mio. vognkm) i vejklasse:		
		I	II	III
1	6-sporet motorvej, bredt profil	0,02	-	-
2	4-sporet motorvej, bredt profil	0,02	-	-
3	6-sporet motorvej, smalt profil	0,02	0,02	-
4	4-sporet motorvej, smalt profil	0,02	0,02	-
5	4-sporet vej med midterrabat	0,05	0,10	0,17
6	bred 2-sporet evt. 3-sporet vej	0,05	0,10	0,17
7	2-sporet vej, 8 m	0,05	0,10	0,17
8	2-sporet vej, 7 m	-	0,10	0,17
9	2-sporet vej, 6 m	-	-	0,17

Tabel 11.10 Krydsenes bidrag til den samlede uheldsfrekvens på forskellige vejtyper.

nr.	typebetegnelse	personskadeuheld på strækninger pr. mio. vognkm i vejklasse:			
		I motorveje/ motortrafik-veje	II motorveje/ motortrafik-veje	II alm.veje trafikarter separeret	III alm.veje trafikarter separeret
1	6-sporet motorvej, bredt profil	0,10			
2	4-sporet motorvej, bredt profil	0,10			
3	6-sporet motorvej, smalt profil	0,11	0,11		
4	4-sporet motorvej, smalt profil	0,11	0,11		
5	4-sporet vej med midterrabat	0,17	0,23	0,24	0,32
6	bred 2-sporet evt. 3-sporet vej	0,18	0,24	0,25	0,34
7	2-sporet vej, 8 m	0,22	0,28	0,29	0,38
8	2-sporet vej, 7 m		0,32	0,33	0,43
9	2-sporet vej, 6 m				0,53

Tabel 11.11 Den totale uheldsfrekvens som funktion af vejtypen.

En kritik af vejtypekatalogets metode vil bestå i to punkter. For det første er beregningsformlerne meget forenklede, så meget, at de formentlig kun bør benyttes i ret overordnede planlægningssammenhænge. For det andet er datagrundlaget i dag så gammelt, at metoden under alle omstændigheder bør underkastes en revision. En del af det øvrige beregningsgrundlag er blevet revideret i de senere år, se fx "Statusrapport for vejtypevalgsprogrammets videre udvikling".[10]

11.7 Færdselssikkerhedskommissionens handlingsplan

Færdselssikkerhedskommissionen er en kommission nedsat af Justitsministeren. Den består af repræsentanter for folketingets partier, af embedsmænd og af sagkyndige repræsentanter for forskellige professioner og interessegrupper. På grundlag af to betænkninger afgivet af et embedsmandsudvalg[11,12], udarbejdede Færdselssikkerhedskommissionen en Færdselssikkerhedspolitisk handlingsplan, som blev fremlagt i 1988.[13]

Handlingsplanen bryder på flere afgørende punkter med traditionelle tankegange i dansk færdselssikkerhedspolitik. Den fastlægger for første gang kvantitative mål for, hvilke sikkerhedsgevinster, som ønskes opnået inden for bestemte tidsrum. Det hedder i betænkningen (side 31):

Færdselssikkerhedskommissionen foreslår herefter, at man fastlægger en målsætning med opdeling på 3 tidshorisonter, således at antallet af dræbte og tilskadekomne i trafikken skal nedsættes med mindst 15% over 3 år, yderligere mindst 15% i løbet af de følgende 3 år og yderligere mindst 10-15% i løbet af de følgende 6 år svarende til i alt mindst 40-45% i løbet af 12 år.

Det præciseres, at der skal regnes i forhold til de officielle skadestal for 1986-87. Det betyder, at de politiregistrerede antal dræbte og tilskadekomne ved århundredeskiftet ikke må andrage mere end ca. 400 dræbte og henimod 8000 tilskadekomne personer. Kommissionen *bedømmer denne målsætning som ambitiøs, men samtidig gennemførlig*.

Også nyt er det, at der i betænkningen opstilles konkrete handlingsprogrammer, som skønnes tilstrækkelige til, at de ønskede mål vil kunne opnås.

Betænkningen fik en venlig, men restriktiv modtagelse i regering og folketing, idet man i princippet tilsluttede sig de formulerede mål, men det blev samtidigt præciseret, at der ikke kunne forventes særlige bevillinger til disse formål. Det betyder i praksis, at de berørte ministerier samt amter og kommuner må søge handlingsplanen finansieret gennem omprioriteringer inden for de eksisterende

rammer. Nyrup regeringen (siden januar 1993) synes at være indstillet på, at den del af planen, som vedrører den statslige sektor, skal gennemføres.

Handlingsprogrammerne opstilles ud fra en liste over i alt 32 enkeltforanstaltninger eller foranstaltningspakker med særligt sigte. Af disse hører halvdelen hjemme i det statslige arbejde (Forslagene S-1 til S-16), mens resten (Forslagene L-1 til L-16) hører hjemme i det lokale arbejde. Forslagene er meget forskellige i omfang og omkostninger. For hvert forslag er der udarbejdet et skøn over de forventede sikkerhedsvirkninger, men det må understreges, at disse skøn er behæftet med meget stor usikkerhed.

Som eksempler på enkeltforanstaltninger kan nævnes S-3 og L-11.

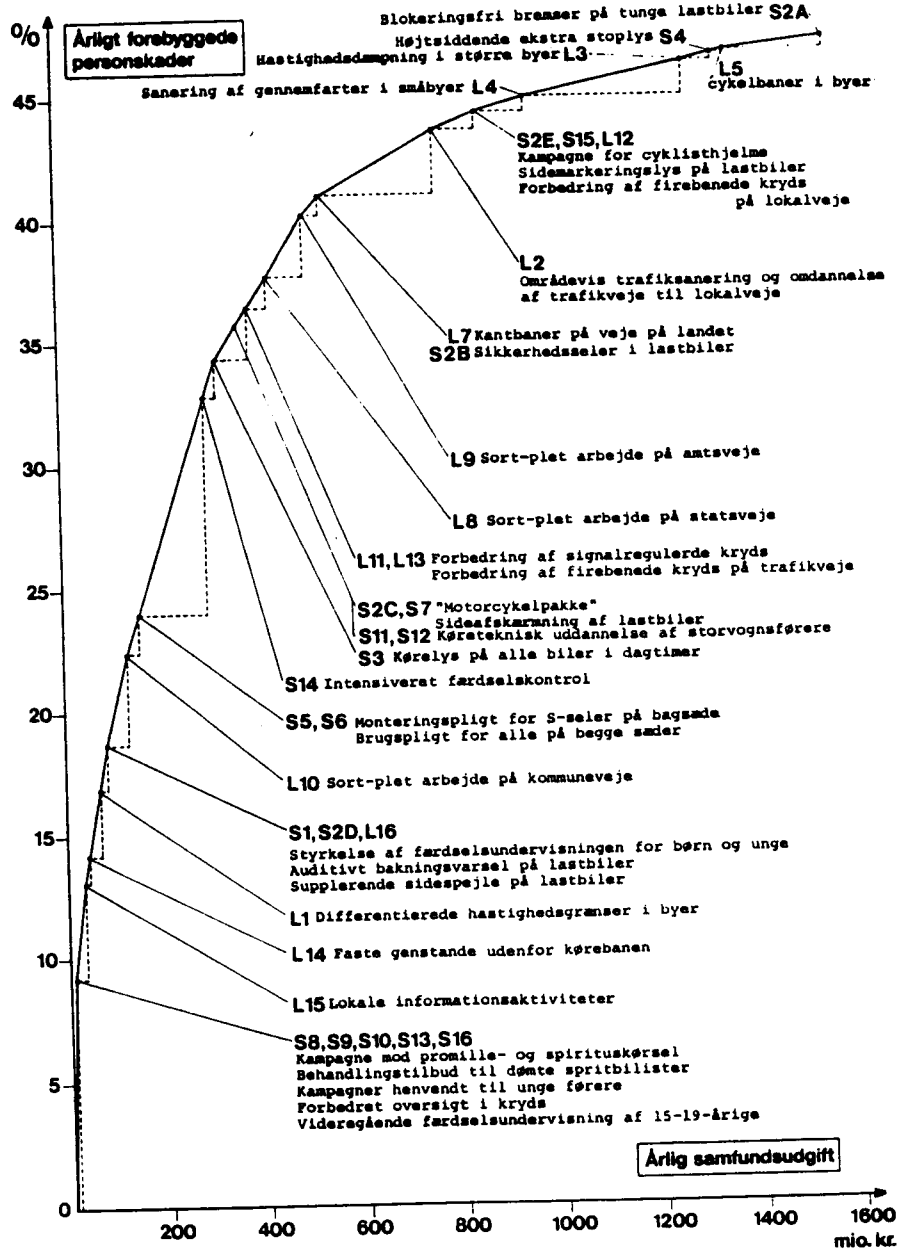
S-3 er et forslag om, at alle biler skal benytte kørelys i dagtimerne. Forslaget blev skønnet til at kunne reducere antal personskader med ca. 340 heri medregnet 17 dræbte. Den samfundsmæssige udgift er anslået til ca. 27 mio. kr pr år. Forslaget er gennemført på et tidligt tidspunkt ved en færdselslovsændring. Det har været enkelt at gennemføre administrativt og politisk, især fordi det er brugerbetalt og dermed næsten gratis for statskassen. En undersøgelse i 1993 viste, at omkring halvdelen af den ventede effekt var kommet ind, nemlig ca. 170 sparede personskader omfattende ca. 10 dræbte.

L-11 er et forslag om forbedring af firebenede, ikke-signalregulerede kryds på trafikveje. Det foreslås, at kryds, hvor der er forekommet mindst 3 personskader på 3 år, inddrages i arbejdet. Det foreslås, at 200 kryds behandles i første planperiode med en udgift på ca. 80 mio. kr. Der forventes en reduktion på 80 personskader, heri medregnet 3 dræbte. Forslaget indgår i det løbende sortplet arbejde, og det er vel tvivlsomt, om det vil kunne gennemføres i fuldt omfang, da det direkte forøger de offentlige anlægsbudgetter i staten og amtskommunerne.

De enkelte forslag er stykket sammen til handlingsprogrammer, et 3-årsprogram, et 6-årsprogram og et 12-årsprogram. 3-årsprogrammet er sammensat således, at det opstillede, endelige mål skulle kunne nås og således, at de mest omkostningseffektive forslag søges gennemført først. Omkostningseffektiviteten af hele planen er gengivet i betænkningen ved et diagram, som er vist på figur 11.5.

Figuren viser, at den samlede reduktion på godt 45% i personskaderne vil koste samfundet ca. 1600 mio. kr pr år. Samtidig viser figuren, at de mest effektive foranstaltninger er så billige, at halvdelen af den totale effekt kan nås for en udgift på kun ca. 200 mio. kr pr år.

De berørte ministerier har nedsat en opfølgningsgruppe, som løbende skal søge effekterne vurderet og bedømme behovet for initiativer.



Figur 11.5 Omkostningseffektiviteten af Færdselssikkerhedskommissionens samlede handlingsplan.

Ikke alle planens foranstaltninger er gennemført så hurtigt som forudset, og de har ikke alle virket som forventet. Alligevel er planens mål om reduktioner i antal dræbte og tilskadekomne personer i store træk opnået.

I 1994 har Færdselssikkerhedskommissionen iværksat en revurdering af planen.

Litteratur

1 Danmarks Statistik, Færdselsuheld 1993.

2 Effektvurdering af miljøprioriteret gennemfart i Vinderup. VDL rapport 52, Vejdatalaboratoriet, 1987.

3 Byernes trafikarealer, Hæfte 0, Vejplanlægning i byområder, Vejdirektoratet, 1990.

4 Trafiksikkerhed, vurdering af inddeling i ap-typer til brug ved sortpletudpegning. VDL rapport 90, Vejdatalaboratoriet, 1990.

5 Jørgensen, N.O., Salusjärvi, M., Nilsson, G., Sandelien, S. og Muskaug, R., Fartsgrenser - mål og målkonflikter, I rapport Fartsgrenser - i trafikksikkerhetens tjeneste. Nordisk Vejteknisk Forbund, Rapport 6, 1985.

6 Typekatalog for nye veje og stier i åbent land, Vejdirektoratet, 1981.

7 Wass, C., Jørgensen, N.O. og Jørgensen, E., Model for uheld i vejkryds. IVTB rapport 39, 1983.

8 Vejregler for vejkryds i åbent land, Vejdirektoratet, 1983.

9 Jørgensen, N.O., The Safety Effects of a Major Infrastructure Project. Congress Report EURO TRAFFIC '91, Aalborg, 1991.

10 Jessen, C.K. og Leleur, S., Statusrapport for Vejtypevalgprogrammets videre udvikling. IVTB-projektrapport, 1989.

11 Færdselssikkerhedspolitisk redegørelse, 1. del, Betænkning nr. 921, 1981.

12 Færdselssikkerhedspolitisk redegørelse, 2. del, Betænkning nr. 1008, 1984.

13 Færdselssikkerhedspolitisk handlingsplan, Betænkning nr. 1157, Færdselssikkerhedskommissionen, 1988.

Kapitel 12

Trafikkens miljøkonsekvenser

Af Hans Bendtsen

Vejtrafikken løser nogle vigtige opgaver i samfundet ved transport af passagerer og gods. Men trafikken har også nogle negative konsekvenser i form af trafikuheld og utryghed samt i form af belastning af miljøet. I dette kapitel fokuseres der udelukkende på trafikkens miljøeffekter.

I afsnit 12.1 opstilles der et samlet trafikmiljø-begreb. Derefter foretages i afsnit 12.2 en meget kortfattet gennemgang af de enkelte miljøfaktorer. I afsnit 12.3 og 12.4 er der valgt at give en mere grundig gennemgang af henholdsvis luftforurening og støj, da disse 2 faktorer ofte vurderes i forbindelse med trafik- og vejplaner samt trafiksanering.

12.1 Et trafikmiljø-begreb

Ved trafikmiljø kan der forstås to meget forskellige problemkomplekser, nemlig miljøet for trafikanterne, samt belastningen af omgivelserne. Trafikantmiljøet er de betingelser og den påvirkning, de enkelte bilister udsættes for, når de færdes på vejene. Området behandles ikke i dette kapitel. Dog skal det fremhæves, at mht. luftforurening er bilisterne både skadevolderen og et af ofrene. Det skyldes, at bilerne både forårsager luftforurening langs vejen, og samtidig indsuger den dårlige luft i førerkabinen.

I det følgende ses udelukkende på vejtrafikkens belastning af omgivelserne. Omgivelserne skal forstås meget bredt, idet der er tale om en miljøbelastning af mange, meget forskellige omgivelser så som:

- Fodgængere og cyklister langs de trafikerede veje
- Beboere og ansatte i bygninger langs veje
- Rekreative områder
- Bygninger og kulturmindesmærker
- Natur, dyreliv og økologi

Et samlet trafikmiljø-begreb består af mange miljøfaktorer, som både i deres fysiske fremtræden samt i deres effekt på omgivelserne er meget forskellige

Denne forskelligartethed betyder, at de metoder, der konkret anvendes til at registrere og vurdere miljøfaktorer samt inddrage dem i praktisk planlægning, er meget forskellige. Det drejer sig om følgende miljøfaktorer:

A. Luftforurening
B. Støj
C. Barriereeffekt
D. Vibrationer
E. Visuelle og æstetiske forhold
F. Indgreb i naturområder
G. Energiforbrug
H Transport af farligt gods
I. Farligt vejvand

Det er sjældent, at der foretages undersøgelser, hvor alle de ovenstående miljøfaktorer behandles samtidigt. I Planstyrelsens vejledning om trafik og miljø til kommunerne[1] medtages miljøfaktorerne A, B, C, E samt G og derudover trafikuheld. Som et led i arbejdet med at opstille en miljøpolitik for Vejdirektoratet[2] er der foretaget en detaljeret kortlægning af faktorerne A, B, C, G samt H. Derudover er der foretaget en kvalitativ vurdering af faktorerne D, E samt I.

EF vedtog i 1985 et direktiv om vurdering af visse nye anlægs virkning på miljøet. Det er nu indarbejdet i dansk lovgivning som den såkaldte VVM-procedure (Vurdering af Virkning på Miljøet).[3] Baggrunden for direktivet er, at det anses som vigtigt, at virkningerne på miljøet tages i betragtning så tidligt som muligt i



Barriereeffekt er et udtryk for at tilstædeværelsen af en vej hindrer eller forsinker fodgængere og cyklister i at krydse vejen.

planlægnings- og beslutningsprocesserne. I forbindelse med planlægningen af nye overordnede veje i Nordjylland har Vejdirektoratet gennemført en VVM-procedure, hvor konsekvenserne af miljøfaktorerne A, B og C samt i øvrigt uheld og oplevet risiko blev vurderet for forskellige alternative linieføringer.

12.2 Kort om miljøfaktorer

Luftforurening og støj

I forbindelse med vejtrafikkens miljøfaktorer er luftforurening og støj de to faktorer, som hyppigst bedømmes og underkastes en egentlig samfundsøkonomisk vurdering, jf. afsnit 13.3. De to faktorer er beskrevet i afsnit 12.3 og 12.4. Beregningsmodeller er behandlet i appendix 12.1 og 12.2.

Barriereeffekt

Barriereeffekt er generelt set et udtryk for, at tilstedeværelsen af en større vej i et byområde hindrer eller forsinker de lette trafikanters færdsel på tværs af vejen. Det opfattes af de lette trafikanter som en gene. Veje kan være med til at opdele en by i nogle kvarterer som funktionelt og socialt hænger meget lidt sammen. Der findes forskellige metoder til at vurdere og beregne barriereeffekt.[4] Generelt er det sådan, at trafikmængde, hastighed, kørebanebredde og krydsningsbehov har indflydelse på barriereeffekten.

Sammenhængen kan illustreres af tabel 12.1, der oprindelig stammer fra en svensk undersøgelse.[1] Af figuren ses det, at ved at reducere enten trafikmængden eller hastigheden, kan barriereeffekten gøres mindre.

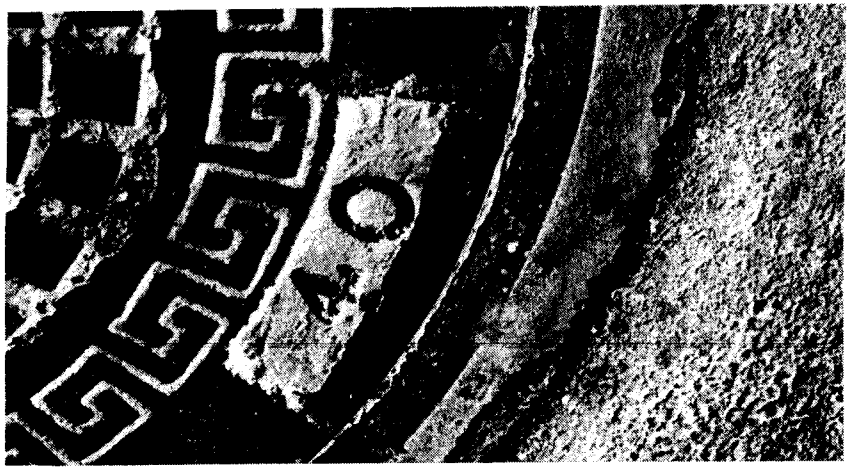
Hastighed km/h	Barrierens størrelse			
70	Stor			
50	Lille	Moderat	Stor	
30	Ubetyd.	Lille	Moderat	Stor
Køretøjer/h	0 ..... 500 1000			

Tabel 12.1 Eksempler på sammenhæng mellem trafikmængde, hastighed og barriereeffekt.

Vibrationer

Vibrationer er en udbredelse af en bølgebevægelse gennem faste stoffer som selve vejkonstruktionen, undergrunden, bygningsfundamenter og bygningsdele. Vibrationer dannes primært, når køretøjer rammer ujævnheder på kørebanen. Ofte vil vibrationer være ledsaget af støj fra den pågældende aktivitet. Der anvendes en logaritmisk skala og enheden decibel "dB" til angivelse af vibrationsniveauer. Både bygningskonstruktioner og mennesker kan blive påvirket af vibrationer. Der kan opstå revner og forsætninger i bygninger. Mennesker kan blive generet og føle ubehag, hvis de udsættes for vibrationer i de lokaler, hvor de opholder sig. Menneskets følegrænse for vibrationer ligger på 71 dB. Miljøstyrelsen har fastsat en anbefalet grænseværdi på 75 dB for jævnligt forekommende vibrationsniveauer.[5]

Vibrationer fra vejtrafik forekommer specielt i forbindelse med kombinationen tung trafik og ujævn vejbane. Kanter ved brønde i vejen samt løstliggende brønddæksler kan være årsag til vibrationer. Vejbanens overfladebeskaffenhed har betydning for vibrationsniveauets størrelse. Det betyder, at kanter ved skift i vejbelægningstype samt dårligt vedligeholdte vejbelægninger med huller kan være problematiske. Endvidere har køretøjernes type og hastigheden en vis indflydelse. For vejtrafik vil vibrationsniveauet normalt forøges ved både højere hastigheder og ved flere tungere køretøjstyper. I Danmark er der ikke foretaget særligt mange undersøgelser af vibrationer fra vejtrafik. Der findes ingen model til beregning af vibrationsniveauer i boliger. Den største undersøgelse af fænomenet, er foretaget i forbindelse med effektundersøgelserne af etablering af miljøprioriteret gennemfart i bl.a. Vinderup.[6]



Brønddæksler og ujævnheder i vejen kan forårsage vibrationer, især ved passage af tunge køretøjer.

Visuelle og æstetiske forhold

Visuelle og æstetiske forhold er et udtryk for, at veje ikke kun har en trafikal funktion med at afvikle trafik. Vejes udseende, både i byer og landområder er med til at præge det omgivende miljø. I byer færdes der dagligt mange mennesker langs de større veje, både som lette trafikanter og bilister. Det er en planlægningsmæssig opgave at sikre, at de får en god visuel oplevelse ved at færdes i byen. Det er ganske vanskeligt at definere, hvad der er pænt og grimt. Det beror på det enkelte menneskes intuitive opfattelse. Inden for arkitektfaget er der dog udarbejdet metoder til at vurdere udformning og bevidst at styre designprocesser.[7,8] Vejregelsekretariatet i Vejdirektoratet har udgivet en publikation om visuelle forhold.[9]

Som et eksempel på en trafikorganisations bevidste designstrategi kan nævnes DSB. I 80'erne gennemførte DSB det markante sort-røde design på stationer, tog og færger. Effekten var, at man aldrig var i tvivl, når man mødte DSB ude i landet, alt var nemlig blevet ganske ens. Med udgangen af 80'erne er denne strategi ændret noget. Nu tilstræbes det også, fx på banen til Frederikssund, at give de enkelte stationer et forskelligt design, således at stationen udsender et signal om, i hvilken by man nu befinder sig.

Lignende principper kan anvendes ved design af vejanlæg, vejudstyr (skilte, belysning, støjskærme mv.) og byinventar (bænke, stoppesteder, rækværk mv.). I forbindelse med etablering af trafiksanering er det vigtigt at tænke over design og udformning. Det kan være et af virkemidlerne til at forbedre trafikanternes adfærd, og samtidig forbedre det visuelle miljø.



Ved et bevidst design samt valg af materialer og beplantning kan vejanlæg udformes, så de passer ind i bymiljøet.

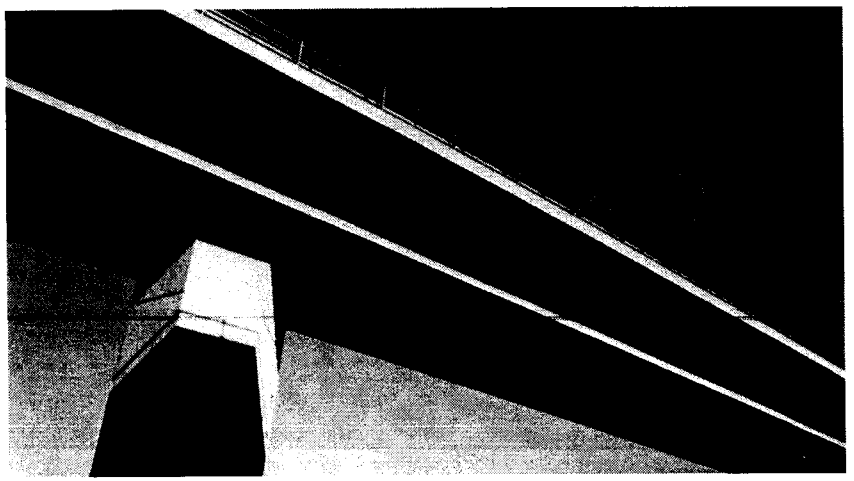
Indgreb i naturområder

Indgreb i naturområder dækker over vejanlægs forskelligartede påvirkninger af natur og landskab i det åbne land. Anlæg af en ny vej kan visuelt være med til at skære et landskab i stykker, fx ved at gå tværs gennem en skov eller ved at ligge på en dominerende vejdæmning. Vejanlæg kan dog også designes således, at linieføringen følger landskabets naturlige former og skel, fx mellem skov og marker.[7,10]

Når en større vej føres gennem et naturområde vil den danne en barriere for dyrelivets frie bevægelighed. Det skyldes, at mange dyr bliver generet af vejen samt trafikken. De undlader derfor at passere vejen, når de i deres søgen efter føde eller yngle- og skjulesteder bevæger sig gennem landskabet. Det kan skabe problemer for et områdes fauna.[11]

Problemerne kan afhjælpes ved at etablere niveaufri passager, som er tilpasset de specielle dyrearter, man ønsker at hjælpe. Ved anlægget af motortrafikvejen på Sjællands Odde blev der etableret nogle små tunneler, som frøer og tudser kan gå igennem. I Holland har myndighederne bygget en 50 m bred bro over en motorvej. Broen er beplantet som et skovområde, for at sikre at hjorte og andre større dyr kan passere uhindret.

Vejanlæg kan ligeledes påvirke natur og økosystemer på forskellig vis. Å-løb kan blive omlagt eller lagt i tunneler, vådområder kan blive drænet eller grundvandstanden kan blive sænket. Effekterne af sådanne foranstaltninger bør grundigt overvejes, fx i samarbejde med biologer.



Veje og broer kan virke meget dominerende i naturområder og i det åbne land.

Energiforbrug

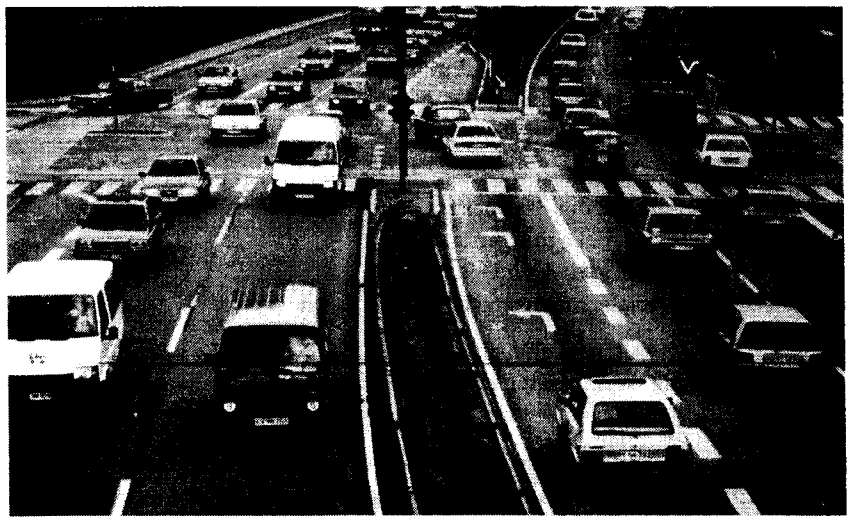
Gennem forbrug af fossilt brændstof tærer trafikken løbende på en af jordens begrænsede ressourcer. Siden energikriserne først i 70'erne har det været et officielt mål i Danmark at spare på energiforbruget. I en kort periode gik man radikalt til værks over for trafikken og indførte bilfrie søndage. Med Brundtlandrapporten fra 1987, omtalt i afsnit 2.3, blev det et mål for den vestlige verden at reducere energiforbruget med 50%.

I regeringens transporthandlingsplan fra 1990 for miljø- og udvikling opstilles der et konkret mål om, at transportsektoren skal stabilisere energiforbruget inden år 2005 og reducere energiforbruget med 25% inden år 2030 i forhold til situationen i 1988.[12] Denne plan er i 1993 fulgt op af "Trafik 2005" jf. afsnit 9.3.[13]

Det samlede årlige energiforbrug fra en vejstrækning eller et vejnet kan beregnes ud fra et kendskab til:

- vejlængde
- trafikmængde
- hastighed
- fordeling på køretøjstype

I Planstyrelsens vejledning om trafik- og miljø er en beregningsmetode beskrevet.[1] Energiforbruget kan både reduceres ved at anvende mere energiøkonomiske biler, samt ved at reducere det samlede transportarbejde og ved at sænke de høje hastigheder.



Hastighed, kørselsmønster og køretøjstype er bestemmende for energiforbruget.

Transport af farligt gods

Transport af farligt gods foregår i et vist omfang på det danske vejnet. Der er udpeget et net af tvangsruter, som skal følges ved sådanne transporter. Farligt gods på vejene medfører ikke nogen umiddelbare gener, så længe det er forsvarligt emballeret i containere og tanke mv.

Men der er en vis risiko for, at et køretøj bliver impliceret i et trafikuheld. I så tilfælde er der ligeledes en vis risiko for, at det farlige gods slipper ud i omgivelserne. Her kan der opstå forurening, hvis fx kemikalier eller olieprodukter trænger ud i vandløb og jordområder. Der kan opstå umiddelbar fare for mennesker, hvis fx benzin antændes og eksploderer. Ligeledes kan der opstå forgiftning og måske kvælning af mennesker, hvis farlige gasser som fx klor spredes ud over et boligområde.

Der er således tale om en risiko for miljøpåvirkninger ved transport af farligt gods. I forbindelse med udarbejdelsen af en miljøpolitik for Vejdirektoratet er der opstillet en model til beregning af denne risiko.[2] Modellen er anvendt til en kortlægning af risikoen på det danske hovedlandevejsnet.

Der er i 1994 afsluttet en første kortlægning af omfanget af transporter af farligt gods på det danske vejnet. Kortlægningen omfatter tillige transporter af farligt gods på jernbane, til søs og i rørledninger.[14,15]

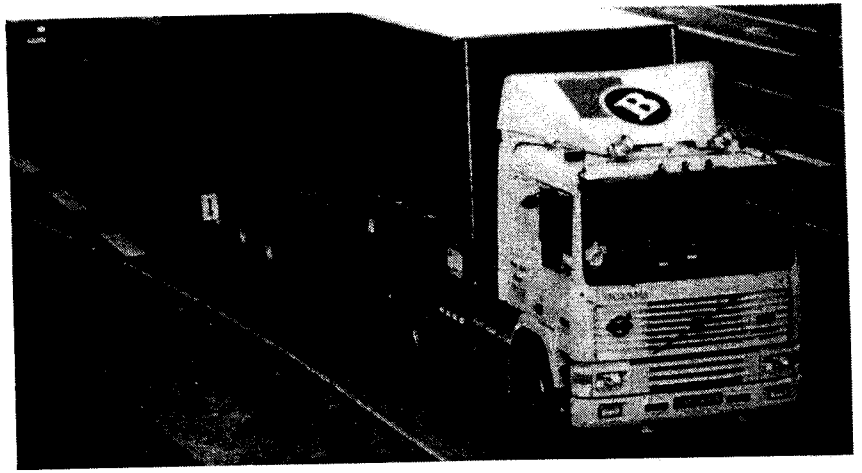
Farligt vejvand

Farligt vejvand er det vand der i forbindelse med regn- og tøvejr løber fra vejbanen og ud i kloakkerne eller den omgivende natur. Når bilerne kører på vejene, udskilles der på forskellig vis en række stoffer. De aflejres som støv og snavs på vejbanen. Det drejer sig om følgende:

- Partikler fra forbrændingsprocessen, der kommer ud af udstødningsrøret
- Olie og smøremidler, der drypper fra motor o.lign
- Partikler fra bremsebelægningerne
- Partikler, der slides af dæk og vejbane
- Korroderet materiale, malingsrester, tabt gods mv.

Endelig er der det salt, som anvendes til at fjerne is og sne fra vejene. Vejvandet kan bl.a. indeholde næringssalte, tungmetaller og salt, som kan udledes til vandløb, søer og vådområder.

Effekterne af disse forureningskomponenter er af biologisk og kemisk art. Der kan være tale om påvirkning af økologiske forhold i de vandområder, som stofferne ledes til. Endvidere kan der på længere sigt ske påvirkninger af grundvandsreservoirer og dermed opstå effekter direkte på mennesker. Der



Hvis uheldet er ude, kan transport af farligt gods på vejene medføre store ulykker

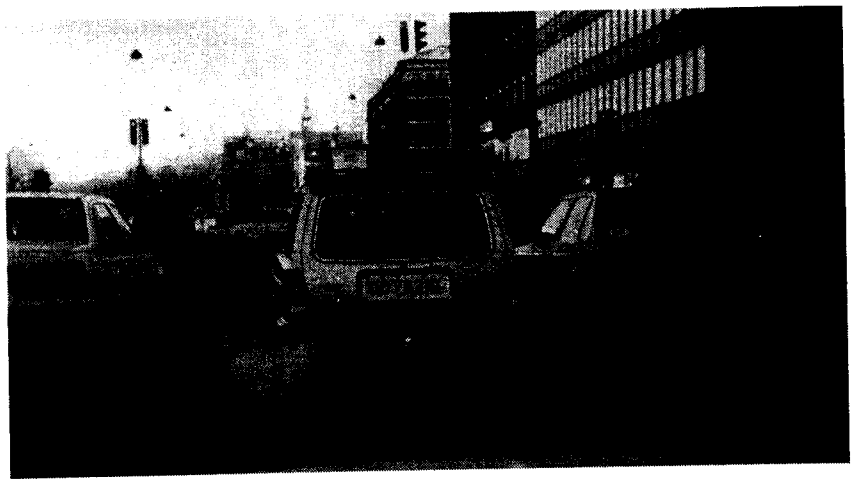
findes ikke en metode til at beregne mængden af vejvand og de miljømæssige konsekvenser.

Ved anlæg af nye veje skal vejmyndigheden ifølge Miljøbeskyttelseslovens §18 have en udledningsgodkendelse fra amtskommunen. I en bekendtgørelse fra Miljøministeriet (nr. 248 af 15/6 1986) defineres afløbsvand fra befæstede arealer som spildevand. Vejvand kan derfor ikke udledes til åer, søer eller havet uden forudgående godkendelse. Den praksis, der er fulgt i de sidste 10 år ved anlæg af nye overordnede veje med etablering af olieudskillere og regnvandsbassiner, må vurderes som tilstrækkelig til at undgå miljømæssige problemer fra vejvand.[2]

Som det fremgår af denne gennemgang, indeholder et trafikmiljø-begreb mange meget forskelligartede miljøfaktorer. Der findes ikke umiddelbart nogen operationel metode til at sammenveje alle disse miljøfaktorer til en samlet talværdi. Arbejdet med planlægning og kortlægning af trafikkens miljøforhold er ofte en tværfaglig disciplin, som involverer ingeniører, arkitekter, biologer og kemikere mv.

12.3 Luftforurening

Den nedre del af jordens atmosfære består af forskellige stoffer. Ilt (O_2), der er en nødvendig betingelse for dyr og menneskers liv, udgør omkring ⅕ af lufthavet. Helt dominerende er kvælstof (N_2), som udgør ca. 80% af lufthavet. Dertil kommer en lang række gasarter, der forekommer i små mængder.



Udstødningsgassen fra biler består af en lang række miljø- og sundhedsskadelige stoffer.

Benzin og dieselolie består af kulbrintemolekyler (H_xC_y) af forskellig art, eventuelt med et naturligt indhold af andre stoffer som fx svovl i dieselolie. Til nogle brændstoftyper er der kunstigt tilsat stoffer som fx bly i benzinen. Inden brændstoffet afbrændes i køretøjets motor, opblandes det med luft fra atmosfæren. Ved den ideelle forbrænding omdannes kulbrintemolekylerne samt luftens ilt til kuldioxid (CO_2) og vand (H_2O):

$$H_xC_y + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O \qquad (12.1)$$

Den ideelle proces forekommer imidlertid aldrig. Der udsendes altid en række andre stoffer, som kulbrinter (H_xC_y), kulilte (CO) og kvælstofilter (NO_x). Betegnelsen NO_x dækker her over den samlede mængde af henholdsvis kvælstofoxid (NO) og kvælstofdioxid (NO_2). Kvælstoffet kommer enten fra urenheder i brændstoffet eller fra atmosfærens fri N_2. Specielt fra dieselmotorer udsendes desuden partikler og svovldioxid (SO_2). Herudover skal nævnes bly samt dioxiner, som kan opstå ved forbrændingsprocessen.

Fra en typisk benzinmotor består omkring 1% af udstødningsgasserne af de ovennævnte sundhedsskadelige stoffer. De resterende 99% fordeler sig som det fremgår af tabel 12.2 på stoffer, der i normale koncentrationer ikke er skadelige for mennesker. CO_2 er dog en såkaldt drivhusgas, og som sådan et væsentligt problem.

N_2	O_2	H_2O	CO_2	Sundhedsskadelig
71%	0,7%	9,2%	18,1%	1%

Tabel 12.2 Stoffer i udstødningsgassen fra en benzinmotor.[18]

Effektoversigt

Figur 12.1 viser en opdeling af luftforureningens effekter. Ved sundhed menes påvirkninger af menneskers helbred. Økologiske effekter er påvirkninger af naturen bredt forstået, herunder at NO_x bidrager til den såkaldte forsuring af mark-, skov- og vandområder. Effekter på materialer er påvirkninger af bygningsværker, kulturgenstande, der bl.a. nedbrydes under påvirkning af NO_x og SO_2.

De lokale effekter kan afgrænses til påvirkninger, der kun sker i umiddelbar nærhed af kilden, dvs. påvirkninger af mennesker, økologi eller materialer tæt på vejen. De regionale effekter er påvirkninger, der rammer mennesker, økologi eller materialer i et geografisk afgrænset område. De globale effekter rammer jordkloden og dens økologi som helhed. Det drejer sig bl.a. om CO_2, der som en drivhusgas er med til at ændre klodens klima.

CO hæmmer blodets ilttransporterende egenskaber og medfører nedsat ilttilførsel til kroppen. Hjertet og centralnervesystemet er særligt påvirkelige. NO_2 er et stof, der kan påvirke luftvejene og lungefunktionen hos mennesker. Børn astmatikere og folk med kronisk bronkitis er særligt udsatte. HC dækker over en stor gruppe organiske forbindelser, hvoraf nogle er luftvejsirriterende. Andre grupper af HC'ere er potentielt kræftfremkaldende. Indholdet af potentielt kræftfremkaldende stoffer er væsentligt højere pr. kørt kilometer for dieselkøretøjer end for benzinkøretøjer.

En væsentlig del af luftens støvindhold i byer stammer fra biltrafikker. Dieselkøretøjerne giver et væsentligt bidrag til den samlede partikelforurening.

1. Hvad bliver påvirket:
   - sundhed
   - økologi
   - klima
   - materialer
2. Hvilket geografisk område bliver påvirket:
   - lokalt
   - regionalt
   - globalt
3. Efter hvilken påvirkningstid opstår effekten:
   - kort tid
   - lang tid

Figur 12.1 Opdeling af de luftforurenende stoffers effekter.

men benzinkøretøjer udsender dog også partikler. Det store problem ligger i en langtidspåvirkning med potentielt kræftfremkaldende HC'ere, der er bundet til partikler. Desuden kan partikler lokalt tilsmudse bygninger o.lign. Der foregår løbende en del forskning på området. I fremtiden kan man forvente, at ny viden vil afsløre hidtil ukendte sundheds- og miljøeffekter.

Udslip

Den samlede danske bilpark bestod i 1987 af 1,88 mio. køretøjer. Disse biler tilbagelagde i alt 33,3 mia. vognkilometer, der fordelte sig med 80% på personbiler og 20% på lastbiler og busser. Denne bilpark forbrugte 2 mia. liter benzin og 1,3 mia. liter dieselolie.

Køretøjernes luftforurening (emissioner) ændres med tiden, efterhånden som myndighederne skærper kravene til nye biler. Traditionelt stilles krav til brændstoffets sammensætning og til udstødningsgassens indhold af forskellige stoffer. Der stilles fx krav til udstødningsgassens indhold af CO, NO_x og HC. Anvendelse af katalysatorer på benzindrevne personbiler vil betyde henholdsvis 82%, 71% og 87% reduktion af disse stoffer. En katalysator til en bil monteres på udstødningssystemet. I en katalysator omdannes de tre skadelige stoffer HC, CO og NO_x. CO og HC oxideres til H_2O og CO_2, mens NO_x reduceres til N_2:

$$\begin{aligned} CO + O_2 &\rightarrow CO_2 \\ HC + O_2 &\rightarrow CO_2 + H_2O \\ NO_x + CO &\rightarrow CO_2 + N_2 \end{aligned} \qquad (12.2)$$

Katalysatorer vil betyde en forbedring af gadeluftkvaliteten på flere områder. Men da CO_2 er en drivhusgas, er katalysatorerne ikke et virksomt middel i forhold til drivhusproblematikken.

Den danske regering har skærpet kravene til personbiler. Det betyder i realiteten, at nye benzindrevne biler siden oktober 1990 skal være udstyret med en katalysator. Samtidig kan disse biler kun køre på blyfri benzin, hvilket betyder, at vejtrafikkens blyforurening vil forsvinde i løbet af en årrække.

	CO	HC	NO_x	Partikler
Benzindrevne biler uden katalysator:				
Personbiler og lette varebiler	21	2,0	2,1	?
Tunge varebiler (uger 2 tons)	26	2,2	2,5	?
Dieseldrevne biler:				
Personbiler og varebiler (under 3,5 tons)	1,5	0,6	0,9	0,5
Lastbiler og busser (over 3,5 tons)	3,1	1,0	10,3	1,0

Tabel 12.3 Gennemsnitlige emissionsfaktorer i 1986 angivet i gram pr. kørt kilometer under aktuelle gennemsnitlige kørselsforhold.

Emissionsfaktorer, som dem der er angivet i tabel 12.3, kan anvendes til at beregne det samlede årlige udslip af forskellige stoffer (Ts) fra et vejnet ud fra følgende grundformel:[18]

$$Ts = E \times A \times L \qquad (12.3)$$

E er det pågældende stofs emissionsfaktor, A er antallet af køretøjer i en kategori og L er den samlede kørte vejlængde. Beregningen foretages for hver kategori af køretøjer og summeres til sidst. Resultatet angives ofte i ton stof pr. år. I rapporten om Vejdirektoratets miljøpolitik, samt i en rapport om luftforurening fra individuel og kollektiv trafik, findes emissionsfaktorer, der også tager hensyn til forskellige hastigheder samt forskelligt kørselsmønster.[16,18]

Med den teknologi, der er til rådighed i dag, er det ikke muligt helt at fjerne de skadelige stoffer fra udstødningsgassen. Derimod kan de stoffer, som tilsættes brændstoffet, fx bly, fjernes helt, men det kan medføre tilsætning af andre stoffer, der eventuelt vil kunne være årsag til i dag ukendte effekter.

Tabel 12.4 viser en oversigt over de samlede emissioner i 1000 tons fra den danske bilpark i henholdsvis 1980 og 1986 fordelt på forskellige stoffer.[18] For de 4 stoffers vedkommende er der tale om stigninger i de totale emissioner over denne 6 årige periode. Stigningerne er på henholdsvis 1% for CO, 13% for HC, 19% for NO_x og 33% for partikler. Forøgelsen af det samlede udslip af luftforurenende stoffer fra den danske bilpark skyldes generelt at biltrafikken, udtrykt som samlet transportarbejde, er steget med 20% i denne periode.

	CO		HC		NO_x		Partikler	
Benzindrevne biler:	1980	1986	1980	1986	1980	1986	1980	1986
Personbiler og lette varebiler	531	535	44	50	43	50	?	?
Tunge varebiler (under 2 tons)	36	35	3	3	3	3	?	?
Dieseldrevne biler:								
Personbiler og varebiler (under 3,5 tons)	4	5	2	2	2	3	1	1,7
Lastbiler og busser (over 3,5 tons)	6	7	3	4	20	25	2	2,4
I alt	577	582	52	59	68	81	3	4

Tabel 12.4 Samlet udslip af luftforurening fra den danske bilpark for årene 1980 og 1986. Enhed 1000 tons

Vejtrafikkens bidrag

Tabel 12.5 viser det samlede danske transportsystems bidrag til luftforureningen (incl. jernbane, fly og skibe).[18] Da vejtransporten anvender 90% af den energi, der anvendes i transportsektoren, giver disse tal også en god vurdering af vejtrafikkens andel af den samlede luftforurening. For nogle stoffers vedkommende (CO,

HC og bly) er trafikken den mest dominerende forureningskilde. For andre stoffer som NO_x er trafikken en væsentlig forureningskilde.

Disse tal giver en god vurdering af trafikkens bidrag til de regionale og globale påvirkninger. De kan derimod ikke anvendes ved vurderinger af fordelingen lokalt i byerne eller i de enkelte gaderum, hvor trafikken typisk vil være en endnu mere dominerende kilde til luftforurening pga. den store trafikkoncentration i byområder, se tabel 12.6.[18] Vejtrafikkens bidrag til luftforureningen er dominerende for de fleste stoffers vedkommende i gaderummene i byerne.

CO	80%
Bly	67%
HC	57%
NO_x	34%
CO_2	15%
SO_2	2%

Tabel 12.5 Transportens del af den samlede emission af luftforurening i Danmark sidst i 80'erne fordelt på forskellige stoffer.

NO_2	Nationalt	I byer	I gaderum
Biltrafik	40%	50%	85%
Andre kilder	60%	50%	15%

Tabel 12.6 Biltrafikkens andel af NO_2 niveauet i Holland fordelt på forskellige geografiske områder.

Befolkningens oplevelse

I Danmark er der kun foretaget få interviewundersøgelser af befolkningens opfattelse af luftforureningen. Det er i denne sammenhæng et problem, at mange af de vigtige forureningskomponenter ikke umiddelbart kan mærkes af mennesker ved de almindeligt forekommende koncentrationer. Selvom store dele af luftforureningen ikke umiddelbart er mærkbar, kan den godt have nogle sundhedsmæssige effekter på mennesker. Udenlandske undersøgelser, hvor man har spurgt folk om luftforureningens virkninger og effekter, viser, at disse hovedsageligt er knyttet til følgende:

- Lugt
- Synlige fænomener som støv, nedfald, tåge, røg, dis og dårlig sigt
- Synlige virkninger som misfarvning af bygninger og tilsmudsning i boliger
- Sundhedspåvirkninger så som irritation af øjne og luftvejssystem

I 1976 gennemførte Socialforskningsinstituttet en stor velfærdsundersøgels 5000 personer over 20 år blev interviewet om deres opfattelse af mange forskell ge forhold herunder luftforurening. Af tabel 12.7 fremgår det, at 27% af befolkni gen angav, at de følte sig generet af en eller anden form for luftforurening.[18] 10 følte sig generet af luftforurening fra trafik. Det ses af tabel 12.8, at i byerne c især i de større byer, oplever folk at være generet af luftforurening fra vejtrafik.

Fabriksrøg	12%
Trafikos	10%
Stank fra kloak, vandløb mv.	7%
Anden luftforurening	4%
Mindst én af disse	27%

Tabel 12.7 Andel der angiver at de føler sig generet af luftforurening ved Soci forskningsinstituttets velfærdsundersøgelse.

Hovedstanden	26%
Hovedstandens forstæder	12%
Byer med mere end 10.000 indb.	11%
Byer med mindre end 10.000 indb.	6%

Tabel 12.8 Geografisk fordeling. Del af befolkningen, i det pågældende område, sc følte sig generet af luftforurening fra trafik.

I en norsk undersøgelse blev beboerne langs 5 stærkt trafikerede veje i Os spurgt, hvorvidt luftforurening og støv fra vejen var generende i boligen. Melle 65% og 94% svarede ja til, at de følte sig generet.

Registrering

Luftforureningen fra biler kan registreres direkte i udstødningen eller i fri lu Målinger i udstødningen betegnes emissionsmålinger. De anvendes bl.a. v typegodkendelse af nye biler. Målinger i byluften betegnes immissionsmåling og giver en værdi for luftkvaliteten i gaderummet.

Det er dyrt og tager lang tid at foretage målinger. Luftkvaliteten i gader k derimod hurtigt beregnes ved anvendelse af en fælles nordisk model. Det kræv viden om trafikmængden, hastigheden og vejens profil.[17] Beregninger kan b anvendes, hvis luftkvaliteten i et helt vejnet ønskes kortlagt. Beregninger k ligeledes anvendes til at vurdere konsekvenserne af forskellige trafik- og bypl mæssige tiltag. Gadeluftkvalitet beregnes i enhederne mikrogram NO_2 pr. l bikmeter luft ($\mu g/m^3$) og milligram CO pr. kubikmeter luft (mg/m^3). I Vejda laboratoriets grundbog om trafik og luftforurening findes en dansk udgave den fælles nordiske beregningsmodel, jf. iøvrigt appendix 12.1.[18]

Målsætninger

Der kan både opstilles grænseværdier for gadeluftkvaliteten i den enkelte gade, samt for udviklingen af det samlede udslip af luftforurening i hele landet.

