

Transporthorisonter



Transporthorisonter





Hver dag bruger vi transport. Hvad enten vi skal med bus og tog, eller vælger at køre på cykel eller i bil, tager vi det for givet, at vi nemt kommer hen, hvor vi arbejder, går i skole, køber ind, henter børn, besøger venner, dyrker fritidsaktiviteter og så videre. Vi har indrettet vores, ofte travle liv, ud fra, at vi kan regne med pålidelige transportmuligheder, der bringer os hurtigt rundt til de planlagte aktiviteter. På godssiden sørger containerskibe, godstog og lastbiler for at forsyninger når frem til virksomhederne og distribuerer efterfølgende færdige varer effektivt og billigt rundt i hele verden, ofte uden at vi rigtig bemærker det, bortset fra når en stor lastbil fylder op på parkeringspladsen ved supermarkedet. Transportsystemet får vores samfund til at hænge sammen. Det skal også være velfungerende for at vores erhvervsliv kan konkurrere internationalt og for at skabe livskvalitet for vores borgere. Det har vi nok en tendens til at glemme i hverdagen, bortset fra når vi ikke når frem til tiden, fordi trafikken ikke glider eller toget er forsinket.

Hvis jeg, til et middagsselskab, fortæller, hvad jeg arbejder med, bliver det tydeligt, at et velfungerende transportsystem er vigtigt for os alle. Det ansporer som regel en livlig debat med afsæt i folks erfaringer, ofte de negative, om den kollektive trafik og om trængsel på vejene. Rundt om bordet fremkommer mange kreative forslag til forbedringer, indledt med: "Hvorfor gør man ikke bare ...". Heldigvis sjældent som personlige bebrejdelser. Tværtimod giver mine forklaringer på, hvorfor det ikke er helt så enkelt, anledning til interesserede spørgsmål om, hvordan DTU's viden kan bidrage til at løse transportsektorens udfordringer. Når vi på DTU Transport forsker i emnet, erkender vi, at et moderne transportsystem er både meget ressourcekrævende og meget komplekst, samt at mange modsatrettede hensyn skal afvejes. Ellers kan transportsektoren ikke opfylde samfundets krav, uden at det samtidigt bliver økonomisk uoverkommeligt. Udfordringer er der nok af, herunder miljøbelastningen og ting der ikke virker så godt, som de burde. Problemerne kan dog sjældent løses alene ved "almindelig sund fornuft"; de beslutninger er som regel taget!

Seriøse, gennemførlige forslag til et endnu mere effektivt, sikkert og bæredygtigt transportsystem, må baseres på dybtgående faglige analyser. Det kræver, at omfattende data om trafikken og dens effekter kombineres med teoretisk viden om trafikantadfærd og at dette omsættes til avancerede matematiske modeller. Transport



er derfor et vaskeægte tværfagligt forskningsområde: Økonomi og psykologi, matematik, statistik og ingeniørvidenskab skal spille sammen for at skabe relevante resultater, der kan indgå i helstøbte løsninger til gavn for samfundet. - Det synes vi er spændende!

Transporthorisonter fortæller om denne spændende og komplekse sektor, som betyder så meget for os alle. Den viden, som vores forskning frembringer, indgår i undervisningen på DTU's civilingeniør-uddannelse i Transport og Logistik og diplomingeniøruddannelsen i Trafik og Transport. Endvidere udnyttes den i vores tætte samarbejde med myndigheder, virksomheder og organisationer i transportsektoren, hvor vi bidrager til grundlaget for beslutninger om nye infrastrukturinvesteringer og andre transportpolitiske beslutninger. Vi håber, at læserne med denne bog kan få indblik i, hvorfor transportsektoren fungerer, som den gør, og at nogen måske endda bliver inspireret til selv at beskæftige sig med dens mange spændende udfordringer. Der er hårdt brug for nye, unge kræfter for at videreudvikle transportsystemet i fremtiden.

God fornøjelse med bogen!



Niels Buus Kristensen
Instituttdirektør, DTU Transport

Redaktør: Carsten Broder Hansen

Tekst: DTU Transport

Korrektur: Ulla Steen Salado-Jimena

Fotos: Carsten Broder Hansen

Supplerende fotos:

Thomas Alexander Sick Nielsen

side 155, 158, 159, 160, 161

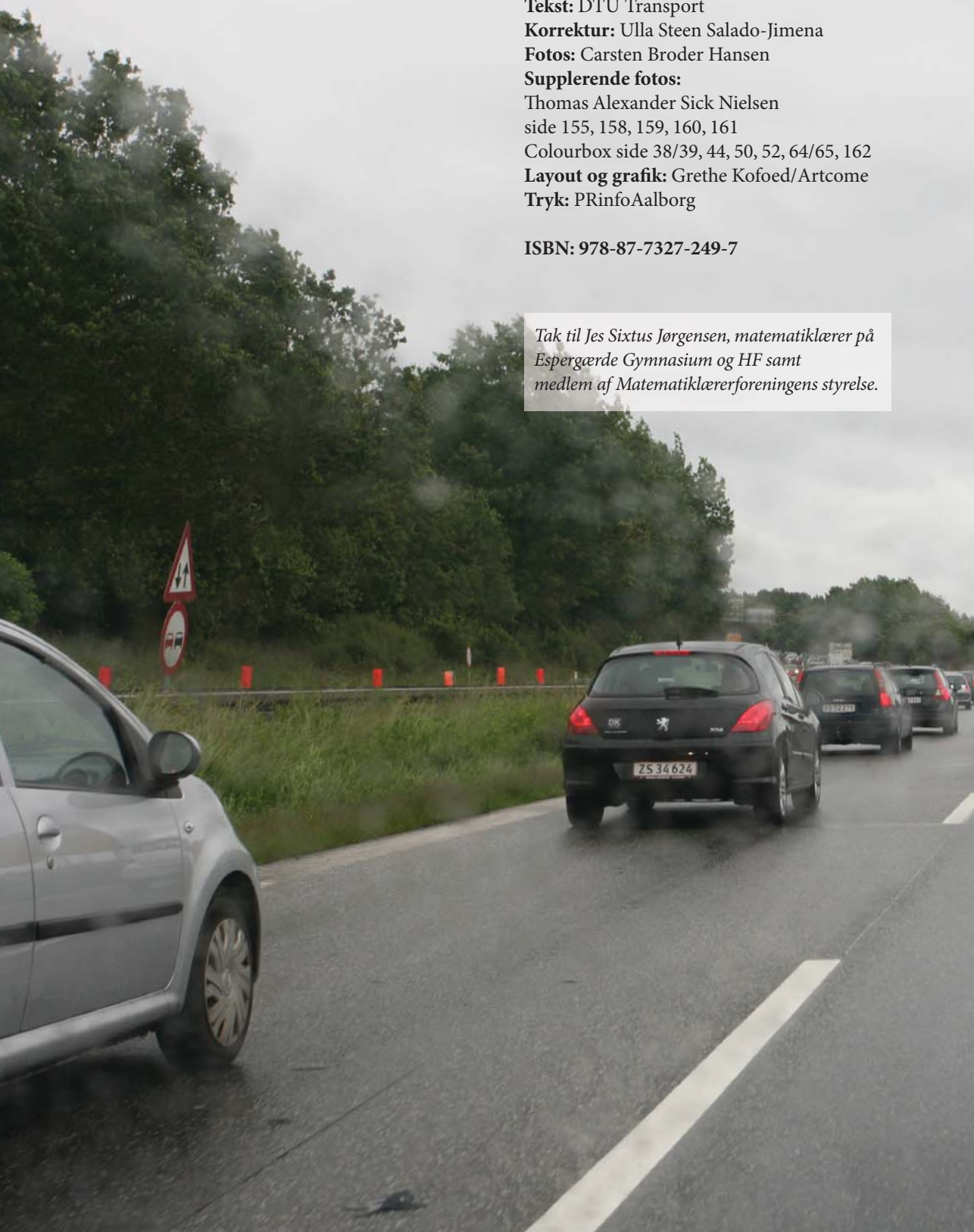
Colourbox side 38/39, 44, 50, 52, 64/65, 162

Layout og grafik: Grethe Kofoed/Artcome

Tryk: PRinfoAalborg

ISBN: 978-87-7327-249-7

*Tak til Jes Sixtus Jørgensen, matematiklærer på
Espergærde Gymnasium og HF samt
medlem af Matematiklærerforeningens styrelse.*



Hold
øje
med
Trafikken!





Indhold

8	Store broer gør Danmark mindre
26	Mobilitet og trængsel - Trafikkens centrale dilemma
38	Faktorer der påvirker trafiksikkerheden
46	Sammenhæng imellem hastighed og uheld
48	Bilkørsel med alkohol og andre stoffer
56	Risiko i trafikken og den menneskelige faktor
66	Enighed om Danmarks hastighedspolitik?
76	Forskellige typer af modeller
77	Bæredygtig transportplanlægning
86	Vurdering af transportprojekter - usikkerhed og risikoanalyse
98	Ruteplanlægning og transportnetværk
106	Udbudsstyring i transportsektoren
110	Genvejen til friske blomster
118	Optimering af kollektiv transport
130	Transport og bæredygtig byudvikling
140	Pendling i Danmark
149	Valg af transportmiddel
152	Cyklen - redskabet til sundhed og bedre miljø
164	Elbiler - ledestjerne eller luftkastel?
174	Sådan transporteres danskerne
182	Hvad koster ti minutter i trafikken?
190	Trafikplanlægning med Geografisk Informations System (GIS)





Store broer gør Danmark mindre

Af Niels Buus Kristensen, Institutdirektør DTU Transport

Forbedringer af Danmarks trafikinfrastruktur som eksempelvis en ny fast forbindelse, en ny motorvej eller en højklasset jernbane har ikke blot den konsekvens, at rejsetiden mellem landsdelene bliver kortere. De store anlæg påvirker samtidig vores aktivitetsmønster, borgernes bosætning og valg af arbejdsplads samt virksomhedernes lokalisering og distribution. De store broforbindelser er eksempler på, hvordan transportinfrastruktur skaber værdi for samfundet og samtidigt fører til at landet mentalt og reelt fortættes. Den øgede mobilitet og de følgende adfærdsmændringer viser, at de samfundsmæssige perspektiver ved beslutninger om store anlægsinvesteringer rækker langt videre end reduceret transporttid.

"Færgen er i havn om få minutter. Bilisterne bedes gå til vogndækket og tage plads. Chaufføren anmodes om ikke at starte motoren før der køres fra borde. For de øvrige passagerer bliver der landgang fra styrbord i skibets højre side."

Denne meddelelse vil stadig for mange danskere vække minder om fortidens sejlture med Storebæltsfærgerne, særlig hvis man forestiller sig lyden komme fra en skratende højttaler. De fleste over 30 år tænker tilbage på rejser, hvor vi med forventningens glæde var på vej mod endnu et sommerferieophold i farmors sommerhus eller andre begivenheder, hvor vi har rejst på tværs af landet og krydset Storebælt med tog- eller bilfærgerne. I hukommelsen hører vi kaffekoppens klirren mod underkappen, når færgerne manøvrerede i havnen og betragter udsigten til Sprogø på agterdækket i lugten fra

skorstensrøgen, mens mågernes skrig i en times tid har afløst fartvindens susen i bilens tag. Til dagligt tænker vi ikke nærmere over det. Børn og teenagere kan ikke huske andet end Storebæltbroen, og vi andre har vænnet os til, at broen bare er der, og at det er nemt rejse øst-vest i Danmark.