For gadeluftkvaliteten har Miljøministeriet ved bekendtgørelse nr. 119 af 12. marts 1987 angivet følgende:

- En bindende grænseværdi på 200 $\mu g/m^3$ for 98% fraktilen af timemiddelværdierne af NO_2 målt over 1 år
- Vejledende grænseværdier på 135 $\mu g/m^3$ og 50 $\mu g/m^3$ for henholdsvis 98% fraktilen og 50% fraktilen af timemiddelværdierne af NO_2 ligeledes målt over 1 år[18]

De vejledende grænseværdier bruges normalt i forbindelse med vurdering af luftforurening fra vejtrafik.

Verdenssundhedsorganisationen WHO har for CO foreslået en grænseværdi som anbefalet langtidsmål på 10 mg/m^3 for maksimalværdier af det såkaldt rullende 8 timers gennemsnit målt over et helt år.[18] Denne værdi bruges normalt i forbindelse med vurdering af luftforurening fra veje.

I Københavns kommune er der foretaget en kortlægning af luftkvaliteten langs gadenettet.[19] Heraf fremgår det, at Miljøministeriets planlægningsmål for NO_2 overskrides på i alt 23 km vej, samt at WHO's grænseværdi for CO overskrides på i alt 29 km vej ud af et samlet overordnet vejnet på 230 km i byområder.

I regeringens transporthandlingsplan for miljø og udvikling blev der opstillet følgende mål for reduktion af de samlede luftforureningsemissioner fra det danske transportsystem (vejtrafik, baner, skibe og fly) med udgangsåret 1988.[12]

CO_2:
- En stabilisering inden år 2005
- En reduktion på 25% frem til år 2030

NO_x og HC:
- En reduktion på mindst 40% inden år 2000
- En reduktion på 60% inden år 2010
- En yderligere reduktion frem til år 2030

Virkemidler

Rundt i verden er der mange eksempler på, hvordan der er arbejdet på at begrænse luftforureningen fra vejtrafikken, ikke kun ved at ændre på bilernes teknologi, men også ved by- og trafikplanlægning.[18] Et vigtigt element i arbejdet med vejtrafikkens luftforurening er information til borgerne om målinger og beregninger samt om muligheder for at forbedre forholdene. Forskellige virkemidler kan anvendes:[18]

- Bilteknologi
- Trafikplanlægning
- Byplanlægning
- Informationskampagner

I det følgende omtales blot bilteknologien. Bilteknologi er fx de allerede omtalte katalysatorer til personbiler. Med indførelse af katalysatorer har personbilen foretaget et teknologisk spring rent luftforureningsmæssigt i forhold til bustrafik og lastbiler. Der arbejdes i disse år på at udvikle partikelfiltre og andet udstyr som kan reducere luftforureningen fra busser og lastbiler. Hovedstadsområdets trafikselskab HT afprøver nogle busser, der er forsynet med partikelfiltre og har ligeledes introduceret et svovlfattigt dieselbrændstof, der skulle reducere partikeludslippet med omkring 30%. Det må forventes, at der i løbet af de næste 5-10 år sker teknologiske gennembrud også på bus og lastbilområdet.

Miljøstyrelsen og Vejdatalaboratoriet har udgivet en rapport, der konkluderer, at udslippet af kulilte og kulbrinter regnet pr. personkilometer i alle tilfælde er mange gange højere fra den individuelle trafik end fra busserne.[16] Til gengæld forurener busserne mere med sodpartikler. For kvælstofilterne er konklusionen afhængig af, om bussen kører i en centrumgade med mange passagerer, eller om den kører i byernes udkanter, hvor antallet af passagerer er færre. Beregningerne viser, at busserne pr. personkilometer i centrumgader forurener mindre med kvælstofilter end den individuelle trafik. I omegnen klarer personbilerne sig bedst.

Rapporten ser også på, hvem der har ansvaret for den samlede forurening i fire københavnske gader: Bredgade, Sølvgade, Jagtvej og Strandvejen. Benzinbilerne står for 90 til 95 procent af kulilte- og kulbrinteudslippet, mens 70 procent af forureningen med sodpartikler stammer fra busser, last- og varebiler. Benzinbilerne og busser/lastbiler deles ligeligt om forureningen med kvælstofilter.

12.4 Støj

Fysisk er lyd en bølgebevægelse gennem luftet. Støj er derimod defineret som generende og uønsket lyd. Det er almindeligt anerkendt, at lyden fra vejtrafik både uønsket samt generende, og derfor må betegnes som støj.

Ved Socialforskningsinstituttets levevilkårsundersøgelse i 1976 spurgte man om folk følte sig generet af støj ved deres bolig. Undersøgelsen viste, at vejstøj den væsentligste enkeltårsag til gener ved boligen. 24% oplyste, at de var generet af støj, heraf angav 7%, at de endog følte sig stærkt generet af støjen.

Trafikstøj beskrives i almindelighed ved det konstante, energiækvivalente, A-vægtede støjniveau: L_{Aeq}. Ved A-vægtningen sker der en tilnærmelse til den måde, det menneskelige øre opfatter støjens forskellige frekvenser. Der anvendes en logaritmisk skala, og trafikstøj angives i enheden decibel-A (dB(A)). Trafikstøj varierer med trafikmængden inden for et givent tidsrum. Fysisk svarer L_{Aeq} til værdien af lydtrykniveauet af en konstant lyd, som indenfor et givent tidsrum har samme energiindhold som en lyd, hvis niveau varierer med tiden.

Der benyttes normalt en midling over et helt døgn, den såkaldte L_{Aeq24h} værdi. Den giver en rimelig beskrivelse af støjens generende virkning og er velegnet til administrative formål. Miljøstyrelsens vejledende grænseværdier for vejtrafikstøj er altid L_{Aeq24h} værdier i frit felt, dvs. uden tillæg for refleksioner fra husfacader og lignende. I dette afsnit anvendes kun L_{Aeq24h} værdier.

I det følgende er der angivet nogle typiske støjniveauer:

- Trafik på en villavej, 400 biler pr. døgn, 40 km/h, 10 meter fra vejmidten, ca. 51 dB(A)
- Almindelig tale i 1 meter afstand, ca. 60 dB(A)
- Trafik på hovedvej i provinsby, 4000 biler pr. døgn, 50 km/h, 10 meter fra vejmidten, ca. 63 dB(A)
- Trafik på motorvej 25000 biler om dagen, 100 km/h, 10 meter fra vejmidten, ca. 80 dB(A)
- 0 dB(A) er det svageste niveau, den menneskelige hørelse kan opfatte og 130 dB(A) vil give smertefornemmelse

For at kunne vurdere hvordan fx beboerne i et støjplaget boligområde vil mærke effekten af støjdæmpende foranstaltninger, kan følgende generelle retningslinier for menneskers opfattelse af forskellige støjreduktioner angives:

- 1 dB(A) reduktion er det mindste, det menneskelige øre kan opfatte, og kun når de to støjniveauer sammenlignes umiddelbart efter hinanden
- 5 dB(A) reduktion kan tydeligt høres
- 10 dB(A) reduktion opfattes som en halvering

Gener og omfang

Høreskader kan opstå, hvis man er udsat for en støj på 85 dB(A) eller mere i mindst 8 timer daglig. Støjpåvirkninger, der er så kraftige og langvarige, optræder ikke i forbindelse med vejtrafikstøj.

Mennesker, der udsættes for støj, påvirkes fysiologisk på en måde, der minder om en akut skrækreaktion, fx med øget blodtryk, øget puls, udvidede pupiller, afværgebevægelser, øget muskelspænding, koldsved, aftagende tarmbevægelser,

nedsat sekretion af mavesaft og spyt. Disse reaktioner fremkaldes i særlig grad ved pludselige ændringer i støjen og øges med støjtoppenes styrke.

Støj fra vejtrafik gør det svært at føre en normal samtale. Når niveauet er på 7 dB(A), kan man kun gøre sig forståelig for hinanden ved at stå helt tæt samme og råbe. Først ved 50 dB(A) kan man tale normalt sammen, hvis man står i afstan af ikke over 1 meter fra hinanden.

Ældre, hørebesværede personer og personer med høreskader (ca. 4% af befolk ningen i Danmark) har behov for et særligt lavt lydniveau fra trafikken, hvis tal skal blive forståelig. Trafikstøj forstyrrer sovende. Den gør det vanskeligt at falc i søvn og medfører, at man vækkes under søvn. Sådanne virkninger er målt kontrollerede forsøg og er bekræftet af statistisk materiale og interviews mv.

Der er foretaget en lang række undersøgelser af, hvordan beboerne langs støjb lastede veje opfatter forskellige støjniveauer. Ved et udendørs støjniveau omkring 45 dB(A) er der stort set ingen, der føler sig stærkt generet. Når niveau stiger til 55 dB(A), som er miljømyndighedernes vejledende grænse, angiver 15 af beboerne, at de stærkt generet. Dette stiger jævnt, således at 90% føler s stærkt generet ved et støjniveau på 70-75dB(A). Planstyrelsen foretog først 80'erne en overslagsmæssig kortlægning af vejtrafikstøjen i hele Danmark Resultatet var, at over ⅓ af landets boliger er belastet med et støjniveau på dB(A). Andelen er væsentlig større i de større byer, hvorimod mindre byer landområder er mindre støjplagede.

Registrering

Vejtrafikstøj kan registreres enten ved hjælp af målinger eller beregninger. V målinger stilles der store krav til måleudstyr og måleprocedurer. Det er norm relativt omkostningskrævende at gennemføre præcise støjmålinger. Beregnin kan derimod relativt nemt gennemføres ved hjælp af en fælles nordisk ber ningsmodel, jf. appendix 12.2.[21] I de fleste tilfælde kan støjen beregnes ud fr kendskab til følgende faktorer:

- Den samlede trafikmængde udtrykt som årsdøgntrafik
- Andelen af tunge køretøjer over 3 tons
- Hastigheden
- Afstanden fra vejen

Modellen kan beregne effekten af støjvolde og skærme, tilbagerykning bebyggelse samt ændringer af trafikmængder og hastigheder. Modellen ligeledes anvendes til at beregne støjen langs et helt vejnet, således at der optegnes et støjkort.[19,22]

Der findes en metode til at beregne et såkaldt støjbelastningstal, som er et udtryk for en vægtet sammenhæng mellem antal støjbelastede boliger og de aktuelle støjniveauer, jf. appendix 14.1. Beregning af støjbelastningstal kan fx bruges ved en planlægningsmæssig vurdering af forskellige alternative linieføringer for en ny vej. Det kan ligeledes bruges til en støjmæssig vurdering af forskellige alternative trafiksaneringsplaner i en by eller en bydel.[23]

Vejdirektoratet markedsfører et PC-program der på baggrund af den fælles nordiske beregningsmodel kan lave støjberegninger.

Grænseværdier

Miljøstyrelsens vejledende udendørs grænseværdier for vejstøj er følgende.[24]

- Rekreative områder i åbent land som sommerhusområder, grønne områder, campingpladser max. 50 dB(A)
- Rekreative områder i/nær byområder som bydelsparker, kolonihaver, nyttehaver og turistcampingpladser max. 55 dB(A)
- Boligområder, daginstitutioner og opholdsarealer max. 55 dB(A)
- Offentlige formål som hospitaler, uddannelsesinstitutioner og skoler max. 55 dB(A)
- Liberale erhverv som hoteller og kontorer mv. max. 60 dB(A)

Forskellige planlægningsværktøjer anvendes i dag til at sikre, at disse værdier overholdes i forbindelse med nyt boligbyggeri samt i forbindelse med større nye vejanlæg. Derimod er der intet krav om, at disse grænser skal bringes til at gælde for allerede eksisterende boliger, som belastes af høje støjniveauer fra veje. Vejdirektoratet har dog fra 1992 årligt anvende penge til støjbekæmpelse langs det eksisterende vejnet. Københavns Amt har ligeledes i en årrække opsat støjskærme langs støjmæssigt stærkt belastede vejstrækninger.

Støjkilder

I den enkelte bil er der forskellige kilder, der udsender støj:

- Forbrændingsstøj opstår ved forbrændingen i cylinderne og udsendes fra motorblokken
- Mekanisk motorstøj kommer fra ventiler, stempler mm.
- Udstødningsstøj opstår, når udstødningsgasserne stødvis strømmer ud af udstødningsrøret
- Indsugningsstøj opstår, når luft til forbrændingen suges ind
- Ventilationsstøj kommer fra den vifte, der indgår i kølesystemet
- Dækstøj opstår ved kontakten mellem dæk og vejbane
- Vindstøj

Deres indbyrdes vægt afhænger af hastighed, køremåde og vejbanens overflade Den enkelte bilejer er ansvarlig for bilens vedligeholdelsesstandard. Er bile dårligt vedligeholdt, er lydpotten fx hullet og gammel, stiger bilens støjudsendel se væsentligt.

Lastbiler og andre tunge køretøjer bidrager væsentligt til det samlede støjniveau på vejene, idet en lastbil støjer lige så meget som 5-10 personbiler. Der vil derfo kunne opnås en vis støjreduktion ved at holde lastbiler ude fra boligområder.

Ved hastigheder over 50 km/h bliver dæk-vejbanestøjen for personbiler de dominerende støjkilde. Under 50 km/h er motorstøjen typisk den dominerend støjkilde. Derfor er det også vigtigt at vurdere mulighederne for at reducer dæk-vejbanestøjen. Effekten af en sådan reduktion vil dog ikke være helt så stc på veje i byområder, hvor der køres med hastigheder på 50 km/h og derunder forhold til veje med en hastighed på 60-80 km/h. Det er et nationalt dans anliggende, hvilke vejbelægninger der anvendes. Her er derfor mulighed for a gennemføre nogle støjdæmpende tiltag ved kilden uden først at spørge EU.

Det er især vejbelægningernes ruhed, der er vigtig for den dæk-vejbanestøj, de udsendes. I Danmark er de mest almindelige slidlag på vejene asfaltbeton o overfladebehandling. Asfaltbeton med nedtromlede skærver, skærvemastik, sta beasfalt og cementbeton anvendes i mindre omfang. Støjmæssigt anses tæt asfal beton som en normalbelægning. Støjmæssigt dårligere belægninger er overflade behandling samt asfaltbeton med nedtromlede skærver samt i det hele tag meget ru belægninger. Disse belægningstyper kan medføre en forøgelse a støjniveauet på op til 2 dB(A).



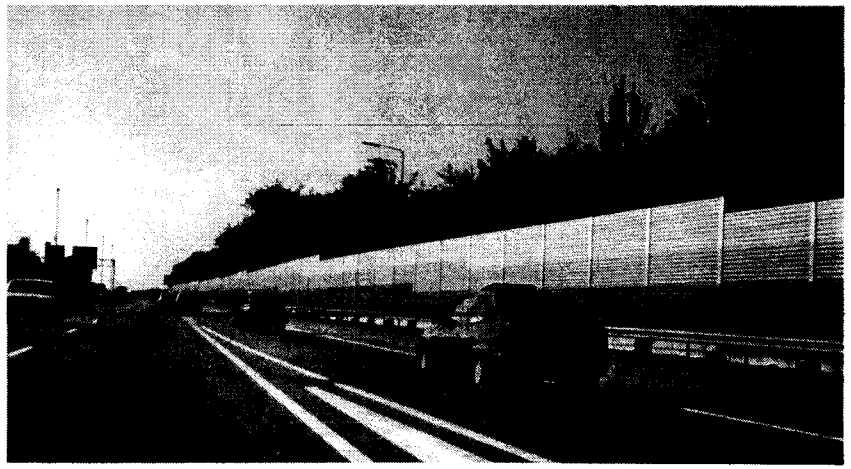
Udstyr til måling af vejtrafikstøj.

I Norden gennemføres der siden begyndelsen af 90'erne en række forskningsprojekter om vejbelægninger og støj. De seneste danske resultater viser, at der kan opnås en støjdæmpning på 2 til 4 dB(A) ved at anvende såkalde drænende asfaltbelægninger. Disse lovende resultater er opnået for nye belægninger.[25] Undersøgelserne fortsætter nu for at se, om støjdæmpningen holder i hele belægningernes levetid. I Holland tror vejmyndighederne så meget på drænasfaltens støjdæmpende egenskaber, at disse belægninger anvendes i stor skala for at reducere støjgenerne.

Støjreduktion

Støjen kan reduceres på flere måder:

- Der kan opstilles støjskærme eller volde langs vejene. Herved dæmpes støjen både på friarealer og inde i boligerne.[26,27]
- Der kan foretages facade- og vinduesisolering af boliger. Herved opnås der dog ingen støjdæmpning på friarealer eller af boligen ved åbne vinduer
- De mest støjsvage vejbelægningstyper kan foretrækkes
- Den samlede trafik gennem en by kan reduceres fx ved at bygge omfartsveje
- Andelen af tunge køretøjer kan reduceres fx ved at anvise ruter uden om boligområder
- Hastigheden kan reduceres ved sænkning af hastighedsgrænsen, etablering af hastighedsdæmpende foranstaltninger eller andre former for trafiksanering.[6] I forbindelse med dette bør man dog være opmærksom på, at anlæg af rumlefelter kan betyde et forøget støjniveau i nærheden af disse[28]



Opstilling af støjskærme er et af virkemidlerne til at reducere trafikkens støjbelastning på

- Folk kan opfordres til at indkøbe specielt støjsvage køretøjer. Som eksempe kan det nævnes, at Hovedstadens Trafikselskab gennem en årrække har ind købt specielt støjsvage busser

EU har løbende foretaget skærpelser i kravene til, hvor meget støj de enkelt køretøjer må udsende. De skærpede krav er endnu ikke slået markant igennem Danmark, bl.a. fordi bilparken udskiftes meget langsomt. Effekten kan bliv reduceret, da trafikken er steget i de senere år. Det er en tendens, som forvente at fortsætte i resten af dette århundrede.

Appendix 12.1
Uddrag af "Beregningsmodel for luftforurening i gaderum", Første danske udgave, Rapport 87, Vejdatalaboratoriet, 1989.

I Vejdatalaboratoriets rapport nr 87 er der som appendix medtaget en dansk version af den fælles nordiske model til beregning af gadeluftkvalitet for henholdsvis NO_2 og CO. Modellen kan beregne de niveauer, som mennesker, der opholder sig i eller omkring gaderummet, udsættes for. Modellen anvendes bl.a. til beregning af de koncentrationer, som fodgængere og cyklister udsættes for. I det tilfælde kan man vælge et beregningspunkt, der ligger i kanten mellem fortov og vej eller cykelsti og vej. Modellen er konstrueret til at beregne koncentrationerne i 3 meters højde.

I det følgende er der gengivet en simplificeret udgave af beregningsmodellen, som kan anvendes til overslagsberegninger. For detaljerede beregninger henvises til selve modellen. Et svensk firma Trivektor markedsfører en dansk PC version af modellen.

For NO_2 beregner modellen den gennemsnitlige koncentration over en time i enheden mikrogram pr kubikmeter ($\mu g/m^3$). Der beregnes en 99-percentil, som er den værdi, der kun overskrides i 1 procent af tiden. For NO_2 er den danske grænseværdi 227 $\mu g/m^3$ og det danske planlægningsmål, der normalt anvendes som kriterieværdi i trafikplanlægning er 153 $\mu g/m^3$.

For CO beregner modellen den gennemsnitlige koncentration over 8 timer i enheden milligram pr. kubikmeter. Der beregnes ligeledes en 99-percentil. For CO anvendes normalt en WHO grænseværdi på 7 mg/m^3 i forbindelse med trafikplanlægning.

Modellen er opbygget således, at det beregnes henholdsvis et baggrundsniveau og et bidrag fra trafikken i den aktuelle gade, hvorefter disse værdier sammenlægges til gadekoncentrationen. Baggrundsværdien er det niveau, der generelt findes i byer stammende fra kraftværker, opvarmning, industri og fra udenlandske kilder mv. Baggrundsniveauerne fremgår af tabel 1.

Efterhånden som flere nye biler får katalysator, vil forureningen falde. Dette er indbygget i modellen (se tabel 2 og tabel 3), således at beregningerne kan foretages for perioden 1990, der er udgangsåret, til 2010.

Modellen er kun beregnet til beregninger i gaderum med tæt bebyggelse på begge vejsider. Er dette krav ikke helt opfyldt bliver beregningerne usikre.

Modellen er opbygget omkring det beregningsskema, der er vist i figur 1.

	CO		NO_2	
Bystørrelse	Centerområde	Ydre område	Centerområde	Ydre område
< 50.000 indb.	1	0	30	20
50-200.000 indb.	2	0,5	45	30
> 200.000 indb.	3	1,5	80	45

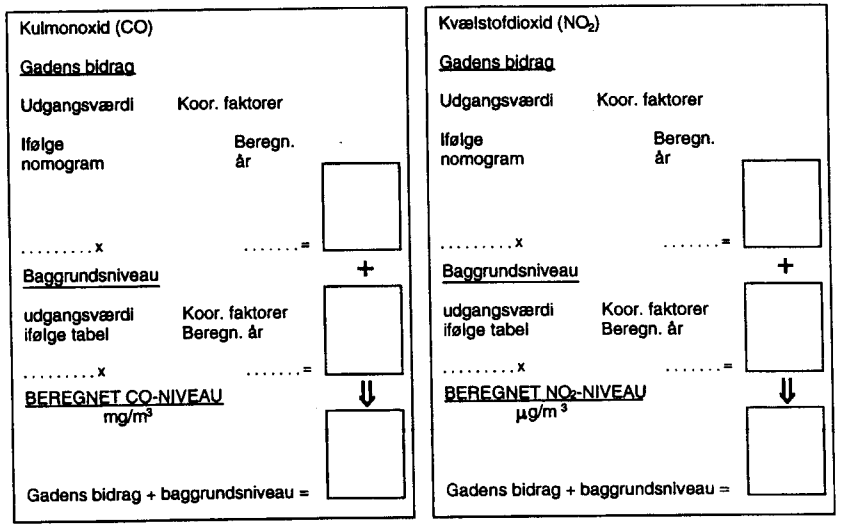
Tabel 1 *Baggrundsniveauer afhængig af bystørrelse central/decentral placering i byen.*

CO					NO_2				
1990	1995	2000	2005	2010	1990	1995	2000	2005	2010
0,8	0,55	0,35	0,25	0,25	0,95	0,8	0,7	0,7	0,7

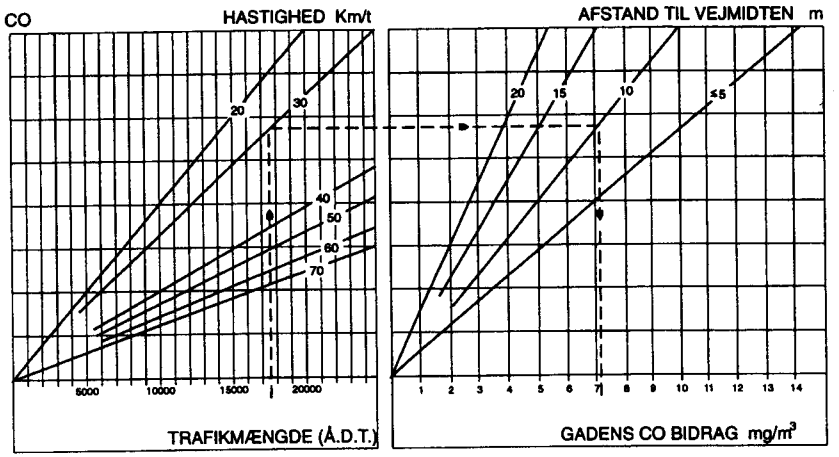
Tabel 2 *Tidskorrektionsfaktor for trafikkens bidrag.*

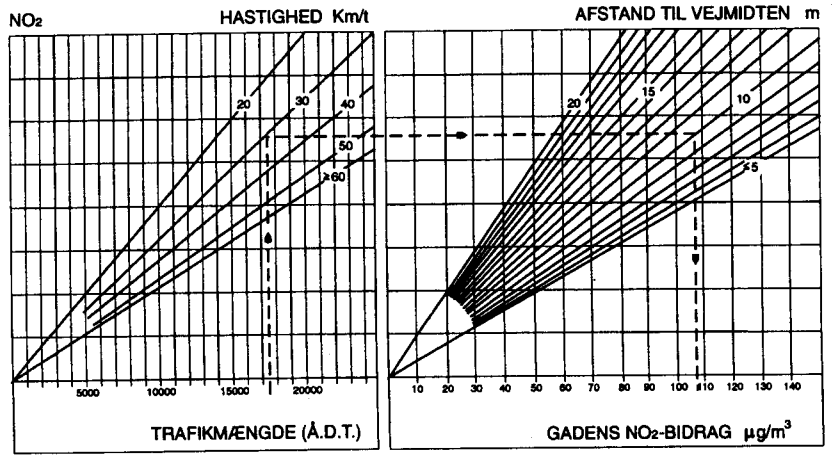
Stof	CO				NO_2			
År	1995	2000	2005	2010	1995	2000	2005	2010
Faktor	0,7	0,55	0,45	0,45	0,9	0,8	0,8	0,85

Tabel 3 *Tidskorrektionsfaktor for baggrundsniveauerne. I 1990 er korrektionsfaktoren 1.*



Figur 1 *Beregningsskema. Udgangsværdierne for gadens bidrag findes med nomogrammet i figur 2. Baggrundsniveauet findes i tabel 1. Tidskorrektionerne for henholdsvis gadebidrag og baggrundsniveau findes i tabel 2 og tabel 3.*





Figur 2 *Nomogram til beregning af trafikkens bidrag. Beregningen foretages ved at gå ind med trafikmængden (som årsdøgntrafik) nederst til venstre. Dernæst følges en lodret linie til skæringen med en skrå linie, der repræsenterer den aktuelle hastighed. Derfra fortsættes vandret til højre til skæringen af den skrå linie, der svarer til afstanden fra vejmidten til beregningspunktet. Endelig går man lodret ned og aflæser trafikkens bidrag på nederste linie til højre.*

Appendix 12.2
Uddrag af "Beregningsmodel for vejtrafikstøj", Rapport 93, Vejdatalaboratoriet, 1991.

Støj fra vejtrafik kan beregnes ved hjælp af en fællesnordisk beregningsmodel som i sin nyeste version er publiceret i Vejdatalaboratoriets rapport 91 fra 1991. overensstemmelse med de danske vejledninger på støjområdet beregner model len den såkaldte "fritfeltværdi", der er identisk med de vejledende grænse værdier. Der medtages således ikke den reflekterede støj fra en eventuel husfaca de, som ligger lige bag det punkt, hvori man beregner støjen.

Modellen kan anvendes som et værktøj til løsning af mange praktiske problem stillinger:

- Støjbelastningen på boligområder fra trafikken på eksisterende veje kan bereg nes (kan fx anvendes til støjkortlægning).
- Støjkonsekvenserne af en planlagt vej kan beregnes.
- I forbindelse med lokalplanlægning og byggesagsbehandling kan støjen på ny boliger beregnes.
- De støjmæssige konsekvenser af trafikplaner, trafiksanering og trafikomlæg ning samt ændrede hastigheder kan beregnes.
- Modellen kan anvendes i forbindelse med dimensionering af støjskærme o støjvolde samt vurdering af disses placering.

Inddata

Modellen kan anvendes til at beregne støjbelastningen fra biltrafikken i et vilkå ligt punkt i forhold til en vej. Beregningerne kræver både trafikale og geometris inddata.

De trafikale inddata er følgende:

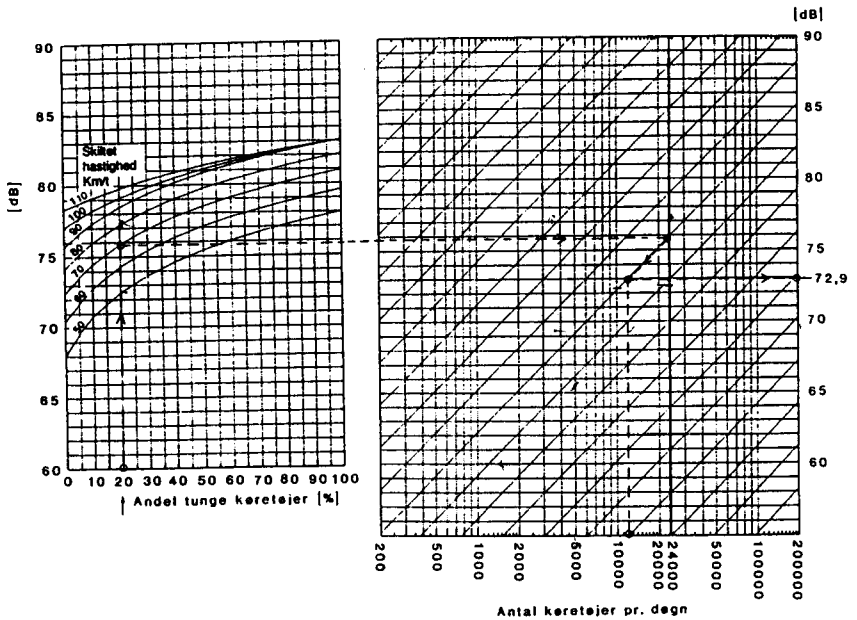
- Årsdøgntrafik
- Hastighed
- Andelen af tunge køretøjer

De geometriske er bl.a. følgende:

- Vejens stigning
- Beregningspunktets afstand til vejen
- Beregningspunktets højde over jorden
- Placering og højde af eventuelle støjskærme
- Terrænforhold
- Vejbredde

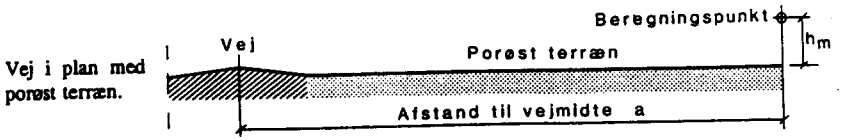
I det følgende er der gengivet en simplificeret udgave af modellen, som kan bruges som en metode til at foretage overslagsmæssige beregninger. Metoden er opbygget af nogle nomogrammer, hvis anvendelse er forklaret i figurteksterne. Først beregnes udgangsstøjniveauet 10 m fra vejmidten ved anvendelse af figur 1. Dernæst foretages der en korrektion for den støjdæmpning, der optræder, når støjen udbredes til omgivelserne.

Situationen med støjudbredelse i det åbne land eller ved mere spredt bebyggelse som parcelhuse og lignende er vist i figur 2. I de tilfælde, hvor der er tæt bebyggelse på begge sider af vejen, skal figur 3 anvendes til at beregne støjdæmpningen i forbindelse med udbredelse. I dette tilfælde kan der i stedet for en støjdæmpning være tale om en stigning i støjniveauet, fordi der forekommer støjreflektioner fra modstående husfacader.



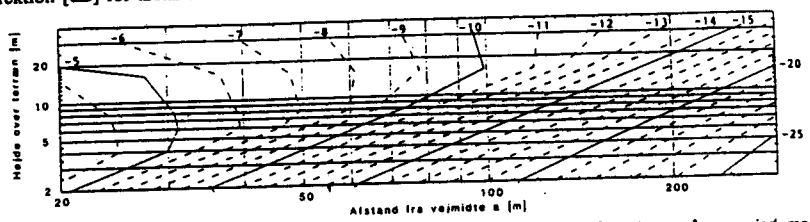
Med pile og en stiplet linie er der indtegnet et eksempel. Man starter nederst i venstre side af nomogrammet. I eksemplet vælges 20% tunge køretøjer og en hastighed på 70 km/h. Dernæst går man vandret til højre, til man skærer den lodrette linie med 24.000 køretøjer i døgnet. Nu følges den skrå linie ,indtil man skærer en ny lodret linie med det aktuelle trafiktal, som eksemplet er 10.000. Fra dette punkt går man igen vandret ud til højre, hvor udgangsværdien aflæses i decibel (db(A)).

Figur 1 Skema til beregning af udgangsværdien 10 m fra vejmidten.



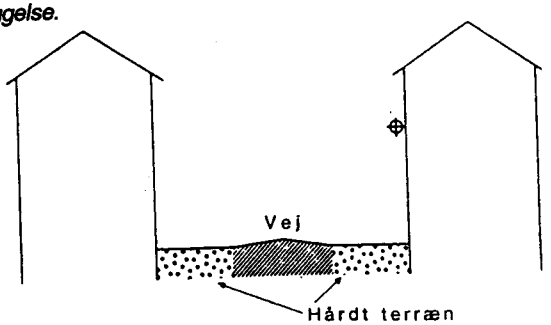
Vej i plan med porøst terræn.

Korrektion [dB] for afstand



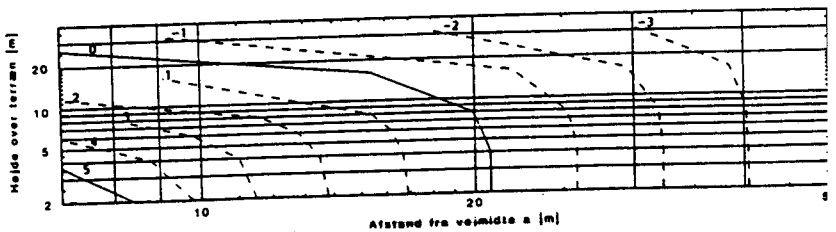
på x-aksen går man ind med afstanden fra vejmidten til beregningspunktet. På y-aksen går man ind med beregningspunktets højde over jorden. Hvor disse 2 linie krydser hinanden finder man den nærmeste skrå/krumme linie og følger denne linies forløb opad. Ved liniens endepunkt aflæses en talværdi som er afstandsdæmpningen i det aktuelle beregningspunkt. Denne værdi fratrækkes udgangsværdien. Resultatet er støjniveauet i beregningspunktet.

Figur 2 Skema til beregning af støjkorrektion for støjudbredelse i det åbne land eller mere spredt bebyggelse.



Små afstande (7-50 m fra vejmidte). Vej i plan med terræn.

Korrektion [dB] for afstand



På X-aksen gå man ind med afstanden fra vejmidten til beregningspunktet. På Y-aksen går man ind m beregningspunktets højde over jorden. Hvor disse linie krydser hinanden finder man den nærmeste krumme linie følger denne linies forløb opad. Ved liniens endepunkt aflæses en talværdi, som er afstandsdæmpningen i det aktu beregningspunkt. Denne værdi fratrækkes udgangsværdien. Er den aflæst værdi positiv, skal den lægges udgangsværdien. Resultatet er støjniveauet i beregningspunktet.

Figur 3 Skema til beregning af støjkorrektion for støjudbredelse i et tilfælde med i bebyggelse på begge sider af vejen.

Litteratur

1 Miljø og trafik i kommuneplanlægningen, Planstyrelsen, 1992.

2 Vejdirektoratets miljøpolitik - del 1. Beregning af den aktuelle miljøbelastning, Vejdirektoratet, Udkast 1991.

3 Bedre miljø ved etablering af større anlæg og virksomheder, Pjece nr. 5, Miljøministeriet, Planstyrelsen, 1989.

4 Effekt af miljøprioriteret gennemfart. De bløde trafikanters adfærd - barriereeffekt, Skærbæk, Rapport 58, Vejdatalaboratoriet, 1988.

5 Retningslinier for måling og vurdering af vibrationer i det eksterne miljø. Nyt fra Miljøstyrelsen, december 1983.

6 Effekt af miljøprioriteret gennemfart. Forureningseffekterne. Støj, luftforurening, vibrationer og energiforbrug, Vinderup, Rapport 49, Vejdatalaboratoriet, 1987.

7 Vegen i landskabet. Vejledning, Håndbok - 010, Vegdirektoratet, Norge.

8 Hela gaten. Et idéskrift från Planverket 1987, Planverket, Sverige.

9 Byernes trafikarealer. Hæfte 10. Det visuelle miljø, Vejregelsekretariatet, Vejdirektoratet, marts 1992.

10 Naturfredning og vejbygning, Danmarks Naturfredningsforening, Fredningsstyrelsen, Vejdirektoratet, 1983.

11 Faunapassager i forbindelse med større vejanlæg, Rapport nr. 28, Danmarks Miljøundersøgelser, 1991.

12 Regeringens transporthandlingsplan for miljø og udvikling, maj 1990.

13 Trafik 2005, Trafikministeriet, 1993.

14 Vejtransport af farligt gods i Danmark. COWIconsult, Det norske Veritas, Institut for Veje, Trafik og Byplan & Institut for Kemiteknik, DTU, 1994

15 Transport af farligt gods i Danmark. Transportrådet, Notat 94-01, 1994.

16 Luftforurening fra individuel og kollektiv trafik, Miljøprojekt 165, Vejdatalaboratoriet og Miljøstyrelsen, 1991.

17 Luftforurening fra vejtrafik, 2 eksempler fra Lyngby og Aalborg, Vejdatalaboratoriet, Rapport 79, 1989.

18 Vejtrafik og luftforurening - En grundbog, Vejdatalaboratoriet, Rapport 87, 1990.

19 Støj og luftforurening fra vejtrafikken i København, Miljøkontrollens skriftserie nr. 2, Miljøkontrollen, Københavns Kommune, 1989.

20 Støjbegrænsning i eksisterende byområder, kommuneplanorientering nr. 6, Planstyrelsen, 1982.

21 Beregningsmodel for vejtrafikstøj, Revideret 1989, Vejdatalaboratoriet, Rapport 93, 1991.

22 Støj, Støjhensyn ved nye vejanlæg. 2.30.02, Omgivelserne, Vejdirektoratet - Vejregeludvalget, juni 1986

23 Undersøgelse af større hovedlandevejsarbejder, Vejdirektoratet, Økonomisk-statistisk afdeling, 1991.

24 Trafikstøj i boligområder, Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 3, 1984.

25 Støjdæmpning ved hjælp af porøse vejbelægninger, Vejdatalaboratoriet, Rapport 98, 1991.

26 Støjafskærmning - et idékatalog, Vejdatalaboratoriet, Rapport 81, 1989.

27 Støj, Vejregler for støjskærme og -volde. 2.30.01 omgivelserne. Vejdirektoratet, Vejregeludvalget, marts 1983.

28 Rumlefelter og støj, Vejdatalaboratoriet, Rapport 89, 1990.

Kapitel 13

Vurderingsmetoder

Af Steen Leleur

Vurderingsmetoder anvendes (I) i forbindelse med en påvisning af det enkelte projekts samfundsmæssige nytteværdi, (II) i forbindelse med prioriteringsopgaver, hvor flere uafhængige projekter konkurrerer om igangsættelse i relation til en budgetramme samt (III) i forbindelse med alternativundersøgelser, hvor det bedste løsningsforslag skal findes. Projektvurderingen omfatter såvel økonomiske som ikke-økonomiske konsekvenser.

Vurderingsmetoderne bygger på en række økonomiske grundbegreber og beslutningsregler i form af forskellige investeringskriterier. Derfor taler man også om trafikøkonomiske analyser.

13.1 Grundbegreber

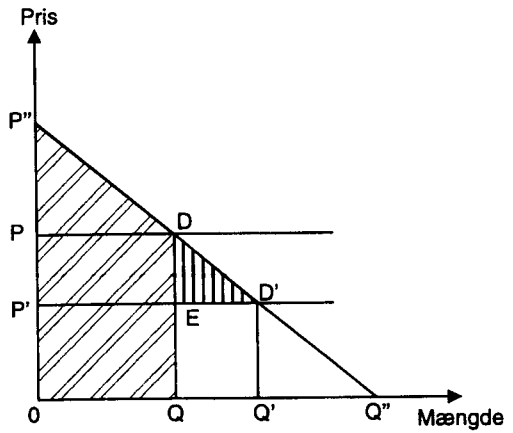
Økonomisk teori og benefit-bestemmelse

At tale om at et trafikprojekt samfundsmæssigt har en stor nytteværdi betyder, at de fordele samfundet får af projektet i form fx af sparet rejsetid og færre ulykker (benefits) mere end opvejer ulemperne i form af medfølgende miljøgener og ressourceforbrug (costs). Jo større forskellen mellem benefits fratrukket costs er, jo bedre er projektet.

Det er vigtigt at skelne en samfundsøkonomisk vurdering fra en virksomhedsøkonomisk vurdering. Ved sidstnævnte er sigtet alene at opgøre de finansielle virkninger set ud fra den pågældende virksomhed, hvorimod den samfundsøkonomiske analyse i princippet omfatter alle typer konsekvenser. En bred definition af benefits lyder, at benefits er sådanne projektkonsekvenser, som et eller flere medlemmer af samfundet betragter som fordelagtige.[1] Da trafikprojekter finansieres af det offentlige, bliver projektvurderingen af den samfundsøkonomiske type, idet formålet er at tilvejebringe et grundlag for, at den samfundsmæssige nyttevirkning af trafikinvesteringerne bliver så stor som muligt.

Den økonomiske teori bestemmer nyttekonsekvenser ved hjælp af betalingsvillighed. Fundamentalt anskaffer man kun en vare, hvis man forventer at have et nyttemæssigt overskud ved købet dvs., at det købte repræsenterer en større værdi end de anvendte penge udgør. På trafikområdet kan man sige, at en rejse eller tur kun gennemføres, hvis den indebærer et nyttemæssigt overskud. Om et sådant overskud er til stede, må ses ud fra en sammenstilling af turens formål og de omkostninger og gener, turen er forbundet med. Figur 13.1 illustrerer de økonomiske grundbegreber bag denne tankegang, idet abcissen angiver mængde udtrykt som antal ture og ordinaten pris i form af rejseomkostningerne.[2] Sidstnævnte skal forstås i videste omfang og kan typisk omfatte i hvert fald tidsforbrug sammenvejet med de direkte afholdte udgifter.

Med efterspørgselskurven P"Q" fås, at hvis prisen er P, efterspørges der ud fra skæringspunktet D en mængde Q. Ændres prisen til P' - turen billiggøres fx ved en kortere og hurtigere ny delstrækning - stiger efterspørgslen til Q', idet der fås et nyt skæringspunkt D'. Den lavere turpris skaber således ny trafik. Før ændringen er den lodrette afstand mellem PD og P"D udtryk for forskellen mellem, hvad der betales som sammenvejet rejseomkostning og den pris, der kunne være opnået dvs. betalingsvilligheden. Konsumentoverskuddet PDP" fremkommer som forskellen mellem den samlede betalingsvillighed OQDP" og den samlede faktiske omkostning ("betaling") OQDP. Efter prisændringen vokser konsumentoverskuddet fra PDP" til P'D'P" dvs., der sker en forøgelse af konsumentoverskuddet med P'D'DP. Denne størrelse er trafikanternes benefits B ved den investering, der foretages med anlægget af den nye delstrækning. Som angivet med (13.1) kan B beregnes ud fra kendskab til før- og efteromkostningerne P og P' samt



Figur 13.1 Økonomiske grundbegreber.

før- og efter trafikintensiteterne Q og Q', idet der forudsættes linearitet med hensyn til efterspørgselskurven, i hvert fald i det pågældende variationsområde.

$$B = (P - P') \cdot Q + \tfrac{1}{2} \cdot (P - P')(Q' - Q) = \tfrac{1}{2} \cdot (P - P')(Q + Q') \qquad (13.1)$$

I gennemsnit får en nytilkommen trafikant en benefit på halvdelen af den benefit, der bliver den trafikant til del, som brugte strækningen også før udbedringen, nemlig henholdsvis ½(P – P') og (P – P').

Ændringer i kørselsomkostninger og tidsforbrug er de mest typiske benefits, men ikke de eneste benefittyper. Et nyt vejanlæg vil ofte betyde, at der også sker en ændring i miljøbelastningen fx med hensyn til støj. Anlægges en omfartsvej, vil der ske en aflastning af byområder, hvorfor sådanne ikke-økonomiske benefits spiller en væsentlig rolle.

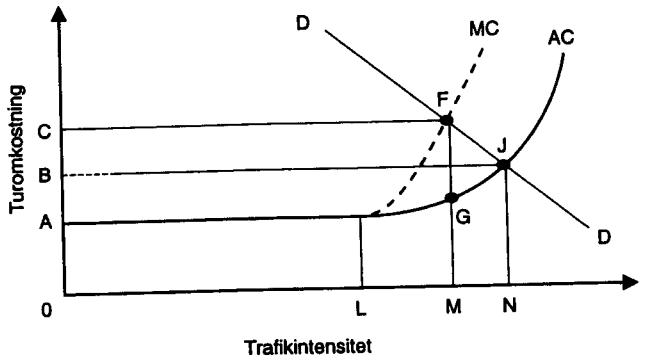
Er det omtalte vejanlæg et større anlæg som en ny motorvejsstrækning eller en broforbindelse, vil benefittyper som erhvervsøkonomiske konsekvenser også gøre sig gældende. Som håndregel kan man sige, at jo større et anlæg er, jo sværere er det at give en dækkende samfundsøkonomisk vurdering. De mest markante eksempler knytter sig til de faste forbindelser over Storebælt, Øresund og Femern Sund.

Udbud af vejkapacitet

Med hensyn til kendskab til efterspørgsels- og udbudskurve er udbudskurven den mindst problematiske. En vandret, lineær udbudskurve som vist i figur 13.1 er dog næppe realistisk for vejanlæg, idet højere trafikbelastning medfører trængsel og tidstab, som ikke gør sig gældende ved lavere belastning. Omkostningerne eller prisen for udbud af vejkapacitet kan udtrykkes på følgende måde gennem tidsforbruget t ved at gennemkøre en given strækning, der har en intensitet på N og en kapacitet N_{maks}:

$$t = t_0 \left[1 + \alpha \left(\frac{N}{N_{maks}} \right)^{\beta} \right] \qquad (13.2)$$

For lave trafikintensiteter fås $t = t_0$, hvor t_0 er tidsforbruget for gennemkørsel af den pågældende strækning uden trængselstillæg. Et eksempel på en udbudskurve AC er vist i figur 13.2, idet der er tale om en tilnærmelse ved alene at udtrykke omkostningerne gennem tidsforbruget.[3] Typiske amerikanske værdier er $\alpha = 0{,}15$ og $\beta = 4$. Danske undersøgelser peger på α-værdier i intervallet 0,5-1,0 og β-værdier i intervallet 1,0-2,0.[4]



Figur 13.2 Udbud og efterspørgsel af vejkapacitet.

Ved høj trafikintensitet påfører en nytilkommen trafikant imidlertid de øvrige biler på vejen et tidstab, idet den forøgede trængsel gør sig gældende for alle trafikanterne. Tidsomkostningen MC for en tidsperiode på 1 time ved en sådan marginal ændring kan findes ud fra (13.2) på følgende måde, idet trafikstrømmen N har et samlet tidsforbrug på $(t \cdot N)$:

$$MC = \frac{d(t \cdot N)}{dN} = d\frac{\left(t_0\left[N + \alpha(N/N_{maks})^{\beta+1}\right]\right)}{dN} \qquad (13.3)$$

$$= t_0\left[1 + \alpha(\beta+1)\left(\frac{N}{N_{maks}}\right)^{\beta}\right]$$

Sammenlignes (13.3) med (13.2) ses det, at med α og β som positive parametre vil MC stige stejlere end AC og skære efterspørgselskurven ved en lavere trafikintensitet end AC.

Uden påvirkning vil en ligevægt indtræde ved J, hvor AC skærer DD, idet den sidst tilkomne trafikant alene vurderer situationen ud fra sit eget tidsforbrug. For alle trafikanterne under ét, er den lavere belastning ved skæringspunktet F imidlertid samfundsøkonomisk bedre, idet MC ved højere trafikintensitet repræsenterer den faktiske omkostningsforøgelse. Teoretisk set opnås sådan en situation ved at afgiftsbelægge strækningen med GF. I praksis må der tages højde for en lang række faktorer ved vurderingen af afgiftsbelægning, der ikke er indført i Danmark, men er anvendt i fx Frankrig og Italien på motorvejsstrækninger.

Udbudskurver i form af de marginale omkostningsforøgelser lader sig normalt nemmere bestemme end efterspørgselskurver. Ofte har man imidlertid også kun brug for at kende disse i et mindre variationsområde, hvilket er baggrunden for det såkaldte elasticitetsbegreb.

Elasticitet

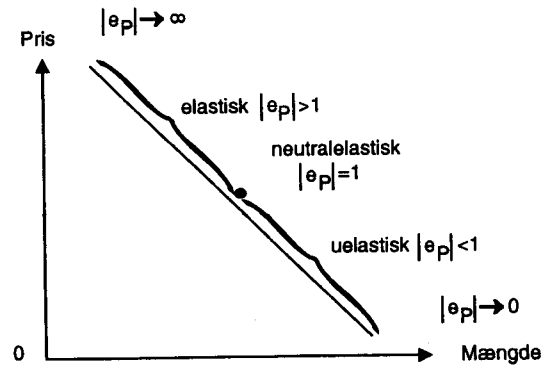
Ved hjælp af elasticitetsbegrebet udtrykkes en given ændring som konsekvens af en ændring i en af de faktorer, der påvirker efterspørgslen.[5] Det kan typisk være varens - eller transportens - pris P eller en ændring i konsumenternes - eller transportbrugernes - indkomst I. Man taler her om henholdsvis priselasticitet e_P og indkomstelasticitet e_I. Som det fremgår af (13.4) og (13.5), defineres elasticiteten ud fra forholdet mellem relative andele, idet Q angiver mængde - eller trafikintensitet:

$$e_P = \frac{\frac{dQ}{Q}}{\frac{dP}{P}} = \frac{dQ}{dP} \cdot \frac{P}{Q} \qquad (13.4)$$

$$e_I = \frac{\frac{dQ}{Q}}{\frac{dI}{I}} \qquad (13.5)$$

I et passende lille variationsområde er efterspørgselsændringen bestemt ved kendskabet til elasticiteten. Med ændringer i procent fås følgende tilnærmede beregning $\Delta Q\% = e_P \cdot \Delta P\%$. Med en elasticitet $e_P = -0{,}3$ for kollektiv trafik fås som eksempel, at en 10% reduktion af billetpris vil medføre en stigning i trafikmængde (antal rejsende) på $(-0{,}3) \cdot (-10\%) = 3\%$.

Som følge af definitionsmåden ændrer elasticiteten sig hen over efterspørgselskurven. I figur 13.3 er dette vist for e_P, samtidig med, at der er angivet nogle numeriske afgrænsninger. For $|e_P| > 1$ taler man om elastisk efterspørgsel, for $|e_P| = 1$ om neutralelastisk efterspørgsel og for $|e_P| < 1$ om uelastisk efterspørgsel.



Figur 13.3 Priselasticitetens variation hen over efterspørgselskurven.

Eksempel
Gælder fx at $Q = 30 - 4P$ dvs. en lineær sammenhæng fås e_P i (Q,P) = (10,5) efter (13.4) til $(-4) \cdot 5/10 = -2$, idet $dQ/dP = -4$. I (Q,P) = (26,1), som også er beliggende på efterspørgselskurven, fås tilsvarende $e_P = (-4) \cdot 1/26 = -0{,}15$. I det første punkt er efterspørgslen elastisk, mens den er uelastisk i det sidste. Særligt simple forhold fås, hvis efterspørgslen kan beskrives ved funktioner af typen $Q = \text{konst} \cdot P^{\alpha}$, idet e_P da overalt på kurven er lig α. Med Q som antal ture, P som afstanden mellem turendepunkter og $\alpha = -2$ fås Lill's rejselov, jf. i øvrigt afsnit 10.3 samt afsnit 10.4 om simultane trafikmodeller, hvor ovennævnte sammenhæng anvendes mere generelt.

Regnes der med fortegn, vil priselasticiteter være negative, idet prisforøgelse vil medføre reduktion i mængde, hvorimod indkomstelasticiteter omvendt kan forventes at være positive.

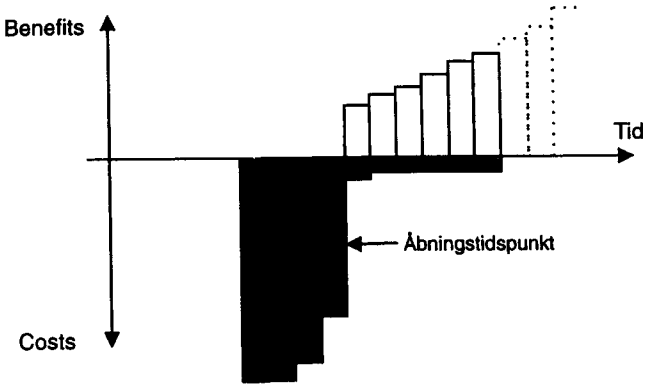
Sidstnævnte er også typisk tilfældet med de såkaldte priskrydselasticiteter $e_P(A,B)$, hvor efterspørgslen efter A er påvirket af prisændringen på B. Er A fx private personrejser i bil mellem en forstad og et bycenter og B tilsvarende kollektivrejser, vil en forøgelse af prisen på B medføre et større antal A, idet $e_P(A,B)$ defineres således:

$$e_P(A,B) = \frac{\frac{dQ_A}{Q_A}}{\frac{dP_B}{P_B}} \qquad (13.6)$$

Den positive krydselasticitet fremkommer ved, at de to rejseformer er alternativer, dvs. de kan erstatte - eller substituere - hinanden. Ligger to rejseformer i forlængelse af hinanden, fx et hurtigtog, som bringer passagerer til en international lufthavn, vil de to rejseformer derimod fremme hinanden. Hvor økonomerne i det første tilfælde taler om substituerbare ydelser, er der nu tale om såkaldt komplementære ydelser. Sidstnævnte vil være kendetegnet ved negative priskrydselasticiteter.

13.2 Investeringskriterier

Trafikinfrastrukturprojekter - i hvert fald af en vis størrelse - er kendetegnet ved at indebære en række konsekvenser, som ikke umiddelbart kan sammenfattes. Et karakteristisk forhold er således, at costs og benefits optræder tidsforskudte. Det typiske forløb vil være, at der i en anlægsperiode på nogle år afholdes udgifter knyttet til de enkelte anlægsfaser. Herefter kan projektet tages i brug, og fordelene ved dets gennemførelse vil begynde at vise sig fx opgjort som benefits pr. år



Figur 13.4 Principskitse af tidsforskudte costs og benefits i forbindelse med et trafikprojekt.

over hele dets anvendelsesperiode eller levetid. I figur 13.4 er vist en sådan principskitse af tidsforskudte costs og benefits, hvor man bl.a. kan bemærke det typiske for trafikprojekter, at benefits vokser med tiden.[6]

To projekter vil næppe have det samme tidsmæssige forløb mht. costs og benefits, hvorfor det er hensigtsmæssigt ved hjælp af nogle beregnede indeksværdier at kunne foretage en sammenligning af forløbene med henblik på at kunne afgøre, hvilket der samfundsøkonomisk er det mest fordelagtige. En sådan sammenligning er fx aktuel, hvis man vil foretage en sammenfattende bedømmelse af de to projekter. Til det formål kan man lave en såkaldt nutidsværdiberegning som beskrevet nedenfor.

Nutidsværdi

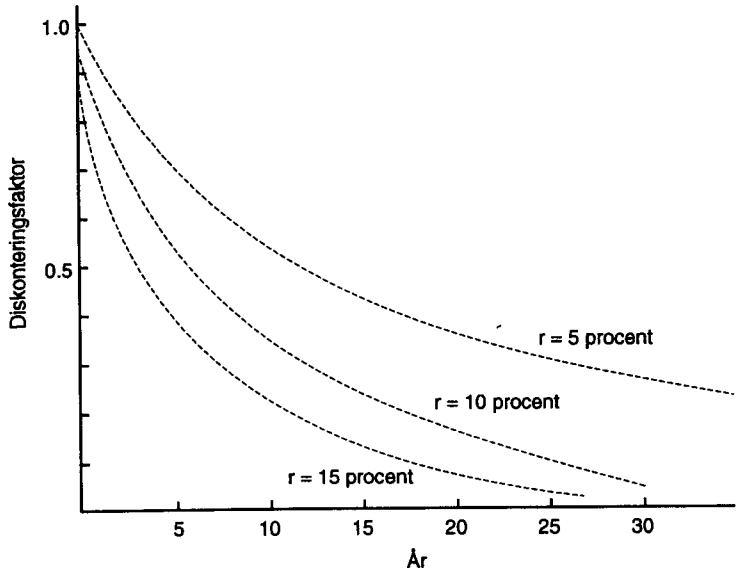
Beregningen af nutidsværdien (Net Present Value) sker på følgende måde:[7]

$$NPV = \sum_{t=0}^{T} (B_t - C_t) \cdot (1+r)^{-t} \qquad (13.7)$$

T: Kalkulationsperiode svarende til projektets anslåede levetid
B_t: Samlede benefits i år t
C_t: Samlede costs i år t
r: Kalkulationsrente

For hvert projekt reduceres strømmen af benefits og costs til et enkelt tal - nutidsværdien -, hvorom det gælder, at jo større den er, jo mere fordelagtigt er det pågældende projekt. Grundlæggende må kræves, at NPV > 0.

Det principielle i en nutidsværdiberegning består i, at tidsforskudte costs og benefits indvejes forskelligt ved hjælp af den såkaldte diskonteringsfaktor $(1+r)^{-t}$, da man anvender en værdi af $r > 0$. Jo større værdien af r og af t, jo mindre vægt får det pågældende bidrag, jf. i øvrigt figur 13.5.[8]



Figur 13.5 Diskonteringsfaktor $(1+r)^{-t}$ som funktion af t og kalkulationsrenten r.

I tabel 13.1 er vist en oversigt over diskonteringsfaktoren for forskellige værdier af t og r.

År	5%	7%	10%	12%	15%
1	0,9524	0,9346	0,9091	0,8929	0,8696
2	0,9070	0,8734	0,8264	0,7972	0,7561
3	0,8638	0,8163	0,7513	0,7118	0,6575
4	0,8227	0,7629	0,6830	0,6355	0,5718
5	0,7835	0,7130	0,6209	0,5674	0,4972
10	0,6139	0,5083	0,3855	0,3220	0,2472
15	0,4810	0,3624	0,2394	0,1827	0,1229
20	0,3769	0,2584	0,1486	0,1037	0,0611
50	0,0872	0,0339	0,0085	0,0035	0,0009

Tabel 13.1 Tabelværdier for diskonteringsfaktoren.

Den aktuelle værdi af kalkulationsrenten r kan siges at udtrykke utålmodigheden efter nutidige benefits, eller benefits i den nære fremtid, overfor de mere langsigtede benefits. Det er vigtigt at bemærke, at kalkulationsrenten ikke indeholder noget inflationsbidrag, hvorfor den også sommetider omtales som en tidspræference-rente. Ses der bort fra bl.a. indvirkningen af beskatningsforhold, kan man sige, at en bankmarkedsrente består af et tidspræference-bidrag (realrente) adderet et inflationsbidrag. Kalkulationsrenten ved offentlige trafikinvesteringer i Danmark har gennem en årrække været på 7%. I nogle udviklingslande kan man finde eksempler på det dobbelte. Jo højere en kalkulationsrente, der anvendes, jo mere gunstigt vil relativt små projekter med benefits i den nærmeste fremtid blive stillet overfor større projekter, hvis benefits ofte er af en mere langsigtet karakter.

Ved en NPV-beregning er det vigtigt, at alle priser er opgjort i samme faste priser, hvorfor man skal bestemme et fælles prisniveau, hvortil de priser, som ikke foreligger i dette prisniveau, så kan omregnes. Typisk vil dette prisniveau ligge 1-2 år bagud i tiden, hvis man i sin beregning gør brug af priser, der er baseret på statistiske oplysninger af forskellig art, som først kan opgøres efter udgangen af det pågældende år.

Nutidsværdi-kriteriet er vurderet at være det væsentligste af de investeringsmæssige indeks-værdier, der anvendes i forbindelse med samfundsøkonomiske beregninger.[9] Andre indeks-værdier, som også bliver brugt, er karakteriseret ved i nogle situationer at kunne være mindre entydige og relevante.

Som supplement til nutidsværdi-beregning, også sommetider omtalt som kapitalværdimetoden, skal nedenfor beskrives kriteriet om den interne rente, benefit-cost forholdet samt førsteårsforrentning.

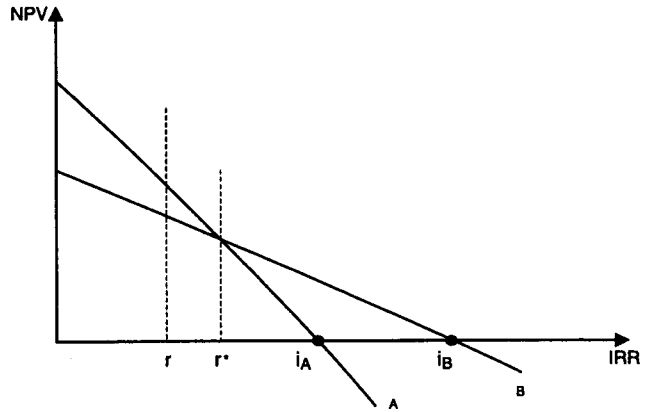
Den interne rente

Ved den interne rente (Internal Rate of Return) bestemmes den rente i, der netop afbalancerer en strøm af tidsforskudte benefits og costs:

$$0 = \sum_{t=0}^{T} (B_t - C_t) \cdot (1+i)^{-t} \qquad (13.8)$$

T, B_t, C_t: Som før
i: Den interne rente, IRR

Jo større i er, jo mere fordelagtigt er det pågældende projekt. Kriteriet udmærke sig ved, at man ikke som ved NPV-beregningen skal kende en kalkulationsrent r. Beregning af IRR er ofte anvendt af Verdensbanken i forbindelse med udvik lingsprojekter. Man skal dog være opmærksom på, at (13.8) i nogle tilfælde kar føre til flere løsninger, jfr. udtrykkets form som polynomium, ligesom der kar optræde modstrid mellem en IRR-beregning og en NPV-beregning. Sidstnævnt er illustreret i figur 13.6, hvor der er foretaget en sammenligning af beregninge efter de to metoder.



Figur 13.6 Sammenligning af to projekter beregnet ved hjælp af NPV og IRR.

Ud fra IRR kriteriet bør B vælges frem for A, da $i_B > i_A$, mens det omvendte er tilfældet ud fra NPV med en kalkulationsrente $r < r^*$. Det korrekte vil være at basere sig på NPV-beregningen, såfremt der er enighed om den kalkulationsrente, der skal anvendes.

Benefit-Cost forholdet

Et tidligere meget anvendt kriterium er det såkaldte B/C forhold, som beregnes på følgende måde:

$$B/C = \frac{\sum_{t=0}^{T} B_t(1+r)^{-t}}{\sum_{t=0}^{T} C_t(1+r)^{-t}} \qquad (13.9)$$

Grundlæggende må kræves, at B/C > 1. Ved anvendelse af B/C forholdet skal man være opmærksom på, at kriteriet udregner diskonterede benefits pr. diskonteret investeret enhed. Sammenlignes flere projekter med hinanden, herunder måske en blanding af store og små projekter, fås således ikke en udpegning af det projekt, der giver det største samfundsmæssige overskud absolut set, som det er tilfældet ved NPV-beregningen. På denne baggrund er det imidlertid relevant at bruge B/C kriteriet i forbindelse med prioriteringsopgaver, når en budgetbegrænsning gør sig gældende, jf. eksemplet i tabel 13.2 med prioritering af 7 projekter, A-G, for simpelhedens skyld sat til 1 års levetid og med r = 5% og en budgetramme på 5 investeringsenheder.[7]

Projekt	Anl.udg.	Benefits	NPV	B/C
A	5	10,50	5,0 (1)	2,0 (4)
B	1	3,15	2,0 (3)	3,0 (2)
C	1	4,20	3,0 (2)	4,0 (1)
D	1	2,63	1,5 (4)	2,5 (3)
E	1	3,15	2,0 (3)	3,0 (2)
F	1	2,63	1,5 (4)	2,5 (3)
G	1	3,15	2,0 (3)	3,0 (2)

Tallene i parentes: rangværdi efter pågældende kriterium

Tabel 13.2 Beregningseksempel mht. prioritering under budgetbegrænsning.

Det ses med fastholdt investeringsramme på 5, at den totale NPV kan forøges med 5,5 fra 5 til 10,5 (= 3+2+2+2+1,5), ved at basere sig på B/C-rangfølgen i stedet for NPV-rangfølgen.

Ved anvendelse af B/C forholdet skal man være opmærksom på, at en negativ benefit eller disbenefit ikke modsvarer en cost af samme størrelsesorden, idet tæller-subtraktion ikke stemmer overens med nævner-addition (fx: (3–1)/3 = 0,67 ≠ 3/(3+1) = 0,75). Ved en NPV-beregning vil man ikke som her kunne skelne mellem samme disbenefit og cost, idet den samlede nettoværdi diskonteres, jf (13.7). Man bør derfor ved B/C beregninger være konsekvent med, hvordan man definerer disbenefits og costs. Eksempelvis har Vejdirektoratet valgt, at løbende drifts- og vedligeholdelsesomkostninger i forbindelse med vurdering af nye vejprojekter, jf. modelbeskrivelsen i afsnit 14.6, indgår som disbenefits, mens større reparationsarbejder, der optræder med års mellemrum, bliver lagt til investeringsudgiften som et samlet tilbagediskonteret bidrag.

Førsteårsforrentning

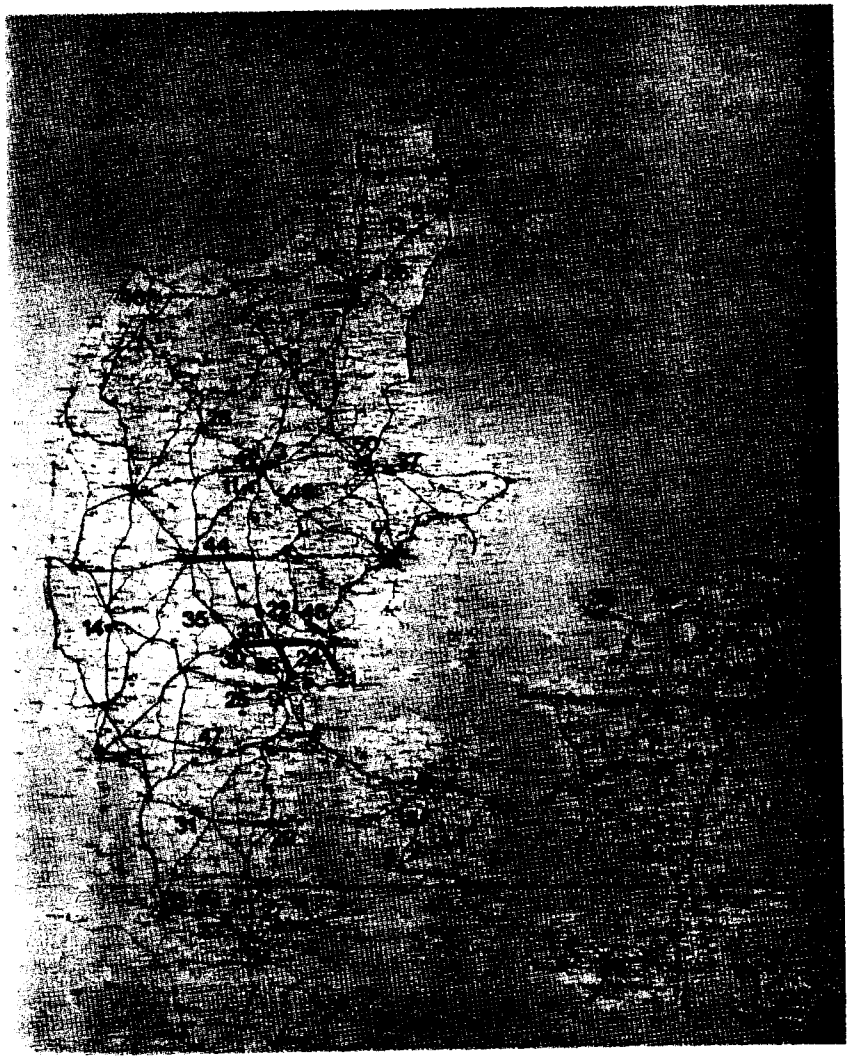
Beregning af den såkaldte førsteårsforrentning (First Year Rate of Return) inde bærer store datamæssige fordele sammenlignet med de nævnte øvrige indeks værdier, idet man her alene baserer sig på benefits i åbningsåret:

$$FYRR = \frac{B_1}{C} = \frac{\sum_{i=1}^{I} b_{1i}}{C} \qquad (13.10$$

B_1: Benefits i åbningsår
I: Antal effekter, der indgår i benefit-beregningen
b_{1i}: Benefitkomponent nr. i
C: Anlægsudgift

Vejdirektoratet har baseret rangordningen af projekter i sine prioriteringsundersøgelser på dette indeks, som er et forenklet B/C kriterium, se figur 13.7.

Baggrunden herfor er, at FYRR fører til samme rangordningsresultat som beregning af B/C forholdet, såfremt det gælder om de indgående enkelte projekter i puljen, at netto-benefits er ikke-aftagende og ensartet fordelt over projektperioden, som det er typisk for trafikprojekter.[9]



Figur 13.7 Projektrangnumre fra "Prioritering 1985-87".

Typer af investeringsbeslutninger

De beskrevne samfundsøkonomiske kriterier kan bruges i forbindelse med fo skellige typer beslutninger. En grundlæggende type er, om et givet projektforsla overhovedet kan kvalificere sig til udførelse. En anden type beslutning kan dre sig om, hvilket projekt man skal vælge ud af en gruppe af projekter. En tredje typ kan gå på at udvælge et mindre antal projekter til udførelse ud af en større pul af projekter, der er bragt i forslag. Disse beslutningstyper påvirkes endvidere a om de betragtede projekter er indbyrdes uafhængige, og af, om der for invest ringsbeslutningen gælder en budgetbegrænsning. Med hensyn til uafhængi projekter vil typisk gælde, at geografisk adskilte projekter som regel ved passe de stor afstand vil være uafhængige, mens projekter, der har et fælles trafik opland, de kan konkurrere om, eller som ligger i forlængelse af hinanden i trafikkorridor, i en vis udstrækning kan påvirke hinanden. Herved kan benef for det enkelte projekt formindskes eller forøges, såfremt det indgår i kombir tion med et eller flere af de øvrige projekter. Tidsmæssige forskydninger kan og komme på tale og medvirker til at forøge kombinationsmulighederne, som eve tuelt kan være underlagt fx en årlig budgetramme af en vis størrelse.

Hvilket samfundsøkonomisk kriterium man bør bruge i den enkelte situati fremgår af nedenstående oversigt.[7]

Beslutningstype	Uafhængig/ afhængig	Budget-begrænsning	Kriterium
Accept af projekt	→		NPV > 0
Et ud af flere projekter	→		Max. NPV
Et antal projekter ud af en større gruppe	Uafhængige →	Ja →	Rangordn efter B/C > 1
	Uafhængige →	Nej →	Rangordn efter NPV > 0
	Afhængige →	Ja →	Bestem mulige s max. NPV
	Afhængige →	Nej →	Bestem alle max. NPV

Endnu to typer investeringsbeslutninger skal kort omtales, nemlig spørgsn om optimal tidsfæstelse samt gensidigt udelukkende investeringer.

Optimal tidsfæstelse

Såfremt et givet projekt er beregnet at ville give et samfundsøkonomisk overskud, kan man overveje om fx en udskydelse på 1 år vil give et samfundsøkonomisk bedre resultat.[10]

Ved at udskyde investeringen C i et år fås en besparelse som følge af kalkulationsrenten på $C - C(1+r)^{-1}$, mens der fås et tab af benefits på $[B_1(1+r)^{-1} - B_{T+1}(1+r)^{-(T+1)}]$, idet benefits i år 1 mistes, mens benefits i år (T+1) vindes, idet der regnes med en uændret projektperiode på T. Fradrages gevinsten dette benefittab, fås følgende samlede nettogevinst NG_{+1} ved udskydelsen på 1 år:

$$NG_{+1} = \frac{r \cdot C}{(1+r)} + \frac{B_{T+1}}{(1+r)^{T+1}} - \frac{B_1}{(1+r)} \qquad (13.11)$$

Sættes det midterste led i (13.11) ≈ 0, hvilket er rimeligt med passende værdier af r og T, jf. figur 13.5, fås, at en udskydelse på 1 år er fordelagtig, når $r \cdot C - B_1 > 0$. Herpå kan endnu en udskydelse på 1 år undersøges, hvis det er tilfældet.

Gensidigt udelukkende investeringer

Et eksempel på størst mulig afhængighed mellem to projekter optræder i den situation, hvor de gensidigt udelukker eller overflødiggør hinanden. Man kan fx tænke på to broforbindelser, to omfartsveje mv. I sådanne situationer kan man ikke altid tale om rene alternativer til at løse det samme problem, idet anlægsudgifterne og omfanget af benefits kan være ret forskellige som følge af anlæggenes konkrete placering og tilknytning til trafiksystemet.

Betragtes to projekter x og y, som er kendetegnet ved, at de udelukker hinanden, samt "differens-projektet" (y–x), kan følgende resultater være fremkommet ved en NPV- og IRR-beregning, idet der ved beregningseksemplet er forudsat en levetid på 10 år med konstante årlige benefits.[7]

Proj.	C	$B_{Årl.}$	IRR: i	$NPV_{r=8\%}$
x	1	0,20	15%	0,34
y	2	0,36	12%	0,42
(y-x)	1	0,16	9%	

Tabel 13.3

Efter IRR bør x vælges, mens y bør vælges efter NPV. Såfremt der er enighed om r = 8% , er sidstnævnte det korrekte svar. Dette kan også indses ud fra IRR-beregningen ved hjælp af følgende to-trins regel RRC (**R**ate of **R**eturn over **C**ost), idet der supplerende gennemføres en IRR-beregning for (y–x) på grundlag af C og $B_{Årl.}$ differencerne.

RRC-regel: y skal accepteres frem for x, såfremt både $i_y > r$ og $i_{(y-x)} > r$ er opfyldt, hvilket kan ses at være tilfældet ovenfor (12% > 8% og 9% > 8%).

Reglen foreskriver således en trinvis mindste intern rente og kendes også som Incremental Yield approach.

13.3 Enhedspriser

En forudsætning for at kunne gennemføre samfundsøkonomiske analyser af trafikprojekter er, at man kan værdisætte de effekter, som de enkelte projekter medfører. Da der typisk er tale om effekter, som ikke har nogen markedspris, er der udviklet forskellige fremgangsmåder. I det følgende skal principperne bag prissætning af rejsetid, kørselsbesparelse samt trafikuheld omtales. Endvidere omtales herefter principper i forbindelse med miljøeffekter, hvilket sker ud fra støj og luftforurening. Effektberegning og prioriteringsmetodik iøvrigt er beskrevet i afsnit 14.6 samt i appendix 14.1.

Rejsetid, kørselsudgifter samt trafikuheld

Enhedsprisen for tid bestemmes ved en beregning, som for personbiler sker med baggrund i den gennemsnitlige timeløn i industri og håndværk.[11] Indledningsvis foretages en opdeling af bilturene efter formål i erhvervsture, bolig-arbejdsstedsture samt andet, der er en sammenvejning af øvrige turtyper. De tre turtyper er tildelt relative værdier af timelønnen på henholdsvis 115%, 30% og 18%. Tidligere havde erhvervsturene værdien 100%, men en analyse i 1986 viste, at erhvervsrejsende i gennemsnit har en løn, der er 15% højere end timelønnen i industri og håndværk, hvorfor timeværdien for erhvervsture blev forøget. De to øvrige procentandele har baggrund i forskellige undersøgelser i forbindelse med folks valg af transportform. Specielt grundigt undersøgt er bolig-arbejdsstedsturene.[12,13] På baggrund af undersøgelser af transportarbejdets fordeling på ovennævnte formål, samt kendskab til antal personer over 16 år, som beregningsmæssigt alene tæller med, kan en statistisk gennemsnitsværdi findes som procentandel af gennemsnitstimelønnen, jf. tabel 13.4.

Pr. 1/7-1992 beløb timeprisen for personbiler sig til 51,17 kr.[14]

For lastbiler består fremgangsmåden i at fastlægge værdien af at lægge beslag på en lastbil i en time. Forudsættes uændret kørselsomfang og transportmønster vil en besparelse i køretid gøre det muligt at mindske den samlede lastbilkapacitet, hvilket er ensbetydende med et fald i de samlede vognomkostninger. Beregningsmåden sigter mod at opgøre de langsigtede, marginale tidsomkostninger. Der

tages udgangspunkt i chaufførlønninger, som suppleres med kørselsuafhængige reparations- og vedligeholdelsesomkostninger, afskrivning, forrentning mv.

Turformål	Trafikarbejdets fordeling	Antal personer over 16 år pr. personbil	Persontransportarbejdets fordeling	Timepris (lønandel)
Erhverv	9,3%	1,21	7,1%	115%
Bolig - arbejde	22,9%	1,27	18,4%	30%
Andet	67,8%	1,74	74,5%	18%
I alt	100,0%	1,59	100,0%	26%[1)]

[1)] Vægtet med transportarbejdets fordeling på turformål (personkm)

Tabel 13.4 Beregningsgrundlag for timeprisen for personbiler.

Pr. 1/7-1992 er timeprisen for lastbiler opgjort til 149,65 kr.

Ved opgørelsen af kørselsudgifter pr. km opdeles ligeledes i person- og lastbiler. For personbilerne tages udgangspunkt i en sammenvejning af bilmodeller, som fastlægges ud fra salgsandelene. For hver bilmodel beregnes ud fra dens benzinforbrug som funktion af kørselsformen samt antagelser om trafikarbejdets fordeling på disse kørselsformer et gennemsnitligt benzinforbrug, som adderes andre omkostningselementer, herunder olie- og dækudgifter samt reparation, vedligeholdelse og afskrivning.

Pr. 1/7-1992 er km-prisen for personbiler 83 øre ekskl. afgifter.

Med hensyn til lastbiler tages udgangspunkt i fordelingen på totalvægtklasser, idet omkostningsberegningen foretages for hver enkelt vægtklasse.

Pr. 1/7-1992 er km-prisen for lastbiler 1,06 kr. ekskl. afgifter.

Ovennævnte priser er opgjort ekskl. afgifter, hvilket er et gængs princip ved samfundsøkonomiske beregninger. Afgifter kan alene betragtes som en overførsel (transferering), som principielt kunne tilbagebetales. Afgifters betydning udover et skattemæssigt provenu ligger i, at de påvirker den enkeltes forbrugsmønster.

Beregningen af besparelse i uheldsomkostninger sker ud fra en opgørelse af gennemsnitsudgiften pr. politirapporteret personskadeuheld. Det er denne statistiske uheldstype, der ligger til grund for de uheldsfrevenser, som er beskrevet i kapitel 11. Hvert uheld er sammensat af 0,06 dræbte, 0,75 alvorligt tilskadekomne og 0,45 lettere tilskadekomne dvs. 1,26 personskader pr. personskadeuheld. Udgifterne opsplittes i faktiske eller registrerbare omkostninger omfattende produktionstab, udgifter til hospitals- og skadestuebehandling, autoskader mv. samt i såkaldte velfærdsomkostninger, som er en politisk fastsat værdi, der udtrykker den værdi, samfundet er villig til at betale ud over de registrerbare omkostninger for at undgå trafikuheld, dvs. en vurdering af sorg, svie og smerte.

Pr. 1/7-1990 er de registrerbare omkostninger pr. dræbt opgjort til 1.645.507 kr., hvortil lægges et velfærdstab på det dobbelte af de registrerbare udgifter, så den samlede omkostning inkl. velfærdstab bliver på 4.936.522 kr. Velfærdsfaktoren er således sat til 2 ved en dræbt person, mens man ved alvorlig tilskadekomst har en faktor på ⅓ og ved lettere tilskadekomst på 1/15. Adderes de personrelaterede udgifter et beløb for materielskadeomkostninger, fås en samlet omkostning pr. politirapporteret personskadeuheld på i alt 1.139.778 kr. De enkelte omkostningselementer fremgår nærmere af tabel 13.5.[15] Pr. 1/7-1992 er omkostningen opgjort til 1.181.000 kr.[14]

Uheldsomkostninger pr. 1. juli 1990			
Omkostningskategori	Registrerbare omkostninger	Velfærdstab [5)]	Omkostninger inkl. velfærdstab
Personrelaterede omkostninger i skadeskategorien:	kr.	kr.	kr.
pr. rapporteret dræbt	1.645.507	3.291.015	4.936.522
pr. rapporteret alvorligt tilskadekommen	153.312	51.104	204.416
pr. rapporteret lettere tilskadekommen	39.379	2.625	42.004
Personrelaterede omkostninger:			
pr. rapporteret trafikuheld [1)]	107.469	117.526	224.995
pr. rapporteret personskadeuheld [2)]	234.472	266.255	509.727
Materielskadeomkostninger:			
pr. rapporteret trafikuheld [3)]	278.106	0	278.106
pr. rapporteret personskadeuheld [4)]	630.051	0	630.051
Samlede trafikuheldsomkostninger:			
ved samtlige trafikuheld, beregnet pr. rapporteret trafikuheld	385.575	117.526	503.101
ved samtlige trafikuheld, beregnet pr. rapporteret personskadeuheld	873.523	266.255	1.139.778

[1)] Vægtet med personskadernes forekomst pr. rapporteret trafikuheld 1987-1989.
[2)] Vægtet med personskadernes forekomst pr. rapporteret trafikuheld med personskade 1987-89.
[3)] De beregnede årlige materielskadeomkostninger divideret med antallet af årlige rapporterede trafikuheld i alt (gennemsnit 1987-1989).
[4)] De beregnede årlige materielskadeomkostninger divideret med antallet af årlige rapporterede trafikuheld i alt (gennemsnit 1987-1989).
[5)] Velfærdstabet for dræbte, alvorligt og lettere tilskadekomne beregnes ved at multiplicere de faktiske omkostninger for de tre skadeskategorier med henholdsvis 2, ⅓ og 1/15.

Tabel 13.5 Beregningsgangen i opgørelsen af enhedsprisen for et politirapporteret personskadeuheld.

Principielt burde enhedspriser ud fra den økonomiske teori baseres på folks betalingsvillighed, hvilket i sagens natur rummer store vanskeligheder, når der er tale om såkaldt ikke-markedsomsatte goder.[16] Interviewundersøgelser har været anvendt, men der knytter sig forskellige problemer til at opnå pålidelige svar. Af ovennævnte enhedspriser må km-prisen vurderes at være den økonomisk set teoretisk bedst bestemte, idet der er lagt flere antagelser til grund for både time- og uheldspris, hvortil kommer, at sidstnævnte er justeret med det såkaldte velfærdstab. Med hensyn til timepriser har det fx ofte været diskuteret, om det er rimeligt at addere en mængde små tidsbesparelser til et samlet stort antal timer, fx det samlede antal sparede timer i et år, eller om den enkelte trafikants tidsbesparelse skulle have en vis størrelse for at indgå.

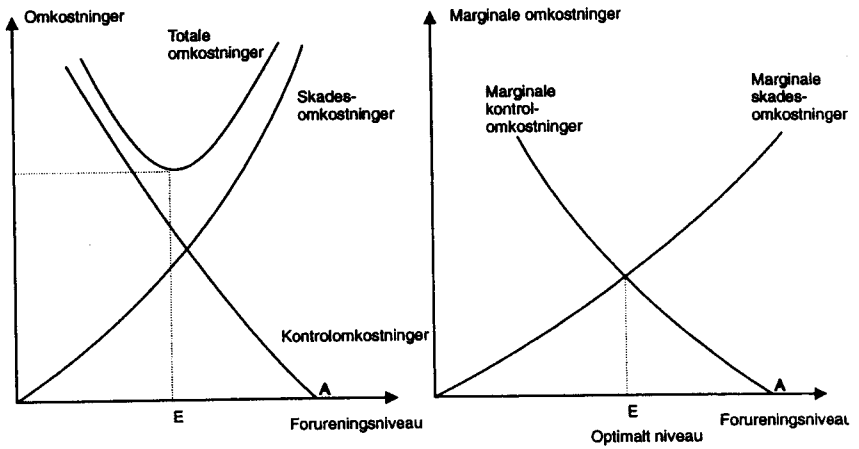
Med hensyn til de enkelte enhedspriser er der behov for, at der løbende sker en vurdering af deres beregningsgrundlag samt for at bedømme deres rimelighed i forbindelse med den konkrete anvendelsessammenhæng.

Støj og luftforurening

De ovennævnte vanskeligheder med at bestemme enhedspriser for tid, km og uheld bliver ikke mindre udtalte, når miljøeffekter værdisættes i forbindelse med en samfundsøkonomisk projektvurdering. I kapitel 12 og kapitel 14 er der redegjort for de metoder og teknikker, som er udviklet med henblik på kortlægning og forudsigelse af effekternes omfang fysisk og genemæssigt. Nedenfor skal omtales nogle principper i forbindelse med værdisættelsen.

I forbindelse med miljøeffekter skal begreberne skadesomkostninger (damage costs) og kontrolomkostninger (control costs) defineres. Skadesomkostningerne omfatter de samlede geneomkostninger, der kan knyttes til et givet forureningsniveau, mens kontrolomkostningerne er de omkostninger, ligeledes knyttet til forureningsniveauet, som er nødvendige i forbindelse med neutralisering/bortskaffelse af forureningen, fx opstilling af støjskærme eller installation af katalysatorer.

Med henblik på en økonomisk angivelse af et såkaldt optimalt forureningsniveau kan sammenhængene vist i figur 13.8 opstilles.[17,18] Den økonomisk optimale forureningssituation E optræder, hvor de samlede skades- og kontrolomkostninger minimeres, jfr. venstre del af figur 13.8, hvilket svarer til, at de marginale skadesomkostninger har samme størrelse som de marginale kontrolomkostninger, jfr. højre del af figuren. For så vidt forureningens omfang er beskrevet gennem målte størrelser og måleenheder, kan på denne måde teoretisk ske en enhedspris-fastlæggelse. I praksis er det imidlertid forbundet med store vanskeligheder at få forureningsproblemer beskrevet realistisk ved sådanne kurvesæt. Ved luftforurening eksempelvis kompliceres situationen af, at dynamiske forhold



Figur 13.8 Økonomisk bestemmelse af det optimale forureningsniveau.

og akkumulering på lang sigt i forbindelse med forureningen bør indgå, men a videnniveauet på dette område er meget beskedent.[18]

Ved prisfastsættelse af miljøeffekter anvendes følgende tre hovedtyper af meto der:

1. *Husholdningers produktfunktioner* (household production functions): Ved denn metodetype sker værdisætning af eksempelvis et rekreativt område 1 belig gende i en given afstand a_1 sammenlignet med et andet område 2 i afstande a_2 med udgangspunkt i meromkostninger ved kørsel til 1 fremfor 2, idet $a_1 > a_2$ Disse meromkostninger kan tolkes som en nedre værdi af 1's større rekrea tionsværdi sammenlignet med 2.

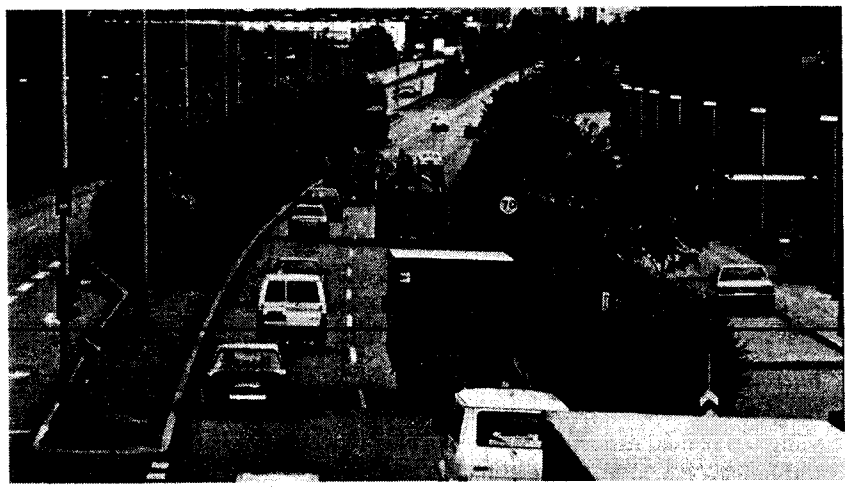
2. Hedonisk("nydelses") prissætning (hedonic prices): Ved denne metodetyp sker prissætning af (fravær af) støj ved sammenligning af salgsprisen på et hu i et roligt nabolag ved en sammenligning med salgsprisen for et hus af tilsva rende kvalitet, men i et mere støjramt område. Denne prissætningsmetod afviger fra den ovennævnte rejseomkostningsmetode ved, at den ser direkt på priser ved sammenligningen i stedet for som afledt af et bestemt valg, d indebærer en omkostning.

3. *Interviewundersøgelse* (contingent evaluation): Ved hjælp af forskellige udspør ningsteknikker forsøger man at afdække folks/husholdningers betaling villighed fx med hensyn til lavere støj eller renere luft. Man taler også i denn forbindelse om, at man bestemmer et sæt af præferencer, hvoraf betalingsv lighed udgør en bestemt type.

Alle tre metodetyper har fordele og ulemper. Med hensyn til 1. og 2. kan man tale om reelle valg i forbindelse med adfærd og priser, hvorimod 3. er knyttet til tænkte situationer, som medfører, at svar er uforpligtende og derfor kan opfattes som mindre troværdige. Omvendt vil man som regel ved 1. og 2. have vanskeligheder med helt at neutralisere andre faktorers indflydelse. Eksempelvis vil to huse i to forskellige nabolag som regel også være forskellige på andre måder, selv om man har fået udvalgt huse, der virker sammenlignelige. Sådanne problemer kan bekvemt bortdefineres ved interviewundersøgelsen. Denne kan dog så igen rumme andre vanskeligheder, fx at den udspurgte fornemmer, at der ønskes bestemte svar mv.

Selvom om man ved ovennævnte metodetyper kunne opnå et kendskab til folks reelle betalingsvillighed, gør andre problemer sig dog gældende i forbindelse med miljøeffekters prissætning, nemlig i form af forskelle mellem hvordan miljøgenen opfattes og vurderes overfor uerkendte, måske langsigtede faktorer og konsekvenser. Eksempelvis kan man forestille sig, at en bedømmelse af huspriser primært afspejler en privatøkonomisk vurdering og at flere samfundsmæssige vurderinger ikke indgår eller kun indgår delvist. Det gælder i forbindelse med støjgener forhold som:[19]

- psykologiske påvirkninger som stress, ærgrelse, søvnforstyrrelser mv.
- fysiologiske påvirkninger i form af forhøjet blodtryk, anspændthed, hovedpine mv.
- produktionstab som følge af en reduceret arbejdsydelse på grund af søvnforstyrrelse



Når støj prissættes kan rentabiliteten af støjvolde beregnes.

Vejdirektoratet har adderet et tillæg til sin enhedspris for støj på 50% for indregne ovennævnte samfundsmæssige konsekvenser.

Princippet bag Vejdirektoratets enhedsprisberegning mht. støj er, at den årli værdiforringelse af et støjramt hus findes som realrenten af nedsættelsen husets kontantværdi. Som beskrevet i kapitel 14 måles støj i SBT. Pr. 1/7-1992 værdien på ovennævnte baggrund incl. samfundsmæssig omkostning for sparet SBT opgjort til 34.300 kr. pr. år.[14]

Vejdirektoratets metode for værdisættelse af luftforurening fra personbiler tag udgangspunkt i ekstraomkostningerne pr. bil for anskaffelse og montering af katalysator.[19] Udover dette beløb indregnes også udgifter til dens vedligehold se samt til en svag stigning i brændstofforbrug, som forårsages af katalysator I alt beløber dette sig til ca. 8.000 kr. for en katalysator med en anslået levetid 100.000 km. Undersøgelser af katalysatorers effekt peger på, at ca. 60% af skadelige stoffer fra udstødningen bliver fjernet.

På dette grundlag når man frem til en luftforureningspris for 1 km kørt med personbil. Denne er dog opgjort som en pris for lokal luftforurening og en pris regional luftforurening, idet man med baggrund i svenske undersøgelser l antaget, at den lokale omkostning pr. km er den dobbelte af den regionale beregningen indgår endvidere, at man først regner med lokale luftforurenin gener ved en ÅDT på mere end 4000, samt at 20% af kørselsarbejdet antages falde ind under denne kategori. Pr. 1/7-1992 er mht. luftforurening fra pers biler uden katalysator beregnet en lokal km-pris på 22 øre og en regional km-p 11 øre.[14]



Med katalysatorer reduceres den lokale luftforurening fra bilerne betydeligt.

Som følge af den relative vækst i antallet af personbiler med katalysator fra 1990, hvor den blev påbudt i nye biler, og frem til 2007, hvor alle personbiler forudsættes at have monteret en katalysator, reduceres luftforureningen tilsvarende frem mod 2007, hvor en reduktion på 60% nås, jf. den forudsatte virkningsgrad.

Med hensyn til lastbiler er der ikke truffet beslutning om indførelse af luftforureningsbegrænsende foranstaltninger. Med baggrund i omfanget af NO_x i lastbilers udstødning sammenlignet med personbiler uden katalysator har man valgt at anvende km-værdier på tre gange størrelsen af km-værdierne for personbiler. Pr. 1/7 -1992 fås således mht. luftforurening fra lastbiler en lokal km-pris på 65 øre og en regional pris på 32 øre.[14]

Ved ovennævnte fremgangsmåde lægges vægten primært på den lokale og regionale forurening.

Enhedsprisbestemmelse generelt

Som det er beskrevet, vil enhedspriser for mange af de effekter, som indgår i en samfundsøkonomisk projektvurdering, ikke kunne angives særligt præcist. Dette skyldes ikke alene problemerne med at opgøre betalingsvilligheden for ikkemarkedsomsatte goder eller benefits. Eksempelvis er det fremgået, at det i mange tilfælde er rimeligt at justere den privatøkonomiske betalingsvillighed med et samfundsmæssigt bidrag, der i sagens natur må indeholde en politisk vurdering.

De enhedspriser, som fremkommer på denne baggrund, har således en ganske anden og mere sammensat karakter end sædvanlige markedsbestemte priser. Sommetider taler man om skyggepriser[a] for at markere, at der er en principiel forskel fra sædvanlige priser og, at disse priser indeholder et politisk element.

Ovenfor har været omtalt prissætning af tid, kørsel, uheld samt støj og luftforurening. Disse effekter er centrale i mange tilfælde ved projektvurdering på vejtrafikområdet. Prissætning - eller opgørelse af benefits - kan dog også i mange tilfælde være af stor betydning i forbindelse med følgende effekter:

---

a Benævnelsen skyggepris har egentlig en helt teknisk baggrund, nemlig som den forøgelse af objektfunktionens værdi, man kan få ved et LP-problem, når en af restriktionerne slækkes med en enhedsværdi. På denne baggrund kan man tildele en enhed af den givne restriktion en værdi svarende til forøgelsen af objektfunktionens værdi. Anvendelsen i økonomisk teori skyldes brugen af lineær programmering (LP) som løsningsteknik i forbindelse med såkaldte input-output analyser, hvor man søger at kortlægge det økonomiske samspil fx i et lands eller en regions produktionsapparat.[7,10]

- Komfort
- Barriereeffekt
- Bykvalitet
- Erhvervseffekter
- Sammenbindingseffekter

Nogle af de beskrevne principper kan anvendes også i forbindelse med disse effekter, men for flere af effekterne er det et spørgsmål, om der vil kunne opstilles generelle prissætningsprincipper. Ofte vil en mere rimelig løsning være, at de foretagne vurderinger afspejler de konkrete forhold og omstændigheder ved et givet projekt.

13.4 Oversigt over typer af vurderingsmetoder

Den traditionelle metode til vurdering af trafikprojekter er den såkaldte cost-benefit analyse. Principperne i cost-benefit analysen blev udviklet i USA i 1930'erne og frem i form af praktiske projektvurderingsmanualer i forbindelse med vurdering af store dæmningsprojekter, som var store offentlige projekter, der blev igangsat som del af "New Deal" politikken for at styrke den økonomiske aktivitet.[2] I den amerikanske Flood Control Act fra 1936 fastlagde man således det almene vurderingsprincip, at et projekt burde gennemføres såfremt *the benefits, to whomsoever they may accrue, are in excess of the estimated costs*. Selve det samfundsøkonomiske nyttebegreb opgjort i form af den tidligere omtalte betalingsvillighed (WTP) er dog af endnu ældre dato og skyldes franskmanden Dupuit, som midten af 1800-tallet bestemte en samfundsøkonomisk netto-nytte af et offentligt projekt som forskellen mellem markedsprisen og den enkeltes faktiske villighed til at betale. Det teoretiske grundlag for cost-benefit analysen blev færdigudviklet gennem 1950'erne, men var dog stadigvæk primært knyttet til dæmningsarbejder. Det er interessant at bemærke, at det store amerikanske "interstate" motorvejssystem påbegyndt under Eisenhower i 1950'erne blev anskuet som forsvarsanliggende og som sådant ikke underkastet nogen samfundsøkonomisk vurdering.

Cost-benefit analysen anses sædvanligvis for at være introduceret i Europa i forbindelse med vurdering af trafikanlæg, nærmere betegnet i England ved planlægningen af den første engelske motorvejsforbindelse M1 mellem London og Birmingham i en undersøgelse fra 1960 og i forbindelse med vurderingen af en ny undergrundsforbindelse i London, Victoria Line, i en undersøgelse fra 1962. Motorvejene som vejtype går tilbage til Italien i 1920'erne og til Tyskland i 1930'erne, men som senere i USA var der primært tale om militære overvejelser

og hensyn.[20] I Danmark blev der foretaget en samfundsøkonomisk vurdering af et trafikprojekt, Lyngby Omfartsvej, allerede i 1957.[21]

Cost-benefit analysen opnåede gennem 1960'erne en vis anerkendelse som en objektiv metodik, der kan "forbedre" den politiske beslutningstagen. Det er imidlertid interessant at hæfte sig ved, at cost-benefit analyser sammenstillet med andre kvantitative metoder til forbedring af beslutningsgrundlaget ved investeringsbeslutninger af Thygesen omtales mere som "kunst" end "videnskab". Der er med andre ord ikke tale om så almen en metodik, at den enkelte anvendelse ikke kræver stor opmærksomhed omkring de antagne forudsætninger mv.[9]

Kendetegnende for *cost-benefit analysen* er imidlertid et analytisk ideal om gennem inddragelse af alle betydende forhold og anvendelse af rigtige beregningsparametre mv. at kunne give et objektivt korrekt svar.

Lidt mindre ambitiøs er den såkaldte *cost-effectiveness analyse*, som blev udviklet gennem 1970'erne ikke som noget alternativ til cost-benefit analysen, men snarere som en cost-benefit analyse, hvor man afstår fra at finde det optimale eller sande svar og forsøger at indkredse rimeligt gode løsninger. I sit grundprincip fokuserer cost-effectiveness analysen på den enkelte faktor fx, hvad er den nødvendige merinvestering for reduktion af det forventede antal ulykker med yderligere et uheld. Ved cost-effectiveness analysen blandes typisk faktorer, der kan gives en økonomisk fortolkning med såkaldt ikke-økonomiske faktorer. Blandt sidstnævnte er typisk trafikprojekternes miljøkonsekvenser. Vejdirektoratets prioriteringsmetode for større hovedlandevejsarbejder kan klassificeres som en cost-effectiveness metode.