Danmark er i det hele taget godt bundet sammen af et fintmasket vejnet, så man kan rejse med bil uden nævneværdige omveje over stort set hele landet, her og der med håndsrekning fra de mere end 50 færgeforbindelser til vores mange øer. Det meste af vejnettet var på plads allerede få årtier efter bilismens indtog. Men drevet af ønsket om at bruge mindst mulig tid på rejsen er de overordnede veje løbende opgraderet til højere hastigheder fra 1956 og fremefter med etableringen af "det store H" af motorveje, som udgør ryggraden i trafikken mellem regionerne.

Med et veludbygget vejnet fremstår færgeforbindelserne stadig tydeligere som det svage led. Færgernes hastighed er lavere end bilernes, og der går tid med at komme ombord og fra borde, men lige så vigtigt er, at man i sin rejseplanlægning er nødt til at tage højde for færgernes afgangstider. De fleste færgeforbindelser på de overordnede vejnet blev erstattet af vejbroer allerede i 1930'erne. Men Storebælt var så stor en mundfuld både teknisk og økonomisk, at der gik over hundrede år fra de første planer til Storebæltforbindelsen stod færdig i 1998. To år senere stod også Øresundsforbindelsen færdig og en Femernforbindelse er besluttet, mens diskussionerne nu går på, hvorvidt det endnu mere ambitiøse og kostbare projekt om en Kattegatforbindelse er fornuftigt eller for dyrt.

Forud for beslutningen om Storebæltsforbindelsen gik mange og omfattende diskussioner om, hvorvidt fordelene var de mange milliarder kroner værd; og hvad med miljøkonsekvenserne? I tiden omkring den politiske vedtagelse af anlægsloven for den faste forbindelse over Storebælt d. 10. juni 1987 viste meningsmålinger, at den generelle holdning til forbindelsen var skeptisk eller negativ hos et flertal i befolkningen. Løbende målinger af holdningen har siden vist en gradvist mere positiv holdning, således at holdningen var vendt et par år efter åbningen: Et stort flertal på 85 % var positive, mens kun 4 % var negative (fig 1).

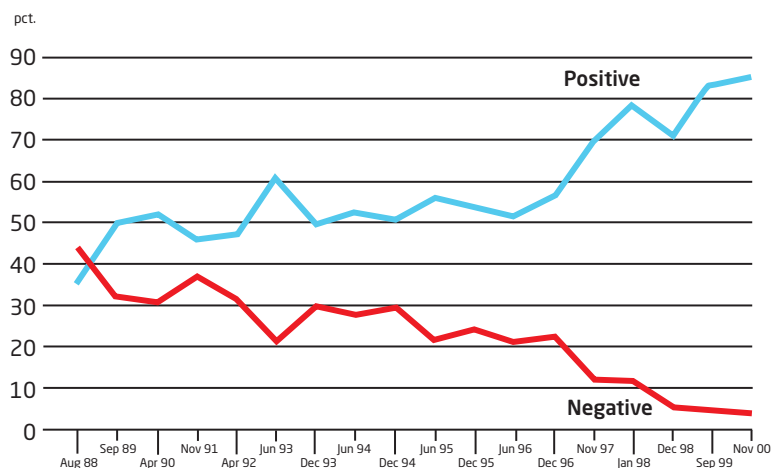


Fig. 1. Udviklingen i befolkningens generelle holdning til Storebæltsforbindelsen baseret på interviewundersøgelser foretaget af Storebælt fra august 1988 til november 2000.

Det kunne jo godt give anledning til et par refleksioner om folkestyre, folkeafstemninger og folkets vel, men det lader vi klogeligt ligge. I stedet vil dette kapitel koncentrere sig om de trafikale konsekvenser af nye store anlægsprojekter med Storebæltsforbindelsen som eksempel - afrundet med nogle overordnede trafikpolitiske perspektiver af store trafikinvesteringer som svar på den voksende trafikefterspørgsel. Indgangsbønnen skal være, at ti år efter den faste forbindelses åbning i 1996 rejste 73.000 personer over Storebælt på en typisk dag. Det er to en halv gang så mange som umiddelbart før åbningen. Godstrafikken med lastbil er i samme periode tredoblet, så der i 2006 kørte mere end 3000 lastbiler over broen hver dag.

Trafikanternes fordele

Det store flertal af danskerne vil i dag nok mene, at Storebæltsforbindelsen mest er til gavn, og at den er pengene værd. Det sidste er nok så væsentligt for et projekt, der vel kan betegnes som Danmarkshistoriens største enkeltstående anlægsinvestering. Men hvad er det så egentlig, vi har fået for de mange penge, ca. 35 mia. kr. omsat til dagens priser? For det første sparer samfundet jo omkostningerne til driften af færgeruterne over Storebælt. For bilisterne svarer det til, at færgebilletten er blevet erstattet af en brotakst til lidt lavere pris. Nogle år efter åbningen vedtog Folketinget, at taksten skulle sænkes med 20 % for alle køretøjer fra juni 2005. For personbiler faldt prisen for en enkelttur fra 250 til 200 kr.

Men de væsentligste gevinster, og hele ideen med den faste forbindelse, beror naturligvis på, at rejsetiden mellem landsdelene er blevet mindre. Både togpassagerer og vejtrafikken sparer ca. en time på ture over Storebælt. En time, som vi sætter pris på, fordi vi er tidligere hjemme hos familien efter forretningsrejsen til København, fordi vi får mere tid til familiefesten i Jelling, fordi det bliver muligt at spare en overnatning på kursusopholdet i Svendborg. Det er dog ikke i alle tilfælde, at den sparede overfartstid giver en tilsvarende kortere samlet rejsetid. På længere ture har Storebæltsoverfarten været en belejlig pause eller afbræk i rejsen, hvor man kunne få en kop "Storebæltsskaffe", strække benene og få lidt frisk luft. Til gengæld kan bilisterne nu selv bestemme, hvor og hvornår de vil gøre ophold.

En anden, lidt mindre konkret fordel er, at vi ikke længere er afhængige af færgernes afgangstider. Vi behøver ikke længere tage af sted i god tid for at være sikker på at nå færgen. Hvis der opstår uventede forsinkelser på grund af trafikkkøer, slipper vi for stress og for hasarderede overhalinger fra uansvarlige bilister, der skal "nå færgen". Nervøsiteten for at nå færgen var naturligvis særligt et problem ved spidsbelastninger i forbindelse med weekender, ferier og højtider. De fleste fra de lidt ældre generationer har prøvet at vente i timevis på at komme over, fordi vi ikke havde fået reserveret plads eller kom for sent til den reserverede afgang, eller fordi vi pludselig måtte ændre vores planer. For rejser over Storebælt og Øresund, og om nogle år også for Femern Bælt, er disse problemer en saga blot. Vi har fået mindre behov for planlægning og større fleksibilitet og frihed - bortset fra, når det en gang imellem blæser for meget.

Trafikspringet

Den faste forbindelse giver altså trafikanterne flere forskellige fordele, som i store træk kan sammenfattes i kortere rejsetid og højere fleksibilitet. Dette billede bekræftes af en interviewundersøgelse blandt bilisterne efter Storebæltstroens åbning, hvor tre ud af fire mente, at disse faktorer var de vigtigste. Trafikanten oplever således, at rejsebesværet, rejsemodstanden, de generaliserede rejseomkostninger, eller hvad fagfolk nu vælger at kalde det, for en konkret tur over Storebælt er blevet mindre efter den faste forbindelses åbning. Det er blevet mere attraktivt at rejse og fragte gods mellem Øst- og Vestdanmark. Det har medført, at trafikmængden over Storebælt er øget, fordi vi nu vælger at foretage nogle af de rejser, som vi før ikke syntes var besværet og pengene værd.

Denne stigning, som trafikplanlæggere kalder for *trafikspringet*, skete ikke fra den ene dag til den anden. Det tager tid at vænne sig til de nye muligheder, men det meste af tilpasningen skete inden for de første tre-fire år efter åbningen. Det trafikspring, som Storebæltforbindelsen skabte, kan således opgøres til knap 7 millioner rejser i 2000 eller ca. 60 % flere rejser i forhold til den samlede øst-vest-personstrafik før åbningen (fig. 2). Tilsvarende er trafikspringet for godstrafikken opgjort til 300.000 lastbiler, hvilket svarer til en forøgelse på hele 75 %. Trafikspringet er altså den trafikstigning, som skyldes, at det generelt set er blevet mere attraktivt at rejse over Storebælt. Derfor gav takstnedsættelsen i 2005 anledning til endnu et trafikspring, som for persontrafikken kan opgøres til ca. 1 mio. ekstra rejser hvert år. Den samlede procentvise stigning siden den faste forbindelses indvielse har været lidt større for private rejser end for erhvervsrejser. Endvidere har den været langt større for biltrafikken end for togrejser på trods af de oprindelige intentioner om, at forbindelsen skulle være med til at fremme togenes andel af trafikken.

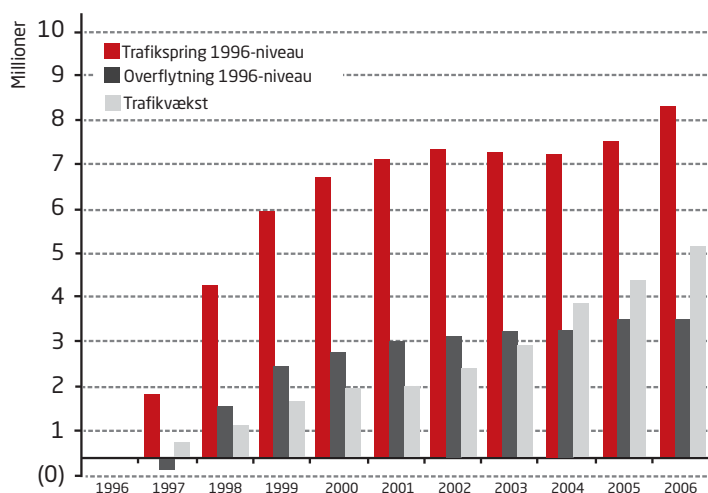


Fig. 2. "Generel trafikvækst", "trafikspring" og "overflytning" i den generelle vækst i den årlige person- trafik over Storebælt fra 1996 til 2006, målt i millioner personer.

(kilde: Baggrundsdata fra "Storebæltsforbindelsens trafikale effekter", november 2007.)