Hvis man lidt firkantet søger at identificere 1960'erne med cost-benefit analysen og 1970'erne med cost-effectiveness analysen, har opmærksomheden ved udviklingen af projektvurderingsmetodikken gennem 1980'erne været rettet mod afvejning af de indgående planlægningsmål, hvilket har givet sig udslag i såkaldte *multi-kriterie analyser*. Interessen koncentreres her om, hvor robust projektvurderingen er overfor ændring mht. den betydning, de enkelte planlægningsmål tillægges. Herved giver man mulighed for systematisk at arbejde med usikkerhed i parametergrundlaget i kombination med den usikkerhed, der politisk set er med hensyn til de enkelte faktorers betydning.[22,23]

Projektvurdering i 1990'erne er påvirket dels teknologisk af den almindelige udbredelse af PC'ere dels af en enighed om, at det analytiske ideal i forbindelse med 1960'ernes cost-benefit analyser ikke kan indfries. Organisering af projektdata og systematiske følsomhedsberegninger i kombination med grafiske fremstillinger på PC bevirker, at man nu taler om *beslutningsstøttesystemer* til brug for projektvurderingen. Der lægges stor vægt på en dialog med beslutningstagerne. Disse interaktive modeller må umiddelbart vurderes at have en række gode

egenskaber, men samtidig må man naturligvis tage højde for, at der ikke ubevid
indgår nogle forudsætninger, man ikke ønsker. Forskningen inden for projek
vurderingsmetodik kan her drage nytte af den forskning, der i stort omfar
foregår generelt omkring anvendelse af datamatiske systemer til planlægning.
lovende nyt felt er som omtalt i afsnit 10.4 geografiske informationssystem
(GIS) ud fra hvilke man kan forvente nye muligheder gennem kombination
trafik-, effekt- og projektvurderingsmodeller.[24,25]

I kapitel 14 vil der blive givet eksempler på nogle af de begreber og metoder, d
har været behandlet i dette kapitel.

Litteratur

1 Mohring, H., Highway Benefits: An Analytical Framework. NorthWeste
University Press, 1962.

2 Dasgupta, A.K. & Pearce, D.W., Cost-Benefit Analysis: Theory and Practi
Macmillan, 1980.

3 Khisty, C.J., Transportation Engineering - An Introduction. Prentice Ha
1990.

4 Nielsen, O.A. A New Method for Estimating Trip Matrices from Traf
Counts, Paper 93-3, Institute of Roads, Transport and Town Planning, 19

5 Gunst, J. & Munk Rasmussen, M., Virksomhedsøkonomi for private
offentlige virksomheder, bd. I og II. Samfundsvidenskabeligt forlag, 19

6 Thagesen, Bent, Lærebog i Vejbygning - Bd. 1 Trafik og geometri. Polyte
nisk Forlag, 1984.

7 Sassone, P.G. & Schaffer, W.A., Cost-Benefit Analysis - A Handbook. A
demic Press, 1978.

8 Meyer, M.D., & Miller, M.J., Urban Transportation Planning. McGraw-H
1984.

9 Thygesen, Inge, Investeringsplanlægning. Polyteknisk Forlag, 1971.

10 Pearce, D.W. & Nash, C.A., The Social Appraisal of Projects - A Text
Cost-Benefit Analysis. Macmillan, 1981.

11 Vejdirektoratet, Trafikøkonomiske enhedspriser pr. 1. juli 1987. Økor
misk-statistisk afdeling, 1988.

12 Schiøtz, O., Kollektiv trafik eller bil i bytrafik, rapport 20. Vejdatalabo
toriet, 1976.

13 Bruzelius, N., The Value of Travel Time, Theory and Measurement. Skrift nr. 3, Nationalekonomiska Institutionen, Stockholms Universitet, 1978.

14 Trafikøkonomiske enhedspriser 1992. Vejdirektoratet, Sektorplanafdelingen, 1994.

15 Trafikøkonomiske enhedspriser pr. 1. juli 1990. Vejdirektoratet, Økonomisk-statistisk afdeling, 1991.

16 Møller, Flemming, Samfundsøkonomisk projektvurdering. Finansministeriet, Budgetdep., 1990.

17 The Social Costs of Land Transport. OECD, Environment Directorate, 1990.

18 Monetary Valuation of Transport Environmental Impact - The Case of Air Pollution. COWIconsult, Department of Economic Planning, 1991.

19 Undersøgelse af større hovedlandevejarbejder - Metode for effektberegninger og økonomisk vurdering. Vejdirektoratet, 1992.

20 Rallis, T. & Helk, U., Motorvejenes historie, tidsskriftet Asfalt, sept. 1991.

21 Bendtsen, P.H., Benefit-Ratio for omfartsvejen ved Lyngby, genoptryk Polyteknisk Forlag 1959 af Norsk Vejtidsskrift nr. 9 1957, 1959.

22 Leleur, S., Planlægning af Multi-mål-systemer, rapport nr. 40, Institut for Veje, Trafik og Byplan, DTH, 1984.

23 Leleur, S., Project Evaluation - Survey and Trends of Project Evaluation Approaches in Transportation Planning, report no. 45. Institute of Roads, Transport and Town Planning, Tech. Univ. of Denmark, 1985.

24 Nielsen, Otto Anker, Brug af GIS til trafikplanlægning og beslutningsstøtte, Konferencerapport 2, Trafikdage på AUC, Transportrådet og Trafikforskningsgruppen, Aalborg Universitet, 1994.

25 Leleur, S., Road Infrastructure Planning - A Decision-Oriented Approach, Institute og Roads, Transport and Town Planning, Tech. Univ. of Denmark, Draft version, 1994.

Kapitel 14

Planlægning for biltrafik

Af Jan Grubb Laursen og Steen Leleur

I det følgende behandles trafikplanlægning i forbindelse med biltrafik i form af en gennemgang af emnerne trafik i bycentre, trafikbetjening af boligkvarterer, parkering, vejnetplanlægning, standardvalg samt prioriteringsmetodik. De tre første emner knytter sig til trafikplanlægning i byområder, mens de tre sidstnævnte beskriver principper og metoder ved trafikplanlægning for åbent land.

Selve planlægningstankegangen har været behandlet i kapitel 9 og danner baggrund for de enkelte emner. For så vidt angår en sondring mellem problemstillinger i byområder og i åbent land gælder, at trafikplanlægning i byområder ofte har en mere kompleks karakter end det er tilfældet i åbent land. Trafikplanlægning i byområder er således i højere grad end trafikplanlægning i åbent land kendetegnet ved særlige restriktioner mht. mulige standarder og særlige krav mht. et samspil mellem et stort antal faktorer. På denne baggrund kommer formaliserede planlægningsprocedurer mest til udtryk ved trafikplanlægning i åbent land.

14.1 Trafik i bycentre

Bycentre påkalder sig en særlig interesse i den trafikale debat, fordi brugen af bycentrum og borgernes opfattelse af bycentrum er præget af store modsatrettede interesser, som oftest kontraster mellem ønsker om kulturelle tilbud og miljøkvalitet på den ene side, og ønsker om fri tilgængelighed for store kundetal og et moderne forretningsmiljø på den anden side.

Nogle byer har forsøgt at åbne bycentrum for biler ved gadegennembrud, ved gårdsaneringer med udlæg af p-pladser eller p-huse, mens andre har satset på fredeliggørelse med gågader, bygningsrestaurering, fordele for den kollektive trafik og for cykel- og gangtrafik, osv. En fælles tendens ses nu over hele Europa for at begrænse biltrafikken i centrum både med parkeringsplanlægningen og med andre midler.

Midler til reduktion af biltrafikken

Har man i en by besluttet, at en reduktion af biltrafikken til centrum er påkrævet, har Jones & Hervik angivet følgende muligheder:[1]

Selvregulering, dvs. lad trængslen regulere trængslen

Regulering af bevægelsesmulighederne ved brug af:
- trafiksaneringsanlæg
- kontrolringe, "halsbånd" og "ventiler"
- trafikzoner eller "labyrinter"

Adgangsbegrænsning udformet som:
- rent forbud mod kørsel
- hierarkisk net med forskellige tilladelser på nettets led
- nummerpladesystem, hvor forskellige endetal kan køre ind på forskellige dage (ital. "targa")
- adgangstegn for grupper som butiksdrivende, beboere, handicappede, vareleverandører, turister, osv.

Adgangsbetaling ved:
- manuel afgiftsopkrævning
- automatisk opkrævning med "automatic vehicle identification"
- automatisk opkrævning med "smart card system"

Med ordene kontrolringe (eng. "cordon"), "halsbånd" (eng. "collar") og "ventiler" tænkes her på forskellige former for regulering, fortrinsvis med signaler, langs en ring rundt om bymidten. Afhængig af tilstandene i trafikken ændres grøntiden, så flere eller færre indkørende biler afvises eller må vente. Trafikzoner er reguleringer, hvor centrum ikke kan gennemkøres, men hvor hver del, en trafikzone, betjenes for sig ude fra en ringgade. Med "labyrinter" tænkes på gadenet i centrum, der er så indviklede, at gennemkørsel undgås, selvom den teoretisk er mulig (Københavns middelalderby har træk af både zone- og labyrintsystem).

Forskellen på afgiftsopkrævning med "automatic vehicle identification" og med "smart card system" ligger i, at i det første tilfælde bliver køretøjet kendt for systemet ved passage af en afgiftsstation, mens der anonymt kan trækkes et afgiftsbeløb på en konto med et "smart card", bare der er penge på kontoen.

Det mest karakteristiske for danske byer er forsøg på at kombinere høj biltilgængelighed (stort og billigt p-udbud i ryddede gårde og på p-pladser) med et attraktivt miljø (gågade(r), ingen gennemkørsel, sjældent gadegennembrud). I en del tilfælde - mest i de større byer - er dette "standardudstyr" kombineret med:

- gader med kun buskørsel, kun cykelkørsel, evt. kombinationer i forbindelse med fodgængertrafik
- søgering om centrum, forbinder p-pladser
- elektronisk styret p-vejvisning
- sivegader, hvor fodgængere og en vis biltrafik lever sammen
- passager over zonegrænser for busser alene
- p-huse eller p-kældre
- særlige cykelruter tværs gennem bymidten

I europæisk sammenhæng har Danmark mange gågader, men iøvrigt forholdsvis lavt udnyttede bycentre: begrænset byfornyelse, lave bygninger, mest parkering og varetilkørsel i niveau. I Sverige og Tyskland er der tit ofret betydeligt større midler på nybyggeri, p-huse, underjordiske varetilkørsler, og - særligt i større byer i Tyskland - kollektiv trafik nedgravet under centrum. Byer med stærkt historisk præg har dog mere udtalt biltrafikbegrænsning: Aachen, Lübeck, Trier. 3 norske byer (Bergen, Oslo, Trondheim) har allerede betalingsring udenom bycentrum, dog mere for at tjene penge til trafikinvesteringer end for at begrænse biltrafikken.

I Frankrig kendes gode eksempler på prioritering af den kollektive trafik i centrumsområdet (Grenoble, Saumur, Besancon), mens Italien navnlig kendes for zoner med begrænsning på biltilkørslen (ital. "zona a traffico limitato"), hvor kørselstilladelser gives til udvalgte grupper. Over 40 byer i Italien nævnes at have ordninger af denne type - tilpasset de store historiske bykerner med meget snævre gader (Bologna, Firenze, Verona, Padova, Milano, Rom).

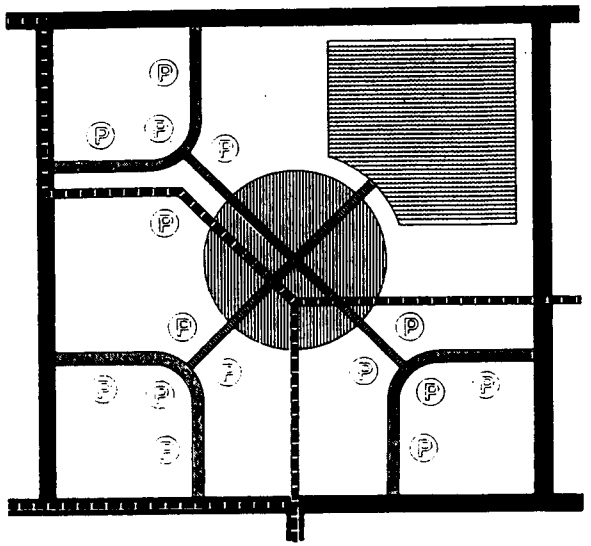
Englænderne lægger lige som andre af vore europæiske brødre vægt på at kunne bruge egen bil lige til centrum. Der er dog en tilsvarende udvikling i gang, bl.a med udgangspunkt i universitetsbyerne og byer med historiske bykerner (Oxford, Cambridge, York, Chester, Nottingham). Også i Holland fører byer med et stærkt historisk præg an i begrænsningen på biltrafik (Delft, Groningen).

Kolding

Som repræsentant for en kreds af danske byer, som i de senere år har lagt mege energi i planlægning af centrums trafikbetjening (Odense, Nakskov, Aalborg, Horsens, Århus...) skal nævnes nogle træk fra Kolding.[2]

Siden 1988 har Kolding kommune gennemført en trafikplan for bymidten, som med en samlet udgift på ca. 70 mio. kr. har givet en fredeliggjort bymidt zoneopdelt med en ringgade, gågader og sivegader, og Danmarks første elektr niske p-vejvisningssystem. Målsætningerne var følgende:

- uvedkommende biltrafik hindres i gennemkørsel og henvises til ringgaden
- der sørges for et rimeligt antal lettilgængelige og velbeliggende p-pladser
- der etableres sammenhængende fodgængerområde i den centrale del



Figur 14.1 Koldings trafikplan bygger på zoneprincippet med en ringgade, gågade og sivegader.

- cyklister sikres sammenhængende rutenet, der giver tryg og nem adgang til målene i bymidten
- bybusnettet sikrer rejsende i Kolding adgang til bymidten uden omstigning, med max. 300 m gangafstand til de vigtigste mål.

Forlods kan man nok sige, at de geografiske betingelser er komplicerede, idet bymidten i Kolding er begrænset af Koldinghus og Slotssøen i nordsiden, og af åen og jernbanen i sydsiden. Virkningerne af omlægningen har været markante:

- allerede i 1990 opnåede man at have 20% færre trafikuheld end året før, især for de lette trafikanter
- antal støjramte boliger (> 55 dBA) er faldet 23%, og særlig hårdt ramte (> 65 dBA) er faldet med 40%

Det elektroniske p-system omfatter 700 pladser i 4-5 forskellige anlæg. Det henviser ud fra vedvarende tællinger af ind- og udkørsler i anlæggene - til de anlæg, der har ledige pladser. Et endnu bedre system ville nok oplyse, hvad den mest sandsynlige adgangstid til en fri plads er i de forskellige anlæg.

Sammenfattende kan man nok sige, at Kolding har etableret et trafiksystem, som Aalborg drømte om i 1980, som Odense nærmer sig, og som Århus netop har påbegyndt realiseringen af.



I Kolding findes Danmarks første elektroniske p-vejvisningssystem.

Synspunkter på København

Som eksempler på trafikale synspunkter på trafikken i bymidten i vor eneste storby skal nævnes synspunkter fra to meget forskellige sider: dels en trafikplan for København fra CASA (Center for Alternativ Samfundsanalyse), dels fra Dansk Vejforening.[3]

CASA opstiller i planen "Bedre bytrafik - en miljøvenlig trafikplan for København" en målsætning om at halvere biltrafikken i København inden år 2000, bl.a. fordi:

- luftgrænseværdier er overskredet i gadeplan
- alt for mange boliger er støjplaget
- ulykkestallet skal nedbringes

Elementer i planen er:

- tunnelbane eller letbane til Amager
- flere S-tog, nyt materiel
- flere busser, miljøudstyrede om fem år, busbaner
- cykelstier, cykelruter
- afgift på bilers indkørsel til byen, 25 kr, kl. 06-24
- p-restriktioner: p-forbud i Middelalderbyen
  1 time i Indre by
  2 timer i brokvartererne
  fri beboerparkering
- stop for vejudbygninger

Der argumenteres for, at gennemførelsen af planen vil have meget gunstige samfundsøkonomiske konsekvenser, samt en halvering af emissionerne, og en nedgang på 40 dræbte, 1100 personskader og 5700 uheld pr. år.

Dansk Vejforening gør modsat opmærksom på, at yderligere restriktioner på mulighederne for bilkørsel til København vil forstærke byens vanskeligheder, som allerede er alvorlige nok. Det hævdes, at de samfundsøkonomiske omkostninger er 1,5 gange højere ved kollektiv trafik end ved biltrafik, og at bilernes forureningsbekæmpelse har meget bedre perspektiver end bussernes, fordi katalysatorernes virkning vil slå igennem i løbet af nogle år. Derfor bør der satses på en billøsning med særlige hensyn til miljø og sikkerhed:

- hurtige ringveje, trafikdifferentiering, motorgader
- forretningsgader som miljøprioriterede gader, evt. som gågader
- p-plads-tal inden for søerne fordobles ved p-huse og p-kældre, miljøvenlige nedsænkede eller overdækkede p-pladser samt elektronisk vejvisning til disse
- Middelalderbyen gøres bilfri, med cirkellinie med minibusser
- biltunnel Østerport-Amager

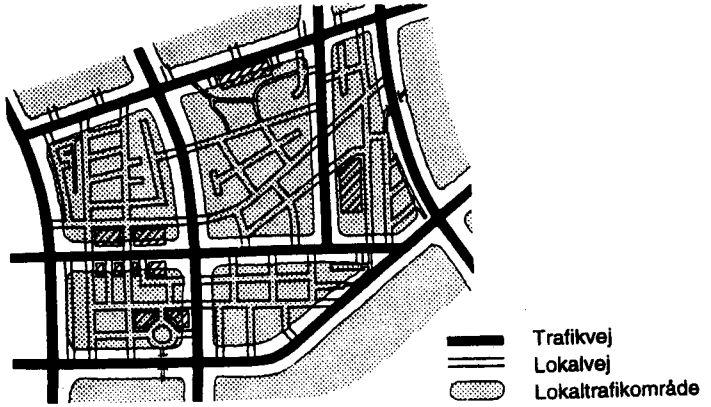
Virkningerne vil være, at trafikken af sig selv flytter til ringveje og andre egnede forbindelser, hvilket giver store miljøforbedringer på forretningsgader og i Middelalderbyen. Planen antages ligesom CASA's at give færre trafikuheld og at ville bidrage til en stærk økonomisk vækst.

Det interessante er dels, at begge planer hævder at medføre store forbedringer, men også, at de faktisk er enige om en radikal fredeliggørelse af Middelalderbyen.

14.2 Trafikbetjening af boligkvarterer

De vigtigste hensyn at varetage ved vejplanlægning i boligområder er sikkerheden og et godt miljø. Her skal der særlig ses på sikre færdselslinier, lege- og opholdsmuligheder og små trafikmængder. Særlig børn og ældre vil forvente sikre omgivelser, og der skal gøres en særlig indsats for at få lav støj og en rimelig luftkvalitet. Vejledning for denne planlægning kan bl.a. findes i Planstyrelsens "Trafik og kommuneplanlægning"[4] og "Miljø og trafik i kommuneplanlægningen"[5] samt i vejreglen "Byernes trafikarealer"[6], for sidstnævntes vedkommende særlig hæfterne O, I, VII og VIIx.

For at opnå denne bokvalitet skal boliger og biltrafik så vidt muligt skilles ad, jf. figur 14.2.[6] Dette gælder både i nyudlagte boligområder og ved omplanlægning af eksisterende områder. Man skelner tit mellem en indre zone i en by, hvor



Figur 14.2 Vejnettets opdeling i trafikveje og lokalveje.

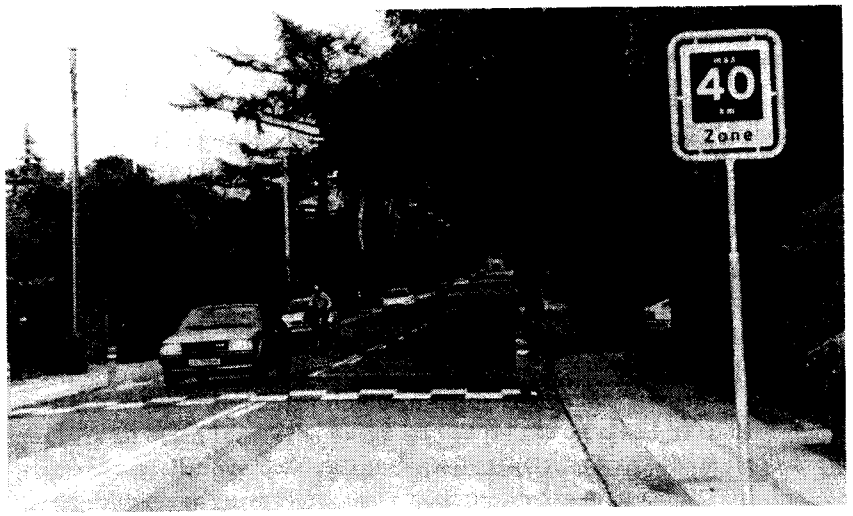
biltrafikkens krav kun delvis vil blive imødekommet, og en ydre zone, hvor bilernes fremkommelighed prioriteres højt.

Ved vejplanlægning i boligområder er opgaven altså at få mønstrene af boliger og maskerne i trafikvejnettet til at passe bedst muligt til hinanden. Så vidt muligt skal det enkelte boligkvarter med visse nærinstitutioner og friarealer passe ind i et lokaltrafikområde, altså et område, som kun rummer lokalveje med lave hastigheder og små trafikmængder.

I tilfælde med nye boligområder kan denne tilpasning blive særdeles præcis, mens der i eksisterende områder altid vil være tale om et kompromis mellem flere hensyn. Lokalvejene i et boligområde kan have referencehastighederne "Middel" (50-60 km/h), "Lav" (30-40 km/h) og "Meget lav" (10-20 km/h).

Lokaltrafikområdets størrelse og beliggenhed bestemmes ud fra forhold som kvarterernes naturlige sammenhæng, hvor de egnede trafikvejstraceer ligger, hvor lange lokalveje af de ønskede hastighedskategorier kan være. Den sidste bestemmes igen ud fra den maksimalt tålelige biltrafikmængde på en sådan vej (da dens rette lokalvejsfunktion ellers kan komme i fare), og i sammenhæng hermed om det er muligt at køre store vejlængder med den tilstræbte hastighed - fx er stilleveje med bump over en strækning af 0,5 km længde en prøvelse. Vejledende værdier ses i tabel 14.1.[6]

De anvendte fartdæmpere er forvarslinger, porte, hævede flader med ramper, bump, indsnævringer og forsætninger. De angivne maksimale længder er ikke eneste parameter, idet også antallet af retningsændringer, en bilist udsættes for i lokaltrafikområderne, skal holdes nede på 3-4. Som hovedregel bør bustrafik ikke føres ad lokalveje med hastighedsdæmpende foranstaltninger.



Hvis en vej skal have status af 40 km/h-zone må den forsynes med fartdæmpere.

Referencehastighed	"Meget lav" 10-20 km/h	"Lav" 30-40 km/h	"Middel" 50-60 km/h
max. kørelængde på lokalvej (m)	150	500	
max. lige strækning (m) eller afstand mellem fartdæmpere (m)	25 max 50	75-150	250
max. trafikstrøm (køretøjer/t)	50	300	

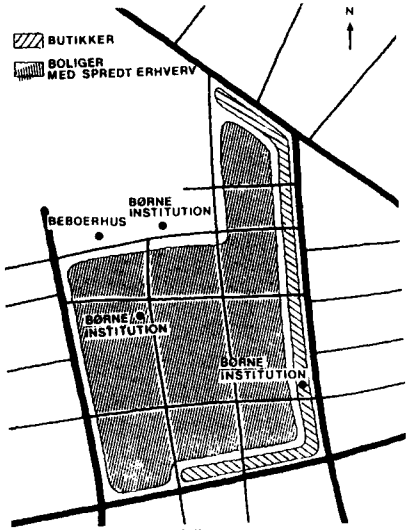
Tabel 14.1 Vejledende talstørrelser for lokaltrafikområder.

Eksempel - et ældre brokvarter

Eksemplet illustrerer skiftende tiders trafikplan-ideer. Det drejer sig om et brokvarter, som i "Byernes trafikarealer" kaldes Steenbro i Voldborg, og som består af 2, 3 og 4 etages karréer fra århundredeskiftet. Der er ca. 1200 boliger, spredt erhverv og butikker langs randgaderne, jf. i øvrigt figur 14.3. I takt med stigende motorisering opleves et stigende parkeringsbehov i de smalle gader, og en risiko for uheld, specielt i krydsene.

Første omlægning førte til en "ensretnings-labyrint", som forhindrer gennemkørsel og fjerner de fleste krydsuheld (1972). Der viste sig dog en del utilfredshed med systemet, som gav omvejskørsel og højere hastigheder samt cyklister mod ensretningerne.

Som grundlag for en ny plan registreredes trafikuheld over en 5-årig periode samt trafiktal og parkeringsmængden, se figur 14.4. Der er tale om 9



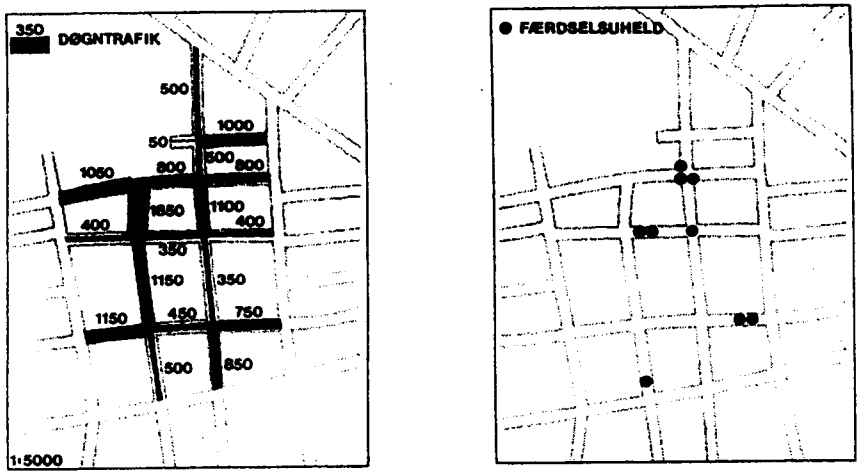
Figur 14.3 Oversigt over Steenbro i Voldborg.

uheld over 5 år, heraf et med en cyklist, der kørte mod ensretningen, og p-tællingerne viser maksimalt 300 optagne pladser ud af kvarterets 400 pladser.

Da der er en lille smule "luft" i p-kapaciteten, besluttedes det at tilbageføre gadenettet til dobbeltrettet funktion, dog nu med hastighedsklasse "Lav" på alle veje, undtagen en med "Meget lav". De dertil nødvendige fartdæmpere er indsnævringer og hævede flader i kryds. Ved indkørslerne til kvarteret



Opholds- og legegader kan give nye forarealer til tætbyens beboere.



Figur 14.4 Døgntrafik og trafikuheld under ensretningssystemet.

og midt på de længste strækninger etableres indsnævringer med bump. Samlet vil gennemkørslen stadig være holdt ude, dog med andre midler, og hvad den interne funktion angår, er gadenettet nu meget mere brugeligt. Omlægningen har kostet ca. 100 p-pladser, men kapaciteten er stadig på ca. 110% af behovet.[6]

14.3 Parkering

Parkeringsforsyningen bestemmes via regler i Byggeloven, Kommuneplanloven, Vejlovene og Færdselsloven. I Byggeloven defineres byggeriers pligt til at indrette p-pladser, i Kommuneplanloven står mulighederne for at fastlægge de fremtidige p-forhold i et område, i Vejloven findes bemyndigelse til at udfærdige vejregler, og endelig har Færdselsloven regler for lovlig og ulovlig parkering og afgifter.

En hovedmålsætning for de opstillede regler er, at bebyggelser bør etablere så megen egenparkering, at henstillede biler ikke oversvømmer hele kvarterets vejnet, og samtidig så lidt egenparkering, at trafikken begrænses til det strengt nødvendige - afhængig af, hvor vi er i byen. En meget smidig administration af et sæt grundregler er nødvendig!

Grundreglen for byggeriet står i Bygningsreglementet 1982 (BR 82), hvor der står:

- 1,5 p-plads pr. boligenhed
- 1 p-plads pr. 50 m^2 erhvervsetageareal

Begge dele kan imidlertid fraviges af kommunen, ligesom denne kan oprette en parkeringsfond, så fx et byggeri ved en gågade indbetaler et beløb til etablering af parkering et mere hensigtsmæssigt sted.

Færdselsloven definerer, hvor der må standses eller parkeres, hvorledes dette kan afmærkes, og hvorledes der kan indføres parkeringskorps og afgifter. Desuden kan kommunen (§92) indføre egne parkeringsbekendtgørelser, hvori fx (nat)parkering af busser og lastbiler forbydes på almindelige p-pladser, af hensyn til miljø og sikkerhed.

Ifølge vejlovene udfærdiger ministeren vejregler, også om vejenes eventuelle parkeringsmuligheder. Typekataloget for nye veje og stier i åbent land angiver ikke nogen vejtyper med p-spor, og det må nok siges at være en korrekt principiel holdning for veje uden for byområder - dels er behovet lille, dels er risikoen stor.[7] Hertil svarer, at Færdselsloven forbyder parkering på hovedveje uden for byområder, samt overalt i vognbaner med optrukne skillestreger.

"Byernes trafikarealer" har dels parkeringsspor med på en række tværprofiler for bygader, dels et særligt hæfte om såvel cykel - som bilparkerings udformning. Behovsstørrelser fremgår af tabel 14.2.[6]

Anlægstype	Anlæg	Reserveudlæg
Etageboliger	0,7 pr. bolig	0,3 pr. bolig
Klubværelser, kollegieværelser	0,3 pr. bolig	0,1 pr. bolig
Enfamiliehuse	2,0 pr. bolig	0
Kædehuse, rækkehuse, hus med fælles parkeringsareal	1,0 pr. bolig	0,3 pr. bolig
Butikker etc.	1,0 pr. 30 m^2	1,0 pr. 150 m^2
Kontorer etc.	1,0 pr. 60 m^2	1,0 pr. 250 m^2
Fremstillings- og lagervirksomhed	0,7 pr. ansat	0,2 pr. ansat
Hoteller	1,0 pr. værelse	0
Restauranter	1,0 pr. 10 siddepl.	1,0 pr. 40 siddepl.
Mødelokaler	1,0 pr. 5 siddepl.	1,0 pr. 20 siddepl.
Uddannelser	1,0 pr. 110 m^2	1,0 pr. 450 m^2

Tabel 14.2 Parkeringsbehov, anlæg og reserveudlæg.

Der angives i "Byernes trafikarealer" 13 typetværprofiler for bilveje, hvoraf 5 har p-spor, jf. iøvrigt afsnit 7.3. Om den sagligt rigtige anvendelse af kantstens-p siges:[6]

På veje med hastighedsklasse "Høj" bør parkering ikke tillades, og der bør derfor ikke etableres parkeringsspor eller båse i tilknytning til selve kørebanen.

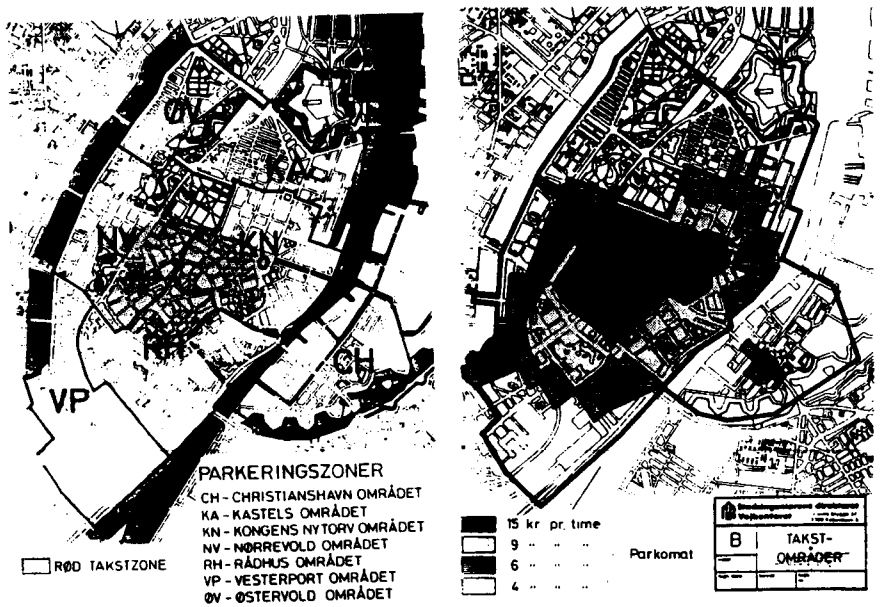
Hvor parkeringsbehovet er stort, og hvor parkering er tilladt hele døgnet, bør der på veje i hastighedsklasse "Middel", og kan der på veje i hastighedsklasserne "Lav" og "Meget lav", afsættes plads til parkering.

Parkeringsspor og -båse for personbiler anlægges normalt i 2,0 m's bredde incl. kantlinie. Under særlig trange pladsforhold kan bredden reduceres indtil 1,8 m. Til lastbiler og busser anbefales en bredde på 2,5 m. Mellem kørebane med tilladt p og cykelsti bør anlægges en langsgående helle på 0,8-1,0 m. (Mange ville mene, at allerede med 0,5 m havde man her gjort en god gerning).

Skråparkering og tværparkering ved trafikerede veje, ved veje med bustrafik og ved veje med hurtig trafik er farlig og bør undgås.

Danske bymidter

Med lidt forskellige afgrænsninger af bymidterne kunne det for nogle år siden siges, at danske byer typisk ikke udnyttede p-kapaciteten i centrum fuldt ud. Kun de allermest centrale pladser var fuldt udnyttet, fx enten fredag aften eller lørdag formiddag. Parkering langs kantsten eller på pladser i niveau var klart mest almindeligt, med visse tidsrestriktioner. Betaling kendtes kun i de to største byer, hvor også udnyttelsen var højest [8,9], jf. i øvrigt figur 14.5.



Figur 14.5 Parkeringszoner og takstområder i Københavns indre by.

Ses på p-tællinger henover ugens dage, kan man ofte konstatere, at den maksimale udnyttelse af butiksparkering er forskudt for den maksimale udnyttelse af parkering ved kontorer, fremstillingserhverv mv. Der er tit så meget "slip" imellem disse toppunkter, at man kan planlægge en betydningsfuld dobbeltudnyttelse af bymidtens pladser, ja, de pågældende pladser udnyttes jo igen i aftentimerne til biograf, teater eller cafeer. Derimod er det noget vanskeligere at lave dobbeltudnyttelse mellem boliger og butikker i bymidten, da de kan have største behov samtidigt. Beboerne i bymidten eller nær denne kan komme i klemme, og som plaster på såret sælger en del byer mærkater til dem, som fritager dem for at følge tidsrestriktioner i deres eget kvarter samt for at betale den eventuelle på stedet gældende p-afgift.

Den mest almindelige politik har været en gradvis overførsel fra bolig-arbejdsplads parkering (langtids) til kunde- og besøgsparkering (korttids). Den parkering, der er blevet fordrevet fra gågader og frilagte torve, er ofte erstattet af pladser i udhulede karréer. P-huse og p-kældre er der få planer om, heller ikke i København, som har mindsket pladsantallet på gadeareal betydeligt. De stadig højere takster muliggør dog samtidig flere p-tilfælde i dagens løb.[10]

14.4 Vejnetplanlægning i åbent land

Vejnetplanlægning omhandler vejnettets udbygning og udformning på lang sigt. Da nyanlæg og ombygning kun årligt omfatter et relativt beskedent antal km af det samlede vejnet, giver det sig selv, at vejnetplanlægning må have en langsigtet karakter. Vejnetplanlægning er endvidere karakteriseret af, at den løbende netjustering må ske i samspil med de allerede eksisterende veje. Fra gammel tid har der eksisteret veje i de vigtigste trafikkorridorer, så en egentlig ombrydning af den eksisterende netstruktur er mere undtagelsesvis. Den vigtigste ombrydning i det danske vejnet i nyere tid er knyttet til etableringen af motorvejssystemet, der set som et samlet projekt vil have strakt sig over mere end et halvt århundrede, når det er færdigetableret år 2000.[11] Man kan imidlertid også tale om netjusteringer, omend af mere regional og lokal karakter ved større "short-cuts" som anlægget af Kirkeåsvejen i Odsherred og ved større omfartsvejsprojekter som fx Ringvejen i Århus.[12]

Vejnetplanlægningen sker med stor hensyntagen til det allerede eksisterende vejnet og typisk med udgangspunkt i lokale og regionale problemer. Et eksempel kan dog gives på, at man har forsøgt generelt at se på det overordnede vejnets udformning, nemlig i forbindelse med opstillingen af "Skitse til Vejplan" fra 1975.[13] Udgangspunktet var her, at man så på trafikrelationerne mellem følgende fem typer af centre, idet landet forinden var opdelt i forskellige områdetyper:

Type 1: *Landsdelscentre* og centre med vigtigere internationale forbindelser (Odense, Århus, Ålborg, Esbjerg, Frederikshavn, Rødby, Padborg).

Type 2: *Regionale centre* (Slagelse, Nykøbing Falster, Åbenrå, Vejle, Herning, Viborg).

Type 3: *Større områdecentre* (Næstved, Holbæk, Svendborg, Sønderborg, Haderslev, Kolding, Horsens, Silkeborg, Holstebro, Randers, Hjørring).

Type 4: *Mindre områdecentre.*

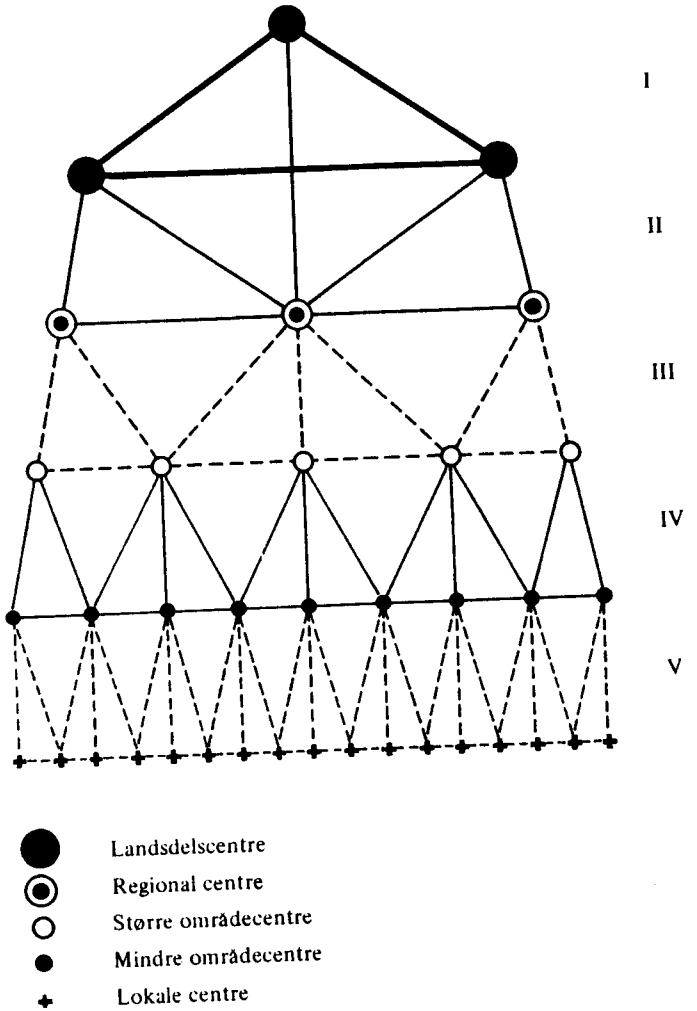
Type 5: *Lokale centre.*

Ved de gennemførte netbetragtninger blev Hovedstadsregionen ikke behandlet. Type 2 centrene er sammenfaldende med de administrative amtscentre, undtagen i Vestsjælland og Ringkøbing amtskommuner, hvor Slagelse og Herning på grund af størrelse blev valgt fremfor Sorø og Ringkøbing. Som større områdecentre, type 3, indgik byer med et handelsopland på over 50.000 personer. Mindre områdecentre, type 4, udgjordes af andre betydende handelscentre, mens de lokale centre, type 5, stort set blev fastlagt ud fra den primærkommunale inddeling.

Med den ovenfor beskrevne centerstruktur tog netbetragtningerne udgangspunkt i diagrammet figur 14.6, hvor der angives primære og sekundære kommunikationslinier. Vejtrafikrelationerne mellem centre type 1, 2 og 3 skulle således betjenes af det primære vejsystem, mens de øvrige vejtrafikrelationer mellem centre type 3, 4 og 5, skulle betjenes af mere sekundære veje i det overordnede vejnet i åbent land.

De funktionelle linier ("desire lines") blev sammenlignet med det eksisterende vejnet. For de tyndt befolkede områder fandt man, at de funktionelle kriterier ikke var tilstrækkelige til at sikre områdernes tilgængelighed til det overordnede vejnet, så ud fra betragtninger om maskevidde og kontinuitet i nettet blev der foretaget forskellige justeringer, og en foreløbig vejnetplan fremkom. Denne vejnetplan blev så i øvrigt anvendt som udgangspunkt for vejplanarbejdet i det enkelte amtsområde med henblik på at opstille en 15 års udbygningsplan for perioden 1975 -1990.

En procedure, som den ovenfor beskrevne, er naturligvis ikke entydig, men indeholder en lang række vurderinger, som samlet kommer til udtryk i den vejnetplan, som er procedurens resultat. Værdien af en vejnetplanlægning af ovennævnte type består i, at der rejses spørgsmål om nettet af overordnet, langsigtet karakter, som så kan debatteres af de involverede parter. Det var da også tilfældet med "Skitse til Vejplan", hvor der for hvert amtsområde var der nedsat et såkaldt vejplanudvalg med repræsentanter fra såvel staten som fra amtsrådet og de kommunale råd.



Figur 14.6 Diagram for funktionel vejklassificering som anvendt i arbejdet med "Skitse t Vejplan" til opstilling af en foreløbig vejnetplan.

Som det er fremgået, har vejnetplanlægningen en meget overordnet karakter. Funktionelle betragtninger ud fra centerhierarkier mv. er naturligvis ikke et tilstrækkeligt grundlag for at opstille langsigtede vejnetplaner. Det er vigtigt, at der sker en samordning med den overordnede fysiske planlægning, som den kommer til udtryk i lands- og regionplanlægningen, ligesom der må ske en tilpasning til de budgetmidler, der er til rådighed samt det prognosegrundlag, der arbejdes ud fra.

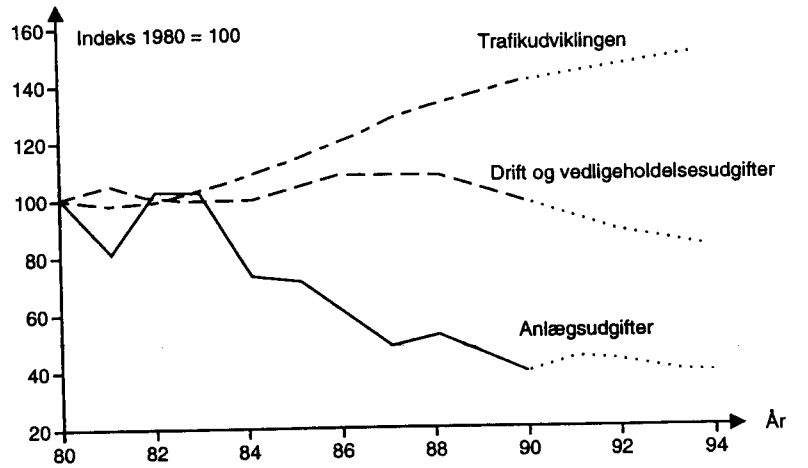
På denne baggrund vil vejnetplanlægningen typisk indgå som en del af et samlet perspektivplanarbejde. Med hensyn til perspektivplaner på det statslige vejområde er der udover "Skitse til Vejplan" fra 1975 udarbejdet "Perspektivplan for hovedlandevejene" fra 1982 samt "Forslag til 10-års program for hovedlandevejsnettet 1992-2001".[14,15]

Sammenligner man de tre perspektivplanarbejder afspejler de den tid, de er udarbejdet i. "Skitse til Vejplan" var en udbygningsplan, hvis mål bl.a. var, at der måtte sikres en acceptabel fremkommelighed på vejnettet igennem en fornuftig udformning af anlæggene, herunder en nødvendig bæreevne af vejbelægningen. Samtidig skulle der til stadighed være et acceptabelt serviceniveau, ligesom rimelighedskrav til sikkerhed og kørselskomfort skulle tilgodeses. I perspektivplanen fra 1982 ses der udover udbygningsprogrammet også på forbedring af forholdene i byer og på forbedring af eksisterende forhold på hovedlandevejene uden for byerne, ligesom den fremtidige drift og vedligeholdelsesindsats indgår. Som selvstændig planrapport udsendtes i 1981 "Hovedlandeveje gennem byer - et idekatalog", som giver en beskrivelse af miljøprioriteret gennemfart som projekttype.[16] Hvor "Skitse til Vejplan" fokuserer på udbygning og "Perspektivplanen" fra 1982 indarbejder nye samfundsmæssige holdninger til hovedlandevejsnettets opgaver, peges der i "10-års programmet" fra 1991 på det fremtidige finansieringsproblem, idet der for perioden 1992-2001 opgøres et behov på 22 mia. kr., mens der med nukendte rammer alene er udsigt til rammer af en størrelsesorden på 14-15 mia. kr. Programmet fremfører, at *denne ubalance kan, såfremt den får lov til at fortsætte langt ind i 90'erne, medføre at dansk erhvervsliv taber terræn til vore konkurrenter.* Der nævnes følgende muligheder for supplering af de offentlige budgetrammer:

- Særafgifter for vejtrafikken, øremærket til vejformål
- Forhøjelse af afgifter ved subsidiebortfald på lastbilområdet
- Betalingsveje/bompenge
- Fælles private/offentlige projekter
- Privat finansiering af renteudgifter i forbindelse med fremrykning af vejprojekter
- Afgifter på grunde, der får bedre beliggenhed

Baggrunden for det opståede finansieringsproblem er i "10-årsprogrammet" illustreret med en oversigt i udvikingen mht. til de statslige vejbevillinger siden 1980 sammenholdt med trafikudviklingen, jf. figur 14.7.

Betegnelsen perspektivplanlægning erstattes sommetider med strategisk planlægning. Sidstnævnte tager dog nok i højere grad end førstnævnte udgangspunkt i planlægningen ud fra et virksomhedssynspunkt dvs. ledelses- eller managementsiden. Sektorplanlægning har på et område som den statslige vejsektor en ganske omfattende karakter, hvilket vil fremgå, hvis man kortlægger alle de aktiviteter i Vejdirektoratet, der enten direkte eller mere indirekte kan relateres til planlægningsopgaven. Med henblik på en bedre forståelse af planlægningsopgaven og dens iboende muligheder og begrænsninger kan den anskues ud fra en mange mål & mange niveauer sektormodel.[17] Vejplanlægningens mange mål er omtalt i kapitel 9, mens forskellige niveauer kommer til udtryk ved, at en bestemt type af planlægningsaktiviteter er en forudsætning ved andre planlægningsaktiviteter. Som eksempel på denne tankegang skal i de følgende afsnit beskrives standardvalg samt prioriteringsmetodik. Fastlæggelse af standard indvirker på de enkelte anlægsarbejde såvel mht. dets anlægsudgift (costs) som dets fordele (benefits) og hermed på dets placering i en given rangfølge, hvor reglen er, at mange projekter konkurrerer om knappe anlægsmidler.



Figur 14.7 Vejbevillinger og budgettal sammenholdt med trafikudviklingen 1980-1994 i vejdirektoratets "10 års-program", fra 1991.

14.5 Standardvalg

I kapitel 7 er der givet en beskrivelse af de danske vejstandarder samt en fremgangsmåde for valg af standard ud fra kapacitetsmæssige overvejelser.

I det følgende skal det beskrives, hvorledes standardvalget kan foretages på et samfundsøkonomisk grundlag, idet der vil blive anvendt principper og metoder fra kapitel 13.

Valget af standard sker ved, at en række mulige vejtyper bestemmes, efter at en indledende planlægning har fastlagt vejklassen. Valget baseres på, at man ønsker at maksimere det samfundsmæssige overskud over en 30 års periode. Ved beregningerne har man valgt at betragte et strækningsudsnit på 1 km ved forskellige trafikintensiteter i vejens åbningsår. Kaldes ændringen i trafikantomkostninger på den eksisterende strækning for G (tids-, kørsels- og uheldsomkostninger) som følge af overflytning af trafik til nyt vejanlæg og trafikantomkostningerne på den nye vej for C og vejbestyrelsens udgift (anlæg samt drift og vedligeholdelse) som følge af nyanlægget for I, fås et samfundsøkonomisk overskud på G – (C + I). Anvendes et nutidsværdikriterium, vil man stille sig tilfreds med, at det samfundsøkonomiske overskud er positivt. Er der imidlertid knaphed på investeringsmidler, kan kravet til det samfundsmæssige overskud mht. en given investering skærpes ved, at det samfundsmæssige overskud ikke blot skal være positivt, men at det skal være større end den pågældende investering multipliceret med en parameterværdi λ. Denne værdi, kapitalknapheden, udtrykker det samfundsmæssige overskud pr. investeret kr., som ikke må underskrides. Der gælder:[7]

$$\begin{aligned} G-(C+1) &\geq \lambda \cdot I \Rightarrow \\ G-[(C+(1+\lambda)I] &\geq 0 \Rightarrow \\ \text{Min.}[C+(1+\lambda)I] & \end{aligned} \qquad (14.1)$$

Det fremgår af (14.1), at den samfundsøkonomisk set bedste vejtype kan findes ved at minimere en objektfunktion, hvor investeringsudgiften til anlæg og vedligeholdelsesudgiften gives et kapitalknaphedstillæg. Denne objektfunktion kan også skrives på følgende måde:

$$OF_{Type} = \sum_{t=1}^{H} \left[(to + ko + uo + (1+\lambda)do) \cdot (1+r)^{-t} \right] + (1+\lambda)ao \qquad (14.2)$$

to: Tidsomkostninger
ko: Kørselsomkostninger
uo: Uheldsomkostninmger
do: Drifts- og vedligeholdelsesomkostninger
ao: Anlægsudgift

H: Tidshorisonten
r: Kalkulationsrenten
λ: Kapitalknaphedsfaktoren

Beregning af de enkelte delelementer er knyttet til beregningsmodeller for d pågældende omkostninger.[7]

Tidsomkostninger

Tidsomkostningerne beregnes på baggrund af trafikanternes årlige tidsforbrug hvert af årene i beregningsperioden. Inden for hvert år regnes med en fordelin af den samlede årstrafik ud fra en årsrangkurve, der giver en rimelig god beskri velse af den pågældende strækning trafikale funktion, jf. iøvrigt kapitel Årstrafikken fremskrives ifølge en valgt prognose for hele beregningsperioder For et givet år beregnes trafikanternes tidsforbrug T i timer på følgende måde:

$$T = \sum_{i=1}^{8760} \frac{N(i)}{V(i)} \qquad (14.$$

N(i): Trafikintensiten i time nr. i ifølge anvendt årsrangkurve[18]
V(i): Middelhastigheden i time nr. i svarende til belastningsgrade $N(i)/N_{Maks}$ for den pågældende vejtype og dens tilhørende hastighed kurve

Tidsforbruget ved at gennemkøre 1 km fremkommer som den reciprokke værd af hastigheden. Det samlede tidsforbrug i den givne time fås ved at multiplice med N(i). Med kendskab til andelen af lastbiler og værdien af en time f henholdsvis person- og lastbiler, jf. kapitel 13, fås den samlede omkostning i givet år, hvorefter beregningen gentages for det følgende år.

Kørselsomkostninger

Kørselsudgifterne bestemmes ved hjælp af et udtryk af følgende form:[19]

$$K = A \cdot V^2 + B\frac{1}{V} + C \qquad (14.$$

V: Middelhastigheden i hvert af årets timer, jf. ovenfor
A,B, C: Sæt af konstanter, som bestemmes for henholdsvis personbiler lastbiler[19]

Kørselsudgifterne bestemmes i de enkelte timer. Ved addition findes omkostni gerne i det enkelte år.

Uheldsomkostninger

Beregningen af uheldsomkostninger, jf. kapitel 11, er baseret på antallet af forventede uheld U i forbindelse med den pågældende vejtype og den aktuelle trafikbelastning:

$$U_f = \frac{U_t}{N \cdot 365} 10^6 \Rightarrow U = U_f \cdot N \cdot 365 \cdot 10^{-6} \qquad (14.5)$$

U_f: Uheldsfrekvensen
U_t: Uheldstætheden (= U ved strækningslængde 1 km)
N: Trafikintensitet (ÅDT)

Uheldsomkostningerne findes ved at multiplicere det forventede antal uheld i det pågældende år med enhedsprisen for personskadeuheld, jf. afsnit 13.3.

Udgifter til drift- og vedligeholdelse samt anlægsudgift

Udgifter til drift- og vedligeholdelse opgøres i et bidrag afhængigt af trafikintensiteten samt et bidrag afhængigt alene af den pågældende type. Anlægsudgifterne opgøres for de enkelte typer, idet de nærmere forudsætninger for den pågældende vejklasse indarbejdes som gennemsnitlige strækningsomkostninger. Alene drifts- og vedligeholdelsesomkostningerne bliver diskonteret i objektfunktionen, da det her er antaget, at anlægsudgiften afholdes samlet. Både anlægsudgiften og drifts- og vedligeholdelsesudgiften gives et tillæg mht. kapitalknaphed jf. (14.2).

Parametre, beregningsgang og beregningseksempler

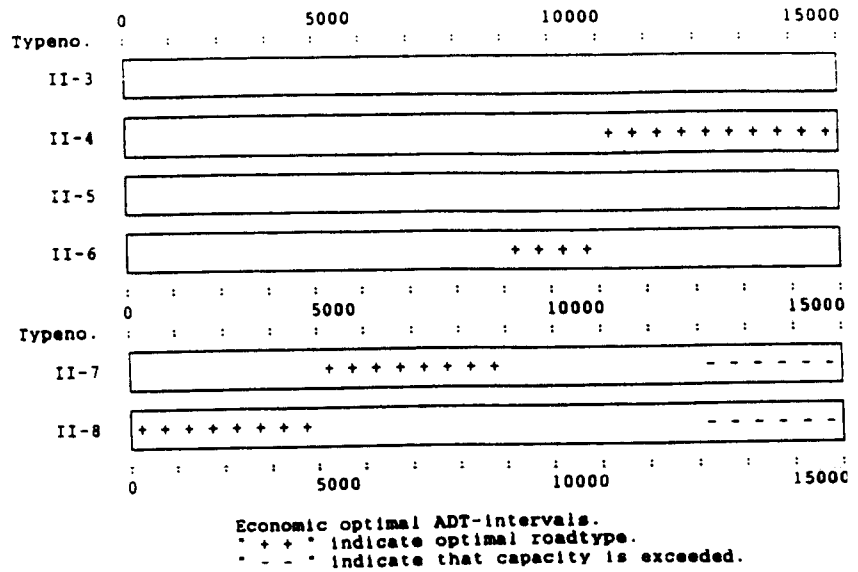
Den samfundsøkonomiske beregningsmodel til valg af vejtype kræver et antal beregningsparametre, som kan opdeles i parametre uafhængige af type og parametre afhængige af den aktuelle type, der regnes på. Til førstnævnte hører eksempelvis prognoseforudsætninger, enhedspriser, kalkulationsrente samt kapitalknaphed, mens sidstnævnte eksempelvis omfatter den pågældende vejtypes parametre til kapacitetsberegning og uheldsberegning samt anlægsudgift.

Beregningsgangen består i, at et antal vejtyper undersøges for et givet interval af trafikintensiteter i åbningsår. For hver intensitet bestemmes så den type, som minimerer (14.2). Der er udarbejdet et PC-program, der kan gennemføre beregningerne.[20,21]

PC-programmet kan bruges til bestemmelse af de trafikintensiteter, hvorunder en given vejtype er samfundsøkonomisk bedst. Beregningsresultaterne kan sammenstilles, så der til hver enkelt trafikintensitet i form af ÅDT i åbningsår knyttes en bestemt vejtype. I figur 14.8 er vist de fundne intervaller for typerne 3 til 8 i

vejklasse II, jf. typebeskrivelser i kapitel 7, under anvendelse af en række standardforudsætninger. Det fremgår eksempelvis af beregningsresultaterne, at en 4-sporet motorvej med smalt profil, type II-4, er optimal med mindst 11.000 ÅDT i åbningsår, mens type II-7, 2-sporet vej med 8 m kørebanebredde, er optimal i intervallet 5.000-8.000 ÅDT i åbningsår.

PC-programmet indeholder en række rapporttyper, som nærmere kan bruges til analyse af beregningsresultater. PC-programmet kan også bruges til at undersøge følsomheden af de enkelte beregningsparametre, ligesom man kan kombinere beregningsparametre til såkaldte scenario-analyser. Heri ligger, at de enkelte parametre ikke kan forventes at variere uafhængigt af hinanden. En langsigtet lavvækstsituation kan fx være kendetegnet af trafiktilvækster på 1% og 2% for henholdsvis person- og lastbiler i stedet for prognoseværdier på 1,6% og 2,6% som er Vejdirektoratets seneste prognose. Kalkulationsrenten kan måske ændres til 9% i stedet for nugældende 7%, ligesom en kapitalknaphedsfaktor på 1 kan være erstattet med 1½. Herved ændres fx den mindste optimale ÅDT-værdi for type II-4, 4-sporet motorvej med smalt profil, til 23.000 fra 11.000 ÅDT i åbningsår hvilket viser, at disse generelle økonomiske parametre har særdeles stor betydning for standardvalget.[22]



Figur 14.8 Samfundsøkonomiske ÅDT-intervaller for vejtyper i vejklasse II med standa beregningsforudsætninger 1990.

14.6 Prioriteringsmetodik

I forbindelse med prioritering af større anlægsarbejder benytter Vejdirektoratet en prioriteringsmetode, som blev udarbejdet i slutningen af 1970'erne ud fra ønsket om at behandle såvel økonomiske som ikke-økonomiske effekter på systematisk vis.[23] På baggrund af den opstillede prioriteringsmetode er der udarbejdet større prioriteringsundersøgelser i 1980, 1981 og i 1984.[24]

En fjerde større prioriteringsundersøgelse er udført i 1992. I forhold til den oprindelige metode beregnes effekten af samfundsøkonomisk at inddrage landbrugsjord til vejformål ikke længere, således at følgende effekter indgår og prissættes i projektvurderingen:[25]

Benefits:

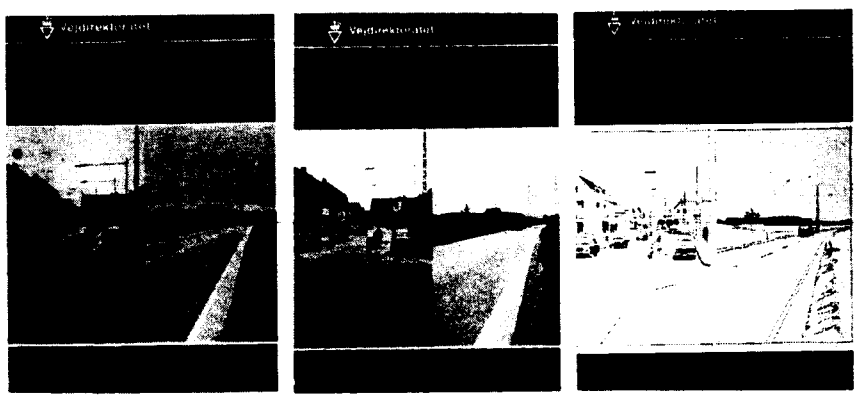
Trafikøkonomiske effekter
- Tid
- Kørsel
- Uheld
- Drift og vedligeholdelse

Miljøeffekter
- Støj
- Luftforurening
- Barriereeffekt og oplevet risiko

Costs:
- Anlægsomkostninger
- Større asfaltarbejder

For hvert projekt gennemføres en FYRR beregning, jf. afsnit 13.2, og de herved beregnede førsteårs projektrenter bruges til at rangordne undersøgelsens projekter.

Til at beregne de enkelte effekter er opstillet en række effektmodeller, og der er i forbindelse med 1992 undersøgelsen opstillet et samlet beregningssystem.[25] Der



Eksempler på prioriteringsrapporter fra Vejdirektoratet.

opstilles en trafikmodel til at beskrive de trafikale ændringer som følge af projektet. I appendix 14.1 er fremgangsmåden for beregning af følgende effekter angivet: drift- og vedligeholdelse, støj, barriereeffekt og oplevet risiko samt luftforurening.

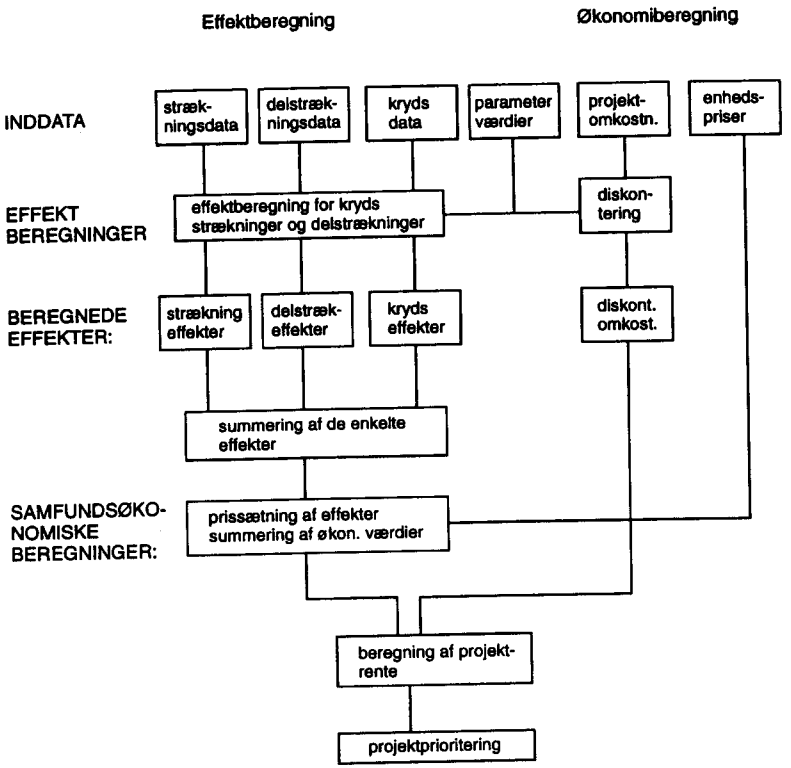
I tabel 14.3 er vist de dataelementer, der indgår i prioriteringsberegningen med angivelse af i hvilke effektberegninger, de anvendes.

Dataelementer	Anvendes i effektberegning for:						
	Rejse-tid	Kør-sels-bejde	Uheld	Drift og vedl.	Støj	Luft-forure-ning	Bar. eff./-oplev risiko
Trafikale data							
Trafikmængde (ÅDT)	X	X	X	X	X	X	X
Lastbilandel i %	X	X			X	X	X
Uheld							
Observerede uheld			X				
Karakterisktika for vejstrækninger							
Strækningslængder	X	X	X	X	X	X	X
Vejbredder			X	X)	X		
Snithastighed					X		X
Rejsehastighed	X						
Vejtype			X	X			
Antal spor			X	(X)			
Fortov/cykelsti							X
Antal fodgængerovergang							X
Karakteristika for kryds							
Antal ben			X				
Kanalisering			X				
Signalregulering			X				
Omgivelsesdata							
Med/uden randbebyggelse			X				
Bebyggelsens art					X	X	X
Støjskærm					X		
Overflades beskaffenhed					X		
Afstand til bebyggelse					X		
Dybde af bebyggelse					X		

X) Alle Veje ekskl. motorveje
(X) Kun for motorveje

Tabel 14.3 Dataelementer til beregning af effekter i Vejdirektoraterts prioriteringsmetode for større hovedlandevejsarbejder.

Med hensyn til den samlede beregningsgang fremgår denne af oversigten i figur 14.9. Som resultat af beregningerne kan for hvert projekt udskrives et resultatskema som vist i figur 14.10



Figur 14.9 Oversigt over beregningsgangen i Vejdirektoratets prioriteringsmetode for større hovedlandevejsarbejder.

Som det er fremgået, er de to hovedelementer i prioriteringsberegningerne effektberegning og prissætning. I Prioriteringsmetode 1992 sker prissætningen uafhængigt af den betragtede pulje. Tidligere anvendtes et princip om, at de samlede benefits for økonomiske og ikke-økonomiske benefits skulle være af samme størrelse for den betragtede projektpulje. Dette princip i kombination med, at den relative fordeling mellem benefits for støj, barriereeffekt og oplevet risiko samt luftforurening skulle være 60%, 30% og 10% bevirkede, at enhedspriserne for de miljømæssige eller ikke-økonomiske benefits kunne bestemmes ved simpel tilbageregning, når alle effektberegninger var gennemført og de økonomiske benefits for alle projekter udregnet.

I kapitel 13 er givet en nærmere beskrivelse af principper og metoder til bestemmelse af enhedspriser. Heraf fremgår, at teorigrundlaget for bestemmelsen af enhedspriserne for de økonomiske effekter er betydeligt bedre end det er tilfældet for de ikke-økonomiske.

PROJEKTNR OG TITEL

EFFEKTER

Type	Enhed	Antal	Kr. pr. enhed	Værdi 1000 kr.
Tid - personbil	Timer			
Tid - lastbil	Timer			
Kørsel - personbil	Km.			
Kørsel - lastbil	Km.			
Uheld	Pers.skadeuheld			
Drift og vedligehold	1000 kr.			
Støj	SBT			
Barriere og opl. risiko	BRBT			
Lokal luftforurening	'Km.'			
Reg. luftforurening	'Km.'			

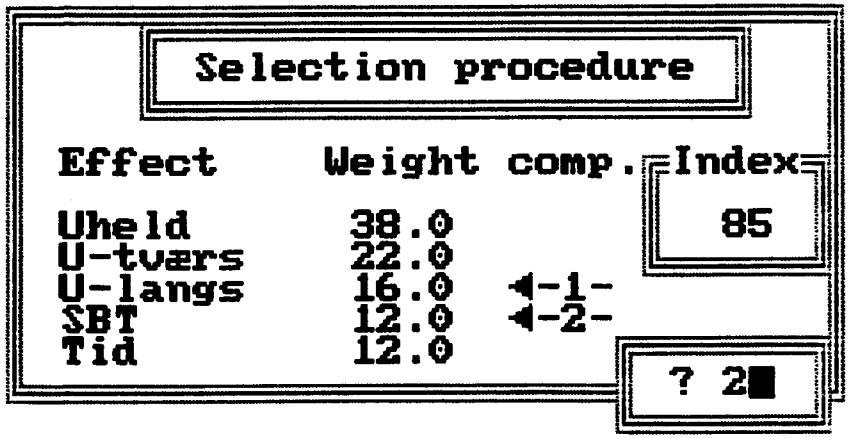
Investeringsudgift:	Diskont. anlægsudgifter 1000 kr.	
	Diskont. asfaltarbejder 1000 kr.	
	Ialt	
PROJ.RENTE	%	

Dato for beregning:	Prognoseår:
	Vækstfaktor (1990-1996):

Figur 14.10 Resultatskema fra Vejdirektoratets prioriteringsmetode for større hovedlandevejsarbejder.

På denne baggrund forekommer det relevant at arbejde systematisk med betydningen af usikkerheden for prioriteringsresultatet dvs. om man trods usikkerhed i enhedsprissætningen alligevel kan udpege projekter i en pulje til igangsætning på et nogenlunde sikkert grundlag.

En metode hertil foreligger med det såkaldte WARP (Weight-And-Rank-Procedure) PC-program.[26] Et vigtigt begreb i forbindelse med metoden udgøres af den såkaldte vægtprofil, som med procenter som vægte angiver den betydning den enkelte effekt skal tillægges i prioriteringsberegningen. Vægtprofilen er konstrueret på en måde, så skaleringen af den enkelte ikke-økonomiske effekt ingen betydning får.[27] PC-programmet indeholder forskellige procedurer, hvormed man kan undersøge rangordningens følsomhed overfor ændringer i vægtprofil og ændringer i prissætning. En procedure indeholder mulighed for fastlæggelse af en vægtprofil gennem parvis afvejning af de indgående effekter i prioriteringsopgaven jf. figur 14.11. I denne forbindelse indgår brugeren i en slags dialog med programmet, idet vægtprofilen opbygges successivt ud fra en udgangssituation, hvor alle effekter har samme vægt. I denne forbindelse får brugeren endvidere et check på, hvor konsistent vedkommende er med hensyn til de parvise afvejninger. Programmet rummer mulighed for at eventuelt at udjævne inkonsistente afvejninger.



Figur 14.11 Eksempel på skærmbillede fra WARP-programmet. Brugeren afvejer to prioriteringskriterier (effekter) i en sekvens af parvise afvejninger.

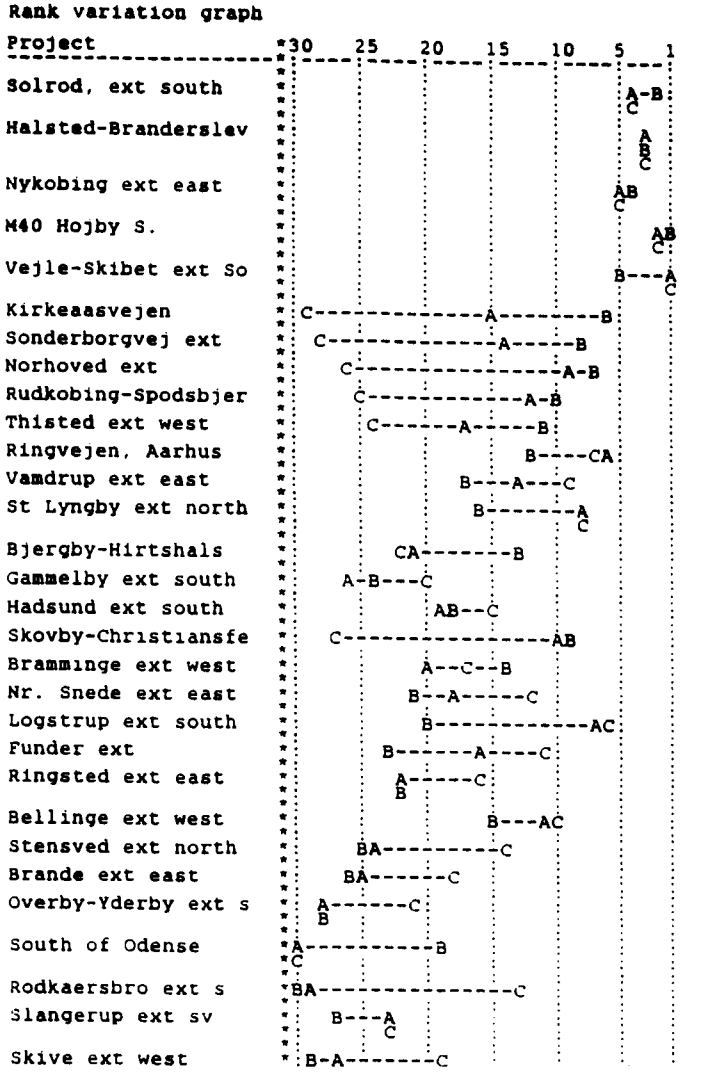
Med WARP kan man ved hjælp af en såkaldt rangvariationsgraf undersøge betydningen af at lægge forskellige strategier til grund for prioriteringen. I tabel 14.4 er for en tidligere prioriteringsundersøgelse angivet tre forskellige strategier, som de kommer til udtryk i form af forskellige vægtprofiler.

Effekt/strategi:	Vejdir. enh.pr. Strategi A	Trafikøkonomi Strategi B	Miljø Strategi C
Tidsbesparelse	34,9%	50,0%	20,0%
Kørselsbesparelse	4,3%	10,0%	2,5%
Uheldsbesparelse	10,8%	15,0%	5,0%
Drift og vedligeh.	3,8%	5,0%	2,5%
Landbrugseffekt	1,9%	2,5%	2,5%
Støjreduktion	27,6%	10,0%	40,0%
Barr. & opl. risk.	13,6%	5,0%	20,0%
Luftforurening	3,1%	2,5%	7,5%
Sum	100,0%	100,0%	100,0%

Tabel 14.4 Tre forskellige prioriteringsstrategier udtrykt gennem vægtprofiler.

Vægtprofilen udtrykker de relative andele numerisk regnet af de samlede benefits i puljen. Stor vægt udtrykker høj indvirkning på rangordningen, hvorved det pågældende indhold af en strategi umiddelbart kan aflæses af vægtprofilens indgående værdier for de enkelte effekter. Strategi A er beregnet ud fra Vejdirektoratets enhedspriser og kan ses som et udtryk for en blandet prioriteringsstrategi med vægt på såvel de trafikøkonomiske som de miljømæssige kriterier. Strategi

B og C kan betegnes som rene strategier, idet der sker en mere ensidig vægtning af henholdsvis de trafikøkonomiske effekter og af miljøeffekterne. De tre strategier er afbildet mht. projektrangfølger i figur 14.12.



Figur 14.12 Rangvariationsgraf fra PC-programmet WARP. A angiver Vejdir. strategi, B angiver en trafikøkonomisk strategi, mens C angiver en miljøstrategi.

En måde at fortolke rangvariationsgrafen på består i at gruppere de indgående projekter i tre forskellige grupper, nemlig en gruppe 1 bestående af projekter, som er højt prioriterede uanset valgt strategi, en gruppe 2 bestående af projekter, der er lavt prioriteret uanset strategi og en gruppe 3, der ændrer rangværdi efter, hvilken strategi, der anvendes. På et sådant grundlag kan man anbefale gruppe 1 projekterne til udførelse. Gruppe 2 projekterne kan henvises til fornyede overvejelser mht. udformning mv., mens gruppe 3 projekternes eventuelle udførelse kan vurderes ud fra det grundlag man har, i form af de aktuelle strategier og tilhørende projektrangværdier. I den forbindelse kan der henvises til afsnit 9.2 om planlægningsforløbet som en søge-lære-forhandle proces.

WARP programmet kan håndtere op til 1000 projekter med op til 10 forskellige effekter. Gennem en dialog med brugeren tilpasses programmet den aktuelle prioriteringsopgave. Programmet er i 1993 anvendt til prioritering af projekter til udbedring af forholdene i byer med gennemkørende trafik, såkaldte miljøprioriterede gennemfarter. Projekterne er vurderet ud fra effekter mht. sikkerhed, tryghed på tværs og langs med vejen, støj samt tidsforbrug. I alt indgik 246 projekter i projektpuljen.[28]

Appendix 14.1 - Effektberegning

Dette appendix er et uddrag af "Undersøgelse af større hovedlandevejsarbejder, Metode for effektberegninger og økonomisk vurdering", Vejdirektoratet, 1992.[25]

Drift og vedligeholdelse

For at vurdere den indflydelse et vejprojekt har på udgifterne til drift og vedligeholdelse, beregnes udgifterne for basisvejnettet henholdsvis projektvejnettet.

Løbende drifts- og vedligeholdelsesudgifter kan opdeles i:

a) Almindelig vedligeholdelse:
reparation af belægning, vedligeholdelse af rabatter mv. samt færdselsregulerende og sikkerhedsfremmende foranstaltninger

b) Vintervedligeholdelse:
snerydning, grusning, saltning mv.

c) Anden vedligeholdelse:
belysning og andre driftsudgifter

d) Brovedligeholdelse

De løbende drift- og vedligeholdelsesudgifter kan beregnes ud fra en række trafikafhængige og -uafhængige variable samt en række enhedspriser. Ud fra oplysninger om udgifter til løbende drift- og vedligeholdelses i 1985 samt oplysningerne om trafikmængder, vejlængder og vejbredder er opstillet formler til beregning af drifts- og vedligeholdelsesudgifterne i 1.000 kr. pr. km vej pr. år som funktion af vejbredden og trafikmængden. Disse formler justeres til det aktuelle års prisniveau ud fra den gennemsnitlige drifts- og vedligeholdelsesomkostning pr. km vej i året.

For motorveje er fundet følgende udstyk (i 1985-prisniveau):

$$\left(120{,}60 + 3{,}11 \cdot \frac{\text{ÅDT}}{1000}\right) \cdot \left(0{,}65 + 0{,}35\,\frac{\text{antal spor}}{4}\right)$$

For andre hovedlandeveje er fundet følgende udtryk (i 1985-prisniveau):

$$\left(44{,}59 + 3{,}26 \cdot \frac{\text{ÅDT}}{1000}\right) \cdot \left(0{,}65 + 0{,}35\,\frac{\text{vejbredde}}{7}\right)$$

Trafikstøj

Trafikstøjens genevirkning beskrives ved et støjbelastningstal. Støjbelastningstallet beregnes ud fra antallet af støjbelastede boliger samt en genefaktor, der beskriver genen ved den pågældende støjbelastning. Metoden til beregning af støjberegningstallet er en forenklet udgave af metoden beskrevet i Vejregle "Støjhensyn ved nye vejanlæg".

Følgende genefaktorer anvendes:

Støjbelastning	55-60	60-65	65-70	70-75	> 75 dB(A)
Genefaktor	0,11	0,22	0,45	0,93	1,92

Støjbelastningstallet SBT udtrykkes således ved følgende formel:

$$SBT = 0{,}11 \cdot B_A + 0{,}22 \cdot B_B + 0{,}45 \cdot B_C + 0{,}93 \cdot B_D + 1{,}92 \cdot B_E$$

hvor

B_A:	antal boliger med støjbelastning i intervallet	55-60 dB(A)
B_B:	"	60-65 dB(A)
B_C:	"	65-70 dB(A)
B_D:	"	70-75 dB(A)
B_E:	"	> 75 dB(A)

Støjbelastningen beregnes efter den nordiske beregningsmodel for vejtrafikst jf. appendix 12.2.

Afstanden fra vejmidten til støjniveauerne 55, 60, 65, 70 og 75 dB(A) bestemmes. Antallet af boliger kan beregnes ud fra kendskab til bebyggelsesintensiteten og afstanden til bebyggelsen:

Villabebyggelse:	10 boliger pr. ha
Tæt lav bebyggelse vinkelret på vej:	20 boliger pr. ha
Etageboligbebyggelse vinkelret på vej:	etageantal · 20 boliger pr. ha
Etageboligbebyggelse og tæt lav parallelt med vej:	etageantal · 100 boliger pr. km vej
Sommerhuse:	8 huse pr. ha

Rekreative byarealer herunder kolonihaver og sportspladser medregnes ikke.

Ved mere specielle bebyggelsesforhold kan bebyggelsesintensiteten vurderes særskilt.

Alternativt er det muligt at optegne støjniveaukurver på et kort eller luftfoto, hvorefter antallet af boliger inden for støjniveaugrænserne kan optælles.

Såfremt der forekommer sommerhusbebyggelse, benyttes samme genefaktorer, idet der dog tilføjes støjbelastningsintervallet 50-55 dB(A) med genefaktor 0,055. Dette skyldes, at sommerhuse er mere følsomme, men til gengæld også benyttes mindre intensivt.

Det samlede antal SBT-enheder beregnes for dels de eksisterende forhold, dels forholdene efter projektgennemførelse. Ændringen af trafikstøjbelastningen udtrykkes ved forskellen mellem antal SBT-enheder.

Barriereeffekt og oplevet risiko

Barriereeffekt (utryghed på tværs af vejen) omfatter de bløde trafikanters mulighed for uhindret og trygt at krydse vejen. Dvs. muligheden for ved gang, cykling mv. at kunne bevæge sig i nærheden af sin bolig og kunne nå butikker, skoler og andre tilbud på den modsatte side af vejen uden hindring fra trafikken. Utryghedsfølelsen vil kunne blive så stor, at den helt afholder folk fra at krydse vejen. Barriereeffekten er således et mål for, dels de behov, der undertrykkes af vejens og trafikkens tilstedeværelse, dels den forsinkelse, omvej og utryghed, der opstår i forbindelse med krydsning af vejen.

Barriereeffekten af en vej opgøres rent beregningsmæssigt som produktet af det potentielle *behov* for at krydse vejen, og den *barrierevirkning* vejen giver.

Behovet for at krydse vejen afhænger af boligernes og byfunktionernes fordeling mellem de to sider af vejen.

Det antages, at behovet for krydsning er proportionalt med strækningslængde og et forenklet udtryk (bebyggelsesvægt) for henholdsvis højre og venstre vej sides krydsningsattraktion/generation. Disse fastlægges ud fra arealanvendelsen og evt. bebyggelseskarakter efter følgende bebyggelsesvægte:

forretninger, offentlige kontorer, skoler og etageboligbebyggelse	4
lav boligbebyggelse (villaer eller tæt/lav)	2
sommerhuse	1
industri og rekreative byarealer	1
ubebygget iøvrigt	0

Det potentielle antal krydsninger af vejen fastlægges herefter ved krydsningsbehov bestemt ved:

$$\text{Krydsningsbehov} = \text{Bebyggelsesvægt}_H \cdot \text{Bebyggelsesvægt}_V \cdot \text{Længde(km)}$$

Vejens barrierevirkning findes ud fra trafikintensiteten, hastigheden, lastbilandelen og antallet af krydsningsmuligheder. Med udgangspunkt i svenske erfaringer og uheldsmetoden er opstillet beregningsformler for barrierevirkningen. Først findes barrierevirkningen ud fra trafikmængde og hastighed ved hjælp af udtrykket

$$0{,}1 \cdot \sqrt{\text{ÅDT}} \cdot \left(\frac{V}{50}\right)^3$$

hvor

ÅDT: Årsdøgntrafikken
V: Snithastigheden i km/h

Den fundne værdi korrigeres for lastbilprocent, og krydsningsmuligheder ved hjælp af udtrykkene:

$$\text{Lastbilkorrektion:} \quad (1{,}87 \cdot \text{La} + 0{,}63)$$

$$\text{Krydsningsmuligheder:} \quad \left(1 - \frac{K}{20 \cdot L}\right)$$

hvor

La: Lastbilandelen
K: Antallet af fodgængerovergange, tunneler og lignende krydsningsmuligheder
L: Længden i km

Den samlede barrierevirkning kan derfor udtrykkes således:

$$\text{Barrierevirkning} = 0{,}1 \cdot \sqrt{\text{ÅDT}} \cdot \left(\frac{V}{50}\right)^3 \cdot (1{,}87 \cdot \text{La} + 0{,}63) \cdot \left(1 - \frac{K}{20 \cdot L}\right)$$

Hvis barrierevirkningen udregnet efter ovenstående formel overstiger 15, sættes værdien i stedet til 15, idet der ved denne værdi antages, at det er umuligt at krydse vejen.

Barriereeffekten kan nu beregnes således:

$$\text{Barriereffekt} = \text{Krydsningbehov} \cdot \text{Barrierevirkning}$$

Oplevet risiko (utryghed på langs af vejen) er indskrænkningen i de bløde trafikanters mulighed for at færdes langs vejen. Utryghedsfølelsen vil kunne blive så stor, at den afholder folk fra at færdes langs vejen.

Den oplevede risiko er således et mål for, dels de behov, der undertrykkes af vejens tilstedeværelse, dels den omvej og utryghed, der opstår i forbindelse med færdsel langs vejen.

Den oplevede risiko for en vej findes som produktet af det potentielle *behov* for at færdes langs vejen og den *risikovirkning* vejen giver og beregnes på tilsvarende måde som barriereeffekten.

Behovet for at færdes langs vejen findes ud fra følgende:

$$\text{Færdselsbehov} = \text{Bebyggelsesvægt} \cdot \text{Længde}$$

Da højre og venstre vejside beregnes hver for sig og lægges sammen, benyttes der kun en risikovirkning, der er halvt så stor som barrierevirkningen:

$$½ \cdot 0{,}1 \cdot \sqrt{\text{ÅDT}} \cdot \left(\frac{V}{50}\right)^3$$

Der korrigeres for lastbilandelen med faktoren:

$$\text{Lastbilkorrektion: } 1{,}87 \cdot La + 0{,}63$$

Der korrigeres ikke for vejbredde og krydsningsmuligheder, men i stedet for tilstedeværelsen af fortov/gangsti og/eller cykelsti ved hjælp af en (C+F)-faktor, som er summen af C og F-faktorer efter følgende retningslinier:

F-faktor		C-faktor	
intet fortov/gangsti	0,5	ingen cykelsti	0,5
kun fortov/gangsti i modsat side	0,4	dobbeltrettet cykelsti i modsat side	0,4
fælles cykel/gangsti	0,3	fælles cykel/gangsti	0,3
fortov	0,1	cykelbane/kantbane	0,2
		cykelsti	0,1

Den samlede risikovirkning for hver vejside kan derfor beregnes således:

$$\text{Risikovirkning} = ½ \cdot 0{,}1 \cdot \sqrt{\text{ÅDT}} \cdot \left(\frac{V}{50}\right)^3 \cdot (1{,}87 \cdot La + 0{,}63) \cdot (C + F)$$

Hvis risikovirkningen udregnet efter ovenstående formel overstiger 7,5, sættes værdien i stedet til 7,5, idet det ved denne værdi antages, at det er umuligt at færdes trygt langs vejen.

Risikoeeffekten for hver vejside kan nu beregnes således:

$$\text{Risikoeeffekt} = \text{Færdselsbehov} \cdot \text{Risikovirkning}$$

Risikoeffekten for vejstrækningen fås ved at lægge risikovirkningen for de to vejsider sammen.

Den samlede virkning af barriereeffekt og oplevet risiko udtrykkes ved barriere- og risikoberegningstallet BRBT, som fås ved at addere målene for barriereeffek og oplevet risiko.

Luftforurening

Det forudsættes forenklet, at den forøgede emission ved høje hastigheder opvejes af formindsket emission pga. jævnere kørsel. Emissionen udtrykkes derfor ved trafikarbejdet ("km") for henholdsvis personbiler og vare- og lastbiler.

Som indikator for den regionale luftforurening anvendes emissionen (trafikarbejdet) direkte.

Den lokale luftforurening udtrykkes normalt ved koncentrationen i luften af forurenende stoffer (immission), som er afhængig af dels emissionen dels baggrundsniveauet. Ved lave trafikmængder er der ikke direkte lokale luftforureningsgener, hvorfor der ikke medregnes effekt ved trafikmængder under 400 i ÅDT.

Genevirkningen er afhængig af, hvor mange mennesker der udsættes for den.

Som mål for den lokale luftforurening anvendes derfor, som udgangspunkt trafikarbejdet for den del af trafikmængden, der ligger over ÅDT 4000, opdelt på person- og lastbiler. For at tage hensyn til den udsathed omgivelserne har foretages der en korrektion afhængig af randbebyggelsens karakter. Der anvendes følgende faktorer, idet faktorerne for de to vejsider lægges sammen:

forretninger, offentlige kontorer, skoler og etageboligbebyggelse	1
lav boligbebyggelse (villaer og tæt/lav)	0,4
sommerhuse	0,2
rekreative byarealer	0,2
industri	0
øvrige ubebyggede arealer	0

Kørselsomkostninger ekskl. afgifter		
Personbiler		0,83 kr/km
Lastbiler		1,06 kr/km
Tidsomkostninger		
Personbiler		51,17 kr/h
Lastbiler		149,65 kr/h
Trafikuheldsomkostninger		
Pr. rapporteret personskadeuheld		1.181.000 kr
Miljøomkostninger		
Støjomkostninger		34.300 kr/SBT*
Luftforureningsomkostninger		
Personbiler	Lokal luftforurening	0,22 kr/km
	Regional luftforurening	0,11 kr/km
Lastbiler	Lokal luftforurening	0,65 kr/km
	Regional luftforurening	0,32 kr/km
Barriereeffekt og oplevet risiko		9.520 kr/BRBT**

* Støjbelastning
** Barriere- og risikobelastningstal

Tabel 1 *Oversigt over enhedspriserne i 1992. Disse priser er anvendt af Vejdirektoratet igennem 1994.*

Litteratur

1 Jones, Peter og Hervik, Arild, Restraining Car Traffic in European Cities: An Emerging Role for Road Pricing, Transportation Research A, Vol. 26A, No. 2, 1992.

2 Thost, Per, Trafik og miljø - danske erfaringer, 1-2, Dansk Vejtidsskrift 1990:5, 1991.

3 NVF ad hoc udvalg: Transport i større byer, De større byers situation og midler til at forbedre den, Nordisk Vejteknisk Forbund rapport 1:1991, København., 1991

4 Trafik og kommuneplanlægning, Kommuneplanorientering nr. 10. Planstyrelsen, København, 1984

5 Miljø og trafik i kommuneplanlægningen, Planstyrelsen, København, 1992.

6 Byernes trafikarealer, 17 hæfter, Vejregeludvalget, København, 1989.

7 Typekatalog for nye veje og stier i åbent land. Vejdirektoratet, 1981.

8 Munch-Andersen, Robin, Parkering i bykerner - parkeringsmønster og parkeringsbehov, Dansk Vejtidsskrift 1984: 4-5., 1984

9 Larsen, Flemming og Henrik Hvidtfeldt, Parkerings behov i ældre, tætte bydele, Dansk Vejtidsskrift 1987: 10, 1987.

10 De skal altså ikke holde herinde hele dagen, Stadsingeniørens direktorat, Grøn Bølge, 1990.

11 Rallis, T. & Helk, U., Motorvejenes historie i Danmark, tidsskriftet Asfalt, dec. 1991.

12 Prioritering 1981, Vejdirektoratet, 1981.

13 Skitse til Vejplan, Vejdirektoratet, 1975.

14 Perspektivplan for hovedlandevejene, Vejdirektoratet, 1982.

15 Forslag til 10-års program for hovedlandevejsnettet 1992-2001, Vejdirektoratet, 1991.

16 Hovedlandeveje gennem byer - et idekatalog. Vejdirektoratet, 1981.

17 Leleur, S., The Road Administration conceived as a Multi-Level-Multi-Goal (MLMG) System and the Impact on Strategic Management and Planning, Proceedings 11th IRF World Meeting, 1989.

18 Klitholm, C. & Leleur, S., Vurdering af differentierede årsrangkurver. Vejregelsekretariatet, Vejdirektoratet & Institut for Veje, Trafik og Byplan, DTH, 1988.

19 Berthelsen, K., Kørselsomkostninger, eksamensprojekt, Institut for Veje, Trafik og Byplan, DTH, 1989.

20 Jensen, L. & Lund-Sørensen, P., Samfundsøkonomisk vurdering af vejtypevalg, eksamensprojekt, Institut for Veje, Trafik og Byplan, DTH, 1990.

21 Jensen, L. & Leleur, S., Brugerhåndbog til PC-programmet Vejtypevalg. Institut for Veje, Trafik og Byplan, DTH, 1990.

22 Leleur, S., Type Select - A PC-based Model for Optimal Road Type Selection. Transportation Research Board, Annual Meeting, 1992.

23 Skitse til prioriteringsmetode for større hovedlandevejsarbejder, Vejdirektoratet, 1980.

24 Prioriteringsundersøgelse for større hovedlandevejsarbejder 1979, Prioritering 1981 & Prioritering 1985-87, Vejdirektoratet, 1980, 1981 & 1984.

25 Undersøgelse af større hovedlandevejsarbejder - Metode for effektberegninger og økonomisk vurdering. Vejdirektoratet, 1992.

26 Jensen, P. & Leleur, S., WARP Weight And Rank Procedure - A PC Software Package for Planning and Decision-Making of Multi-Criteria Transport Investment Problems. Institut for Veje, Trafik, og Byplan, DTH, 1989.

27 Leleur, S., WARP - A PC-Based Model for Project Ranking: Systematic Assessment of Economic & Non-Economic Impacts in Transport Investment Planning. World Conference on Transport Research, 1992.

28 Veje til bedre byer - sammenfattende notat, Vejdirektoratet, udarb. af COWIconsult, sept. 1993.

Kapitel 15

Planlægning for let trafik

Af Jan Grubb Laursen

15.1 Persongrupper

Den primære opdeling af de lette trafikanter kan se således ud:

fodgængere, handicappede, cyklister og knallertkørere

Fodgængere er vi allesammen, forsåvidt vi ikke har så alvorlige funktionsnedsættelser, at vi ikke kan gå. Der findes ingen skarp og almengyldig definition på handicap. Man taler som oftest om alvorlige funktionsnedsættelser med hensyn til selvstændigt at bevæge sig i trafikken. En kørestolsbruger vil trafikteknisk set være at betragte som en fodgænger.

Cyklister definerede man på et tidspunkt som personer, der har en cykel og bruger den. Knallertkørere kan man praktisk definere efter samme princip. Antallet af handicappede i relation til transport kan skønsmæssigt antages at være:[1]

- blinde ca. 0,2% af befolkningen, synshæmmede ca. 2%
- døve ca. 0,1-0,2%, hørehæmmede ca. 10-15%
- kørestolsbrugere ca. 0,4-0,6%, andre bev. hæmmede 6-7%
- reduc. armfunktion ca. 0,2%, løfte-skubbe funkt. 3-4%
- manglende koordineringsevne ca. 2%

Ofte antager man groft, at 10-12% af befolkningen har permanente vanskeligheder overfor transport. I trafikplansammenhæng peges ofte på, at næsten ligeså mange har tilsvarende, men midlertidige vanskeligheder, således børn, ældre, sygdomssvækkede, gravide m.fl. Personer, der ikke kan gå, kan i antal svare meget omtrentlig til den del af befolkningen i Hovedstadsområdet, som er tilmeldt specialtransport med HT, ca. 0,25%.[1]

Cyklisterne udgjorde i 1975 ca. halvdelen af befolkningen (for skolebørn drejede det sig om over 90%), mens knallertkørerne var ca. 10%.[2,3] I mellemtiden er cyklisterne vokset noget i antal, mens knallertkørernes tal er svundet dramatisk ind. Sidst i 1970'erne blev tallet af forsikringstilmeldte knallerter halveret. I begyndelsen af 1990'erne var tallet ca. 150.000.

Den lette trafiks omfang

Da der findes relativt få tællinger af den lette trafik, har det været meget vanskeligt at opstille modeller til forudsigelse af dens omfang. Det følgende er derfor nogle meget generelle vendinger. Let trafik er sæsonfølsom og vejrfølsom. For cykeltrafik nævnes ofte en faktor på 2 mellem vintertrafik og sommertrafik. Der findes kun få tal for vejrfølsomheden, da det kræver en betydelig specifikation af de nærmere omstændigheder ved vejret.

En række af de indgående sammenhænge i cykel- og fodgængertrafikkens variation er kendte, men hidtil på en så vag facon, at almindeligt brugelige prognosemodeller ikke har kunnet opstilles. Vejr og klima spiller ind som ovenfor nævnt. Hertil kommer terræn, hvor stærk bakkethed virker negativt, opfattelse af at cykling det pågældende sted er farlig virker negativt, hvorimod grad af separation fra biltrafikken virker positivt (altså stinettets omfang), men der er stor usikkerhed om, hvor stærk denne virkning er. Hertil kommer lokalsamfundets type (fx megen cykling i industribyer og universitetsbyer). Endelig eksisterer der nogle meget stærke kulturelle træk, hvor der hidtil har været ganske store forskelle mellem Nord- og Sydeuropa.



I København er cykeltrafikken stor.

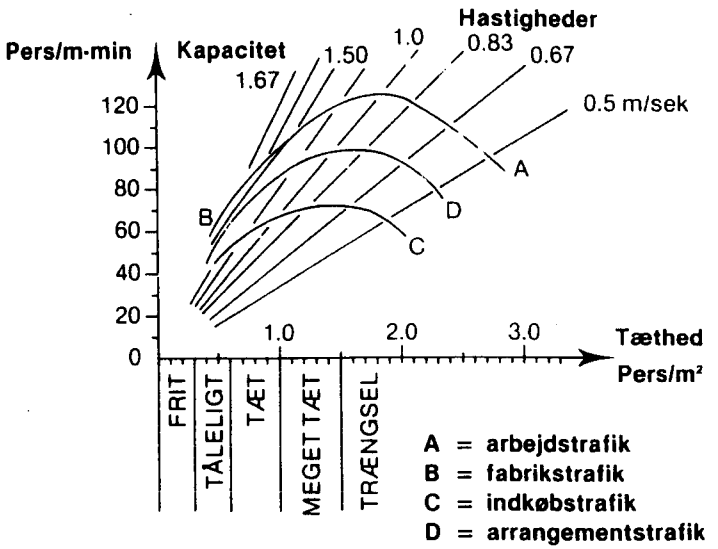
15.2 Trafiktekniske karakteristika

Fodgængerhastigheder

På en travetur kan man klare ca. 5-6 km/h svarende til ca. 1,5 m/sek. I trafikteknisk sammenhæng er ganghastigheden særlig vigtig i forbindelse med sikkerheden i signalregulerede kryds, samt ved overvejelser om kapacitet. I signalreguleringer er det navnlig de hurtige fodgængere og de meget langsomme, der tiltrækker sig opmærksomhed, fx ældre, bagagetyngede, eller voksne med barnevogne eller i følge med små børn.

Figur 15.1 fortæller bl.a., at formålet med gangturen (indkøb, komme på arbejde mm.) har stor indflydelse på afviklingen.[15] Ældre fodgængeres hastigheder ligger typisk fra ca. 0,5 m/sek og opefter. Modsatrettede, krydsende strømme eller udstillinger, hindringer som kantsten, trapper mm. bevirker væsentligt mindre hastigheder.

For bevægelseshæmmede, særlig stærkt gangbesværede, kan forekomme ganghastigheder under 0,5 m/sek, og signalreguleringer kan derved blive en næsten uoverstigelig hindring. Kørestole, elektriske eller hånddrevne, vil derimod almindeligvis kunne følge med.



Figur 15.1 Kapacitet af fortove som funktion af fodgængerhastighed, tæthed og trafikkens art, baseret på Oedings målinger.

Cyklisthastigheder

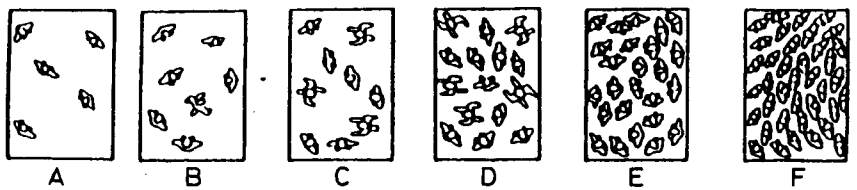
Danske cyklisters hastigheder er i gennemsnit i bytrafik ca. 20 km/h på vandret terræn.[4] Der er en lille forskel mellem hastigheden på cykelsti: 18 km/h, i forhold til hastigheden, hvor der er cykelvej, dvs. cykelsti i selvstændig linieføring, eller på kørebane uden cykelsti: ca. 21 km/h. Spredningen i hastigheden er stor, fra ca. 13 til ca. 30 km/h. Ved gennemkørsel af kryds, hvor cyklisten ikke skal vige for anden trafik, reduceres hastigheden kun lidt.