Øvrige trafikale konsekvenser

Trafikspring er ikke den eneste trafikale effekt, når man åbner en ny forbindelse. I Danmark har vi et udbygget transportsystem med et vidtforgrenet trafiknet, som typisk giver flere valgmuligheder, både med hensyn til transportformen (bil, fly, tog, bus mv.) og ruten til rejsens mål. Selv om trafikanternes valg mellem de mange alternativer ikke kan ses som et simpelt spørgsmål om, hvad der er kortest, hurtigst eller billigst, vil det dog alligevel påvirke vores transportvalg, når rejsetiden og fleksibiliteten ved ruten over Storebælt med bil og tog forbedres. Flere end før vil derfor foretrække at foretage deres tur via Storebælt ud fra en individuel og oftest ubevidst sammenvejning af disse og en lang række andre faktorer, som for eksempel pålidelighed, ankomsttidspunkt, mængden af bagage samt turens komfort og oplevelsesværdi. Denne stigning i trafikken, der skyldes ændret rutevalg eller transportform, kaldes for *overflytning*.

Den samlede overflyttede trafik er beregnet til knap 3 mio. personrejser årligt og kommer nogenlunde ligeligt fordelt fra fly og de alternative færgeruter. Selv om det kun svarer til hver ottende af personrejserne over Storebælt, var faldet betydeligt større set i forhold til trafikomfanget for de relevante fly- og færgeruter, hhv. 40 % og 25 % i 2001. For flytrafikken fortsatte faldet endvidere frem til 2005. Faldet i indenrigsflytrafikken er dog meget ulige fordelt. Den er faldet mest på de korte ruter, hvor tog og bil er mest konkurrencedygtige i forhold til fly. Faldet for den længste rute til Aalborg er så lille, at det allerede inden for de første år er blevet opvejet af den generelle trafikvækst. Men for de korte indenrigsruter faldt trafikken så kraftigt, at de faste ruter til Odense, Esbjerg og Vejens blev nedlagt.



Allerede i forbindelse med den politiske aftale om Storebæltsforbindelsen var man imidlertid opmærksom på, at en fast Storebæltsforbindelses tiltrækning af trafikgrundlaget fra de alternative ruter kunne blive så stor, at man ikke ville kunne opretholde de øvrige færgeruter mellem Øst- og Vestdanmark på markedsvilkår. Derfor var det en del af aftalen, at staten via A/S Storebæltsforbindelsen ville sikre det økonomiske grundlag for mindst én bilfærgeforbindelse mellem Sjælland og Jylland over Kattegat samt Spodsbjerg-Taars ruten. Hermed ville man sikre to ting. For det første at mindske den sårbarhed som øst-vest-trafikken ville være udsat for, hvis Storebæltsforbindelsen var den eneste forbindelse mellem landsdelene. For det andet at mobiliteten mellem landsdelene ikke blev væsentligt forringet for de dele af landet, som ikke lå godt til i forhold til Storebæltsforbindelsen, dvs. først og fremmest det nordlige Jylland og Lolland-Falster i syd.

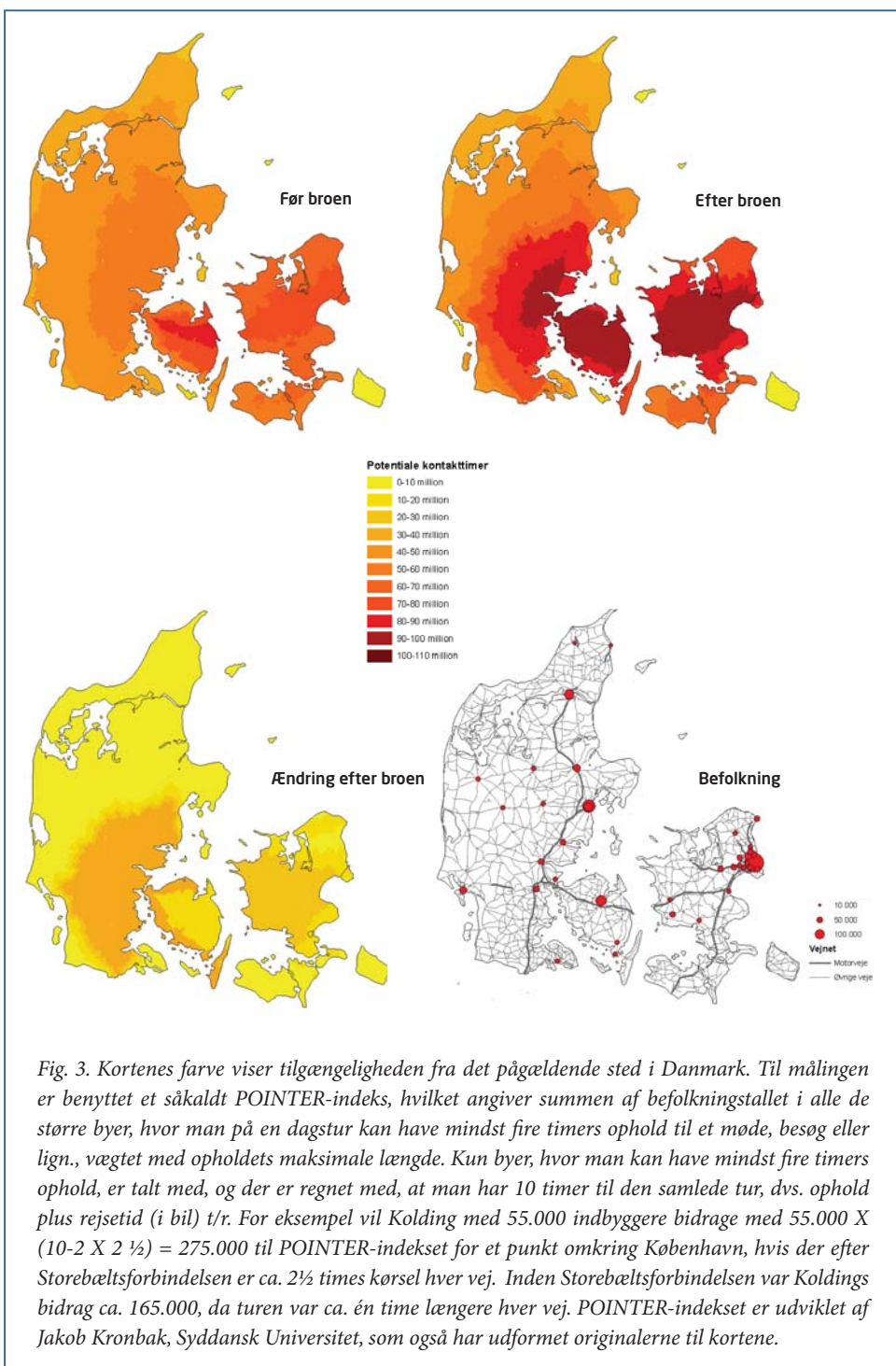
Danmark er blevet mindre

Beskrivelsen af trafikudviklingen viser klart og tydeligt, at markante forbedringer af trafikinfrastrukturen, som nu broerne over og tunnelen under Storebælt, kan have stor indflydelse på rejsemønstret på tværs af Danmark både med hensyn til hyppigheden af turene og den måde, de foregår på. Men det er alligevel som om, at de nøgne kendsgerninger mangler noget i al deres nøgternhed.

De ca. 7 millioner ekstra rejser hvert år, som Storebæltsforbindelsen gav, er ikke blot et udtryk for, at vi oftere besøger familie og venner på den anden side af Storebælt. Den kortere rejsetid og højere fleksibilitet har påvirket vores opfattelse af afstandene på tværs af landet. Man kan derfor sige, at Danmark er blevet mindre mentalt set. Mindre på en diffus måde, som kan være vanskelig at beskrive umiddelbart. Knud Østergård, der var trafikminister i et af de første år af Storebæltsforbindelsens opførelsesperiode, kom for skade at nævne ”frisk mælk til sjællænderne” som et eksempel på forbindelsens klare fordele. Selv om Knud Østergård nok i sit stille sind bagefter fortrød udtalelsen, var det nok et (indrømmet - ikke helt behændigt) forsøg på at udtrykke, at den hurtigere rejsetid giver en øget *tilgængelighed* til flere byer, mennesker, arbejdspladser, kunder, restauranter, koncertsale, fodboldstadioner osv. Det inspirerer os og pirrer vores kreativitet til at se nye jobmuligheder, nye markeder for vores virksomhed eller oplevelsesmuligheder i vores fritid.

Mål for den øgede tilgængelighed

Den øgede tilgængelighed som følge af Storebæltsforbindelsen er illustreret i Danmarks-kortene på næste side (figur 3). Den graduerede farveskala udtrykker et mål for tilgængeligheden fra det pågældende sted på kortet. Mørk rød angiver en meget høj tilgængelighed, mens lys gul omvendt er udtryk for en lav tilgængelighed. Det benyttede tilgængeligheds-mål udtrykker, hvor mange aktivitetsmuligheder der potentielt er inden for rækkevidde inden for en dagstur, dvs. uden at man behøver at overnatte, inden man rejser tilbage. Befolkningsstørrelsen er brugt som en indikator for udbudet af aktiviteter i, eller *attraktiviteten* af, en by. Men byens attraktivitet vægter mindre i det samlede tilgængelighedsmål, jo kortere tid man har til aktiviteterne som følge af en længere rejsetid, hvis byen ligger langt fra udgangspunktet.



Kortet øverst til venstre viser tilgængeligheden umiddelbart før åbningen af vejbroen, mens kortet til højre viser tilgængeligheden umiddelbart efter. En sammenligning af de to kort viser et klart mere rødt Danmarkskort til højre. Det betyder altså, at store dele af landet fik en større tilgængelighed til aktiviteter på den modsatte side af Storebælt inden for en dagstur. Kortet nederst til venstre viser *ændringen* i tilgængeligheden. Det ses her, at den største forbedring skete for Syd- og Østjylland i en radius på ca. 60 km fra Lillebæltsbroen. En lidt lavere stigning ses i en tilsvarende radius omkring Korsør. Forbedringen i tilgængeligheden er således ikke symmetrisk omkring Storebæltsforbindelsen, men er størst vest for Storebælt, hvor man efter broen får en større tilgængelighed til Hovedstadsområdet, hvor man jo finder den største befolkningskoncentration, der er indikatoren for attraktiviteten.

Nye mønstre for jobvalg og virksomhedsplaceringer

En konsekvens af et områdes øgede tilgængelighed er, at det bliver mere attraktivt at bosætte sig der. For eksempel kan en familie vælge at flytte til Sorø, så manden kan fortsætte sit job i København, hvis konen får tilbudt et spændende job i Odense. Før, da rejsetiden over Storebælt var en time længere, ville familien måske have valgt at flytte til Odense og finde et job dér også til manden, eller måske havde konen takket nej til det tilbudte job. Tilflytningen kan så igen påvirke ejendomsmarkedet, så boligpriserne stiger mere i områder, hvor tilgængeligheden er blevet forøget. Virksomhederne kan også se, at det bliver attraktivt at placere sig i områder, hvor tilgængeligheden stiger. For det første får den et større arbejdskraftopland, det vil sige en øget del af arbejdsstyrken, der vil have mulighed for at pendle til et job i virksomheden. For det andet kan der være logistiske fordele i forhold til afsættningen af virksomhedens produkter, for eksempel ved kun at have ét distributionscenter, hvor man før havde ét vest og ét øst for Storebælt. Et helt tredje mere indirekte aspekt er, at det kan fremme produktiviteten i erhvervslivet gennem øget konkurrence. For eksempel vil en dygtig håndværksmester fra Jylland eller Fyn i kraft af lavere transportomkostninger bedre kunne være konkurrencedygtig i forhold til den lokale håndværksmester et sted i Hovedstadsområdet.