Vejreglerne "Byernes trafikarealer" arbejder med en dimensionerende cyklisthastighed på 16 km/h.[5] Nye målinger tyder imidlertid på, at hastigheden faktisk er steget i de senere år - svarende til cyklisternes stigende anskaffelse af lette cykler med 5 eller flere gear.[4] Da de højeste cyklisthastigheder grænser op til knallerthastigheder (max. tilladt 30 km/h), er det en betydelig udfordring for trafikteknikeren at muliggøre disse hastigheder, *eller* at finde udformninger, der begrænser farten. Hastigheden spiller navnlig en rolle ved vurdering af signalanlæg, kapacitet, bremseevne og oversigtsarealer.

Kapacitet og serviceniveau for fodgængeranlæg

I mange tilfælde kan fodgængeranlæg blive udnyttet fuldt ud omend måske kort tid af gangen, fx fortove, perroner, trapper, forhaller og andre områder i trafikterminaler, sportsanlæg, centrale butiksstrøg, forlystelsessteder mm. Man har derfor arbejdet en del med kapacitet, ganghastighed og lignende fænomener. Selve observations- og tællearbejdet er noget mere kompliceret end ved den meget veldefinerede biltrafikafvikling og den nogenlunde veldefinerede cykeltrafikafvikling. Fodgængere bevæger sig jo i alle retninger uden bestemte baner; i een pêle-mêle.

For fodgængerstrømme i een retning er foreslået kapacitet og et serviceniveaubegreb i amerikansk litteratur[6,7] og i norske, citeret i IVTB rapport 34.[8], jf. tabel 15.1 mht. talmæssige grænser. I den amerikanske er tæthedens indflydelse på serviceniveauet illustreret med nogle ideogrammer, jf. figur 15.2.



Figur 15.2 Ideogrammer for fodgængernes serviceniveauer.

		A	B	C	D	E
USA[1]	brøkdel af kapacitet	0,08	0,28	0,40	0,60	1,00
	fodg./h/m bredde	400	1400	2000	3000	5000
USA[2]	brøkdel af kapacitet	0,27	0,35	0,58	0,80	1,00
	fodg./h/m bredde	1350	1760	2940	4070	5060
N[3]	brøkdel af kapacitet	-	0,27	0,54	0,77	1,00
	fodg./h/m bredde	-	1440	2940	4140	5400

[1] Fra Carter & Homburger (1976)
[2] Fra Transportation Research Board (1985)
[3] Citeret i Herrstedt (1981). De norske værdier er egentligt betegnet kvalitetsniveau A,B,C,D

Tabel 15.1 Serviceniveauer for fodgængeranlæg, hvor alle går i een retning.

Kapacitet og serviceniveau for cykelanlæg

Da det er sjældent, at cykelstier er fyldt til bristepunktet (man kan dog forestille sig motionsløb og cyklistdemonstrationer), har man ikke i Europa gjort meget ud af at finde kapaciteten. Det følgende tager udgangspunkt i et amerikansk arbejde[7,9], og sammenligner det med danske[10,11], svenske[12], kinesiske[13] og hollandske[14] resultater.

De amerikanske forslag tager udgangspunkt i målinger af sammenhæng mellem cyklisttæthed (cykler/m^2) og snitmiddelhastigheden på cykelstier af forskellige bredder. Svarende til situationen for biler falder middelhastigheden i cyklistrømmen med voksende antal cyklister, efterhånden som den enkelte cyklists pladsforhold og overhalingsmuligheder indskrænkes. Ved stadig stigende tæthed ender man med tidvise stop, pulserende strøm, cyklister der må trække cyklen, og - trods meget høj tæthed - en væsentlig mindre strøm end før.

Idet de forskellige resultater kan regnes om til én meters effektiv bredde, kan der opstilles et forslag til serviceniveauer (jf. kapitel 3 om fri strækning), som er vist i tabel 15.2 med de europæiske og kinesiske resultater indsat.

Antages disse målinger at være sammenlignelige, er det altså sjældent, at man har lejlighed til at observere de helt pressede strømme med lave serviceniveauer (D-E). Den amerikanske max. kapacitet på 2600 cykler/h/m bredde opnås ved hastigheder på ca. 11-13 km/h. Ved hastigheder derunder bliver strømmen ustabil og ved hastigheder på 5-7 km/h begynder en del cyklister at stå af. Dette kunne egentligt, jf. serviceniveaubeskrivelse for biltrafik i afsnit 3.2, svare til serviceniveau F, men det er valgt for både fodgænger- og cykeltrafik i dansk sammenhæng alene at anvende niveauerne A-E. De allerhøjeste af de hollandske tal er væsentligt over øvrige tællinger, men er ikke medtaget her.[14]

	A	B	C	D	E
Brøkdel af kapacitet[1]	0,33	0,50	0,75	0,90	1,00
Cykler[1] (antal/h/m bredde)	860	1300	1950	2340	2600
Danske tal[2] "		1000	1500		2600
Svenske tal[3] "			1500		
Kinesiske tal[4] "			1800		
Hollandske tal[5] "					2900

[1] Fra Smith (1976) og Transportation Research Board (1985), anbefalede værdier
[2] Fra Min. f. Off. Arb. (1943) og Laursen (1992a), C værdi anbefalet og E værdi talt
[3] Fra Statens Vägverk (1977), anbefalet værdi
[4] Fra Zhao (1987), talt værdi
[5] Fra Botma & Papendrecht (1991), talt værdi

Tabel 15.2 Serviceniveauer for cykeltrafikanlæg.

Ved cykelkørsel i blandet trafik, altså hvor der ikke er cykelsti eller cykelbane, er kapaciteten set fra cyklistside mindre, idet de forskellige trafikanter er til gene for hinanden. Dette gælder naturligvis også dobbeltrettede cykelstier eller kombinerede cykel- og gangstier, se i øvrigt stitypernes tværprofiler i afsnit 7.2.

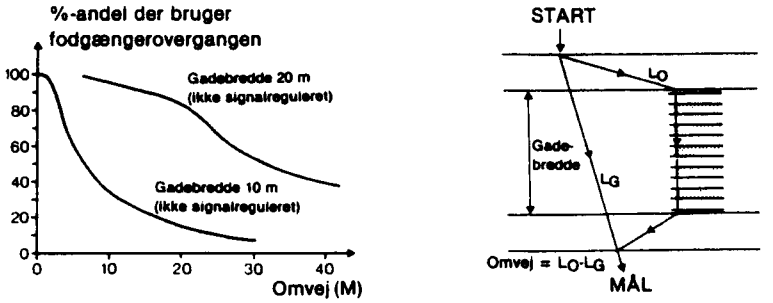
15.3 Adfærd

Fodgængere

At bevæge sig til fods er den oprindelige og "naturlige" måde at bevæge sig på - alligevel er vi som teknikere ofte ganske fremmede overfor fænomenet.

Fodgængere betragtes ofte i trafikteknik/trafikplanmæssig sammenhæng som vanskelige at styre. Dette skyldes bl.a. deres store bevægelighed "i det små", deres modstand mod at blive påtvunget kedsommelige omveje, og deres interesse for butikker, udsigter, folkeliv og mange andre ting, som ikke alene vedrører det at komme fra A til B. Mange af dem kan også siges at være i forholdsvis dårlig skoling som trafikanter, fx børn og gamle, som kan have besvær med færdselsregler og trafikrytmen.

De kvaliteter, som fodgængerne efterspørger, kan sammenfattes i begrebet netsammenhæng, hvilket udtrykker, at de for fodgængertrafikken egnede anlæg (stier, fortove, overgange, tunneler mv.) hænger sammen i sikkerhedsmæssig (mod trafik, mod voldsmænd), i komfortmæssig (jævn fast belægning, brede strøg), i oplevelsesmæssig (orientering) forstand, i niveaumæssig forstand (bl.a. af hensyn til gangbesværede og kørestolsbrugere) osv.[4,15] Kan vi som teknikere



Figur 15.3 Eksempel på fodgængeres omvejsfølsomhed.

ikke stille dette sammenhængende net til rådighed, vil fodgængerne omgå vore løsninger og finde egne veje, måske til stor fare/ulempe for dem selv eller trafikken iøvrigt. Et klassisk eksempel er trafiksikre foranstaltninger, som tunneler og broer, som i sig selv kan være udmærkede, men som ikke udnyttes, fordi fodgængerne opfatter dem som omvejskrævende, udsatte, besværlige eller unyttige, jf. figur 15.3.[15]

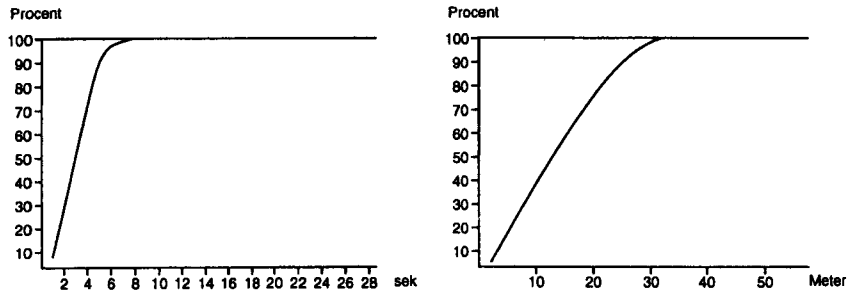
Problemer, der er tæt på ovennævnte omvejsproblem, findes ved signalregulerede fodgængerovergange, tunneler og broer, midterrabatter med hegn mod krydsende fodgængere og andre indretninger, der sigter mod at kanalisere fodgængerne hen til sikre krydsningspunkter.

Det omvendte af begrebet netsammenhæng kan siges at være begrebet "barriereeffekt". Barriereeffekt er virkningen af en hindring for fodgængernes frie færdsel, fx en stor eller hurtig biltrafikstrøm, meget brede gader, hegn, absolutte barrierer som floder eller jernbaner mv. Det er dog et omstridt begreb, der på grund af sin mangetydighed og vanskelige måleforhold er noget svært at anvende kvantitativt i praktisk planlægning. Det er dog forsøgt i forbindelse med prioritering af vejprojekter, jf. appendix 14.1.

Cyklister

Cykling er en enkel, smidig og næsten forudsætningsfri måde at færdes på - næsten ligesom færdsel til fods. Det er dog karakteristisk, at cyklister i bytrafik sætter hurtig kørsel af korteste rute, uden stop, særligt højt - ofte på bekostning af sikkerhed, komfort, oplevelse, frisk luft mv.

Svarende til ved fodgængertrafik møder vi også ved cykeltrafik problemer med at sikre, at de trafiktekniske anlæg bliver anvendt som forudsat ved projekteringen. Hvis en cykelstis benyttelse kræver omvejskørsel - eller cyklisten ikke kan gennemskue *om* den er en omvej - så benyttes den ikke (fx en dobbeltrettet sti i



Figur 15.4 Eksempel på den brøkdel af cyklister, der standser for gult lys, som funktion af deres tidsafstand til signalet (venstre figur) eller afstand (højre figur), da lyset skiftede fra grønt til gult.

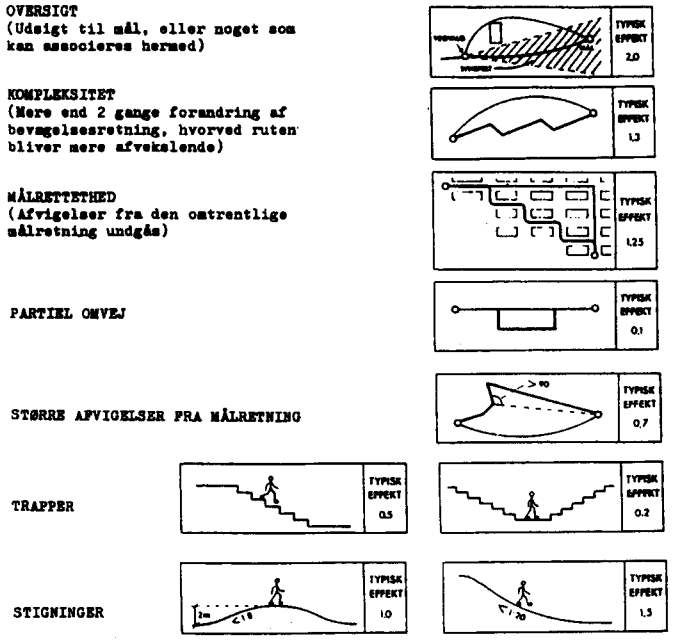
den anden vejside eller en sti, der ligger et stykke væk fra vejen). Svarende til eksemplet med fodgængernes skepsis overfor overgange, signaler og tunneler, har vi en del erfaringer med cyklisters adfærd ved signalregulerede kryds, se iøvrigt figur 15.4.[4] Ikke alle cyklister stopper ved det røde lys i almindelige kryds, og især ved de såkaldte Ø-løsninger (hvor bilernes højresvingsbane krydser cykelstien lidt før det egentlige kryds) eller kryds med dobbeltrettede stier, ræsonnerer cyklisterne noget anderledes end trafikteknikerne.

15.4 Rutevalg

Fodgængere

Fodgængerne er i sagens natur meget afstandsfølsomme - næsten alle ture er under 2 km længde. De følger derfor korteste, hurtigste og mest jævne rute. Der er dog en række variationer i forhold til denne simple regel. Den svenske forsker Lövemark har studeret fodgængernes præferencer.[16] Han fandt, at fodgængernes rutevalg påvirkes af den oplevede afstand, graden af trafikadskillelse, rutens afvigelse fra hovedretningen til målet, om målet eller punkter undervejs kan ses, samt hvilken form for gadenet eller stinet man færdes i. Lövemark udtrykker det ved at en given rute forholdsmæssigt tiltrækker flere fodgængere end man skulle tro ud fra dens længde alene. På skitserne i figur 15.5 er den målte rute vist med kraftig streg, de andre med tyndere.[16]

Resultaterne bygger på et begrænset materiale, men er til dels bekræftet af japanske resultater.[17]



Figur 15.5 Typiske effekter på fodgængertrafikken af forskellige udformninger.

Et særligt rutevalgsproblem er nævnt i SBI-Byplanlægning nr. 45, idet undersøgelser har vist, at separate stier i boligområder opfattes som risikofyldte mange fodgængere og cyklister, risiko i betydningen støj og fare fra hurtige trafikanter som knallerter samt overfaldsrisiko.[18] Brugen af disse i sig selv trafiksikre anlæg kan i kraft heraf reduceres alvorligt.

Cyklister

Cyklister i bytrafik følger som allerede nævnt hurtigste og korteste rute - så kl som de nu kan vurdere det - også selvom den på andre måder ikke er d "bedste". Det er også kendt, at mange cyklister i landområder, fx feriecyklist kører på de mest trafikerede veje, selvom der findes sikrere alternativer (mang information?), men dette er vistnok ikke talmæssigt undersøgt.

For byer findes grundige interviewundersøgelser, som giver nær ens resultater.[2,19] Ca. ¾ af alle cyklisterne i den ene undersøgelse havde kørt korteste r Kun en mindre del havde også taget hensyn til rutens grad af sikkerhed tilstedværelse af cykelsti og signalregulering. Den næste virkeligt store fakt

rutevalget var, at man havde ærinde på ruten. Den anden undersøgelse viste bl.a., at cyklister oftere end biltrafikanter og kollektive trafikanter sammensætter turkæder, altså klarer flere ærinder på en tur.

I Lund undersøgte man en rute, som manglede et led på vejen fra et forstadsboligområde til centrum/universitetet.[20] Ved at tilvejebringe dette led fik man en kraftig stigning i trafikken på ruten i forhold til nærliggende gader, og en yderligere stigning, da kompletteringen blev opreklameret i boligområdet.

Svarende hertil har en cykelrute i Århus tiltrukket mange cyklister fra det almindelige gadenet ved "oprustning" af ruten og gennemførelse af en informationskampagne. Cykelruter i Odense er anlagt i sammenhæng med centrumstrafikkens omlægning og har ligeledes tiltrukket mange cyklister. Omvendt har cykelruter i Herning og Helsingør, som ikke kan siges at give cyklisterne afgørende ny fremkommelighed, men nok et mere markant anlæg at færdes på, kun ændret cykeltrafikmængderne ubetydeligt - her trods informationskampagne.[21]

Summen heraf synes at være, at cyklister følger store gader, fordi de tror, måske ved, at disse er mest direkte, og ofte fordi de har ærinder langs dem. Vil man flytte cyklister til andre ruter, skal de kunne konkurrere på direktehed først og fremmest, men også på målantal (funktionsindhold), på sikkerhedstilbud, på miljø mm.

15.5 Planlægningselementer

Karakteristika ved opgaven

Dansk tradition tilsiger, at der bør være anvendelige gangstier, som oftest fortove, i alle byområder; samt cykelstier, som knallerter som oftest også kan benytte, i selvstændig linieføring eller langs veje med hurtig og stor biltrafik. At lade den lette trafik få egne arealer, og inkludere dette hensyn i trafikplanprocessen, er dermed ofte en helt naturlig ting.

Kun sjældent er stier og fortove så hårdt belastede, at der skal regnes på kapacitet og serviceniveau. Det bør dog haves for øje ved anlæg med stærkt svingende eller forventelig høj trafikbelastning (strøggader, trafikterminaler, udflugtsmål mv.). Da let trafik ofte rummer børn og ældre, evt. handicappede, har planlæggeren også stærkere hensyn at tage omkring beskyttelse, sundhed, oplevelse mm. end, når talen er om biltrafik.

Hovedprincippet i planlægningen er dermed at tilvejebringe forbindelser for de lette trafikanter, enten adskilt fra biltrafikken og måske fra hinanden, eller med en grad af sameksistens, hvor tålelige vilkår opnås ved forskellig grad af hastighedsdæmpning. Nettet for den lette trafik kan sammensættes af mange slags forbindelser, hvor netsammenhængen mht. sikkerhed, orientering, direktehed mm. er vigtigst.

I et publiceret udkast "Stiplanlægning" fra Vejdirektoratet, der er udarbejdet til planlægning langs hovedlandevejene, er planlægningsprocessen opstillet som følger:[22]

- behovsudpegning eller lokalisering af strækninger
- opstilling af alternative løsningsmuligheder
- konsekvensanalyse og valg af løsning
- tidsmæssig prioritering af anlæggene

Den første og sidste fase her er nok mest nødvendig i en hovedlandevejssammenhæng, hvor et stort antal delstrækninger kan komme på tale, og kan konkurrere om de samme investeringsmidler. De to midterste faser vil være aktuelle i formodentlig enhver planlægning af let trafik. Vejledning omkring disse faser kan findes i en ikke særligt velkoordineret litteratur, bl.a. de anvendte referencer.[5,8,22,23,24]

Netplanlægning - strækning

Strækningerne i et færdselsnet for den lette trafik vil i byområder kunne deles i hovedstier og lokalstier.[5] I landområder vil man næppe skelne på samme måde, men snarere mellem trafikstier og rekreative stier, alt efter strækningens karakter og hovedformålet med dens anvendelse. Den føromtalte "Stiplanlægning" samt "Vejtypekataloget" har hovedsagelig trafikstier for øje.[22,23]

Der kan være tale om 3 hovedtyper:

- separate stier
- stier langs veje
- ruter ad lokalveje

Disse kan igen uddetaljeres i:

- separate stier
- stier langs veje: dobbeltrettede, enkeltrettede, på delt fortov, som maled cykelbaner på kørebanen (evt. et særligt bredt højre kørespor)
- ruter ad lokalveje: trafikdæmpede veje, parallelveje, cykelgader, gågader, cyke + busgade, cykling mod ensretning

Disse anlæg kan være fællesstier, dvs. cyklister, fodgængere og eventuelt knaller ter deler arealet, eller delte stier, dvs. der er markering evt. skillerabat mellen kørende og gående. De kan også være for en enkelt af færdselsarterne alene Handicappede anses for gående. Kørestole, der kan bevæges med mere en

ganghastighed, skal dog benytte cyklistarealerne. Om knallerten skal afvises ved skiltning, afhænger af de lokale miljøforhold og bebyggelsen. Brug af cykelbaner og baner til cykling mod ensretning er (naturligvis) ingen løsning for fodgængere i byområder, men under landlige forhold er reglen, at fodgængere skal bruge cykelstien og eventuelt ligeså en malet cykelbane.

Netplanlægning - kriterier

Da behovet for cykeltrafik og gangtrafik-løsninger er så svært at fastslå udfra trafiktal for disse trafikantgrupper, er vejledende kriterier ofte fastlagt udfra biltrafikkens mængde eller hastighed.

I "Stiplanlægning" er foreslået et uheldstæthedskriterium ud fra det synspunkt, at strækninger udvalgt efter en uheldstæthed (uheld med personskader for cyklister eller knallertkørere pr. km pr. år) vægtet med uheldenes alvorlighedsgrad, vil lede til stianlæg, som sparer flest uheldsomkostninger.[22] Der foreslås uheldstætheden 0,25 for åbent land, 0,50 for byer med mindre end 2.000 indbyggere, og 0,60 for byer med over 2.000 indbyggere. Forskellen medfører, at man får en vis, af flere grunde hensigtsmæssig, spredning af de udpegede strækninger.

"Byernes trafikarealer"[5] (hæfte III, s. 16-17) siger:
Hvor der er væsentlig cykel- og knallerttrafik, eller hvor et behov kan konstateres eller sandsynliggøres, bør der anlægges cykelsti. Ved nyanlæg i byområder, der er planlagt med trafikadskillelse, bør stier etableres i eget tracé. I byområder, der ikke er planlagt med trafikadskillelse, bør der anlægges almindelige cykelstier langs trafikveje, suppleret med cykelruter ad lokalveje.



Stitunneler giver stor tryghed og sikkerhed ved vejkrydsninger.

Veje må kun placeres i hastighedsklasse "høj" (70-80 km/h), hvis cykel- og knallerttrafikken er adskilt fra biltrafikken ved mindst en kantsten. Også på veje i hastighedsklasse "middel" (50-60 km/h) og "lav" (30-40 km/h) kan cykel- og knallerttrafik af væsentligt omfang give anledning til overvejelser om etablering af cykelsti"

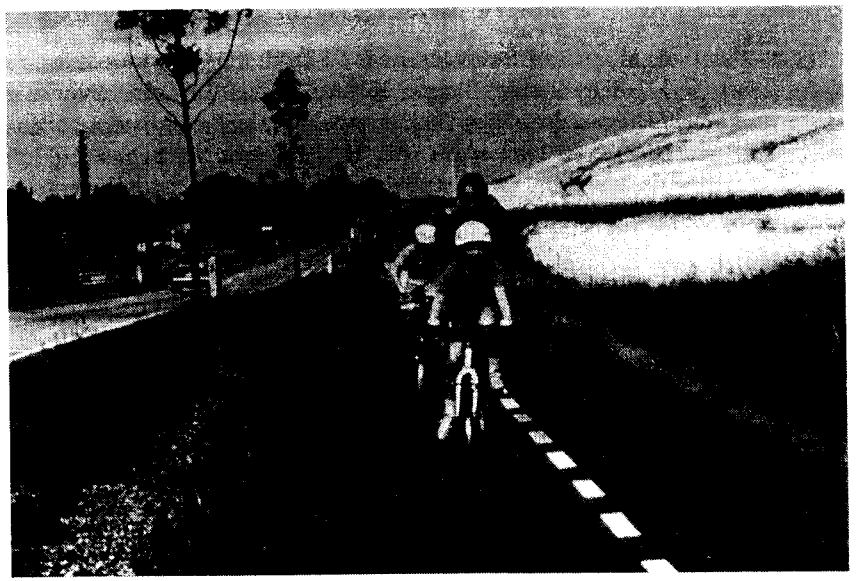
"Dobbeltsidigt beliggende, enkeltrettet cykelsti benyttes normalt, når både cykel/-knallerttrafikken og fodgængertrafikken er af ikke ubetydelig størrelse.

Ensidigt beliggende, dobbeltrettet cykelsti bør kun anlægges i særlige tilfælde, hvor næsten alle cyklisternes udgangspunkter og målpunkter ligger på samme side af en stærkt trafikeret vej, og hvor der kun er få sidevejstilslutninger eller overkørsler. Det er forbundet med ganske særlige vanskeligheder at føre en dobbeltrettet cykelsti gennem et signalreguleret vejkryds.

Hvor antallet af cyklister og fodgængere er forholdsvis lille, og hvor pladsforholdene er begrænsede, kan der anlægges delt sti, dvs. med cykelsti og fortov i samme niveau, og kun adskilt ved en afstribning eller belægningsforskel.

Er der meget få fodgængere, og er pladsforholdene begrænsede, kan der anlægges fællessti, med fælles færdselsareal for fodgængere og cyklister.

Hvor der kun er få cyklister, hvor pladsforholdene er snævre, og hvor ressourcerne er små, kan der etableres cykelbane, adskilt fra kørespor ved en 30 cm bred, ubrudt kantlinie.



I åbent land med lille cykeltrafik vælges ofte dobbeltrettet sti i vejens ene side.

På s. 19 i vejreglen siges om fodgængertrafik:
Hvor der forekommer fodgængertrafik på veje i hastighedsklasse "høj" (70-80 km/h) eller "middel" (50-60 km/h), bør der anlægges fortov.

Tilsvarende for landområder er der i "Vej- og stitypekataloget" anført følgende, jf. i øvrigt tabel 7.1.[23]

- vejklasse I har kun motortrafik
- vejklasse II har kun motortrafik, eller eventuel let trafik ført separat langs vejen
- vejklasse III har let trafik ført separeret langs vejen
- vejklasse IV har let trafik ført separeret langs vejen, eller blandet trafik på kørebanen i de to laveste hastighedsklasser, 30-40 km/h og 50-60 km/h

Det er altså et lidt bagvendt kriterium for den lette trafik, da det forudsætter, at vejen er defineret nøje med hensyn til de her nævnte parametre.

Netplanlægning - Kryds og krydsninger

Med ordet kryds menes kryds mellem veje, mens krydsninger er skæringer mellem veje og stier, eller mellem stier indbyrdes.

I landområder bør der være stier i vejkryds, hvis der er stier på de tilstødende strækninger.[25] Ved megen fodgængertrafik bør der også anlægges fortove. Selv i situationer, hvor de tilstødende strækninger ikke har stier, kan disse anlægges i krydsområdet, hvis der er udsigt til betydelige konflikter med den lette trafik.

I byområder føres stierne og fortovene frem til krydsene.[5] Fortove føres om hjørnet, mens cykelstier normalt afkappes lige før hjørnet. I tilfælde, hvor man ønsker en flettende bevægelse mellem højresvingende biler og cyklisterne, afkappes cykelstierne 20-40 m før hjørnet.

Hvor en sidevejstilslutning kommer ud til en cykelsti på den gennemgående vej, er det en fordel for cyklister og knallertkørere på stien, at sidevejen slutter med en overkørsel over fortovet. For knallertkørerne er det sikrest, hvis deres egen cykelsti er afbrudt ved sidevejen, mens der for cyklisterne ikke er forskel på gennemgående og afbrudt sti i denne situation.

Rundkørsler nyder stigende popularitet, bl.a. fordi de er trafikalt fleksible, pæne og sikre for motoriseret trafik. Cyklister har særlige problemer i rundkørsler, og det er endnu vanskeligt at sige, hvordan man bedst anbringer dem - sti, cykelbane eller ingenting? Nugældende dansk holdning er nok sti eller cykelbane så tæt på køresporene som muligt. I "Byernes trafikarealer" hæfte V er angivet kriterier for, hvor hvilke typer krydsninger mellem stier og veje bør anvendes, jf. tabel 15.3.[5]

Hastighedsklasse	Høj	Middel	Lav	Meget lav
Referencehastighed (km/h)	70-80	50-60	30-40	10-20
Krydsningstype				
Stitunneller	x	x		
Stibroer	x	x		
Almindelige signalregulerede krydsninger	(x)[1]	x	x	
Krydsninger med skolepatruljeblink		x	x	
Krydsninger med fartdæmpning		x	x	x
Almindelige fodgængerfelter mm.		x	x	
Andre krydsninger hvor vejtrafikken har vigepligt			x	x
Stitilslutninger	x	x	x	x

[1] Signalregulering må i hastighedsklasse Høj kun benyttes ved referencehastighed 70 km/h og bør ikke anvendes ved nyanlæg

Tabel 15.3 Kriterier for anvendelse af krydsninger mellem stier og veje.

Netplanlægning - Service (i bred betydning)

I tilknytning til færdselsnettet for lette trafikanter kan forekomme nogle service-foranstaltninger (i ordets brede betydning), som parkeringsanlæg for cykler og knallerter, tilknytningspunkter til den kollektive trafik, samt vejvisning og anden ruteinformation.

Det er ikke tvungent for vejbestyrelserne at opsætte vejvisning for den lette trafik, men hvis man gør det, skal vejvisningen følge de vejregler, som skal afløse individuelle, forskellige systemer i en række amter og kommuner.[26] Vejvisningen forbindes med en udpegning af primære ruter i kommuner og amter samt sekundære ruter, som oftest uden vejvisning. Der er herved indført et nyt begreb: Stirutenet med vejvisning, som kan svare til en kommunes hovedstinet, men også kan være enklere. De to "sideordnede" systemer hovedstinet/lokalstinet og primære stiruter/sekundære stiruter kan virke forvirrende, men er indført for at smidiggøre indførelsen af vejvisning.

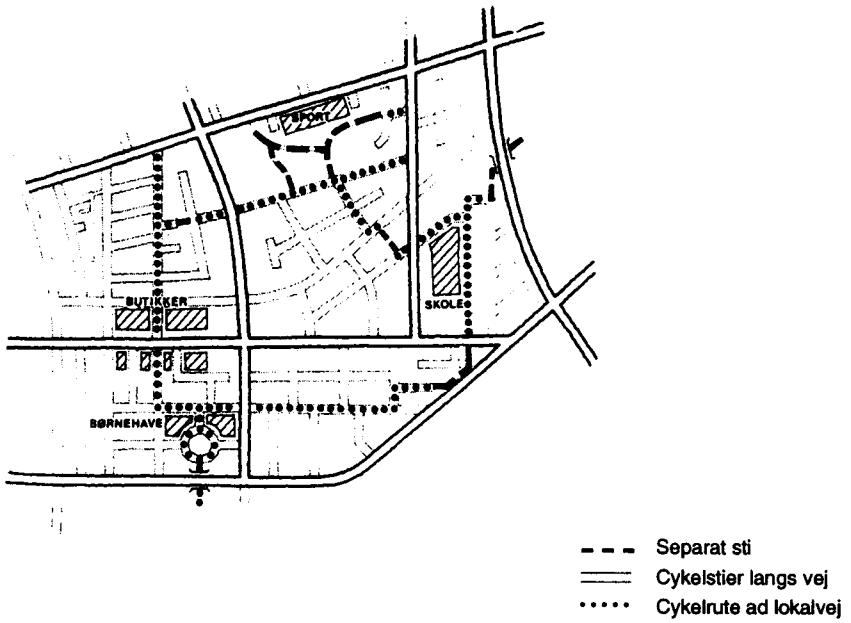
De ferie- og turistmæssigt vigtigste 3000 km af det vejviste primære stirutenet betegnes "nationale stiruter". Dette net blev indviet officielt i maj 1993 på "cyklingens dag".

15.6 Virkemidler/planløsninger i byområder

Planopgaven

Med principperne trafikseparering og vejklassificering (tilsammen trafikdifferentiering) blev store nye boligområder forsynet med egne stinet i 1960'erne og 1970'erne. Disse tanker slog også igennem på et andet felt: næsten alle byer fik gågade i bymidten. Men mellem disse delnet henlå ældre kvarterer uden nogen nyere foranstaltninger for cyklister og fodgængere, og det er disse netproblemer, der er taget fat på i de seneste tiår. Et eksempel på mål og stityper i et sådant ældre kvarter er vist i figur 15.6.[5]

Nu er den mere rigoristiske trafikdifferentiering en saga blot, og gennem en række forsøgsprojekter med trafiksaneringer, miljøprioriterede gennemfarter og cykelruter har vi nu et bredt udvalg af værktøjer. I det følgende nævnes som eksempel forsøgscykelruterne i Nakskov. Med hensyn til bevægelseshæmmedes muligheder for at færdes på veje og stier er til slut gengivet nogle oplysninger fra et forsøgsprojekt i Fredericia.



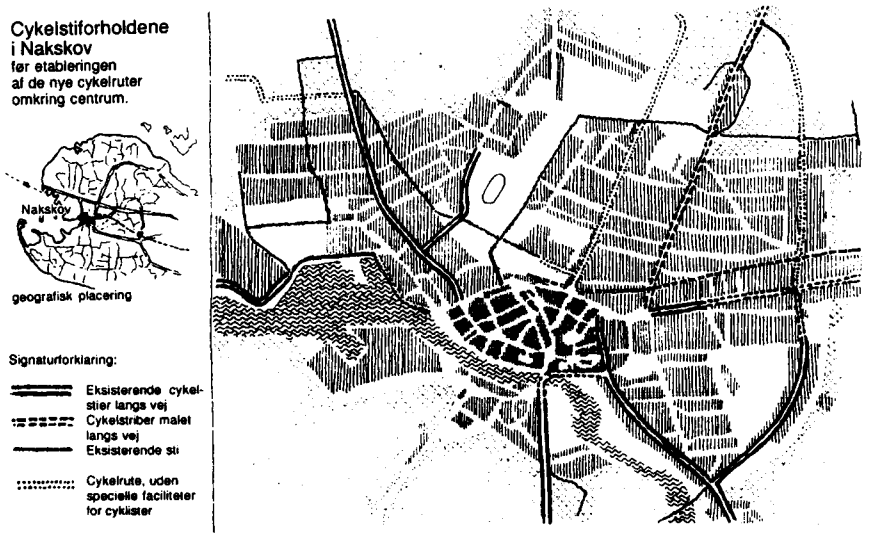
Figur 15.6 Stinettet, eksempler på mål og stitype.

Nakskov

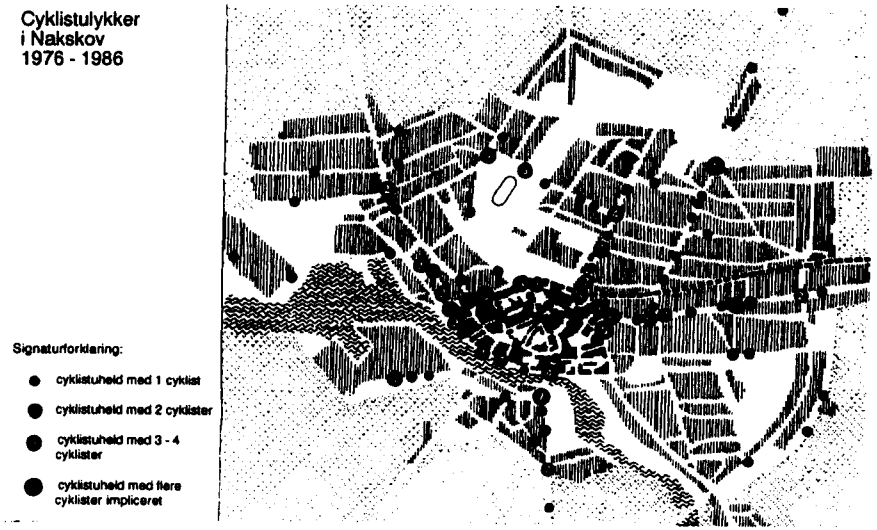
Som eksempel på en mindre købstads angrebsvinkel overfor stiplanlægning skal nævnes forsøgscykelruteprojektet i Nakskov på Lolland.[27,28] Som andre industribyer i fladt terræn har Nakskov høj cykelanvendelse, og ligesom for de øvrige danske byer var der før dette projekt allerede etableret en del stier i yderområderne, men ikke nær den indre, historiske bydel, se iøvrigt figur 15.7 og figur 15.8. Et hovedproblem for den lette trafik var dermed at nå frem til bykernen i sikkerhed, med torvet og gågaden, hvor en meget stor del af bylivet foregår. Særligt ringgaden omkring bymidten, som er hovedfordelingsgade i byen, stod alene for omkring halvdelen af personskaderne med cyklister.

Planlægningsopgaven bestod således i at gøre cykling til og fra bymidten sikrere, og få sammenhæng i et net, som manglede hele det indre område. I den historiske bydel skulle hensyn til fodgængere, til varedistribution og til arkitektur veje særligt tungt, og i det hele taget var der en meget stor beslutsomhed omkring projektets rolle i et samlet "løft" for hele bymiljøet.

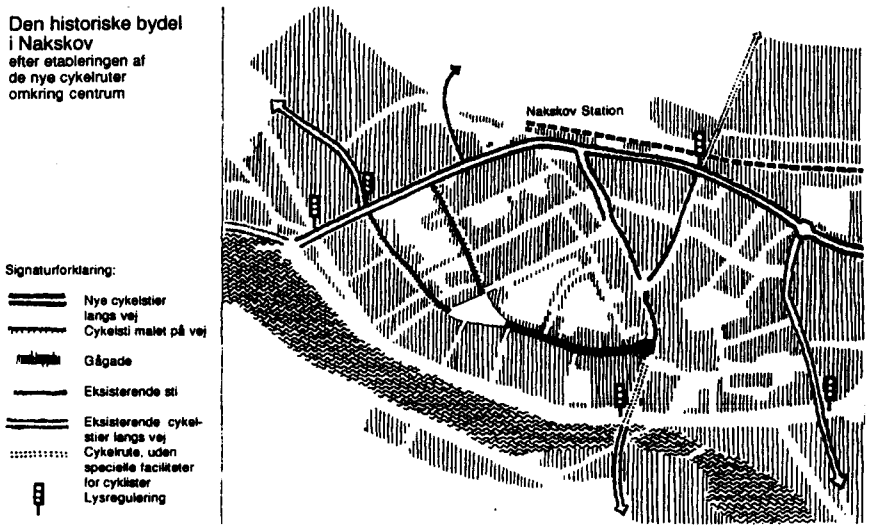
Med de mange cyklistuheld på den stærkt trafikerede ringgade (8.000 ÅDT) kan man næsten ikke forestille sig andre løsninger end et cykelstiprojekt her - cykeltrafikken kan ikke ledes ad andre veje. For gaderne i den historiske bydel kunne man imidlertid tænke sig flere løsningsmodeller med forskellig grad af hastighedsdæmpning og adskillelse mellem tung og let trafik.



Figur 15.7 Cykelstinettet i Nakskov før forsøgsprojektet.



Figur 15.8 Cykelulykker i Nakskov før forsøgsprojektet 1976-86.



Figur 15.9 Cykelruteplanen i Nakskov.

Det blev valgt at indrette de smalle gader med ensretning, og med en cykelsti elle en cykelbane mod ensretningen, alt efter pladsforholdene. Gadekrydsene i de historiske bydel danner små pladser, som blev omlagt med bedre bymiljø o bedre færdselsmuligheder for fodgængerne for øje. På ydersiden af ringgaden e ikke gennemført nye stistrækninger. Cykelruteplanen fremgår af figur 15.9.[27]

Som et særtræk er alle cykelstier i Nakskov belagt med rødt materiale, ogs cykelfelter tværs over kryds. Cyklister oplever derfor i dag en høj grad af kont nuitet. Samtidig med ombygningen er fremstillet nyt gadeinventar og belysnin så bybilledet fremstår moderne og farverigt.

I forbindelse med projektet er udført omfattende før/efterundersøgelser. Resu taterne er meget positive med hensyn til cykelruternes virkninger, fx har d valgte udformninger givet klarere, mere forudsigelige bevægelser i krydsene, o lavere bilhastigheder, hvor dette var tilsigtet. Også spørgeskemabedømmelsern er positive overfor projektet. De virkelige sikkerhedseffekter må man vente nogl år med en bedømmelse af, ligeså med cykeltrafikkens eventuelle større roll fremover. I Odense, hvor et ligeså stort cykelruteprojekt er gennemført, mått man vente et par år før hele stigningen i cykeltrafikken var indtruffet.

Fredericia

For at vise veje til en omfattende forbedring af handicappede og ældres mulighe der for at komme rundt i byen, har Trafikministeriet gennemført et forsøgsprojek i Fredericia, kaldet "Byen for alle". Elementer i forsøget er en gennemgang a offentlige bygningers tilgængelighed her særlig banegården, en servicebusrut med helt handicapegnet materiel forbindende mål, der er hyppigt besøgt a handicappede samt endelig handicapegnede gangruter både i og uden for by kernen.

Hovedbestanddelen af ruterne er en synbar og følbar ledelinie, samt særlig foranstaltninger til at sikre jævnhed og ganske små kantstensopspring ved kryds ninger. Ledelinien er udført med kraftig rød, stiplet linie på fodgængerarealer o med mørke gummifliser på steder, hvor ruten deler sig eller ændrer retnin Ledeliniens streger vil nu ud fra erfaringerne blive ændret til små fliser med e knop på, og gummifliserne erstattet med et felt chaussébrolægning. Unde søgelser viser, at de fleste handicappede er glade for forbedringerne, bl.a. e gangbesværede og kørestolsbrugere meget tilfredse med de færre kantsten o bedre ramper ved sideveje og krydsninger af kørebanen. Blinde havde først svæ ved at fornemme ledeliniens spinkle markeringer med stokken. Endelig rappo fra Fredericia-forsøget foreligger endnu ikke.[29,30]

15.7 Virkemidler/planløsninger i åbent land

Planlægningsopgaven

Som tidligere nævnt kan man skelne mellem "trafikformål" (hverdagstrafik) og "rekreationsformål" (udflugts- og ferietrafik). Udover allerede nævnte vejledninger kan henvises til Miljøministeriets vejledning og Dansk Vandrelaugs pjece, som begge i høj grad medtager rekreative hensyn. Disse og Vejdirektoratets "Stiplanlægning" danner baggrund for det følgende.[31,32,33,22]

Mens nettet af trafikstier normalt er til fælles anvendelse for cyklister og fodgængere - og som oftest knallertkørere - vil fodgængernes foretrukne rekreative stier som oftest skulle søges blandt de helt små, snoede, bakkede og "ydmyge" spor i landskabet. Som det hedder i Dansk Vandrelaugs pjece: "Stier skal findes, ikke anlægges".[32]

Amterne har arbejdet i op til 25 år med stiplanlægning for trafik og rekreation. Nogle har lagt hovedvægten på de rekreative stinet, nogle har investeret i trafikstier langs de store veje, nogle har med betydelig energi bygget på begge net på een gang. Et væsentligt incitament i denne planlægning har været kommune- og regionplanlovenes krav om redegørelse for den lette trafiks hovedfærdselsnet, samt Færdselsloven (1976), der rummer krav om en særlig sikring af skolevejen.

Det nationale niveau

Vejdirektoratet har i en årrække prioriteret forslag fra amterne til stianlæg langs hovedlandevejsstrækninger - overvejende tæt på byer - og anlagt de højest prioriterede med midler fra den såkaldte cykelstipulje på Finansloven. Metoden i "Stiplanlægning" er udviklet til dette formål.[22]

Metoden går ud på, at der skal bygges stier, hvor man får størst mulig sikkerhedseffekt for sine penge, samt hvor man får størst mulig sammenhæng i stinettet for sine penge. De behandlede stiprojekter skal dog være af en så seriøs art, at de opfylder uheldstæthedskriteriet, som omtalt i afsnit 15.5 i forbindelse med netplanlægning: kriterier.

De projekter, som opfylder kriteriet, prioriteres nu efter prioriteringsmålet:

$$p = k_1 \cdot p_{sik} + k_2 \cdot p_{sam} \qquad (15.1)$$

Her er k_1 og k_2 vægte, der tilsammen er 1, og p_{sik} hhv. p_{sam} prioriteringsmål for sikkerhedsforbedringen og for sammenhængsforbedringen. P_{sik} er et udtryk for, hvor megen uheldsreduktion, man får for hver anlægskrone. Den beregnes som:

$$p_{sik} = \frac{U_{ækv} \cdot E_{ækv,vægt}}{A} \qquad (15.2)$$

$U_{ækv}$ er beregnet uheldstæthed i cykeluheld pr. km vej pr. år, og $E_{ækv,vægt}$ er den sandsynlige effekt på uheldene af det påtænkte stiprojekt angivet i % reduktionsevne, mens A er anlægsomkostningerne. Størrelsen summeres af dele fra de enkelte delstrækninger og de enkelte kryds.

P_{sam} er et udtryk for, hvor megen sammenhæng man får for hver anlægskrone. Den beregnes som: $p_{sam} = S/A$, hvor:

$$S = \sum_{ij} \frac{I_i \cdot I_j}{d_{ij}^3} \qquad (15.3)$$

I_i og I_j er de ved den nye stistrækning forbundne indbyggertal (eller eventuelt nogle skønnede brugertal), mens d_{ij} er afstanden mellem tyngdepunkter for de pågældende områder. Der anvendes ikke d'er med en højere værdi end 10 km, hvilket synes rimeligt nok, da flere af modellens betragtninger er usikre.

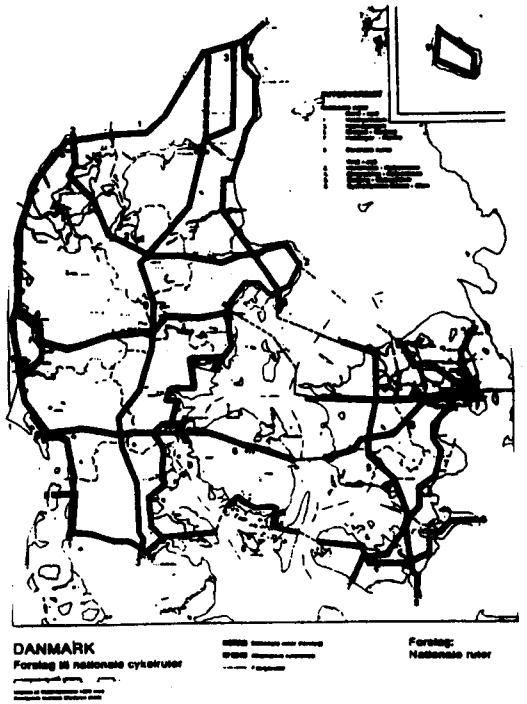
Da p_{sik} og p_{sam} kun anvendes til indbyrdes rangordning af en række fastlagte projekter, behøver ovennævnte prioriteringsmål ikke at være fysisk eller økonomisk meningsfuldt i sig selv, det skal blot behandles ens for alle projekterne. Der kan medregnes strækninger i egen linieføring, forsåvidt som man kan tro på, at cyklisterne vil følge dem.

Den anden indsats på det nationale niveau er det i afsnit 15.5 omtalte nationale, overvejende rekreative, rutenet. Nettet er nummereret og defineret i grove træk i et samarbejde mellem statslige myndigheder, interesseorganisationer og amterne. Skiltning, detailfastlæggelse af linieføring, og eventuelle anlægsarbejder udføres af amterne.[33] Trods det dyrt klingende navn: nationale cykelruter, er der tale om et udvalg af amternes egne primærruter, også nogle forholdsvis små grusstier iblandt, og ruter via trafikerede veje vil man også kunne møde. I skiltningen kan de kendes på et rødt felt under deres nummer. Nettet er vist i figur 15.10

Princippet i nettets planlægning er, at ruterne skal udgøre et enkelt hovednet til de lange distancer (by til by, til færge, til grænse), samt at de skal trække nogle landskabelige hovedtræk frem: Vestkysten, Hærvejen mv.

Ribe amts stiplan

Ribe amt er igang med at etablere et omfattende net af hovedstier, som kan siges at kombinere trafikformål og rekreative formål. Nettet består helt overvejende af ruter ad mindre veje, markeret med vejvisningsskilte, suppleret med stianlæg på kortere strækninger, hvor der er et særligt behov herfor. Den nugældende plan



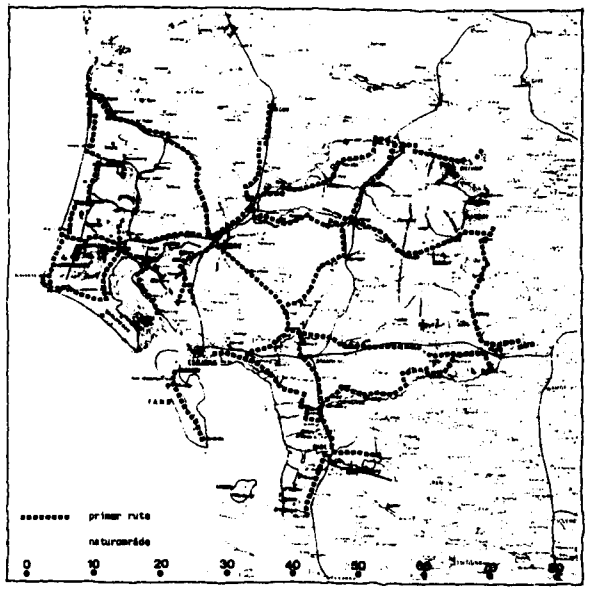
Figur 15.10 Nettet af nationale cykelruter.

med ruter på trafiksvage veje afløser en tidligere, dyr stiplan (1978), hvor de fleste af forbindelserne var stier anlagt i eget tracé eller langs vej. Rutenettet er vist på figur 15.11.[31]

Mens hverdagstrafikkens mål er boliger, butiksområder, arbejdspladser, skoler, sportsanlæg mv., er udflugts- og ferietrafikkens mål strande, naturområder, andre seværdigheder og større bysamfund. Nær byerne kan de to formål ofte tilgodeses sammen, men det tjener planen til megen ære, at dette også er tilfældet i vid udstrækning i det åbne land og med rimeligt direkte forbindelser. Noget af dette ligger nok også i amtets topografi.

Ca. en fjerdedel af nettet på ca. 650 km er ruter på stier eller på kantbaner, resten er på mindre trafikerede veje. Udbygningen af nettet sker efter en prioriteringsmodel, hvori der tages hensyn til:

- uheldsrisiko (med 40% af vægten)
- trafikalt behov (20%)
- regional betydning (20%)



Figur 15.11 Ribe amts cykelrutenet.

- alternative forbindelser (10%)
- netsammenhæng (10%)

Ribe-planen danner et flerfunktionsnet i forståelig og direkte udformning. Det spiller fint sammen med byernes egne stinet og det nationale net, i hver deres ende af skalaen.

Litteratur

1 Frederiksen, John, m.fl. Ja, det kan lade sig gøre. Om forbedring af handicappede personers adgang til kollektiv trafik, Bolig-, Motor- og Hjælpemiddeludvalgets Publikationsvirksomhed Aps., København, 1991.

2 Forhold af betydning for cyklisters sikkerhed i trafikken, Rapport 22, Lyngby, Rådet for Trafiksikkerhedsforskning, 1979a.

3 Forhold af betydning for knallertkøreres sikkerhed i trafikken, Rapport 23, Lyngby. Rådet for Trafiksikkerhedsforskning, 1979b.

4 Jensen, Niels. Cyklisthastigheder, DTH, IVTB og Vejdirektoratet, VDL, VDL Rapport 53, Herlev, 1988.

5 Byernes trafikarealer, 17 hæfter, Vejdirektoratet, Vejregeludvalget, København, 1989.

6 Carter, Everett C. og Wolfgang S. Homburger. Introduction to Transportation Engineering, Institute of Transportation Engineers, Virginia, 1978.

7 Highway Capacity Manual, TRB Special Report 209, Transportation Research Board, Washington D.C., 1985.

8 Herrstedt, Lene. Fodgængertrafik i byområder, DTH, IVTB, Rapport 34, Lyngby, 1981.

9 Smith, Daniel T. Safety and Location Criteria for Bicycle Facilities, Federal Highway Administration report PB 259 545, Washington D.C., 1976.

10 Vejregler, Ministeriet for Offentlige Arbejder, København, 1943.

11 Laursen, Jan Grubb, Tællinger under motionsløbet Sjælsø rundt 1976 og 1992, upubliceret, DTH, IVTB, Lyngby, 1992a.

12 Statens Vägverk. Beräkning av kapacitet, kölängd, fördröjning i vägtrafikanläggningar, Rapport TV 131, Borlänge, 1977.

13 Zhao, Song. Capacity of Signalized Intersections, DTH, IVTB, Report 53, Lyngby, 1987.

14 Botma, Hein og Hans Papendrecht. Traffic Operation of Bicycle Traffic, TRB 70. Annual Meeting 1991, printed in C.R.O.W. record 6, Ede, The Netherlands, 1992.

15 Herrstedt, Lene. Fodgængere i bytrafik, Vejdirektoratet, VDL, Rapport 32, Herlev, 1983.

16 Lövemark, Olof. Studie av effektiviteten hos separerade gångtrafiksystem, Lunds tekniska Högskola, Plan for meddelande 15, Lund, 1969.

17 Funahashi, Kunio. An Environment-Behaviour Studies Perspective of the City, Toyota The Wheel Extended Vol. 19 nr.3, Japan, 1990.

18 Varming, Michael. Stisystemer i byområder, SBI-Byplanlægning nr. 45, Hørsholm, 1983.

19 Johnsen, Bent. Cyklisters rutevalg, DTH, IVTB, eksamensprojekt, Lyngby, 1979.

20 Ljungberg, Christer. Cykelstråk i Lund, Byggforskningsrådet, Rapport R 116, Lund, 1981.

21 Ludvigsen, Henrik (red.). Cykelruter i 4 byer, sammenfatning, Vejdirektoratet, København, 1988.

22 Stiplanlægning, upubliceret udkast, Vejdirektoratet, Planlægningsafdelingen, København, 1983.

23 Typekatalog for nye veje og stier i åbent land, Vejdirektoratet, Vejregeludvalget, København, 1981.

24 Planlægning og udformning af udendørs områder med henblik på handicappedes færden, anvisning NP-160-R, Dansk Standard nr.DS/R 450, DIF Normstyrelsen, København, 1983.

25 Vejregler for vejkryds i åbent land, Vejdirektoratet, Vejregeludvalget, København, 1983.

26 Vejregler for stivejvisning, Vejdirektoratet, Vejregeludvalget, København, 1991.

27 Rasmussen, Steffen. Cykelruter i Nakskov - hovedresultater af efterundersøgelserne, udkast sept. 1992, for Vejdirektoratets Planlægningsafdeling, upubliceret, København, 1992.

28 Laursen, Jan Grubb. Experimental Cycle Routes - Results from Danish Towns, The Bicycle - Global Perspectives, Proceedings of Vélo Mondiale, Montréal, 1992b.

29 Nielsen, Birgitte Høj. Fredericia - ruten for alle, VDL-nyt april 1992, nr. 1, Herlev, 1992.

30 Byen for alle. (Foreløbig udgave). Fredericia kommune, Teknisk Forvaltning, 1992.

31 Planlægning for cyklister, hverdag og fritid, Miljøministeriet, Planstyrelsen og Fredningsstyrelsen, København, 1985.

32 Stiplanlægning - et fodgængersynspunkt, Dansk Vandrelaug, Natur- og stiudvalget, København, 1981.

33 Nationale cykelruter. Vejdirektoratet, København, 1991.

Kapitel 16

Planlægning for kollektiv trafik

Af Preben Vilhof

16.1 Indledning

Indhold

Dette kapitel vil give en beskrivelse af, hvordan kollektiv trafik kan planlægges. Det sker ved dels at gennemgå de elementer, der tilsammen fastlægger den kollektive trafiks service, dels ved at vise, hvor forskelligt forskellige brugergrupper prioriterer de enkelte service-elementer. Der vil blive givet nogle eksempler på, hvordan man kan bruge service-elementerne og kendskabet til ønsker fra de forskellige brugergrupper i konkrete planlægningseksempler. Den kollektive trafiks organisation i Danmark vil også blive kort beskrevet, især fordi den adskiller sig væsentligt fra andre landes, og fordi FN og EU har udpeget den danske organisationsmodel som "interessant".

Kollektiv trafik

En éntydig definition af kollektiv trafik kan være vanskelig. Følgende - ikke udtømmende liste - over landtrafik illustrerer problemet:

Tog	
Rutebus	.
Bestillingsbus	Koll. trafik
Specielle kørselsordninger (bus el. taxi)	.
Taxi	.
Organiseret samkørsel i biler	.
Bilpassager	.
Bilfører	Individuel trafik
Cyklist/knallert	.
Fodgænger	

I det følgende omtales kollektiv trafik primært som tog og bus.

Behov for kollektiv trafik

Man kan selvfølgelig altid stille spørgsmål som:

- Er det nødvendigt at have et kollektivt trafiksystem?
- Kunne det være økonomisk selvbærende?

Argumenterne for at have et godt, velfungerende kollektivt trafiksystem - både i og uden for byerne - er mange:

- *Det sociale argument*: at tilfredsstille grundliggende transportbehov for alle grupper i samfundet (at komme på arbejde, at komme til skole, til læge, på indkøb osv.)
  Selv om velfærdsstigningen fortsætter, vil der stadigvæk være mindst ⅓ af befolkningen, der ikke har kørekort og derfor vil være afhængig af andre for at blive transporteret
- *Det miljømæssige argument*: i større byer medvirker et godt og effektivt kollektivt system til at mindske trafikbelastningen på gadenettet og hermed forureningen. I bytrafik vil en trafikant i et godt organiseret kollektivt trafiksystem optage mindre plads, bruge mindre energi og forurene mindre end ved at anvende bil. Selv om 80'ernes dieselbusser medvirker kraftigt til byernes forurening, sker der i 90'erne en stor udvikling henimod mindre forurenende motorer: Bedre brændstof (let diesel), naturgas, eldrift osv.
- *Det økonomiske argument*: i alle større byer i Europa subsidieres den kollektive trafik. I HT-området dækkes omkring 45% via skattemidler. Dette skyldes sandsynligvis, at den kollektive trafik i større byer er samfundsøkonomisk rentabel. I Oslo har man foretaget beregninger, der viser, at en trafikant med bil koster 4 gange så meget som en buspassager at afvikle i myldretiden
- *Livskvalitet*: en af faktorerne for en bedre livskvalitet er et godt kollektivt trafiksystem. Hvor meget den kollektive trafik betyder, er kun lidt belyst

Mål med den kollektive trafik

Kun i få byer har man udarbejdet en trafikpolitik og konkrete målsætninger for den kollektive trafik. Ofte bliver målsætningerne meget generelle, som fx for HT-området, hvor det i "Kollektiv trafikplan" fra 1989 hedder:

Det er et trafikpolitisk mål, at den individuelle biltrafik i de tætte byområder skal begrænses og i højere grad omlægges til kollektiv trafik og let trafik.
Det er et trafikpolitisk mål, at det kollektive trafiksystem skal være velfungerende og give god mobilitet for brugerne i hele regionen. Den kollektive trafik skal have en standard, som er rimelig set i forhold til den, der tilbydes biltrafikken, og kollektiv transport skal kunne være et reelt alternativ i de områder, hvor individuel biltrafik pålægges restriktioner.

En af årsagerne til manglen på mere konkrete målsætninger kan skyldes, at den kollektive trafiks kvalitet er særdeles vanskelig at beskrive. I planen har man imidlertid forsøgt at udmønte disse generelle mål i en række tilstræbte normer omkring gangafstande, rejsetider og frekvenser.[1]

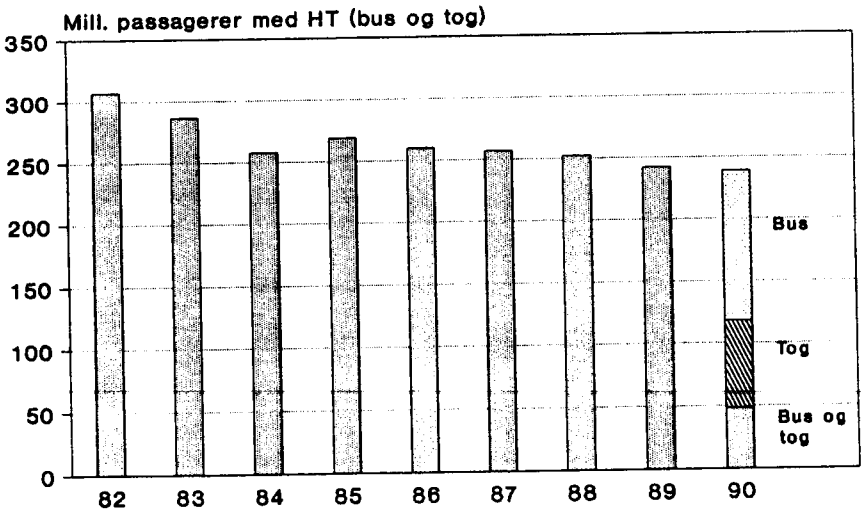
Virkeligheden

I de sidste 8-10 år er brugen af den kollektive trafik gået kraftigt tilbage både i byer og i landområder, jf. figur 16.1.[2,3]

Der er mange årsager til dette:

- Benzinpriserne er faldet. Kollektivtaksterne er steget
- Den kollektive trafik har et "image-problem". Det er ikke populært at bruge bus
- Bilen giver maksimal bevægelsesfrihed
- Den kollektive trafik har svært ved at tilpasse sig til ændringerne i lokaliseringsmønstrene, fx ved udflytninger af arbejdspladser fra bycentre til erhvervsområder i byernes udkant og fx etablering af indkøbscentre med god tilgængelighed for biltrafik

Der synes imidlertid at være visse tegn - i både Europa og USA - på, at denne udvikling nu skal vendes til fordel for den kollektive trafik, dog primært i større byområder.



Figur 16.1 Antallet af passagerer i HT-området faldt gennem 80'erne.

Som et led i den daværende regerings handlingsplan for trafik og miljø i 1990 blev der i Danmark givet støttemuligheder til at gøre den kollektive trafik mere brugervenlig, energi- og miljøvenlig, samt til at forsøge med alternative betjeningsformer. Disse puljemidler, der administreres af Trafikministeriet, giver årligt (1992-1995) næsten 100 mio kr. til teknologiske forbedringer og medvirker til mange spændende forsøg omkring efterspørgsels-styret trafik (telebusser) og med anvendelse af moderne informationsteknologi. Midlerne har også medvirket til den store vækst i lavtgulvsbusser og indførelse af en størrelsesmæssig mere fleksibel buspark.

Endelig bør HT's forsøg med indførelse af duobusser i København nævnes. En duobus er en ledbus med to motorer, en elektrisk (som en trolleybus) og en dieselmotor. I tætte byområder kan bussen således uden lokal forurening køre på ledningsnettet, men uden for disse byområder bevare fleksibiliteten ved at køre på diesel. Dette forsøg er afviklet i 1993-1994 med støtte bl.a. fra EU's Thermieprogram. Duobussen var gennem forsøgsperioden ramt af en række driftsforstyrrelser. Som følge heraf blev det ved forsøgsperiodens udløb august 1994 besluttet at forlænge denne med henblik på en stabil periode til gennemførelse af en række målinger vedr. energiforbrug under forskellige temperaturforhold og belastninger.[4]

16.2 Den kollektive trafiks service

Rejsetid

Som ovenfor nævnt er den kollektive trafiks service en sammensat størrelse, hvor enkeltelementerne endog vurderes forskelligt af forskellige befolkningsgrupper.

En typisk kollektiv-rejse består af følgende delelementer:

- Transport fra bopæl til stoppested
- Venten på bus
- Kørsel med bus 1
- Skift (gang + venten) til anden bus eller tog
- Kørsel med bus 2 eller tog
- Transport fra stoppested/station til arbejde

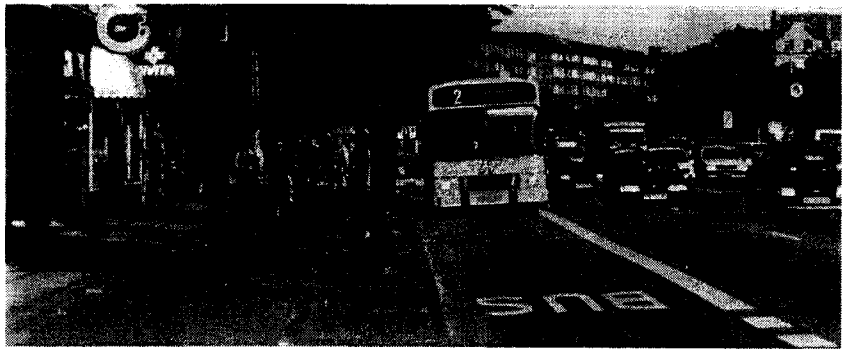
Man kan herved opstille den samlede dør-til-dør rejsetid. Hertil skal i nogle tilfælde tillægges *den såkaldte skjulte ventetid*, dvs. den tid man ankommer til en aktivitet, før denne starter. For eksempel hvis man skal være på sin arbejdsplads kl. 07.15, kan bussernes køreplan med afgange hver halve time betyde et ankomsttidspunkt på fx kl. 06.50. Den skjulte ventetid bliver hermed 25 minutter.



De nye duobusser i København kan både køre som trolleybus og som dieselbus.

Den samlede rejsetid afhænger således af en række faktorer:

- *Frekvens* bestemmer ventetid og skjult ventetid. En frekvens på mindst 8-10 afgange pr. time (dvs. driftsintervaller på højst 6-8 minutter) vil normalt få passagererne til at komme tilfældigt til bussen/toget, mens den skjulte ventetid er negligabel
- *Køreplanen* bestemmer også ventetid og skjult ventetid, når frekvenserne er mindre end 3-6 afgange pr. time (dvs. 10-20 minutters drift)
- *Skiftetiden* mellem bus/bus og bus/tog afhænger af, hvordan køreplanerne er koordinerede. Et skift opfattes altid negativt, dels fordi der er en reel overgangstid/ventetid, dels fordi risikoen for driftsforstyrrelser bliver større, når 2 transportmidler anvendes
- *Præcision* (overholdelse af køreplanen) og *regularitet* (overholdelse af tidsintervallerne mellem busafgangene) er meget vigtig, især for de passagerer, der skal skifte eller har fast mødetid på arbejdet. En dårlig præcision/regularitet vil ofte medføre, at passagererne bliver nødt til at tage en "tidligere afgang", hvorved den skjulte ventetid øges
- *Gangafstanden* til og fra stoppestederne er vigtig i trafikanternes vurdering af den kollektive trafik. Som en håndregel bør gangafstand mellem bolig og stoppested være under:
  300 m i etagehus-områder
  500 m ved rækkehusbebyggelse
  600 m ved parcelhuse
  og gangafstande fra stoppested til målpunkt under:
  300 m i centrumsområder
  400 m i erhvervsområder



Busbaner giver den kollektive trafik større fremkommelighed og bedre regularitet.

Samtidig er det vigtigt at gøre gangvejene til stoppestederne attraktive og sikre.

Beskrivelsen af servicen kompliceres yderligere af, at køreplaner og frekvenser ændres over dagen (myldretider, dagtimer, aftentimer), ugen (hverdag, lørdag, søndag) og året (vinter, sommer, ferier).

Komfort mv.

Ud over rejsetiden er komforten ved rejsen vigtig. Af forskellige komfort-elementer kan nævnes:

- mulighed for siddeplads og siddepladskomfort
- rummelighed/trængsel
- ventilation/varme
- service og information
- på- og afstigning
- oplevet tryghed
- støj

I de sidste år er man blevet mere opmærksom på forbedret komfort, service og information, bl.a. kan nævnes følgende tiltag:

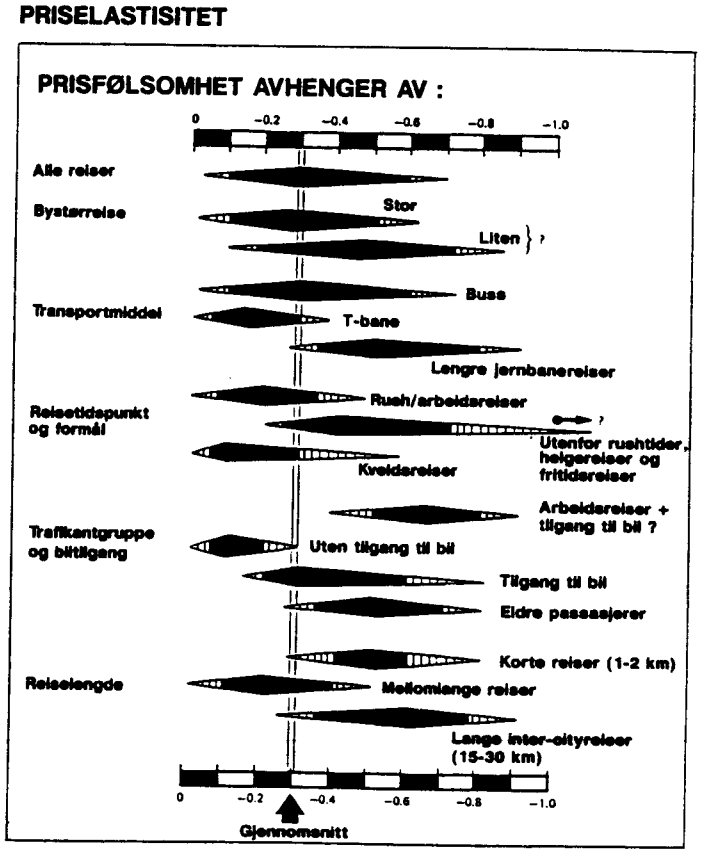
- S-busser med termoruder, air condition, plyssæder, informationstavler om skift o.lign.
- indførelse af lavtgulvsbusser
- indførelse af servicebusser
- DSB's dynamiske informationstavler på mange stationer

Takster

Endelig spiller taksten en central rolle for kollektiv trafik. På én gang er det ofte den vigtigste finansieringskilde for den kollektive trafik og samtidig et virkemi del for at skaffe flere passagerer.

Taksternes indflydelse på antallet af passagerer er undersøgt i mange lande c igennem mange år. Indflydelsen beskrives normalt ved hjælp af priselasticitete der er defineret som den procentvise ændring i efterspørgslen (antal passagere når prisen øges med 1 procent, jf. i øvrigt afsnit 13.1.

Figur 16.2 og tabel 16.1 viser nogle erfaringer om takstændringers betydning fi en norsk og en engelsk undersøgelse.[5,6]



Figur 16.2 Priselasticiteten ved forskellige rejsekategorier. De sorte felter angiver de mest sandsynlige interval, mens resten af pilene angiver et "usikkerheds bånd". Spørgsmålstegnene angiver, at konklusionerne er usikre.

Område	År	Takst-ændring	effekt	effekt i biltr.	Bemærkninger
Oslo	1986	–44% (*)	0-2%	–0%	Halvårskort. Effekt på kort og lang sigt (*) Takstændring i forhold til månedskort
Romerike	1985	–(0-64%)	+12%	?	Rabat for enkeltbilletter mellem kl 9.00 og 14.00
Trondheim	1984	–15%	(0%)	?	Rabat på enkeltbilletter efter kl 18.00
Nord-trøndelag	1988	–7%	15%(*)	?	(*)Indtægtforøgelse, men forøgelsen i nabobyerne var på 42%.
	1989	–50%			Ikke færdiganalyseret
Rom	1972	–100%	18% 11%	2%(*)	Første periode: gratis for alle Andre perioder: gratis i rushtid (*)Potentielle bilbrugere
Lichtenstein	1988	–100%	39%	-	Lav kollektivandel: 3% 2% stigning i antal arbejdsrejser
London	1981 1982	–30% +95%	7-11% -(11-16%)	–6%(*)	Høj kollektivandel: 3%
Denver/-Trenton	1978	–100%	15%	–0.2%	Gratis udenfor myldretiden. Lav kollektivandel
Basel	1984	–36%	8%	–2.6%	"Miljøkort" som var upersonlig og gav fri overgang
Freiburg	1984	–36%(?)	+23%	–4.5%	Høj kollektivandel. Bilfrit centrum. Upersonlig kort
Holland		Special tilbud	0% 50%	?	Billigt årskort Arbejdsrejser Fritidsrejser: 70% nygenereret trafik

Tabel 16.1 Oversigt over effekten af de vigtigste større takstændringer i en række byer i 1972-89.

Følgende kan forsigtigt konkluderes:

- Myldretidstrafikanter er mindst prisfølsomme
- Fritidsrejsende er mere prisfølsomme
- Korte rejser har større prisfølsomhed end mellemlange rejser, men lidt mindre end lange intercity-rejser
- Unge og ældre har stor prisfølsomhed

I Danmark, hvor der generelt er indført stor rabat for daglige brugere (månedskortsbrugere udgør ofte halvdelen af passagererne), vil man nok fremover opleve tidsdifferentierede takster. Dette vil ske, efterhånden som elektronisk billetteringsudstyr vinder indpas. I Tyskland og Schweiz har man haft stor succes med at indføre ikke-personlige månedskort og familiekort (flere kan bruge månedskort uden for myldretiderne).

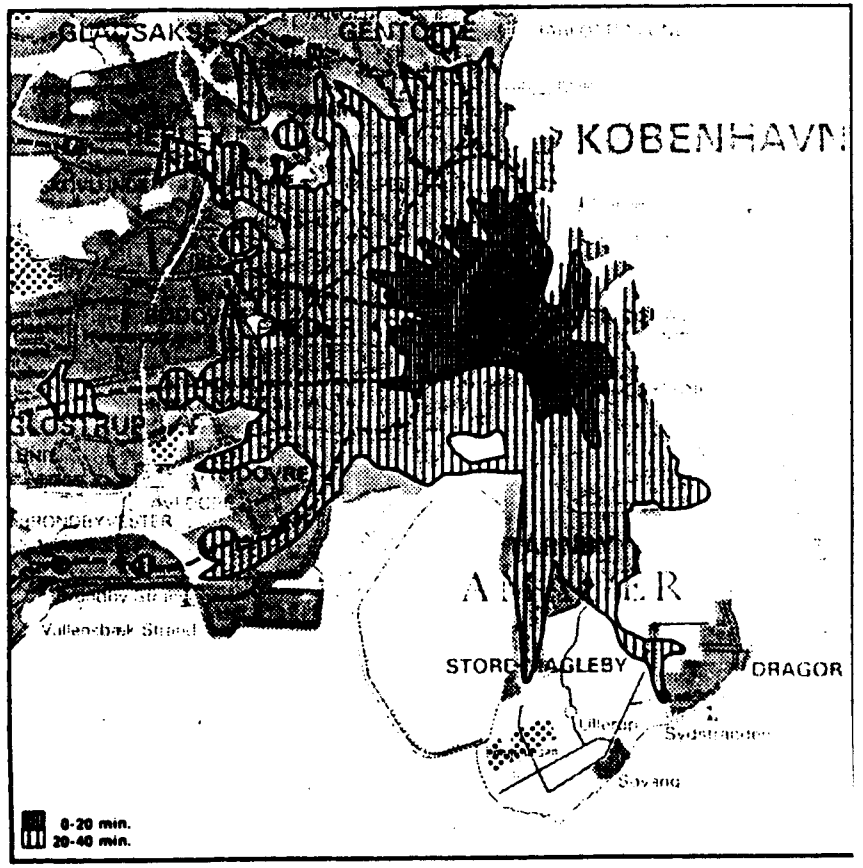
Takstniveauet er en balance mellem flest mulige passagerer og indtægtsgrundlaget. I tider med en meget stram offentlig økonomi er der mange eksempler på, at samtidig nedskæring af servicen og øgning af taksterne har jaget mange passagerer bort fra den kollektive trafik.

Beskrivelse af servicen i byområde

Som tidligere beskrevet er det ikke muligt at beskrive serviceniveauet i en by med et (eller blot få) tal.

I stedet for kan man supplere en verbal beskrivelse af betjeningen i de forskellige byområder med fx:

- Isokroner fra forskellige punkter, dvs. kurver der på bykort viser, hvor langt man kan rejse på 15, 30, 45 og 60 minutter med henholdsvis kollektiv trafik og biltrafik, se figur 16.3[7]
- Opdele byen i små zoner og angive samlet rejsetid mellem hvert zonepar for henholdsvis kollektiv trafik og bil (eller rejsetidsforholdet)



Figur 16.3 Isokroner for kollektive rejser fra city (Højbro Plads).

Disse mål bliver dog ofte uoverskuelige (25 zoner giver 300 rejsekombinationer, der skal opgøres for myldretid, dagtrafik og lavtrafik).

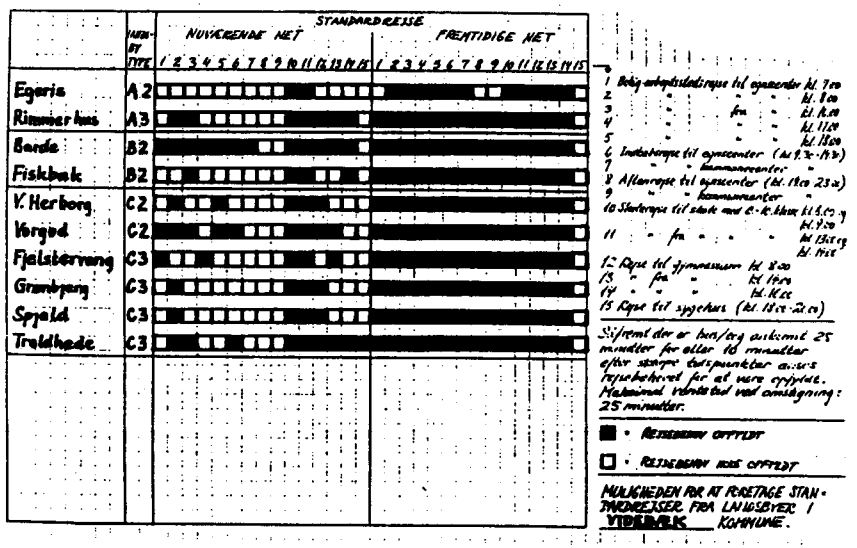
Beskrivelse af servicen i landområder

I landområder er der stort set ingen konkurrenceflade mellem bil og kollektiv trafik. Den kollektive trafiks primære mål er her at give et rimeligt tilbud til de personer, der ikke kan transportere sig selv.

I landområder er det ikke relevant at opgøre servicen i antallet af afgange, gangafstande o.lign., men mere hvilke rejsemål den kollektive trafik overhovedet kan bruges til. Man kan derfor definere en række standardrejser, fx:

- være på arbejdet kl. 07.00 i egnscenteret
- komme til posthus, læge osv. og returnere inden 2 timer

Herefter kan man se i hvilke landsbysamfund, den kollektive trafik kan opfylde disse standardrejser. Et eksempel er vist i figur 16.4.[8] Eksemplet er brugt til at vurdere virkningen af lovene om kollektiv trafik fra 1978 på landsbyernes serviceniveau.



Figur 16.4 Vurdering af serviceniveau i landområder. Dette gøres ved at beregne, om de definerede standardrejser kan gennemføres eller ej.

16.3 Brugernes ønsker

Tvangskunder

Både i byerne og i landområderne har den kollektive trafik i de sidste 8-10 år været i tilbagegang. I mange områder er de tilbageværende passagerer næsten udelukkende tvangskunder, dvs. personer uden andre reelle transportmuligheder end kollektiv trafik:

- personer i husstande uden bil, typisk pensionister og studerende
- personer i husstande med en bil, men hvor bilen primært bruges af én af husstandsmedlemmerne
- personer, der ikke har kørekort, typisk børn og unge

Men selv om passagererne stort set er "tvangskunder", er de alligevel følsomme for forringelser i den kollektive trafik (takststigninger, linienedlæggelser, frekvensforringelser osv.). Passagererne vil forsøge at prioritere bilkøb (evt. bil nr. 2) højere, anvende cykel, handle lokalt i stedet for i centrum, køre som bilpassager o.lign.

Præferencer

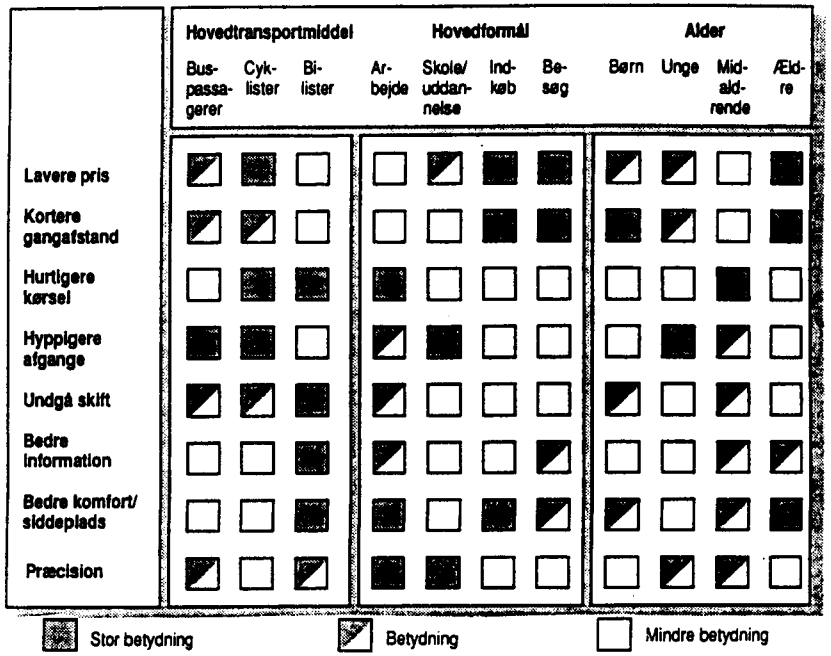
For at vende denne udvikling må man styrke den kollektive trafik. Her må man da gøre sig klart, at forskellige passagergrupper/potentielle målgrupper har forskellige meninger om, hvad der forbedrer den kollektive trafik.

Figur 16.5 viser et eksempel på forskellige gruppers præferencer, et eksempel der blot skal indikere de store forskelle hos forskellige grupper. Der findes nemlig kun få konsistente undersøgelser, der bredt medtager både forbedringstiltag og målgrupper.

De fleste undersøgelser involverer kun nuværende passagerer og for den kollektive trafiks kvalitet tages udgangspunkt i det lokale niveau.

Hvordan tiltrækkes bilister?

Mange undersøgelser peger på, at hvis man ønsker at få en stor del af bilisterne til at anvende kollektiv trafik, er det nødvendigt både at forbedre den kollektive trafik (positiv-midler) og at lave restriktioner overfor bilbrugen (negativ-midler). Men jo bedre den kollektive trafik er, desto svagere behøver de restriktive tiltag at være.



Figur 16.5 Forskellige målgrupper har forskellige præferencer for den kollektive trafik. Angivelserne må tages som eksempler, idet der kun findes få - og ofte modstridende undersøgelser.

Af *positiv-midler*, der synes at have god effekt på at tiltrække bilister er:

- hurtig og direkte kørsel mellem bolig- og arbejdsplads
- hyppig og præcis drift
- høj komfort, bl.a. altid siddeplads

Derimod synes prisen ikke at være af afgørende betydning, mens der er stor usikkerhed på, hvad gangafstanden betyder.

Endelig synes undersøgelser at pege på bilisternes mangelfulde kendskab til den kollektive trafik. Her vil bedre information være et godt virkemiddel.

Af *negativ-midler* synes parkeringsrestriktioner eller økonomiske restriktioner (p-afgift, benzinafgift, bompenge) at være effektive midler til at få bilisterne til at bruge den kollektive trafik.

En effektiv kombination af positiv- og negativ-midler kan være at etablere busbaner og busprioritering i signalregulerede kryds i byområder. Busserne kommer hurtigere frem og det tager kapacitet fra biltrafikken.

Effekt af forskellige tiltag

Det er vanskeligt at forudsige effekten af forskellige ændringer i den kollektive trafik, bl.a. fordi de enkelte undersøgelser har forskellige udgangspunkter for serviceniveauet af den kollektive trafik, biltrafikkens størrelse, den sociale sammensætning af trafikanterne osv.

I figur 16.6 er der vist et eksempel på beregnede effekter af forskellige tiltag i Kristiansand.[9,10] Effekter af takstændringer er vist i figur 16.2 og i tabel 16.1.

Effekt af tiltag til forbedring af kollektivtransport

COWIplan har gennemgået ialt 624 referencer i forskellige lande og ud af dette opført følgende aktuelle tiltag i Kristiansand. I tabllen er også angivet mulige virkninger på trafikken og omkostninger i form af behov for øget tilskud.

	Tiltag/beskrivelse	Effekt i antal	Effekt på pas.tilskud
1.	Takstændringer Indføring af undgdomskort, miljøkort e.l. med ca. 30% prisreduktion	5-10%	Tilnærmet uændret
2.	Generel halvering af taksterne	10-30%	Kraftig forøget
3.	Øget frekvens på basisruterne, fx dobling af antal afgange i dagtimerne	10-20%	Kraftig forøget
4.	Øget kørehastighed sml. med privatbilen. Busprioritering i kryds og regulering af egne busfelter	5-10%	Uændret
5.	Direkte busser i ruter mellem Kvadraturen og større boligområder	5-10%	Nogen forøgelse
6.	Serviceruter, dvs. små busser som reducerer passagernes gangafstand både i centrum og i boligområderne	0-5%	Nogen forøgelse
7.	Bedre information og markedsføring. Kortbaserede rutetabeller, korrespondancemuligheder mv.	0-5%	Uændret

COWIplan har følgende bemærkninger til tabellen:

"Bortset fra takstændringer og information (tiltag 1,2 og 7) bør tiltagene ikke iværksættes generelt i Kristiansand, men i dele af byen, hvor det anses at være størst behov for det aktuelle tiltag.

Direkte busser (tiltag 5) bør etableres i større boligområder, hvor brugen af nærgående busser er relativ lav.

Servicebusser bør etableres i områder som har stor gangafstand til basisrutene.

Forøgelse i frekvensen bør ske der hvor passagergrundlaget er størst".

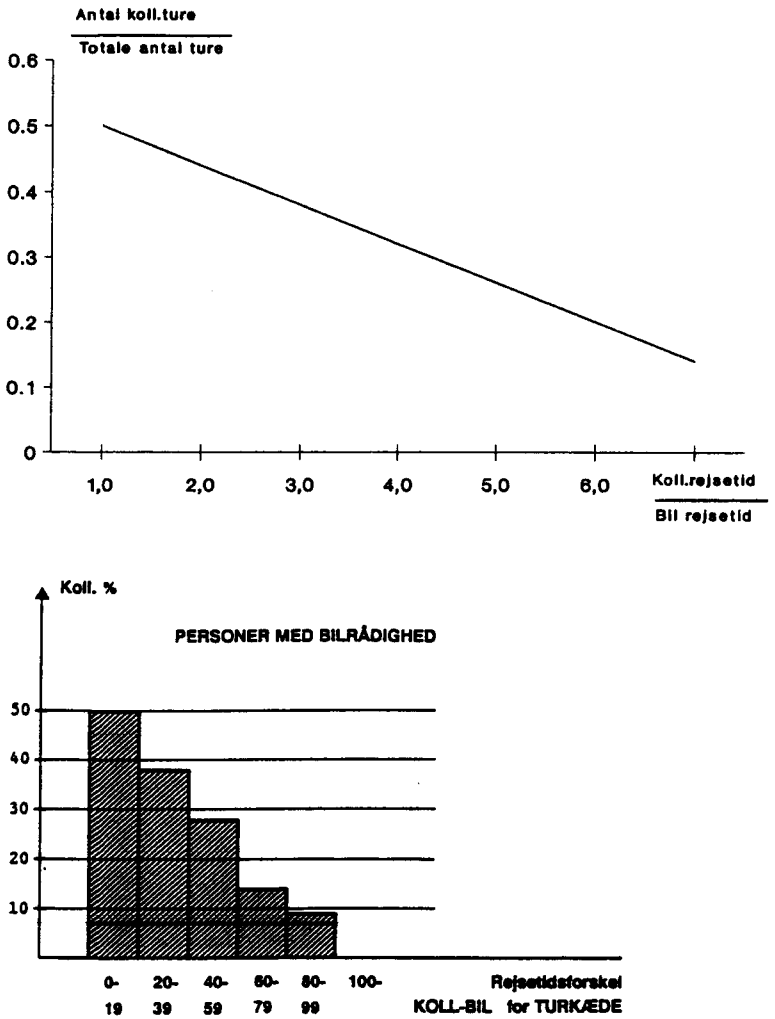
Ud fra tabellen konkluderer COWIplan som beskrevet i rapporten.

Effekt af tiltag i kollektivtrafikken, juni 1990:

*)	Hvis ikke tilskuddet øges væsentlig tror vi at positive effekter på rutetilbudet højst vil give en passagerforøgelse på ca. 20% (tiltag 1,4 og 7, samt evt. dele af tiltag 5 og 6).
*)	Selvom tilskuddet bliver væsentlig større end i dag vil gennemførelsen af alle tiltag i tabellen højst giver cirka 50% forøgelse i passagertallet.
*)	Hvis passagertallet skal fordobles må der foruden positive tiltag iværksættes en række foranstaltninger for at begrænse brugen af personbil, fx forøget benzinudgifter, parkeringsrestriktioner, bompenge o.l.

Figur 16.6 Beregnet effekt af forskellige tiltag i Kristiansand, Norge (ca. 65.000 indbyg gere) vurderet ud fra Kristiansands nuværende niveau og fra litteraturstudie

I storbyer vurderes effekterne af tiltag for den kollektive trafik eller restriktioner overfor biltrafikken ved at beregne overflytningen mellem bil og kollektiv trafik gennem en modal-split model. Der er i figur 16.7 vist 2 eksempler fra København, hvor der alene er taget hensyn til rejsetiderne med bil og kollektiv trafik.[11,12] I mere avancerede modal-split modeller vil man opstille rejseulempe-funktioner for henholdsvis bil og kollektiv trafik. Disse funktioner kan indeholde:



Figur 16.7 To eksempler på enkle modal-split modeller i København. Øverst indgår rejsetidsforholdet mellem bil og kollektiv trafik. Nederst indgår rejsetidsforskellen mellem bil og kollektiv trafik.

- rejsetid (vægtet efter forskellige rejsetidskomponenter: gangtid, skiftetid, køretid)
- takster for kollektiv trafik, kørselsomkostninger for bil
- p-afgifter
- komfort

Differentierede net

Som det er fremgået tidligere i dette afsnit, har passagergrundlaget og det potentielle grundlag forskellige ønsker til forbedringer i den kollektive trafik, og det gør det problematisk at have ét stort bybusnet, som mange danske byer har i dag. For eksempel vil betjening af et nyt erhvervsområde ofte kræve en større ruteomlægning.

Derfor bør de store bybusnet opbygges i forskellige nettyper til målrettet betjening af forskellige passagergrupper.

Som eksempel på en sådan opbrydning af et bybusnet kan nævnes et forslag, som Odense Bytrafik implementede i perioden 1992-94. Dette net består af følgende elementer:

- *Grundlinienet*, som kører med ½-timesdrift rimeligt direkte til og fra centrum som dobbeltradiallinier. Dette net kører ens både dag, aften og weekend. Inkluderer også en ringlinie
- *Supplerende daglinier* giver de største områder kvartersdrift på hverdage kl. 07-18. Forløber i øvrigt identisk med pågældende grundlinie
- *Pendlerlinienet* i myldretiderne til hurtig og direkte betjening mellem boligområder og erhvervsområder, samt centrum. Dette net kører ½-timesdrift, eventuelt med ledbusser
- *Servicelinier* i dagtimerne (kl. 09-18) opbygget omkring indkøbsrejsende og ældre menneskers behov for kørsel til de lokale omsorgscentre, lægehuse og lignende. Kører med små lavtgulvsbusser med timesdrift

Forholdet mellem de anvendte ressourcer for de 4 net er: 74%, 10%, 8% og 8%. I en detailplanlægning har denne omlægning vist sig at give en samlet besparelse på driften på 9%, dog under forudsætning af samarbejde omkring taksterne mellem Odense Bytrafik og Fyns Amts Regionalruter.

Med dette differentierede net kan kommunen langt bedre og billigere foretage målrettede ændringer, når der er behov for det: Et nyt erhvervsområde betjenes ud fra ændringer i pendlernettet - uden at grundlinienettet behøver at blive ændret. Et kvarter, hvor der sker en stor stigning i antallet af ældre mennesker, skal måske fremover betjenes med en ny eller ændret servicelinie osv.

16.4 Planlægning af kollektiv trafik

Generelt

I dette afsnit skal gives en oversigt over planlægningens indhold. I denne forbindelse bør en række vigtige punkter altid checkes:

- Er den samlede rejsetid fra forskellige punkter rimelig (i byer i forhold til bil og cykel)?
- Er der omvejskørsel/blindkørsel?
  I byer kan løsningen være differentiering i grundnet, hurtigbusser og servicebusser. I landområder kan løsningen være efterspørgselsstyret trafik (telebusser) for kun at påføre omvejskørsel, når der er passagerer "at hente"
- Nye busgader i trafikdifferentierede boligområder kan give både bedre betjening og bedre økonomi
- I tætte byområder er etablering af busbaner/busgade den mest effektive måde at sikre bussernes fremkommelighed og regularitet. Bør etableres i forbindelse med udarbejdelse af en samlet trafikplan
- Antallet af stoppesteder bør ses i sammenhæng med rejsetid, benyttelse og byens stinet
- Opfylder køreplanen aktiviteternes start-/sluttider? Af ressourcemæssige årsager er løsningen ofte en gensidig tilpasning mellem køreplan og aktivitet
- Er systemet tilstrækkeligt enkelt at forstå og bruge, bl.a. køreplan og nummersystem. Især vigtigt for at tiltrække nye brugergrupper, bl.a. bilister
- Er takstsystemet enkelt at forstå, retfærdigt for brugerne og kan det af trafikselskabet bruges som et styringsværktøj til optimering af økonomien? Igen et kompromis, hvor:
  - *enhedstakst* er "enkelt"
  - *zonetakst* er "rimeligt enkelt og retfærdigt"
  - *afstandstakst* er "retfærdigt"
  - *tidsdifferentieret takst* er et "styringsværktøj"
- Kommende nye boligområder og erhvervsområder skal altid vurderes (og helst besluttes) ud fra muligheder for betjening med en effektiv kollektiv trafik

At disse regler for en god kollektiv trafik ikke blot er en teoretisk betragtning kan belyses med eksempler fra den effektive kollektive trafikbetjening af de i 60'erne og 70'erne etablerede "new towns" i England, sammenlignet med 2 svenske byer:

Runcorn:	40 busser til bybusbetjeningen
Redditch:	70 busser til bybusbetjeningen
Norrköping:	90 busser + sporvogne til bybusbetjeningen
Västerås:	80 busser til bybusbetjeningen

De 4 byer har alle 90-100.000 indbyggere, samt stort set samme areal og bebyggelsestæthed.[5] I de 2 engelske "new towns" er den kollektive trafik fuldt integreret i byplanen, hvilket således har medført en bedre busbetjening ved anvendelse af færre ressourcer.

Eksempel på planlægning i byområde i København

I 1984 besluttede HT at igangsætte et samlet projekt, der skulle forbedre busbetjeningen for de fleste brugere i København ved at give dem kortere rejsetid og færre skift uden at anvende flere driftsressourcer.[13]

Det undersøgte område omfattede et net, der betjentes af ca. 500 busser. Til brug for linieomlægningerne blev anvendt trafikmodellen EMMA.[14]

Der blev derfor i 1984/85 igangsat en stor dataindsamling bestående af følgende oplysninger om den daværende bustrafiks benyttelse:

- "Briktælling" af passagererne på ca. 25% af afgangene på en hverdag. Herved fås stoppesteds-OD pr. buslinie, dvs. sammenhørende på- og afstigningsoplysninger
- Interviews af passagererne på en hverdag for bl.a. at vurdere skiftemønster, formål samt "endelig" OD, dvs. rejsernes udgangs- og endepunkt
- Snittællinger på en hverdag til brug for opregninger
- Mere generelle interviews på en hverdag, en lørdag og en søndag for at vurdere en københavnsk buspassagers profil og konkurrenceflader mellem kollektiv trafik og individuel trafik

Disse oplysninger blev anvendt til at vurdere enkeltlinier, til at vurdere nuværende passagerers rejsemønstre og via EMMA til at vurdere effekten af foreslåede ændringer i linienettet. Endelig blev de generelle interviews anvendt i de mere strategiske overvejelser.

EMMA er en model, der både kan anvendes til kollektiv trafik og biltrafik samt eventuel gang- og cykeltrafik. Som input til modellen anvendes:[14]

- Vejnet og stinet
- Til brug for biltrafik: strækningernes hastigheder
- Buslinierne med bushastigheder, frekvenser, stoppestedsophold og skiftestraf
- Eventuelle enhedsomkostninger for bus- og bilkørsel og energiforbrug

- OD-mønstre, eventuelt estimeret alene ud fra snittællinger
- Modal-split funktion, som angiver, hvordan folk vælger mellem bil og kollektiv trafik. Denne funktion skal normalt indlægges specifikt for en by, men EMMA har en "generel" funktion, baseret på "internationale erfaringer"

Det skal pointeres, at EMMA kan anvendes til at estimere konsekvenserne af foreslåede ændringer, men selve ændringerne/ideerne/løsningsforslagene skal angives som input. Samtidig er konsekvensberegningernes kvalitet afhængig af de indsamlede data's kvalitet, især OD-mønstre og modal-split funktionen.

Konsekvenserne vil herefter blive:

- Belastning af vejnet, vognkm, persontrafikarbejde
- Passagerbelastning på de enkelte buslinier (passagerer mellem hvert stoppested, pr. linie, på nettet, pass.km, buskm, antal busser, omkostninger)
- Grafiske fremstillinger (ud over tabeller)

I modsætning til andre modeller anvender EMMA ikke en fordeling mellem buslinier (når der er flere valgmuligheder) efter "alt eller intet-metoden" ud fra hurtigste tid, men en fordeling mellem linierne ud fra liniernes frekvens, køretid og skift, hvor fordelingsfunktionen er baseret på erfaringsmateriale om folks faktiske valg.

I København anvendtes EMMA udelukkende til at vurdere konsekvenserne for den kollektive trafik, bl.a. af ressourcemæssige årsager, og fordi bilrejsemønsteret ikke var kendt.

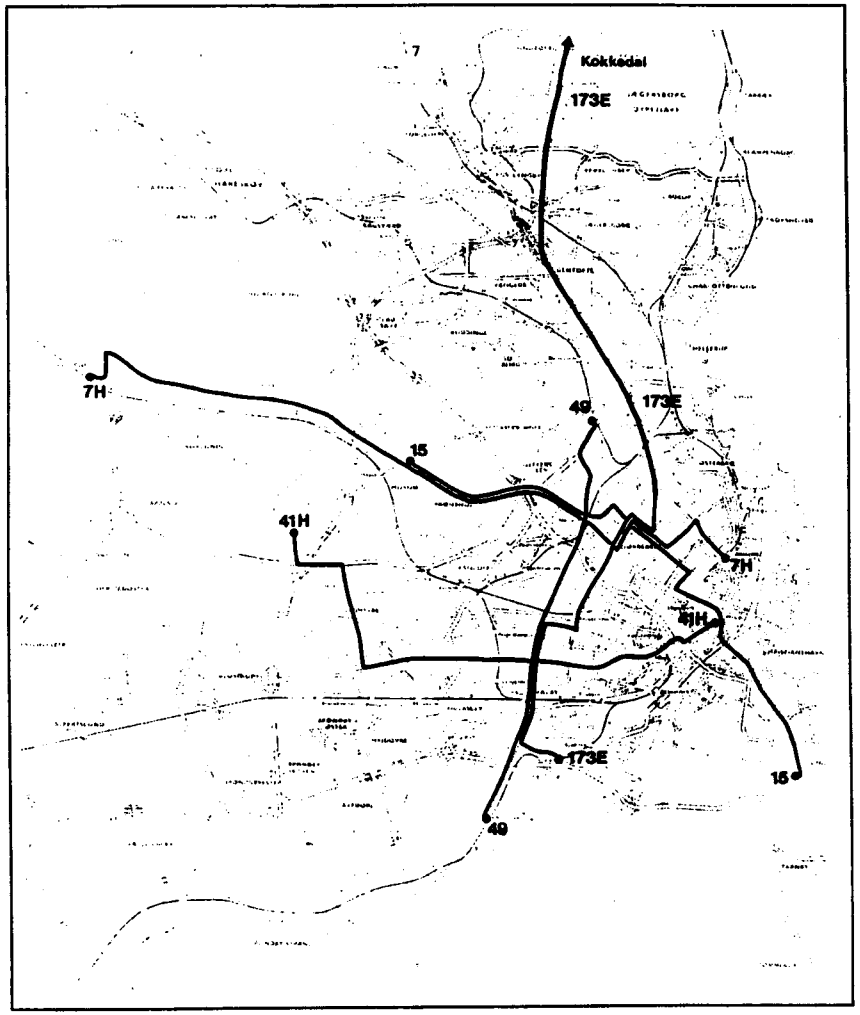
Resultatet af undersøgelsen i København blev forslag til:[13]

- 5 nye linier, heraf 3 ekspresbuslinier, se figur 16.8
- 5 linieforlængelser
- 6 linieændringer
- 3 linieafkortninger
- 4 frekvensændringer

Forslaget ville forbedre servicen ved at give især tværtrafikken hurtigere forbindelser samt etablere flere forbindelser mellem bus og S-tog. Forslaget gav også mange nye forbindelser mellem boligområder og arbejdsplads-/uddannelsesområder.