Som det fremgår, påvirker den kortere rejsetid mellem landsdelene således en lang række områder, og det sker på måder, der faktisk giver anledning til mere transport. Det kan umiddelbart forekomme som et paradoks, at det samlede tidsforbrug på transport givetvis er *steget*, og ikke *faldet*, på grund af Storebæltsforbindelsen, selv om dens umiddelbare formål jo har været at nedsætte rejsetiden. Men det ville være fejlagtigt at konkludere, at forbindelsen dermed ikke har været en gevinst, når vi bare har "soldet" hele den sparede rejsetid op ved at bruge tid på flere rejser. Snarere skal man betragte det sådan, at borgerne har "vekslet" tidsgevinsten til andre fordele, som vi ser som endnu større.

De miljømæssige konsekvenser

Men hvad så med miljøet? Fører al den ekstra trafik, som forbedringer af vejnettet skaber, ikke til større energiforbrug og mere luftforurening? Generelt jo, men for Storebæltsforbindelsen er svaret både ja og nej. Isoleret set har trafikspringets forøgelse af person- og lastbiltrafikken ført til øget miljøbelastning og energiforbrug på 4,6 PJ pr. år, svarende til ca. 0,5 % af Danmarks samlede energiforbrug (1 petajoule er 1000.000.000.000.000 J). Også selve byggeriet af bro og tunnel har været meget energikrævende (17 PJ) og i øvrigt betydet store indgreb i landskabet.





Miljøpåvirkning er mere end energiforbrug og klimapåvirkning. Et anlæg af Storebæltforbindelsens dimensioner indebærer en voldsom miljøpåvirkning af landskabet og det omkringliggende vandmiljø. En helt særlig problemstilling er vandgennemstrømningen i Storebælt, som har væsentlig betydning for vandmiljøet i Østersøen. I forbindelse med anlægsloven blev der formuleret den såkaldte nulløsning vedrørende strømningsforholdene i Storebælt, der bl.a. skulle sikre uforandrede salt- og iltforhold ved etableringen af forbindelsen. For at imødekomme kravet blev der foretaget omfattende hydrauliske analyser, som ledte til en afgravning på 8 mio. tons fra havbunden for at kompensere for forbindelsens blokering af vandgennemstrømningen.

Til gengæld spares der meget energi ved, at køretøjer og tog selv ruller over broen på deres hjul i stedet for at blive fragtet af flere tusinde tons tunge færges, der skal flytte en tilsvarende stor mængde vand foran sig for at komme frem. For de overflyttede rejser fra flyruterne er forskellen i energiforbruget pr. passager ikke så stor pr. kilometer, når først de kommet op i flyvehøjde, men starten og opstigningen kræver meget energi.

Energibesparelsen (6,8 PJ pr. år) fra afskaffelsen af Storebæltsfærgerne og overflytningen fra de tilbageværende øst-vest-færgeoverfarter og flyruter kan derfor mere end opveje energiforbruget fra trafikspringet. Herved har energiforbruget til etableringen af forbindelsen kunnet hentes ind ca. 8 år efter Østbroens åbning. Herefter har der været en årlig nettobesparelse på godt 2 PJ pr. år. Det svarer til godt 1 % af transportens samlede nationale energiforbrug og har givet en næsten tilsvarende reduktion af sektorens CO₂-udslip.

Endelig kan man anlægge en æstetisk betragtning: Er broerne smukke eller et vansirende indgreb i landskabet? Personligt skal jeg ikke lægge skjul på, at jeg finder Østbroen smuk og er imponeret af den bagvedliggende ingeniørkunst og den entreprenørpræstation, der har virkeliggjort planerne. Men det er jo, når alt kommer til alt, et subjektivt spørgsmål om vores smag og personlige værdier.

Finansieringen

I Danmark har vi som i de fleste andre lande historisk set tradition for, at den offentlige sektor, dvs. stat, amter og kommuner, har ansvaret for tilvejebringelsen af den trafikale infrastruktur. Finansieringen sker via de generelle skatter og afgifter, herunder afgifterne på person- og lastbiler. Benyttelsen af vejene sker derfor kvit og frit, uafhængigt af hvor meget, hvor og hvornår man kører. Så længe der de fleste steder har været nok kapacitet i vejnettet, har dette samfundsøkonomisk set givet rigtig god mening. Når man først har bygget en vej, er omkostningerne til vedligehold som følge af slitage ikke ret store. Derfor får samfundet mest muligt gavn af den nye vej, når den stilles gratis til rådighed, så alle, der har lyst, kan benytte den.

Ulempen ved modellen er, at borgerne på Lolland kan opfatte det som urimeligt, at de skal være med til at betale for Limfjordstunnelen, og omvendt når Farøbroerne bygges. Men så længe alle dele af landet oplever, at de bliver tilgodeset i den nationale infrastrukturudvikling, kan der skabes politisk opbakning til beslutningerne. Som illustreret ovenfor har Storebæltsforbindelsen ikke lige stor betydning for tilgængeligheden i alle dele af landet. Så selv om de nordjyske motorveje til Hirtshals og Frederikshavn blev besluttet i samme åndedrag, udgjorde Storebæltsforbindelsen en særlig fordelingspolitisk problemstilling i kraft af, at en så stor infrastrukturinvestering tilfaldt en enkelt region.

Storebæltsforbindelsen er uden sammenligning Danmarkshistoriens hidtil dyreste enkeltstående infrastrukturinvestering. Det oprindelige budget i anlægsloven fra 1988 lød på 13,9 mia. kr. Men blandt andet projektændringer, skærpede miljøforanstaltninger og tekniske vanskeligheder med tunnelboringerne førte til flere opjusteringer frem til 1992, så de samlede anlægsomkostninger endte på godt 21 mia. kr. i 1988-priser. I dagens priser svarer det til godt 35 mia. kr., hvor f.eks. Øresundsbroen til sammenligning har kostet ca. 23 mia. kr. Anlægsbudgettet for de store faste forbindelser svarede til adskillige års normale budget til

anlæg af nye statsveje i midten af 1980'erne, da den politiske beslutning blev taget. Det er derfor oplagt, at en alternativ anvendelse af pengene til generel udbygning og forbedring af motorvejs- og banenettet ville betyde en markant forbedring i alle regioner. Dette vanskeliggjorde naturligvis en bred politisk opbakning til en skattefinansieret fast forbindelse.

Brugerbetaling og statsgarantimodellen

Blandt andet derfor valgte man den politiske løsning, at den faste forbindelse over Storebælt, og efterfølgende også Øresundsforbindelsen, skulle betales af brugerne gennem opkrævning af en brotakst ved hver passage. Taksterne for biltrafikken blev politisk fastsat til at skulle svare til færgetaksterne ved broens ibrugtagning med fradrag af trafikanternes egne omkostninger til passage af forbindelsen. Lige inden forbindelsen stod færdig, vedtog folketetinget i 1996 at sænke taksterne for bildelen med 20 %, og betalingerne fra jernbanedelen blev også nedsat væsentligt. I forbindelse med vedtagelsen oprettede man et selvstændigt, 100 % statsejet aktieselskab, *AS Storebæltsforbindelsen*, med det formål at finansiere, opføre, drive og vedligeholde anlægget samt opkræve betalingen fra brugerne. Men for at det kunne ske til den lavest mulige rente, garanterede staten for lånets forrentning og tilbagebetaling i det der siden er blevet kaldt *statsgarantimodellen*. Dermed skulle det stå helt klart, at skatteyderne blev friholdt, idet finansieringen (hvis alt gik vel) ikke skete gennem bevillinger fra staten, men international lånoptagelse.

Ved vedtagelsen af forbindelsen forventede man en tilbagebetalingstid fra åbningen på 13,5 år for vejdelen baseret på det oprindelige anlægsskøn og det vedtagne takstniveau. I løbet af anlægsperioden er selskabets forventning til tilbagebetalingstiden hævet flere gange, først og fremmest som følge af de stigende anlægsomkostninger, men også på grund af beslutningen om takstnedsættelsen i 1996. Umiddelbart inden åbningen var den oppe på ca. 40 år for den samlede faste forbindelse. Men siden er tilbagebetalingstiden nedjusteret igen, da trafikvæksten på forbindelsen har været højere end prognoserne. Efter justering for takstnedsættelsen i 2005 forventede AS Storebælt i sin Årsrapport for 2008 at være gældfri ca. 25 år efter åbningen, altså i 2023.

Rollemodel for faste forbindelser

Realiseringen af de tre store faste forbindelser over Storebælt, Øresund og Femern Bælt betegner på mange måder et nybrud i dansk trafikpolitik. Storebæltsforbindelsen blev skabt af en ambitiøs trafikpolitisk vision med strenge krav til dansk ingeniørkunst. Højbroen over Østrenden har en gennemsejlingshøjde på 72 meter, og dens frie spænd på 1624 meter var på beslutningstidspunktet ikke realiseret noget andet sted i verden. Og ved åbningen var det stadig det næstlængste spænd efter Akashi-Kaikyo-broen (1991 m) i Japan, der åbnede blot 3 måneder før Østbroen. Erfaringerne fra hængebroen over Storebælt og fra skræstagsbroen over Øresund har været afgørende for, at danske rådgivende ingeniører i dag er blandt verdens førende i design af store broer med opgaver over det meste af verden.

På det organisatoriske plan er Storebæltsforbindelsen Danmarks første selskabsejede vejstrækning. Forvaltningen af forbindelsen er således overladt til et statsejet driftsselskab, der alene har til formål at designe, lånefinansiere, anlægge, drive og vedligeholde anlægget bedst muligt på basis af indtægtsgrundlaget fra takstbetalingerne. I erkendelse af det politiske systems iboende svagheder i forhold til effektiv driftsstyring har man gennem

valget af en selskabskonstruktion øget frihedsgraderne til at optimere den samlede drift uden at være afhængig af usikkerheden om de årlige finanslovsbevillinger og kortsigtede politiske dagsordener. Statsgarantimodellen blev efterfølgende videreført ved etableringen af Øresundsforbindelsen, der i år 2000 kunne indvies fire måneder før tiden uden overskridelser af budgettet. Kraftigt medvirkende hertil var, at man kunne udnytte erfaringerne fra Storebæltsprojektet, såvel hos opdragsgiveren som i samarbejdet mellem broelskab og entreprenører og internt på entreprenørsiden. Efter aftalen med Tyskland om etablering af en danskejet Femernforbindelse bliver det det tredje store projekt om en fast forbindelse realiseret ved brug af statsgarantimodellen.



Øresundsforbindelsen blev i 2000 indviet fire måneder før tiden og uden overskridelser af budgettet. Øresundsbroen kostede 20 mia. kr. at opføre til sammenligning med Storebæltsbroens ca. 35 mia. kr. i dagens priser. Det var imidlertid ikke mindst, fordi man kunne udnytte erfaringerne fra Storebælt, at konstruktionen af Øresundsbroen blev et relativt ukompliceret projekt.