Økonomisk ville forslaget medføre en mindre besparelse i både kørselsomfang og antal busser.

Forslaget var opdelt i 3 etaper for perioden 1987-89. De fleste elementer i forslaget er blevet gennemført, men modificeret på grund af generelle nedskæringer, større S-togsændringer og lignende.



Figur 16.8 Forslag til nye buslinier i København i 1986. Ekspresbuslinier: 7H, 41H, 173E.

Eksempel på planlægning i by- og landområde i Næstved

Anvendelse af en model til konsekvensberegninger i København var en nødvendighed. Derimod kan man normalt undvære tilsvarende modeller til planlægning af kollektiv trafik i de mellemstore danske bybusbyer og i landområder.

Et eksempel er Næstved kommune, som i 1989 ønskede en vurdering af kommunens samlede kollektive trafik.[15,16] Dette skyldes, dels at bybus- og lokalbusnettet

nu havde fungeret i 12-13 år uden andet end justeringer, og dels at Storstrøms Trafikselskab havde vedtaget en ny byrdefordelingsmodel mellem amtet og kommunen. Denne nye model indebar, at kommunerne nu selv skulle dække underskuddet i den lokale kollektive trafik. Lokalbusnettet skulle også omlægges på grund af ny skolestruktur i den sydøstlige del af Næstved.

Vurderingerne blev foretaget ud fra foreliggende data om bybusnettet, bl.a. lidt ældre på- og afstigningstællinger på bybusnettet (1985) og nyere passagertællinger pr. tur. Derudover blev anvendt pendlingstal og befolkningstal på zoneniveau og lokalisering af og samtaler med større arbejdspladser. Endelig indgik naturligvis de kommende planer om bolig- og centerudvikling, bl.a. etablering af en ny bydel og et storcenter i den nordlige del af Næstved.

Med hensyn til lokalruterne blev elevkørslen fuldstændigt kortlagt, både til folkeskoler og privatskoler.

Bybusnettets svagheder var, at det havde meget sløjfekørsel, dårlig gennemskuelighed (bestod af 12 linier), dårlig betjening af de nye boligområder i den nordlige del af kommunen og der var ingen målrettet arbejdspladsbetjening. Styrken var en stor fladedækning.

Forslaget bestod af:

- 5 *grundlinier* (4 dobbeltradialer, 1 enkeltradial) med ½-timesdrift på hverdage og timesdrift aften/weekend
- 2 *pendlerlinier* med ½-timesdrift i myldretiderne

Dette forslag betød en større overskuelighed, klart skiftemønster og korrespondance ved Banegården, betjening af de nye boligområder og 15 minutters drift til det nye storcenter samt en styrket betjening af de større industriområder.

Ulemperne var, at 5-6 strækninger blev dårligere betjent med hensyn til gangafstand.

Økonomisk ville forslaget medføre omkring ¾ mio kr. mindre i årlige driftsudgifter for Næstved Kommune.

Forslaget blev med enkelte ændringer gennemført fra foråret 1990. Ifølge oplysninger fra Næstved Kommune og tællinger fra amtet har omlægningen været en passagermæssig succes med stigning i passagertallet.

Det kan i øvrigt tilføjes, at der med driftsmidler fra Trafikministeriets handicappulje i 1991 blev igangsat et 3-årigt forsøg med:

- 4 *servicebuslinier*, betjent med timesdrift af 2 DAB-lavtgulvs-midibusser

Lokalbusnettet i Næstved blev ligeledes omlagt fra efteråret 1990, bl.a. blev der indført:

- *telebusbetjening* i den sydlige del af kommunen, hvor en rute med et fast ruteforløb efter telefonopkald direkte til chauffør havde indlagt tid til at betjene nogle helt små bysamfund (ruteafvigelse)

En tilsvarende telebusbetjening i den nordvestlige del af kommunen har fungeret udmærket i flere år.

16.5 Anvendelse af Stated Preference i planlægningen

For at vurdere efterspørgslen efter produkter og tjenesteydelser har man i en årrække inden for markedsanalyser anvendt interviews, hvor respondenterne stilles overfor valget mellem en række hypotetiske produktvarianter, hver med deres stærke og svage sider. Ud fra respondenternes rangordning kan man da udlede de forhold, der har størst betydning i valget. Denne metode kaldes Stated Preference.

I de seneste år er denne metode også anvendt i transportanalyser især i situationer, hvor eksisterende alternativer er for snævre, eller hvor helt nye typer service skal vurderes. Også i undersøgelser af ikke-kollektiv brugeres muligheder for at anvende nye kollektive systemer er Stated Preference et godt redskab.

Som eksempel på anvendelse af Stated Preference i planlægningen af kollektiv trafik er i appendix 16.1 omtalt et eksempel på en sådan analyse omkring et forsøg med telebusser i Ravnsborg Kommune på Lolland.[17]

16.6 Den kollektive trafiks organisation

Hovedstadsområdet

Hovedstadsområdet består af de 3 hovedstadsamter samt Københavns og Frederiksberg kommuner. I alt har området en befolkning på 1,7 mio. og betjenes af ca 1.300 busser, S-tog (ca. 550 vogne) samt 5 privatbaner.

Under Hovedstadsrådets politiske ansvar var al drift samlet omkring HT, der dels stod for 82% af busdriften (øvrige 18% efter kontraktkørsel med private busselskaber), dels koordinerede buskørslen med DSB og privatbaner (sidst

nævnte havde dog en særstatus). Reelt fungerede DSB som entreprenør, hvor alle udgifterne blev betalt, men hvor indtægterne blev i HT.

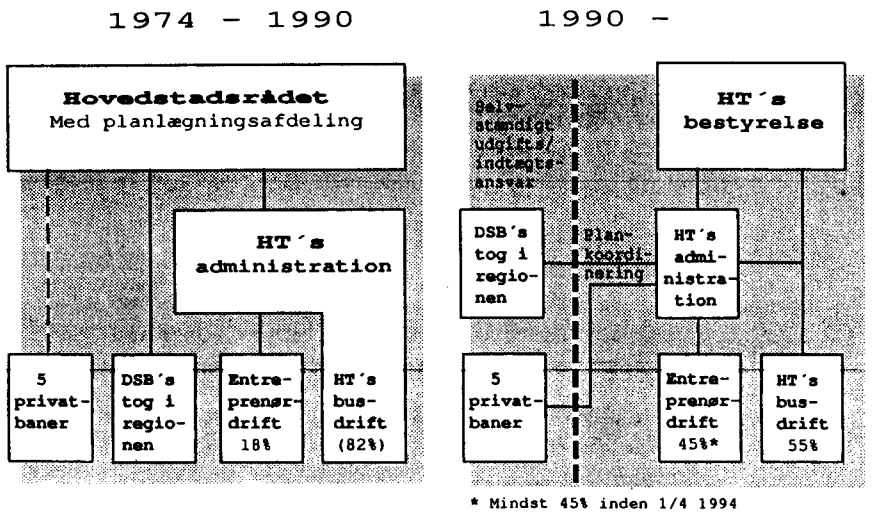
Med lov om Hovedstadsrådets nedlæggelse opstod en meget anderledes organisation, se figur 16.9. Loven bestemte, at:

- Ansvaret for DSB's baner i Hovedstadsområdet blev tilbageført til staten (fra Hovedstadsrådet). Retningslinierne for den kollektive trafik angives i en plan udarbejdet i fællesskab mellem HT og DSB.
- HT, DSB og Privatbanerne skulle dele de samlede indtægter efter antallet af passagerer. HTs underskud blev dækket af de 5 hovedstadsenheder efter skattegrundlag, DSBs underskud af staten, mens Privatbanernes underskud skulle dækkes af staten + amter + kommuner med en fordeling på 70% + 15% + 15%.
- HT skulle udlicitere mindst 45% af sin bustrafik inden 1994 til private busselskaber.

Denne nye organisation forventes at gøre parterne mere forretningsmæssigt interesserede i at få flere passagerer og samtidig holde udgifterne nede.

Samtidig synes HT's opdeling i en administration og en busdrift at adskille køber- og sælgerrollen for herigennem at kunne købe bustrafikken til den mest fordelagtige pris. Der er p.t. ønsker om helt at adskille HT's 2 funktioner, således at busdriften drives i selvstændige selskaber.

Det skal i øvrigt fremhæves, at Hovedstadsområdets fælles billetsystem er en forudsætning i den nye lov.

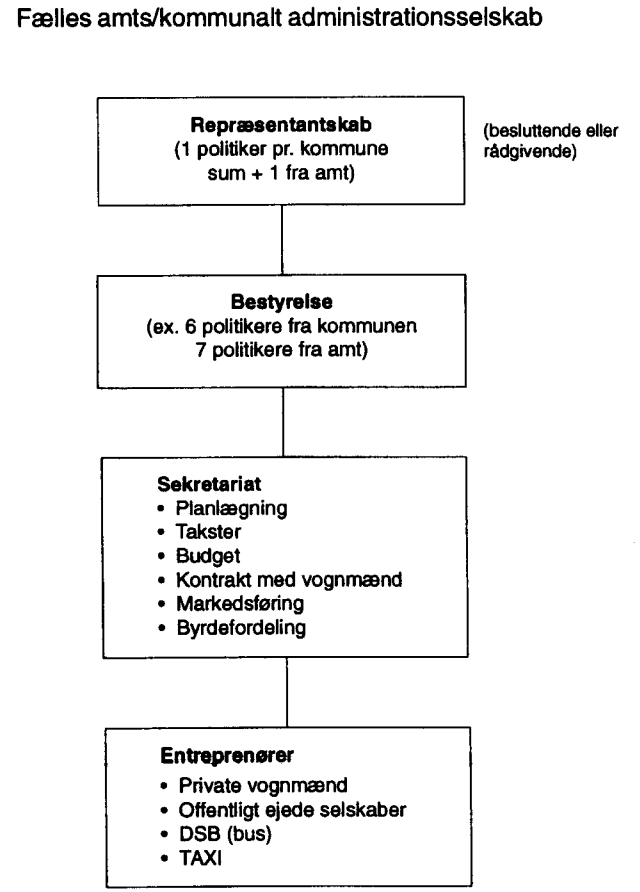


Figur 16.9 Den kollektive trafiks organisation i Hovedstadsområdet.

Uden for Hovedstadsområdet

Køber-/sælger-rollen er klart adskilt uden for Hovedstadsområdet. Her blev der omkring 1980 i 9 af 11 amter (nemlig eksklusive Fyns og Århus amter) uden for Hovedstadsområdet dannet såkaldte fælles amts-/kommunale administrationsselskaber, se figur 16.10. Disse administrationsselskaber har al bevilling til buskørslen, men lader den udføre 100% af entreprenører. Administrationsselskabet styrer således al planlægning, takster og markedsføring.

Entreprenørerne er en blanding af små selskaber (1 bus) og store selskaber, private og offentlige. Langt den største entreprenør er i øvrigt DSB's rutebil-divi-



Figur 16.10 Den kollektive trafiks organisation i 9 af 11 amter uden for Hovedstadsområdet.

sion, mens DSB's togtrafik er holdt uden for administrationsselskaberne, både driftsmæssigt og foreløbigt også billetmæssigt over for passagererne.

Administrationsselskaberne betaler alle udgifter, og indkasserer alle indtægter. Bemærkelsesværdigt har man igennem 80'erne anvendt samme model til betaling af entreprenørerne, nemlig standardentreprenørkontrakten. Ud fra køreplanen, busstørrelse, busalder og gennemsnitshastigheden kan kontraktsummen beregnes. Eneste "usikre" parameter er, hvordan en entreprenør med alle sine kontraktbusser kan udnytte sine chauffører i forholdet til antallet af køreplanstimer (det såkaldte procenttillæg).

I de seneste år er en række kontrakter indgået efter licitation. Denne tendens vil uden tvivl forstærkes i de kommende år.

Administrationsselskabernes underskud dækkes af kommunerne og amtet. I Vestsjælland (VT), Sønderjylland (ST), Ribe Amt (RAT), Ringkøbing Amt (TRA), Vejle Amt (VAT) og Viborg Amt (VAFT) dækkes 50% af amt og 50% af kommuner efter forskellige kriterier, se figur 16.11.

I følgende administrationsselskaber: Nordjyllands Amt (NT), Storstrøms Amt (STS) og Bornholms Amt (BAT) betaler kommunerne for det underskud, som lokalruterne påfører selskabet, og amtet for det underskud, som regionalruterne påfører selskabet. Underskuddet beregnes ud fra hyppige passagertællinger.

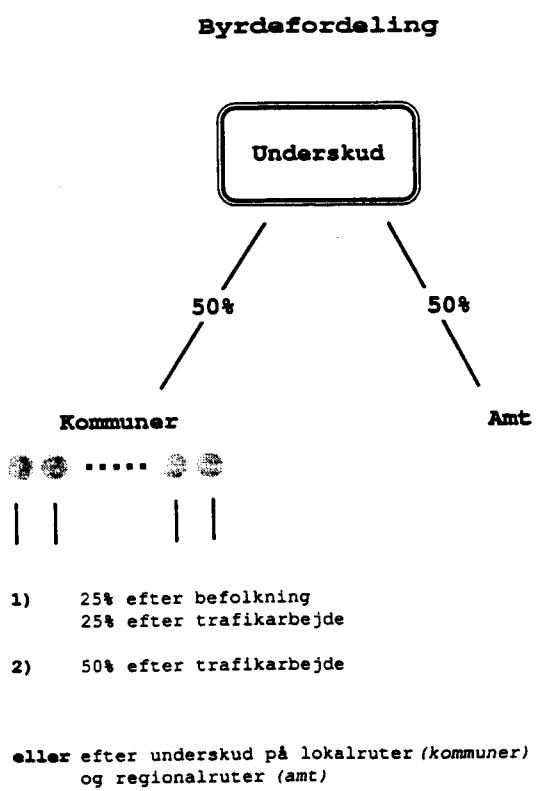
I Århus Amt og Fyns Amt er der ikke dannet fælles amts-/kommunale administrationsselskaber. Her administrerer amterne den regionale trafik, mens kommunerne administrerer hver sit lokale busnet uden fx fælles billetsystemer mellem regionalruter og lokalruter. Denne model har Amt og kommuner i Ringkøbing Amt også fulgt fra august 1993, hvor TRA blev nedlagt.

Internationale tendenser

Fra slutningen af 80'erne blev den kollektive trafik uden for London-området dereguleret, dvs. enhver vognmand kan med 3 ugers varsel oprette en busrute med den køreplan og til de takster, han selv fastsætter (eller kan opnå). I områder, hvor der ikke er basis for kommerciel drift kan amtet gå ind og bede en række selskaber om at give tilbud på driften, normalt efter en plan udarbejdet af amtet.

Fordelene synes udelukkende at være økonomiske, idet tilskuddet til kollektiv trafik er faldet. Derimod får passagererne en meget svingende kvalitet på transporten. Blandt andet mener mange konkurrerende selskaber, at køreplanerne er en konkurrenceparameter, som derfor ikke må være alt for kendt!

Det engelske system er ikke umiddelbart blevet kopieret i andre europæiske lande, omend der på overskudsgivende fjernruter er tendenser til en deregulering.



Figur 16.11 Byrdefordeling af underskud i administrationsselskaberne uden for Hovedstadsområdet.

Sverige ligner meget Danmark med sin organisation i länsselskaber. Men forskellen er, at disse selskaber er aktieselskaber, der i udstrakt grad anvender licitation som kontraktform for buskørslen. Netop i Sverige har man dereguleret den lokale jernbanetrafik fra 1990 og for fjernbustrafikken fra 1992. I øvrigt har Sverige i 1991 dereguleret al taxikørsel.

EU har vedtaget et direktiv, der bestemmer, at offentlige tjenesteydelser over en vis værdi skal udbydes i licitation fra d. 1. juli 1993. Her vil den danske model for organisation af den kollektive trafik uden større problemer kunne tilpasse sig licitation, især uden for Hovedstadsområdet, hvor "køber-" og "sælger-rolle" er adskilt.

Appendix 16.1 - Anvendelse af interview-metoden Stated Preference til vurdering af den lokale kollektive trafik i Ravnsborg

Dette appendix er et uddrag af rapporten "Transportbehov og efterspørgsel i landområder", COWIconcult, 1993.[17]

Resumé og konklusioner

Indledning

Formålet med dette projekt er at skabe en systematisk viden om, hvordan fleksible og efterspørgselsstyrede kollektive trafiksystemer fungerer i landområder set med beboernes øjne. For at opnå denne viden er der anvendt en speciel form for husstandsinterviews "Stated Preference" (SP-analyser) - hvor respondenterne stilles over for nogle hypotetiske, men realistiske valgmuligheder vedrørende den kollektive trafik.

Projektet er for Trafikministeriet gennemført af COWIconsult, der i planlægnings- og analysefasen har fået assistance af det engelske firma Accent, Marketing and Research. En følgegruppe har givet ideer og kommentarer til interview-analysen og rapporteringen. Det nedenfor omtalte forsøg i Ravnsborg har dannet udgangspunkt for SP-analysen.

Ravnsborg-forsøget

I Ravnsborg Kommune på Vestlolland blev der i august 1992 iværksat et forsøg, hvor den lokale kollektive trafik og en række kommunale specialkørsler blev samordnet i ét system - Totalbussen. 6 små busser med plads til kørestole betjener kl. 07-09 og kl. 12-15 skoleelever med faste ruter, men kl. 09-12 og kl. 15-18 køres efter forudgående telefonisk bestilling direkte hos chauffør dør-til-dør kørsel inden for pågældende rutes område. Herved kan bl.å. dårligt gående pensionister betjenes med Totalbussen til ældrecenter, læge, speciallæge, indkøb, bibliotek og lignende. Totalbussen giver også betjening om aftenen og i weekenden. Endelig bringer Totalbussen varm mad ud til en række pensionister.

Stated Preference-metoden

For at vurdere efterspørgslen efter produkter og tjenesteydelser har man i mange år inden for markedsanalyser anvendt interviews, hvor respondenterne stilles over for valget mellem en række hypotetiske produktvarianter, hver med deres stærke og svage sider. Ud fra respondenternes rangordning af de forskellige varianter kan det udledes hvilke forhold, der har betydning for respondenterne. Metoden kaldes "Stated Preference" (SP).

I de seneste år er denne metode også anvendt inden for transportanalyser, selv om man her normalt har foretrukket den såkaldte "Revealed Preference", hvor det er den konkrete adfærd, som trafikanterne udviser, der danner baggrund for en analyse. SP-analysen har dog nogle fordele og muligheder bl.a. i situationer, hvor de nuværende alternativer er for snævre eller helt nye typer service skal vurderes. Også undersøgelser af ikke-brugernes muligheder for at anvende nye systemer er SP-analysen et godt redskab.

SP-metoden består af en række trin:

- valg af faktorer, der skal analyseres
- opstilling af nyttemodel
- valg af spørgeteknik
- design af SP-spil
- gennemførelse af interviews
- analyse af data

I Ravnsborg ønskede man at finde ud af hvilke faktorer, der er vigtigst for forskellige brugergrupper, og hvordan det nye system vurderes i forhold til det gamle system, der bestod af lokalruter i skoletiden og specialkørsel med Falck og taxa af pensionister til ældrecenter, læger og speciallæger. I SP-spil er det normalt at sammenligne alternativer, der relaterer sig til en bestemt tur. Men i Ravnsborg vil dette ikke være hensigtsmæssigt og i stedet er valgt at vurdere alternative udformninger af det samlede system.

Der er belyst 3 faktorer ved hjælp af SP-spil:

- Pris med 3 niveauer for taksten: Nuværende, 25% lavere og 25% højere end nuværende
- Service med 3 systemer: Det gamle system med et begrænset antal ruter, der alle kører efter faste køreplaner, samt specialkørsel af pensionister. Totalbussen, som den kører i dag med faste ruter og dør-til-dør kørsel med 1 times forudbestillingstid. Totalbussen, men med 15 minutters forudbestillingstid
- Antal daglige afgange med 3 niveauer: Som i dag (for Totalbussen eller "som det var" for det gamle system), en ekstra afgang pr. rute pr. dag og to ekstra afgange pr. rute pr. dag

Alle faktorernes niveauer skal virke realistisk gennemførlige for respondenterne. Derfor er antallet af ekstra afgange lagt udenfor myldretiderne, således at det ikke medfører anvendelse af yderligere busser til betjeningen

SP-spillene blev baseret på rangordning og der blev valgt et delvist design, hvor de $3 \times 3 \times 3 = 27$ mulige kombinationer af faktorer blev nedsat til 9 ved hjælp af en standard-programpakke (SPEED). Der blev valgt et design for brugere og andet for ikke-brugere af Totalbussen. For brugerne indeholdt de 9 valgmuligheder bl.a. det nuværende Totalbus-koncept og det gamle system for bl.a. at kunne opnå en direkte sammenligning af disse systemer. Ikke-brugerne blev bl.a. præsenteret for det "bedste" alternativ: 25% lavere takst, 15 minutters forudbestillingstid og to ekstra afgange pr. rute, samt for det gamle system.

Der blev udarbejdet et omfattende materiale til brug for spillene:

- 9 spillekort til brugere og tilsvarende sæt til ikke-brugere i A5-format med en kort forklaring af de 3 faktorer. Niveauerne blev illustreret med raster/-skraveringer
- En mere detaljeret takst-tabel var vist på kortenes bagsider, ligesom interviewerен var udstyret med fuldstændig takst-tabel og zonekort
- Rutekort i farver over Totalbussen, det gamle lokalnet og de regionale ruter i området
- Fuldstændige køreplaner for både det nye system og det gamle system, samt for de 2 systemer med henholdsvis én ekstra afgang og to ekstra afgange, dvs. i alt 6 sæt køreplaner

Samlet er dette materiale meget omfattende, men for den enkelte respondent blev der fokuseret på den eller de ruter, som pågældende benytter. Således kunne den enkelte respondent overskue valgmulighederne.

For at supplere SP-analysen med skøn over efterspørgslen inkluderede spørgeskemaet turtabeller for:

- Totalbussen
- Totalbussen med ekstra afgange og 15 minutters forudbestillingstid
- Det gamle system

For ikke-brugerne skulle kun de 2 sidstnævnte besvares og med en 25% lavere takst end i dag. Kun de ikke-brugere, der ville anvende et af disse systemer, skulle gennemføre SP-spillet.

Turtabellerne angiver antal ture med det lokale kollektive trafiksystem inden for den sidste måned. Turene opdeles efter formål, tidspunkt og turlængde.

Spørgeskemaerne gav også oplysninger om en række andre emner, bl.a.:

- benyttelse af andre transportmidler
- turformål
- meninger om Totalbussen
- rejsemønster med Totalbussen
- om transporten er betalt af det offentlige eller én selv samt en række demogra fiske data om respondenten og dennes husstand. Også disse spørgsmål e tilpasset brugere og ikke-brugere

Der blev gennemført 152 husstandsinterviews i perioden 23. november til 1· december 1992. Respondenterne blev opdelt i 3 grupper: transportberettiged brugere (primært skolebørn), betalende brugere og ikke-brugere.

I hver husstand blev kun én person over 12 år udvalgt til interview. Udvælgelse skete gennem forudgående telefoninterviews. Da kun 3% af husstandene ikk har telefon i Ravnsborg, og KTAS skønner, at kun få har hemmeligt telefonnun mer anses udvælgesesmetoden ikke at give anledning til skævhed.

SP-analysen stiller store krav til interviewerne. Derfor blev der udvalgt inte viewere fra Handelshøjskolen med interesse for marketing, samt interviewer med forudgående erfaring. Interviewerne blev grundigt instrueret, ligesom d første 20% af interviewene blev betragtet som pilotinterviews med mulighed fc efterfølgende ændringer i spørgeskemaer og instruktion.

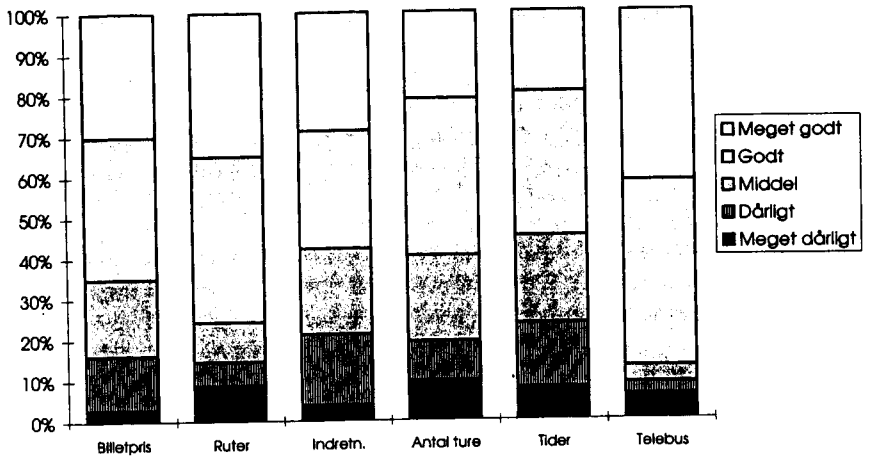
Interviewene foregik hjemme hos respondenterne og varede ½-1 time. I juni 199 blev der gennemført telefoninterviews af ikke-brugerne for at afdække, hvad de eventuelt kunne få dem til at blive brugere af et lokalt kollektivsystem.

SP-spillene blev analyseret med assistance fra det engelske firma Accent, marke ting and research. Der blev anvendt en programpakke (SPEED). Der blev benytte en variant af lineær regression, hvor de uafhængige variable er forskellene på d enkelte niveauer af faktorerne. Analyserne er opdelt på en række grupper for a analysere, om der er forskel i faktorernes betydning:

- brugere opdelt i transportberettigede og betalende
- brugere opdelt i storforbrugere (bruger Totalbussen mindst 5 gange pr. uge) o; lavforbrugere
- brugere opdelt efter alder: børn, voksne og ældre
- ikke-brugere

Resultater

Generelt er der god tilfredshed med Totalbussen. Alle de bestanddele af systeme som respondenterne er blevet spurgt om, vurderes "godt" eller "meget godt" af ca 60-70% af respondenterne, se figur 1. Især er vurderingen af systemets telebusde meget positiv (87% svarende godt eller meget godt). Dog har kun ca. halvdele



Figur 1 Meninger om Totalbussens forskellige elementer.

svaret på dette spørgsmål, da de øvrige (endnu) ikke har prøvet telebus-delen af systemet.

Den mest tilfredse gruppe er de ældre.

Respondenterne er også blevet spurgt, om det bedste og værste ved Totalbussen. Totalbussen blev især rost for telebus-delen, chaufførhjælpen og de gode udstigningsforhold i lavtgulvsbussen. Af negative ting er bussernes indretning (sæder, der vender sidelæns) og størrelse (for lidt plads) nævnt, samt det at busserne ikke altid overholder køreplanerne. Interviewene af ikke-brugere viser, at denne gruppe også har en overvejende positiv holdning til Totalbussen.

Efterspørgslen

Ifølge interviewene har overgangen fra det gamle system til Totalbussen betydet en forøgelse af antallet af ture med 22%. Det er især fritidsturene, der øges, ligesom det navnlig er de voksne brugere, der har foretaget flere ture. Udvides ~~systemet med to ekstra afgange~~, vil ~~dette kunne~~ betyde en yderligere passagertilgang på ca. 10%. SP-analysen viser følgende:

- ændringen fra det gamle system til Totalbussen opfattes som en markant forbedring
- en formindsket forudbestillingstid opfattes derimod kun som en lille forbedring
- én ekstra afgang pr. rute pr. dag anses for en god forbedring, men at få to ekstra afgange vurderes kun som lidt bedre end én ekstra afgang
- en takstlettelse er af mindre værdi end en ekstra tur og indførelse af Totalbus-konceptet
- der er store forskelle i aldersgruppens opfattelse. Børn og unge er følsomme for takststigninger og har gavn af kortere bestillingstider.
- der er større følsomhed for takststigninger end takstlettelser

Efterfølgende telefon-interviews af de ikke-brugere, der i SP-undersøgelsen ikke vil anvende Totalbussen, har vist, at ikke-brugerne primært er bilister, fuldtidsbeskæftigede i alderen 20-59 år. De betragter egen bil som en nødvendighed og har svært ved at tro på - indenfor økonomisk realistiske rammer - et lokalt kollektivt system, som et alternativ til bilen, selv ikke med kraftigt stigende benzinpriser og faldende kollektivtakster.

SP-metodens anvendelighed

Generelt konkluderes, at metoden i Ravnsborg har givet nogle troværdige resultater trods mange komplekse spørgsmål, herunder en rangordning af 9 forskellige kollektive trafiksystemer. Lidt overraskende har det vist sig, at børn uden problemer kan deltage i og gennemføre SP-spil fornuftigt. Der er ingen forskel på forståelsen af spillene i aldersgruppen 12-59 år. 88% gennemfører spillet med troværdigt resultat. Derimod opgiver næsten halvdelen af ældre mennesker overhovedet at forsøge at gennemføre spillet. Af de, der forsøger, gennemfører en stor del - 79% - dog spillet med et troværdigt resultat. De ældre, der ikke gennemførte spillet, rejser ikke så meget med Totalbussen som de ældre, der gennemførte spillet. Den gruppe af ikke-brugere af Totalbussen, der blev bedt om at gennemføre SP-spillet, gennemførte alle med et troværdigt resultat.

Da brugerne af den kollektive trafik i landområderne er en blanding af transportberettigede elever, der får skoleturene betalt af kommunen, og andre brugere, der selv betaler for turene, må SP-analysen basere sig på et samlet system. Dette gør det vanskeligt at designe SP-spil til brug i landområder. Respondenterne bliver således stillet overfor et omfattende materiale, men erfaringerne fra denne analyse viser, at denne fremgangsmåde giver et godt realistisk resultat.

Metoden kan således anbefales til analyser af brugernes vurderinger af kollektiv trafik i landområder og til analyser af behovet for kollektiv trafik i landområder herunder nye koncepter. Metoden kan således også anvendes til at undersøge brugernes vurderinger og efterspørgselspotentialet i forskellige systemer, før de bliver sat i gang. Endvidere kan metoden med fordel anvendes til at vurdere

brugernes vurdering af forskellige ændringer af kollektive trafiksystemer i landområder.

Konklusion af Totalbussystemer i landområder

Omkring selve Totalbus-konceptet viser denne undersøgelse, at systemet i Ravnsborg med succes har indført en mere efterspørgselsstyret trafik. Telebusdelen gør, at konceptet kan opfange mange af de kommunalt betalte kørsler, primært med ældre til ældrecenter, læger og speciallæger. Samtidig medfører Totalbussen en kraftig stigning i de voksnes brug af kollektiv trafik til fritidsture, nok især indkøb.

En egentlig vurdering af Totalbussen er sket i en rapport, der er blevet udarbejdet for STS.[17]

Litteratur

1 Kollektiv trafikplan 1989, Hovedstadsrådet, 1989.

2 Årsberetning, HT, 1989.

3 Årsberetning, HT, 1990.

4 Forlænget frist til duobusser. Herse, Erik. Artikel i Ingeniøren, nr. 39, september 1994.

5 Fakta om kollektiv trafikk. Erfaringer og løsninger for byområder. TØI, NT, NORAS, 1990.

6 The Demand for Public Transport. TRRL, Crowthorne, 1980.

7 Undersøgelse af Amagers trafikbetjening. Rapport nr. 39, Hovedstadsrådet, december 1983.

8 Kollektiv trafik i landdistrikter, COWIconsult for Landsbykommissionen, COWIconsult, august 1980.

9 Effekt av tiltak i kollektivtrafikken, COWIplan for Vest-Agder fylke, juni 1990.

10 Plan for kollektivtransporten i Vest-Agder, Vest-Agder fylkeskommune, 1990.

11 Undersøgelse af Amagers trafikbetjening. Teknisk notat X, COWIconsult for Hovedstadsrådet, februar 1983.

12 Banebetjening af Amager. COWIconsult for Trafikministeriet, februar 1988.

13 Forslag til ændret busbetjening i København. COWIconsult for HT, oktober 1986.

14 Magelund, Lykke og Vilhof, Preben, EMMA - en edb-model til planlægning af kollektiv trafik. Dansk Vejtidsskrift, nr. 4 1987.

15 Forslag til nyt bybusnet i Næstved. COWIconsult for Næstved Kommune, notat november 1989.

16 Forslag til ændret lokalbuskørsel. COWIconsult for Næstved Kommune, notat januar 1990.

17 Transportbehov og efterspørgsel i landområder. COWIconsult for Trafikministeriets Forsøgsordninger. System Rapport 01, juli 1993.

Stikordsregister

A
A-p værdi, strækning 320
Ad hoc registrering 49
Adfærdsdata 47
Afmærkning på kørebanen 226
Akseldetektor 53
Aktiv sikkerhed 182
ALOGIT 308
Alt rødt 169
Analysepost 66
Antalsdata 47, 55
Aperiodisk tællested 53
ARC/INFO 312
Automatisk køretøjsklassifikation 53
Automatisk tælleudstyr 52

B
B/C forhold 378
Banetransport 249
Barriereeffekt 338, 339
Baumol-Quandt model 309
Behovsanalyse 47
Belastningsgrad 94, 100
Beskæftigelse og trafik 18
Beslutningsorienteret planlægnings-model 256
Beslutningsstøttesystem 392
Betalingsbalance og trafik 20
Betalingsvillighed 370
Bilejerskab 16
Bilforfølgelse 71
Biltæthed 15, 250
~~Bolig-Arbejdssteds-rejser~~ 13, 30
Brundtland 24, 263, 343
Bruttonationalproduktet 279
Bundet venstresving 155
Bussignal 152
Busspor 221
Byernes trafikareal 130, 217
Byområde 221
Bæredygtig udvikling 264

C
Cirkulære om vejafmærkning 226
Cost-benefit analyse 37, 391
Cost-effectiveness analyse 37, 392
Cykel-knallerttælling 60
Cykelstibredde 221
Cyklisthastighed 434
Cyklistsignal 152

D
Dataindsamlingsplan 49
Datatrafik 17
Densitet 86
Deskriptiv model 269
Detektor 168
Deterministisk 106
Dimensionerende efterspørgsel 33
Dimensionerende timetrafik 100
Dimensioneringshastighed 208, 222
Diskonteringsfaktor 376
DRIVE 241
Drivhuseffekt 23, 263
Dynamisk rundkørsel 114
Dækstøj 357
Døgnvariation 50

E
1-plans-knudepunkt 109, 213
~~Efterspørgselsdata 47~~
Efterspørgselskurve 370
Efterspørgselsstyring 235
Elasticitet 373
Elektromagnetisk spole 168
Elektronisk styret motorvejsnet 259
EMMA 304, 473
Energi
  forbrug 343
  krise 24
  trafik og miljø 264
Energi 2000 263
Enhedspris 383
Erhvervstur 13, 30
ERTICO 242
Estimationsnøjagtighed 60
EU-kommissionens hvidbog 266

F
F-kryds 114
Faktoropregning 55
Farligt vejvand 338, 344
Fasediagram 155
Ferietrafik 102
4-trins model 287
Fjerntrafik 102
Flydende bil 63
Flådestyring, ruteplanlægning 236
Fodgængersignal 151
Follow-the-leader model 102
Forhåndsvurdering
  sikkerhedsvirkning 324
  trafiksikkerhed 317
Forsatte kryds 114
Forsinkelse 127
  kryds 132
Forsuringsskade 263
Fratar 287
Fremkaldt trafik 282
Fremkommelighed 205
Fri operationshastighed 100
Fri trafikafvikling 91
~~Fri vejstrækning~~ 85
Fritidstur 14, 30
Funktionel vejklassifikation 203
Funktionelle linier ("desire lines") 408
Furness-metode 284
Fynsundersøgelse 182
Færdselslov 225
Færdselssikkerhedspolitisk handlingsplan 333
Færdselstavle 226
Før-efter undersøgelse 327
Førsteårsforrentning 379

G
G-A matricer 297
Ganghastighed 433
Generaliseret omkostning 300
Genfindingsinterval 66
Genkendelsesfilter 229
Gennemfartstrafik 65
Gennemkørselstid 66
Gennemsnitlige forsinkelse 132
Geografisk informationssystemer (GIS) 311, 393
GIS-T 312
Glat føre 91
Glider-metoden 196
Godstransport 12, 249
Gravitationsmodel 300
Greenberg 87, 105, 106
Greenshields 86, 105
Grundlinie 476
Grænseværdi for vejstøj 356
Grøn bølge 174
Grøntidsforlængelse 170
Grøntimekapacitet 158
Gummislange 52

H
Halsbånd (eng. collar) 396
Hastigheddæmpende rundkørsel 1
~~Hastighedsdata 47, 60~~
Hastighedsfordeling 89
Hastighedsklasse 220
Hastighedskurve 99
Hastighedsmåling 60, 63
Highway Capacity Manual 37, 92
Hjemmeinterviewanalyse 30, 65, 7(

Hovedlandevej 203
Hovedlandvejsnet, forslag til 10-års program 410
100. højeste time 101
Hverdagsdøgntrafik 51
Hverdagstrafik 75
Højre vigepligtskryds 116

I
Ideel kapacitet 94
Ikke-bopælsbaserede ture 30
Ikke-prioriterede kryds 116
Indfletning 129
Indgreb i naturområde 342
Individbaserede valgmodel 305
Indkøbstur 14
Induktionsspole 52
Informationsproces 227
Informationssamfund 17
Informationsteknologi 17
Infrarød stråle 52
Intelligente veje 237
Interaktive metode 39
Interne rente 377
Isokron-afbildning 38
ITS America 241

J
Jagende bil 63
Julidøgntrafik 51
Just In Time 12

K
Kalibrering 289
Kalkulationsrente 376
~~Kant- og baggrundsafmærkning 226~~
Kapacitet 32, 88, 126, 158
  rundkørsel 134
Kapacitetsberegning 94
Kapacitetsdiagram 88
Kategorianalyse 295
Knudepunkt 213
Koaxialkabel 53
Kodning 43
Kognitivt filter 229
Kollektiv trafik 236, 457
Kommunevej 203
Konfliktpunkt 129
Konsumentoverskud 370
Kontrolgruppe 327
Kontrolomkostning 386
Kontrolringe (eng. cordon) 396
Koordinerede uheldsstatistik 319
Korrektionsfaktor 94
Korrektion for generel uheldsudvikling 327
Kraft-SARC model 308
Kritisk interval 130
Kryds med højrevigepligt 116
Kryds, kapacitet 126
Krydsbidrag, uheld 332
Krydsserviceniveau 128
Krydstype 112
Kvalitetsmål 37
Kø 126
Køkørsel 90
Køopstuvning 128
Kørehastighed 61
Køresporsbredde 95, 220
Køretøjsklassifikation 48, 49, 53
Køretøjskontrol 235
Kørsel under køforhold 91
Kørselsstrategi 106

L
Landevej 203
~~Landstrøm 185~~
LHOVRA 171
Lill's rejselov 299, 374
Logistik 29
Logitmodel 302, 305
Lokaltrafik 102
Lokalvej 217
Luftforurening 26, 338, 339, 347, 348
  køretøjers (emission) 348
Lufttransport 249

M
Makromodel 102
Manuel trafiktælling 71
Markov-model 106
Maskinel tælling 58
Matrixestimation 310
McLynn model 309
Mekanisk filter 229
Mellemtid 153
Middelværdi 44
Mikrobølge 52
Mikromodel 102
Miljø 22
Minimumsradius 223
Modal split 290, 302
Momentan hastighed 61
MOTORS 304, 311
Multi-kriterie analyse 392
Månedsdøgntrafik 77
Månedshverdagsdøgntrafik 77

N
Neg 293
Niveauskæring 109
Nordisk støjberegningsmodel 355
Normal trafiktilvækst 281
Normativ model 269
Nummerskrivningsanalyse 63, 65
Nutidsværdien 375
Nuværende trafik 281
Nytteværdibegreb 37

O
O-D matricer 297
Omløbstid 151
Oplevet rejsetid 38
Opregning til årsdøgnstrafik 75
Opregningsfaktor 75
Opregningsusikkerhed 74
Origin and destination survey 64
Overkørsel 115

P
Parkeringsdata 47
Parkeringsstyring 235
Passagedetektor 168
Passagetid 130
Passiv sikkerhed 182
Pendlerlinie 476
Pendling 13
Perceptuelt filter 229
Periodiske tællesteder 53
Permanente tællesteder 53
Perroninterview 29
Personbilenhed 79
Personbilækvivalent 80
Personskade 24
Persontrafikarbejde 249
Perspektivplan, hovedlandeveje 410
Pilotstudie 43
Planlægningsproces 255
Population 44
Postkortanalyse 65, 70
Prediktiv model 269
Prioritering,hovedlandevejsarbejder
Prioriteringsmål 450
Prioriteringsstrategi 420
Prioriteringsundersøgelse 416
Priselasticiteten 463
Privat forbrug og trafik 26
Privatbil 15
Prometheus 236, 241
Præferencestruktur 38

R
Radar 52
Radarpistol 62
Radarsensor 52
Rangvariationsgraf 420
Realtidsdata 41

Referencehastighed 206, 222
Referenceteknik 55
Regionaltrafik 102
Registreringsunøjagtighed 67
Regressionsanalyse 295
Rejseadfærd 30
Rejsehastighed 61
Rejsehyppighed 41
Rejseinformation 235
Rekreativ tur 14
Revealed Preference 483
RIGU 217
Road Pricing 235
Rundkørsel 109, 114, 444
Rute 293
  vejledning 238

S
Samfundsøkonomisk
  kriterium 381
  vurdering 369
  ÅDT-interval 415
Sampling 44
Sampling strategy 44
SCAFT 217
Scenario-fremskrivning 279
Sekventiel model 287
Sensor 52
Sensorisk filter 229
Servicebuslinie 476
Serviceniveau 36, 92, 128
  cykeltrafikanlæg 436
  fodgængeranlæg 435
Signalanlæg 226
  trafiksikkerhed 148
Signalbillede 151
Signalgruppe 152
Signalgruppeplan 156
Signalprogram, trafikafhængigt 177
Signalregulerede kryds 116
  fejl- og driftsovervågning 178
  forsinkelse 160
  kapacitet 158, 174
  omløbstid 163
  samordnede 174
Sigtflade 125
Sikkerhedstid 153
Simpel tilfældig
  stikprøveudtagning 44
Simple random sampling 44
Simultan model 308
Skadesomkostning 386
Skitse til Vejplan 251, 407, 410
Skjult ventetid 38, 460
Skæring 129
Snithastighed 61
Sorte pletter 192
Spidstimefaktor 100
Spidstimetrafik 33, 51
Spil 38
Sporing af køretøjer 236
Stated Preference (SP) 483
Statistikregistrering 49
Stigningskategorier 97
Stikprøve 43
Stokastisk 106
Stopinterviewanalyse 29, 65, 68
Strategi for stikprøveudtagning 44
Stratified random sampling 44
Stratum 45
Strækningshastighed 61
Strækningsmiddelhastighed 86
Strækningsuheldsfrekvens 330
Styreapparat 150
Støj 338, 339, 353
  kilde 356
  reduktion 358
  skærm 355
  vibration 26
  vold 355
Sundhedsvæsen og trafik 24
Sur regn 24
Sæsonvariation 33
Søge-lære-forhandle aktivitet 256
Søtransport 249

T
T-kryds 114
Telebusbetjening 477
Tidsgeografi 28, 38
Tidsstyring 157
Tilfældig usikkerhed 74
Tilgængelighed 205
Tilgængelighedsdata 47
Tilstedeværelsesdetektorer 168
Tiltrukket trafik 281
Timevariation 33
2-plansknudepunkt 213
Total uheldsfrekvens 332
Trafik 10
  analyse 64
  data 41, 47
  differentiering 446
  information 47, 234
  intensitet 86
  miljø 23
  mængde 86
  prognose 32
  registrering 41
  sikkerhedsparadox 316
  spring 327
  styring 168, 233
  støj 354
  tælling 49
  tæthed 86
  uheld 24
  vej 217
Trafik 2005 266
Trafikinformatik
  dynamiske systemer 232
  godstrafik 236
  integrerede systemer 232
  kollektiv trafik 236
Trafikkens retningsfordeling 98
Trafiksikkerhed, vejplanlægning 317
TransCAD 305, 312
Transport af farligt gods 338, 344
Transport in a Fast Changing Euro
266
Transportbehov, skjult 32
Transporthandlingsplan for miljø
udvikling 263, 343
Transportmiddel 11
Transportmiddelvalg 290
TRANSYT 178
Travel Budget Models 28
30. højeste time 51, 78, 101
TRK-metode 183
Træ 293
TU-analyse 30
Tunge køretøjers indflydelse 96
Tur 64
Turattraktion 297
Turfordeling 290
Turgeneration 297
Turkæde 30
Turmatrix 292
Turmønsterbeskrivelse 64
Turproduktion 295
Turrate 30
Tværprofilelement 207
Typekatalog for nye veje og stier
åbent land 88, 207, 330
Tælledage 72
Tælleperiode 72
Tælleplan 49
Tælleprogram 58
Tælletidspunkt 71
Tælling 29

U
Udbudskurve 371
Udfletning 129
Udflugtstrafik 102
Udviklet trafik 282
Ugetælling 55
Ugevariation 50

Uheld
bekæmpelse 185
bekæmpelse i praksis 199
faktor 182
frekvens 320
hospitalsregistrering 186
poissonproces 183
omkostning 25
situationsnummer 192
statistik 187
tæthed 319, 323
årsag 182
Ultralyd 52
Urbanisering 15
Usikkerhed 74
ved trafiktælling 72
UV-kørelys 237

V
Valg af vejtype 414
Varians 44
Vejafgift 235
Vejafmærkningsbekendtgørelse 225
cirkulære 226
Vejbanestøj 357
Vejfunktion 102
Vejklassekarakteristika 205
Vejknudepunkt 109
Vejkryds 109
i åbent land 112
markering 118
oversigt 120
placering 118
trafiksikkerhed 117
type 221
udformning 120
Vejloven (1972) 203
Vejregler
for signalanlæg 153
for vejkryds i åbent land 215, 323
Vejtrafik 11
støj 355
Vejtransport 11, 249
Vejtypekatalog 207, 330
Vejvalg 290, 303
Vejvisningstavle 226
Ventetid 126
VERTIS 242
Vibration 338, 340
Video 52
Visuelle og æstetiske forhold 338, 341
VVM-procedure 338
Vægtafgift 13
Vægtdata 47
Vækstfaktormodel 281
Vækstkurve 277

W
Walkie talkie forfølgelse 71
Wardrop 303
WARP 419
Webster 160
Wienkonvention 227

Z
Z-værdimetode 194
Zone-tilgængelighed 38
Zoneinddeling 290

Æ
$Æ_{10}$-belastning 78
Ærindetrafik 65

Ø
Økonometri 37
Økonometriske metode 279

Å
Årsdøgntrafik (ÅDT) 51, 75
Årsrangkurver 101
Årsvariation 49

VEJTRAFIK giver en sammenhængende indføring i trafiktekniske og trafikplanmæssige emner.

Det trafiktekniske emneområde sigter mod at etablere en grundlæggende viden om, hvordan trafik opfører sig, og om hvordan vejtrafiksystemets sikkerheds- og kapacitetsproblemer kan håndteres. Andre vigtige emner er fastlæggelse af geometriske standarder for både strækninger og kryds. Bogen giver også en indføring i emnerne vejafmærkning og trafikinformatik.

Det trafikplanmæssige emneområde sigter mod at etablere et beslutningsgrundlag for, hvordan trafiksystemet bør udvikle sig. Vigtige emner her er opstilling af trafikmodeller for udvalgte dele af systemet, bestemmelse af trafikkens miljøkonsekvenser samt metoder til vurdering af opstillede planforslag. Design af disse løsningsforslag er selvsagt et helt centralt emne.

Vejtrafikområdet - som en vigtig del af det samlede trafiksystem -stilles i disse år over for opgaver, der spænder ganske vidt. På den ene side skal det danske trafiknet fornyes og knyttes tættere til det europæiske trafiknet, og der skal planlægges for en stadig stigende trafik. På den anden side ønskes trafikmiljøet forbedret i by- og lokalområder, ligesom trafiksektoren skal bidrage til en langsigtet, bæredygtig udvikling.

ISBN 87-502-0772