Perspektiver for trafikpolitikken fremover

Fra politisk hold opfatter man statsgarantimodellen som en klar succes og et skridt i retning af offentligt-privat samarbejde (OPS) om udbygning af infrastrukturen. I den offentlige debat talte blandt andet regeringens Infrastrukturkommission (2008) for at tage yderligere skridt i retning af privat inddragelse gennem egentlige offentligt-private partnerskaber (OPP), hvor risikovillig privat kapital inddrages, og hvor den private investor får friere rammer til at tilrettelægge eller udforme projektet. Modellen involverer mange store og komplekse udfordringer for den statslige myndighed, blandt andet vedrørende kontraktudformninger, og Danmarks erfaringer med OPP på infrastrukturuområdet er begrænsede. Men hvis vi kan tage ved lære, kan der være store effektiviseringsgevinster at hente.

Det er imidlertid vigtigt at slå en ting fast, som ofte overses i den politiske debat: Inddragelse af privat kapital gennem OPP er *ikke* en finansieringskilde, men en organisationsform. Gevinsten ligger i en mulig effektivisering, ikke i at der bliver flere penge at bygge veje og baner for, fordi private investorer finansierer udvalgte projekter. I sidste instans kan finansieringen kun komme to steder fra: Fra skatteborgerne via de offentlige budgetter eller fra trafikanterne via brugerbetaling. På baggrund af forventninger om at vi også i fremtiden vil se en kraftig vækst i trafikken, anbefalede Infrastrukturkommissionen omfattende infrastrukturinvesteringer for at styrke både det kollektive og det individuelle transportsystem. Hvis planerne skal realiseres, vil det utvivlsomt kræve et investeringsniveau, som det fremover bliver vanskeligt at finde penge til på de offentlige budgetter. Det aktuelle store underskud på statens finanser og de strukturelle problemer med flere ældre og et i forvejen højt skattetryk gør, at kampen om offentlige midler bliver hård i mange år fremover. Det vil betyde et større pres for at finde alternative finansieringskilder.

Motorvejen over Storebælt er den første og hidtil eneste betalingsvej for inden for Danmarks grænser, bortset fra et kuriosum i form af Limfjordsbroens første år og før bilismens tid. Storebæltsforbindelsen har således været første skridt i retning af at indføre brugerbetaling for vejnettet. Ordningen var først og fremmest motiveret af et fordelingspolitisk synspunkt om, at forbindelsen skal betales af dem, der benytter den. I lyset af Storebæltsforbindelsens popularitet i befolkningen på trods af brugerbetalingen har flere luftet ideen om, at OPP-modellen med brugerbetalingsmodel kunne benyttes til finansiering af en ambitiøs udvidelse af motorvejsnettet og for den sags skyld også andre dele af transportsystemet. Her skal man dog være opmærksom på, at de negative samfundsøkonomiske konsekvenser af at indføre brugerbetaling er større for nye betalingsmotorveje generelt end for Storebæltsbroen. Det skyldes, at betalingen i højere grad end for broen vil få færre til at benytte motorvejen, da det i mange situationer vil være nærliggende at vælge parallelle veje uden betaling.

I stedet for at betaling eller ej afgøres af, om vejen er ny, er en samfundsøkonomisk bedre rettesnor for tilvejebringelse af penge til vejudbygninger at lade bilisterne betale (mest) der, hvor man helst vil have *mindre* trafik. Det vil sige på veje (og tidspunkter), hvor der er trængsel, og i byerne, hvor støj og luftforurening giver alvorlige gener. Det er som bekendt vanskeligt at vinde politisk flertal for den type løsninger, da forslag om nye afgifter altid er upopulære - særligt hos det flertal af vælgerne, der har bil, og som mener, at de i forvejen betaler rigeligt til vejene gennem brændstof- og bilafgifter. Men trods den brede modstand mod den aflyste betalingsring om København er der en stigende forståelse for, at betaling

ved brug af vejene er bedre end det nuværende system, hvor størstedelen af den samlede afgift ligger på køb og eje af bilen. Så en eventuel øget brugerbetaling i form af vejbenyttelsesafgifter skal formentlig ses i sammenhæng med en samlet *omlægning* af den høje danske bilbeskatning.

Kapitlets forfatter



Niels Buus Kristensen, Instituttdirektør DTU Transport.





Mobilitet og trængsel - trafikkenes centrale dilemma

Af vicedirektør Camilla Brems, institutdirektør Niels Buus Kristensen og
professor Otto Anker Nielsen



Mobilitet og trængsel er helt grundlæggende begreber, når vi taler transport: Når samfundet hvert år investerer mange milliarder i nye veje og broer, nye metrolinjer samt elektrificering af jernbanen, er det for at forbedre mobiliteten. I det moderne samfund er høj mobilitet en afgørende forudsætning for vores livsstil, så vi kan komme på arbejde, købe ind, hente og bringe børn, dyrke fritidsaktiviteter, rejse på ferie osv., kort sagt realisere alle de aktiviteter, som vores liv indeholder. Høj mobilitet betyder, at mennesker og varer kan komme hurtigt, sikkert og komfortabelt rundt i lokalområdet og i hele landet. Mobilitet forbinder vi derfor med noget positivt, og når vi har høj mobilitet, benytter vi os også af den. Men når vi rejser tit og langt, skaber trafikken trængsel og bilkøer på tidspunkter, hvor kapaciteten på vejene eller i togene ikke kan klare presset. Så bagsiden af medaljen er, at bedre transportmuligheder fører til mere trafik og trængsel, som ultimativt begrænser vores mobilitet.

Derfor er en af de helt store udfordringer i transportplanlægning og transportpolitik at sikre fortsat høj mobilitet ved at begrænse trængslen. I dette kapitel forklares begreberne, og det vises, hvordan mobilitet og trængsel kan måles. Der vises desuden eksempler på, hvordan bilkøer udvikles over tid, og hvordan serviceniveauet i den kollektive trafik påvirker vores valg af transportmidler.

Mobilitet, tilgængelighed og fremkommelighed

Samfundet skal søge at skabe *muligheder* for at rejse nemt og sikkert i form af et godt transportsystem, men det må være op til den enkelte borger, i hvilket omfang man vil benytte sig af mulighederne. Høj mobilitet er målet for transportpolitikken, og derfor giver det også mest mening, hvis *mobilitet* opfattes som potentialet for kunne transportere sig snarere end den faktisk udførte transport.

I forhold til samfundsmæssige prioriteringer i transportpolitikken er denne definition af mobilitet ikke tilstrækkelig som rettesnor. For den enkelte borger afhænger værdien af mobiliteten ikke kun af, at man kan komme vidt omkring; det er afgørende, *hvor* man kan komme hen. Eksempelvis er det for de fleste, der bor i Roskilde, vigtigere at kunne komme nemt til København end til Ringsted, selv om der er omtrent lige langt, og derfor er udtryk for samme grad af mobilitet. Grunden til dette er naturligvis, at der i København bor mange flere mennesker, og dermed er flere arbejdspladser og indkøbs- og forlystelsesmuligheder, flere at besøge, ja generelt flere muligheder. Når samfundet skal prioritere mellem forbedringer af transportsystemet, er *tilgængeligheden* til disse aktivitetsmuligheder og den *fremkommelighed* på vejene, som trafikanterne oplever, derfor en bedre målestok end blot muligheden for at transportere sig geografisk. Bedre mobilitet giver naturligvis også bedre tilgængelighed, men man kan sagtens have en høj tilgængelighed lokalt, f.eks. hvis man bor i Københavns centrum, og dermed et mindre behov for mobilitet.

Tabellen nedenfor opsummerer disse definitioner.

Mobilitet	Mobilitet er et udtryk for, hvor hurtigt man ved brug af transportsystemet kan flytte sig geografisk - sikkert, komfortabelt og overkommeligt. Mobiliteten er bestemt ud fra lokalitet og tidspunkt og kan opdeles på transportformer.
Tilgængelighed	Tilgængelighed er et udtryk for, hvor hurtigt man ved brug af transportsystemet har adgang til at udføre forskellige typer af aktiviteter. Tilgængeligheden er ligesom mobilitet bestemt ud fra lokalitet og tidspunkt og kan opdeles på transportformer. Derudover kan tilgængeligheden opdeles på aktivitetstyper.
Fremkommelighed	Fremkommelighed er et udtryk for det serviceniveau, som borgeren oplever, at transportsystemet yder i forhold til det konkrete rejsemønster. Fremkommeligheden er bestemt ud fra borgerens bopæl og sammensætningen af de konkrete rejser på destination og tidspunkt.

Tabel 1. Begrebsdefinitioner for mobilitet, tilgængelighed og fremkommelighed. Til brug i forbindelse med vurdering af konkrete infrastrukturforbedringer kan man med fordel angive nogle mål eller indikatorer for definitionerne. Eksempelvis kan målet for mobilitet være: Det område man kan nå inden for et givent tidsrum. Målet for tilgængelighed: Antal arbejdspladser, befolkningsstørrelse eller aktivitetspunkter, der kan nås inden for et givet tidsrum og endelig fremkommelighed: Den gennemsnitlige rejsetid eller rejsehastighed for eksisterende rejser til og fra geografiske områder (figur 1).

Måling af mobilitet

Mobilitet kan måles ud fra, hvor langt man kan komme omkring inden for et bestemt tidsrum, f.eks. en halv time. Dette er i figur 1 vist med udgangspunkt i Roskilde, hvor hver farve indikerer, hvor man kan komme hen inden for henholdsvis 15, 30, 45, 60 osv. minutter afhængigt af, om man bruger bilen eller den kollektive trafik.

Som det fremgår af figuren, er Sjællandskortet mest grønt og gult for bilen og orange og rødt for den kollektive trafik. Det betyder, at mobiliteten fra Roskilde er væsentligt større, hvis man bruger bilen frem for den kollektive trafik, hvor den i øvrigt er bedst, når man er tæt på hovedjernbanen mellem København og Korsør.

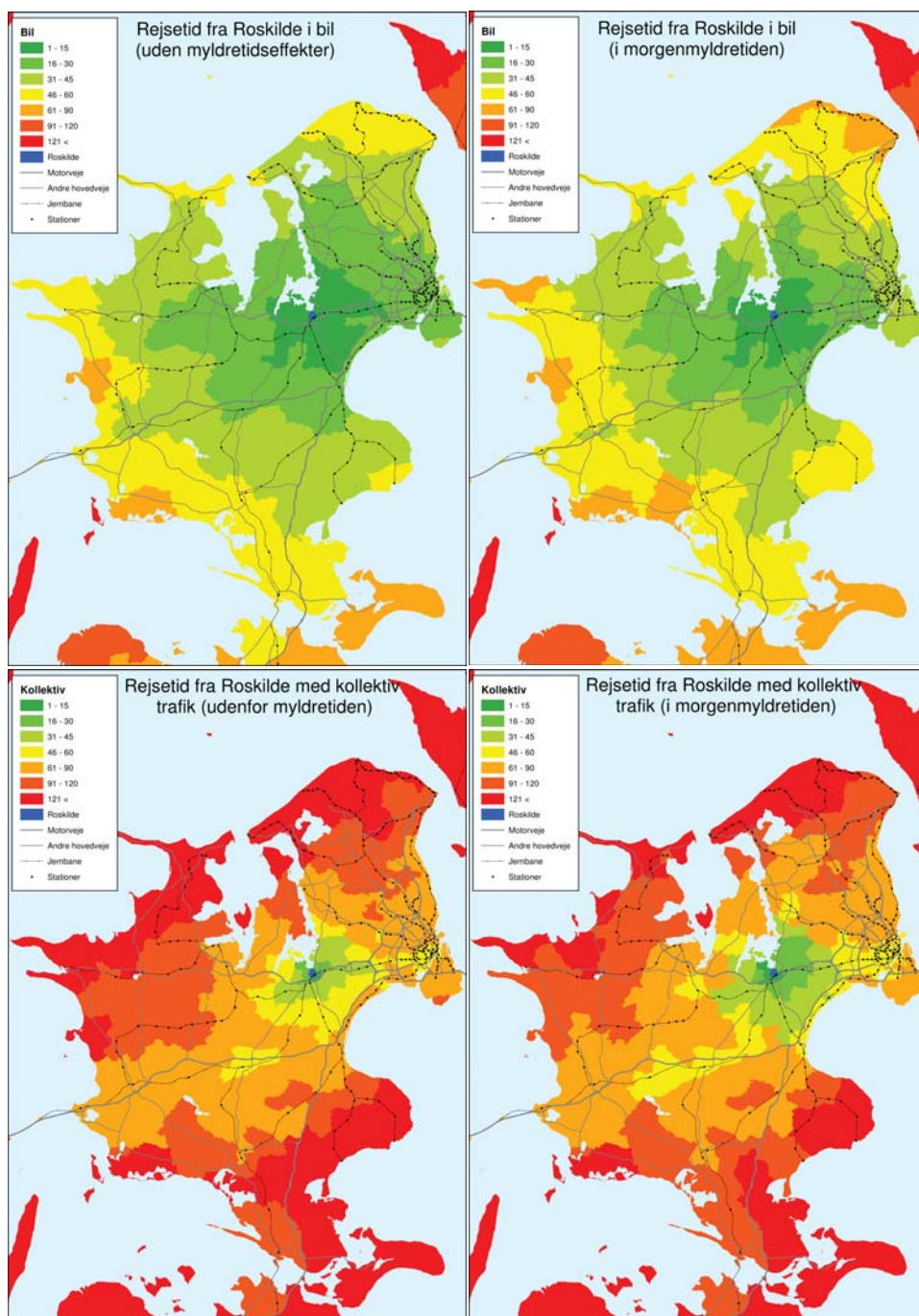
De to øverste kort sammenligner rejsetiden i og uden for myldretiden. Man kan se, at mobiliteten ind mod København er lavere i morgenmyldretiden, fordi der på dette tidspunkt er mange biler, som skaber trængsel, så man ikke kan komme så hurtigt frem.

Hvad er trængsel?

Helt generelt definerer vi trængsel således:

Trængsel er et udtryk for trafikanternes nedsatte bevægelsesfrihed som følge af interaktionen mellem trafikmængden og trafiksystemets kapacitet.

Trængsel er således grundlæggende et udtryk for en ubalance mellem transportefterspørgsel og trafiksystemet (udbud), så trafikmængderne nærmer sig eller ligefrem overstiger kapaciteten. Presset vil variere over tiden, ikke mindst i løbet af døgnet og være størst i morgen- og eftermiddagsmyldretiden.



Figur 1. Rejsetid fra Roskilde i bil (øverst) og med kollektive transportmidler (nederst), vist for henholdsvis uden for myldretiden og i morgenmyldretiden. "Uden for myldretid" med kollektiv trafik er opgjort om aftenen, hvor frekvensen af kollektive transportmidler er lav.

Presset giver nedsat bevægelsesfrihed, der kan være alt mellem en kortvarig kørsel bag en langsommere trafikant til kørsel i en kø, der næsten ikke bevæger sig. Derfor fastlægges forskellige niveauer af trængsel, spændende fra ubetydelig trængsel over begyndende trængsel til stor trængsel og kritisk trængsel. Trafikantens oplevelse af trængsel vil i høj grad knytte sig til vedkommendes trafikadfærd, altså hvor og hvornår man kører. En trafikant, der primært kører udenfor myldretiden, kan således have den opfattelse, at der ikke er nogen særlig trængsel, mens andre trafikanter, der primært færdes samme sted i myldretiderne, oplever en hel del trængsel (tabel 2).

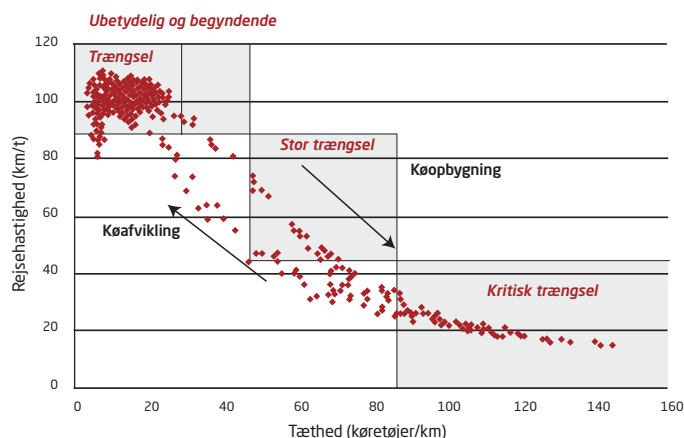
	Rejsehastighed	Tæthed
Ubetydelig trængsel	Over eller lig acceptabel	Under eller lig acceptabel
Begyndende trængsel	Over eller lig acceptabel	Over acceptabel
Stor trængsel	Under acceptabel	Høj
Kritisk trængsel	Lav / stop-kør	81 biler/km

Tabel 2. Niveauer af trængsel i trafikantens perspektiv.

Trafiktæthed og rejsehastighed

Den grundlæggende mekanisme er altså, at store trafikmængder skaber trængsel, men den centrale effekt af trængslen er, at fremkommeligheden og rejsehastigheden falder. Med til billedet hører også sammenhængen mellem rejsehastighed og trafiktætheden. I det følgende illustreres de grundlæggende sammenhænge mellem disse begreber yderligere i et eksempel fra Helsingørsmotorvejen.

Trafikmængden (antal køretøjer, der passerer et snit pr. tidsenhed) er generelt ikke et godt mål for trængslen, fordi trafikmængderne falder, når der opstår kø og dermed høj trængsel. Men trafiktætheden (antal køretøjer pr. kilometer) fortsætter med at stige. Trafiktætheden er dog i praksis mere besværlig at måle end trafikmængder. Figur 2 viser den klare faldende sammenhæng mellem rejsehastighed og trafiktæthed og de tilhørende forskellige niveauer af trængsel for et konkret eksempel: Helsingørsmotorvejen for perioden mandag d. 24. - fredag d. 28. september 2012.

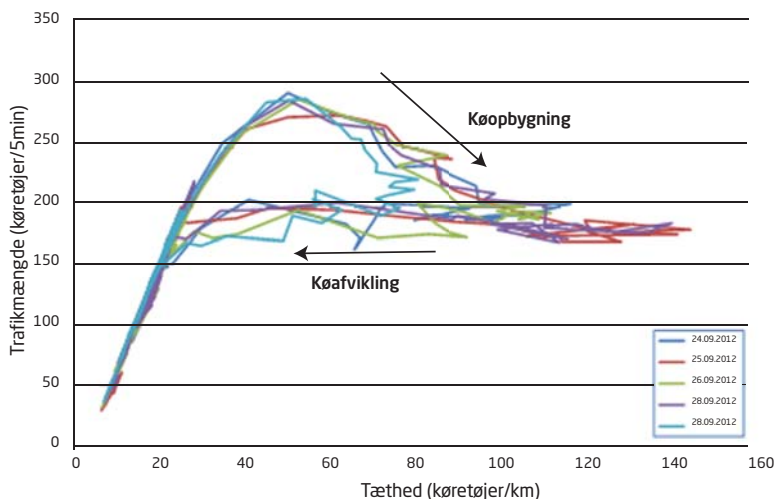


Figur 2. Observeret relation mellem rejsehastighed og tæthed for Helsingørsmotorvejen nord for Gl. Holte (sydgående).

Den maksimalt målte tæthed i figuren er 145 biler pr. km, hvilket svarer til en tæthed på 73 biler pr. km pr. kørselsspor. Det betyder, at bilerne holder i kø med knap 14 meter fra forende til næste forende i hvert af de to spor. Rejsehastigheden er i den situation helt nede under 20 km/t mod godt 100 km/t, når der slet ikke er trængsel.

Trafikafviklingen under trængsel

I figur 3 er vist sammenhængen mellem trafikmængder og tæthed for samme eksempel som i figur 2. Observationerne for de fem dage er vist hver for sig, så dag-til-dag variationerne tydeliggøres. Således er trafikken tættest tirsdag og torsdag og mindst tæt fredag. Trods disse variationer følger trafikafviklingen alle dage det samme mønster og skift i status sker ved nogenlunde de samme tærskler. Således begynder køopbygningen, når tætheden kommer over ca. 40 køretøjer/km for de to spor. I figur 2 svarer det til, at trafikken bevæger sig ud af skyen af observationer i øverste venstre hjørne. Trafikken bevæger sig ud af den stabile situation, og dynamikkerne for køopbygning og -afvikling tager over. Det fremgår af figur 2, at dette på eksempelstrækningen sker ved omkring 90 km/t, hvilket nogenlunde svarer til tærsklen på 80 % af den frie rejsehastighed, da hastighedsbegrænsningen er på 110 km/t.



Figur 3. Sammenhæng mellem trafikmængder og tæthed for Helsingørsmotorvejen nord for Gl. Holte (sydgående).

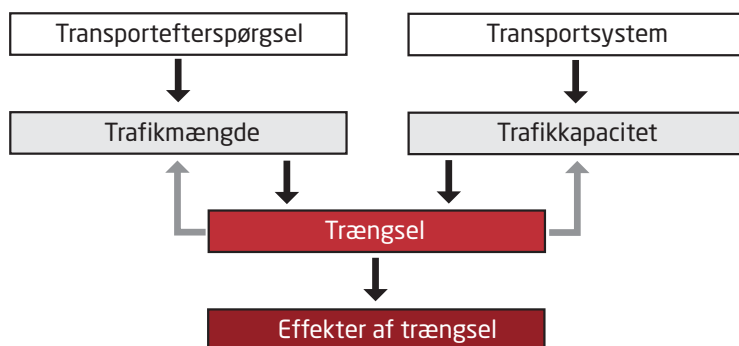
Det ses også af figur 3, at trafiktætheden i den værste myldretid ligger over 60-70 køretøjer/km for to spor. Her begynder det at "gå galt": Den afviklede trafik (trafikmængderne) mindskes, mens trafiktætheden stiger helt op mod 150 køretøjer/km. Herefter afvikles køen nogenlunde konstant med ca. 200 køretøjer/5 min., indtil trafiktætheden igen er nede omkring ca. 20 køretøjer/km. Af figur 2 fremgår, at en tæthed på 60-70 køretøjer/km nogenlunde svarer til tærsklen på 40 % af den frie rejsehastighed (hvilket svarer til 44 km/t i eksemplet). Forsinkelser er den mest synlige effekt af trængsel. Trængsel kan dog også få

trafikanterne til at ændre adfærd og dermed skabe nogle mindre synlige effekter af trængsel. De typiske reaktioner kan omfatte ændringer af rute, destination, transportmiddel og rejsetidspunkt, ligesom nogle trafikanter helt undlader at gennemføre rejsen.

Regulering af trængslen

Stor og især kritisk trængsel er en overudnyttelse af trafiksystemet, som transportpolitikken bør stræbe efter at undgå. Men det ville være for dyrt for samfundet helt at undgå trængsel på alle tider af døgnet, da dette ville kræve uforholdsmæssigt dyre investeringer i infrastruktur.

Trængsel kan påvirkes dels af trafikmængden gennem ændringer i trafikanternes transportefterspørgsel dels af infrastrukturforvalteren (stat og kommuner) gennem dimensioneringen af trafiksystemets kapacitet. Interaktionen mellem trafikmængder og transportsystemets trafikkapacitet er illustreret i figur 4.



Figur 4. Trængslen skyldes ubalance mellem trafikmængde og transportsystemets kapacitet.

I bund og grund vælger trafikanterne kun at rejse (eller transportere gods), fordi de på destinationen kan gennemføre nogle aktiviteter, som ikke kan gennemføres derhjemme. Trafikmængden afhænger af, hvor mange trafikanter, der finder det "besværet værd" at foretage rejsen. I opfattelsen af dette besvær indgår en lang række faktorer, der kan påvirkes af trafikpolitikken, herunder rejsens pris, rejsetid og komforten samt den udbudte service for den pågældende transportform og rute. Hvis man således gør det dyrere at rejse f.eks. gennem billetpriser eller brændstofafgifter, vil færre rejse. Derimod vil tiltag, der forkorter rejsetiden, f.eks. investeringer i vejudvidelser, der giver kapacitetsforøgelser og dermed mindsker trængslen, fremme trafikken og derved paradoksalt delvist modvirke effekten på trængslen, jf. figurens pil fra Trængsel til Trafikmængde.

Hvis trafikmængden overstiger kapaciteten, bliver trængslen så stor, at det faktisk begrænser trafikafviklingen og dermed også infrastrukturens kapacitet, hvilket er illustreret med pilen fra Trængsel til Trafikkapacitet.



Selve trængslen resulterer i en lang række effekter for både trafikanter og omgivelser. For trafikanterne er et vigtigt element selvfølgelig selve tidstabet som følge af længere rejsetider, men også effekter som kørekomfort og usikkerhed om at nå destinationen til tiden, som følge af uforudsigelige variationer i rejsetiden. For omgivelserne er det bl.a. ændringer i luftforurening, støj og trafikuheld samt tæt trafiks påvirkning af oplevelsen af byrummet.

Overflytning til kollektiv trafik

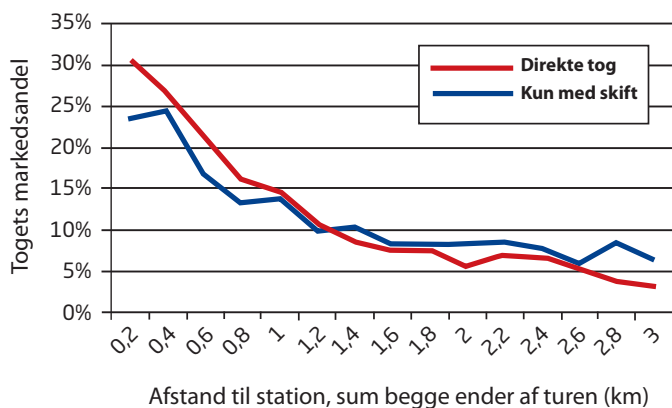
Som illustreret i figur 1 er mobiliteten med bil som oftest langt større end med kollektiv trafik. Derfor vælger dem, der har mulighed for det, langt oftere bilen, som da også tegner sig for ca. tre fjerdedele af danskernes transport, mens den kollektive trafik kun bidrager med 12 % af persontransporten. Bilen er altså oftest hurtigst, men til gengæld fylder den mere på vejene end bussen, hvis man måler pr. transporteret passager. I gennemsnit sidder der kun 1,7 personer i bilerne, og endnu færre i myldretiden, hvor sæderne i tog og busser til gengæld er mest fyldte, og andelen af transporten også er større.



Det viser sig, at fremkommeligheden for ture med kollektiv trafik er bedre end for bil i Ørestaden, omkring Flintholm og Ny Ellebjerg stationer, samt i Christianshavn. Dette må i høj grad tilskrives planlægningsmæssige succeser, men ses der bort fra disse undtagelser, så er det tankevækkende, at fremkommeligheden for biler er markant bedre end kollektiv trafik i meget store dele af Hovedstadsområdet.

En vej til at mindske trængslen ville derfor være, hvis man kan få flere til at vælge den kollektive trafik (eller cykel) i spidsbelastningsperioderne. En sådan overflytning kræver, at man styrker den kollektive transports attraktivitet i forhold til bilens. Kortere rejsetid vil naturligvis trække i den rigtige retning, men undersøgelser viser, at noget af det vigtigste er, at man kan stole på, at busser og tog afgår og ankommer til tiden. En anden væsentlig faktor er, at der er nem adgang til busser og tog. I forbindelse med attraktivitet benyttes ofte begrebet ”stationsnærhed”, altså hvor god tilgængeligheden er til togstationer og stoppesteder. Effekten heraf kan tydeligt ses på togets markedsandele, jf. figur 5.

Effekt af stationsnærhed og direkte tog opgjort for interne ture i Region Hovedstaden



Figur 5. Effekten af stationsnærhed på togets markedsandel (bemærk, at det er summen af begge ender af turen).

Som planlægningsværktøj for prioritering af investeringer i kollektiv trafik er der derfor behov for ikke alene at betragte de eksisterende kollektivrejser, men også at se på potentialer for nye rejser, hvis man kan forbedre den kollektive trafik væsentligt f.eks. gennem øget frekvens eller metro/letbaner i stedet for busser. Et andet aspekt af attraktivitet er den lokale tilgængelighed, der bl.a. handler om udformningen af stationer samt parkeringsforhold ved stationerne. Forskning på DTU Transport indikerer, at kvaliteten af parkeringsforhold (både for cykler og biler), muligheder for at medbringe cykler i toget, tilgængelighed af busser etc. medvirker til vores transportmiddelvalg.

Kapitlets forfattere



To af forfatterne: Vicedirektør Camilla Brems og professor Otto Anker Nielsen.





Faktorer der påvirker trafiksikkerheden

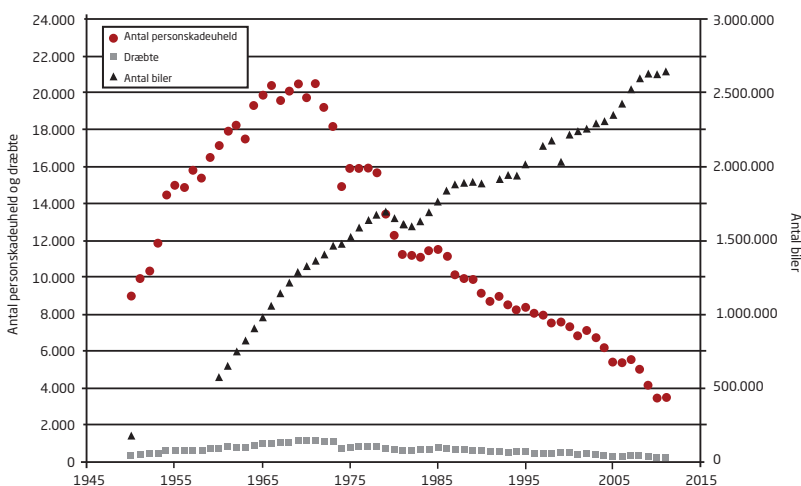
Af seniorforsker Tove Hels



Danmark er antallet af trafikuheld, dræbte og tilskadekomne faldet gennem flere år. Samtidig er mængden af trafik på de danske veje steget enormt. Fra 1950 til 2011 steg antallet af biler således cirka 14 gange fra 180.000 til 2,7 mio. Mange faktorer bidrager til den markante nedgang i antallet af ulykker og tilskadekomne: Politiske virkemidler (love og regler, økonomiske incitamenter, handleplaner), den teknologiske udvikling af bilerne (der kan betyde både færre ulykker og mindre alvorlige ulykker), ændring i vejenes udformning og førernes køreegenskaber og holdninger. Sidstnævnte påvirkes både af den generelle lovgivning, politikontrol, pressens måde at dække trafiksikkerhed på og informationskampagner. I dette og de efterfølgende kapitler gennemgås i hovedtræk, hvad vi ved om trafiksikkerhed, risici og de faktorer, der påvirker ulykkesstatistikkerne.

Udviklingen fra 1950 til i dag

I perioden fra 1950 til 2011 har antallet af færdselsulykker beskrevet en parabelformet udvikling (figur 1). Således er det årlige antal af ulykker med personskade steget fra 9.038 i 1950 til 20.507 i 1971 og derefter faldet til et foreløbigt minimum på 3.498 i 2010. Det årlige antal dræbte i trafikken beskriver samme udvikling, men den er sværere at se, fordi antallet af dræbte heldigvis er meget lavere.

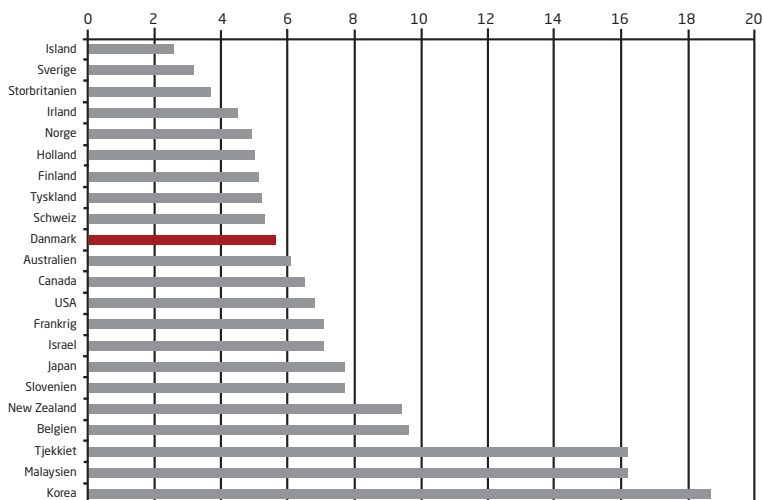


Figur 1. Antal personskadeulykker, antal dræbte og antal biler i Danmark 1950-2011. Kilde: Danmarks Statistik.

I mange andre lande i verden finder man en udvikling på trafiksikkerhedsområdet, der ligner Danmarks: En kraftigt stigende grad af motorisering (flere biler, flere kørt kilometer) mod et mætningspunkt, men til trods for dette en faldende ulykkesrisiko pr. kørt kilometer, der illustreres ved en parabelformet udvikling i antal ulykker med personskader. Uheldskurven kan være forskudt mod højre, men i de fleste vestlige lande ser den ud som i Danmark med et højdepunkt først i 1970'erne og et efterfølgende fald.

Risiko og det mest risikable

Inden for trafikssikkerhed defineres risiko som antal uønskede hændelser pr. eksponering. Det vil for eksempel sige antal trafikdræbte pr. million kørte kilometer eller antal ulykker pr. 100.000 danskere om året. I figur 2 vises antallet af trafikdræbte pr. million kørte kilometer i forskellige lande. Danmark ligger fint i forhold til andre lande, men ikke i toppen.



Figur 2. Antal dræbte i trafikken i 2010 pr. million kørte kilometer. Kilde: IRTAD 2011 Annual Report OECD/TIF 2012.

Tre forhold i trafikken er kendt for at være meget risikable: For høj hastighed, spirituskørsel og manglende brug af sikkerhedssele. Hvis alle trafikanter fra den ene dag til den anden kørte efter hastighedsgrænserne, brugte sikkerhedssele og ikke kørte spirituskørsel, er det anslået, at antallet af dræbte og tilskadekomne ville kunne falde med omkring 40 %.

Hastighed

I den videnskabelige litteratur er der gentagne gange påvist en statistisk sammenhæng mellem hastighed og antal dræbte og tilskadekomne (se "Sammenhæng imellem hastighed og uheld" efter dette kapitel). Den første lov om hastighedsbegrænsning kom i 1903, men blev ophævet igen i 1953. Derefter blev der indført generelle hastighedsgrænser i 1973 – ikke af trafikssikkerhedsmæssige årsager, men på grund af oliekrisen, der medførte en stærkt forøget pris på brændstof. Samtidig blev der indført bilfrie søndage hen over vinteren 1973-1974, hvilket naturligvis har reduceret antallet af kørte kilometer og dermed antallet af uheld. I Danmark indførtes i 2002 en forsøgsordning med mobil automatisk hastighedskontrol for at nedbringe hastigheden i udvalgte områder, og i 2009 blev et forsøg med stationær automatisk hastighedskontrol gennemført. Forsøget dokumenterede en klar nedsættelse af middelhastigheden og hastighedsspredningen på de strækninger, hvor standerne var sat op. I 2005 blev klippekortet indført. Her udløser blandt andet hastigheder over 30 % af den tilladte grænse et klip i kørekortet. Dette har i hvert fald midlertidigt nedsat middelhastigheden på vejene. Langt de fleste klip, der bliver givet af politiet, er på grund af for høj hastighed.

Hastighed og dermed antallet af uheld påvirkes af mange faktorer. Det er dokumenteret, at hastighed påvirkes af mængden af politikontrol: Jo større sandsynlighed der er for at blive kontrolleret (og få en bøde samt eventuelt et klip i kørekortet, hvis man kører for stærkt), desto mere tilbøjelig er føreren til at overholde hastighedsgrænsen. Hastighed påvirkes også af vejrliget og føret: I kraftig regn eller på glat vej sætter føreren typisk farten ned – ofte så langt ned, at der kun sker få uheld, og så de uheld, der sker, ikke er så alvorlige. Man kan sige, at bilisterne overkompenserer for det vanskelige føre ved at sætte hastigheden ekstra langt ned. Endelig er der en del bilister, der simpelthen bliver hjemme, hvis føret er vanskeligt. Her er forklaringen på, at der sker færre uheld i hårde vintre end i milde vintre, selvom man umiddelbart skulle tro, det var omvendt. Endelig påvirkes hastigheden også af antallet af biler på vejene, altså antallet af kørte kilometer. Køres der meget, f.eks. som i Københavnsområdet i myldretiderne, er hastigheden – og dermed uheldssandsynligheden – lav.



I kraftig regn eller på glat vej er det normalt, at bilens fører overkompenserer. Farten nedsættes, så uheldsantallet daler, og de få uheld, der sker, bliver sjældent alvorlige.

Selebrug

Brug af sikkerhedssele nedbringer ikke antallet af trafikuheld, men gør skaderne ved trafikuheld mindre alvorlige. Sikkerhedsselen forhindrer, at man ved færdselsuheld kan blive kastet rundt i bilen og eventuelt ud af den. Jo højere hastigheden er, desto vigtigere er selen, idet den mængde energi, der udløses ved et eventuelt uheld, er proportional med kvadratet på bilens hastighed. I Danmark blev det i 1976 obligatorisk for førere og forsædepassagerer at bruge sele, og i 1990 blev det også obligatorisk for bagsædepassagerer at bruge sele. Siden

2005 har det desuden kostet føreren et klip i kørekortet, hvis eventuelle børn i bilen under 15 år ikke er spændt fast efter reglerne. Danmark har en høj andel af førere, som bruger sele, nærmere bestemt 92 %. I mange lande er andelen af førere, der bruger sele, ret høj, mens det samme langt fra er tilfældet for bagsædepassagererne.

Spirituskørsel

At køre med spiritus i blodet er åbenlyst risikabelt. Under påvirkning af alkohol reagerer man som fører langsommere på uforudsete hændelser. Kører man f.eks. 80 km/t, og er ens reaktionstid på grund af alkoholpåvirkning forøget med bare ét sekund, vil man på dette sekund køre 22 m, inden man når at reagere på en fare. Derudover er ens dømmekraft svækket ved alkoholpåvirkning og risikovilligheden øget, sådan at man forestiller sig at kunne klare situationer i trafikken, som man i virkeligheden ikke kan klare. Alle disse effekter peger i samme retning: Højere risiko for uheld ved spirituskørsel (se uddybning i kapitlet: "Bilkørsel med alkohol og andre stoffer").

I Danmark indførtes i 1976 en fast promillegrænse på 0,8 ‰ alkohol i blodet, over hvilken kørsel var ulovlig. Indtil dette tidspunkt var det op til færdselspolitiet at vurdere, om man kunne køre bil på betryggende måde uanset promille. En anden vigtig milepæl i arbejdet med spirituskørsel var indførelsen af alkometre i politiets færdselskontroller. Dette skete i 1985. Ved hjælp af et alkometer måles alkohol i den luft, man udånder, og den testede person skal derfor puste kraftigt i et rør, der er monteret på og tilsluttet alkometret. På et display kan man aflæse den tilsvarende promille i blodet, idet der er foretaget en omregning mellem udåndingsluft og blod. I 1998 blev promillegrænsen i blod sænket fra 0,8 ‰ til 0,50 ‰. Med indførelsen af klippekortet i 2005 blev straffen for spirituskørsel skærpet.

I 2010 tog politiet de såkaldte evidensalkometre i brug; med disse kan det afgøres på stedet, om bilisten har en alkoholpromille i udåndingsluften over det tilladte, da disse apparaters målinger kan bruges som bevis på færdselsforseelsen. Politiet sparer dermed den tidskrævende transport af bilisten til en læge, som kan tage en blodprøve. Dette var tidligere påkrævet som bevis for forseelsen.

Trafiksikkerhed i fremtiden

På trods af de mange tiltag, der med stor succes er gennemført de seneste 40 år for at forbedre trafiksikkerheden, kommer mennesker stadig til skade på de danske veje, heraf nogle alvorligt. Alligevel er Danmark nede på et antal af tilskadekomne, hvor det er svært at forbedre trafiksikkerheden yderligere, fordi de tiltag, der reducerer antallet af uheld kraftigt, er gennemført (se boks 1). Derfor må forebyggelsen gå nye veje. Opgørelser over uheldsfaktorer peger på, at i mere end 90 % af tilfældene er menneskelige fejl medvirkende til trafikuheld. Derfor virker det oplagt at sætte ind over for disse. Det viser sig, at når man ser på forskellige grupper af trafikanter, er deres ulykkesmønster, risiko og adfærd i trafikken ofte ganske forskellige. Dette gælder både spiritusbilister, fartsyndere og trafikanter, der ikke bruger sele. Hvis man derfor identificerer grupper af trafikanter i detaljer, bliver det muligt at finde frem til præcis de grupper af trafikanter, som unddrager sig regelefterlevelse. Når de er identificeret, er det op til politikerne at beslutte, hvilke sanktioner der skal i anvendelse. I Danmark har der ved færdselsforseelser traditionelt været brugt bødestraf og i meget grove tilfælde frihedsberøvelse – altså sanktioner efter, at ulykken er sket. Det er dog sandsynligt,



Selv om antallet af trafikuheld og antallet af tilskadekomne på de danske veje i mange år har været jævnt faldende, kommer folk stadig alvorligt til skade i trafikken. Det ser ud til, at det især er indsatsen over for menneskelige fejl, der skal styrkes, hvis antallet af uheld skal bringes yderligere ned.

at fremtiden også vil byde på teknisk forebyggelse af ulykker og skader – for eksempel installering af alkolås, fartspærre og tvungen selebrug for at bilen kan starte. Herudover er der til stadighed en udvikling i gang hos bilproducenterne, der forbedrer bilens aktive og passive sikkerhed, og dette vil også i fremtiden have stor betydning for udviklingen i trafiksikkerheden.

Kapitlets forfatter



Seniorforsker Tove Hels.

Oversigt over virkemidler til at forbedre trafikssikkerheden

Trafikssikkerheds-fremmende faktorer	Forklaring	Eksempler
Politiske virkemidler		
Love og regler	Regulerer trafikanternes adfærd og bilernes stand	Promillegrænsen, hastighedsgrænser, klippekortordningen, bilsyn
Økonomiske incitament	Afgiftslettelse for sikkerhedsudstyr	Nedsætning af afgiftspligtig værdi for nye biler med: - elektronisk stabiliseringssystem (ESC) - anti blokerings-bremsesystem (ABS) - tre eller flere airbags - mindst fem stjerner efter Trafikstyrelsens retningslinjer
Handlingsplaner	Færdselssikkerhedskommissionens (FSK) målrettede plan for trafikssikkerhed inkl. fokusområder	FSK nedsat af justitsministeren i 1986 Handlingsplaner udgivet i 1988 (1.), 2000 (2.), 2007 (2. revideret), en tredje i 2012
Teknologisk udvikling af biler		
Aktiv sikkerhed	Installationer i bilen, der mindsker sandsynligheden for uheld	Elektronisk stabiliseringssystem (ESC) Anti blokerings-bremsesystem (ABS) Vognbaneskift-alarm
Passiv sikkerhed	Installationer i bilen, der mindsker konsekvenserne af et eventuelt uheld	Airbags Kollisionszoner Selehuskere
Vejenes udformning		
Selvforklarende design af veje	Konstruktion af veje på en måde, så det er tydeligt, hvordan man skal agere som trafikant	Indsnævring af veje ved indkørsel til byer Vejbump
Tilgivende veje	Konstruktion af veje på en måde, der mindsker konsekvenserne af uheld	Autoværn
Politikontrol		
	Kontrol af adfærd i trafikken	Kontrol af fart, selebrug, alkohol
Informationskampagner		
	Kampagner, der informerer om trafikssikker adfærd Kampagner mod spirituskørsel	Informationskampagner Kampagner mod for høj fart Kampagner mod brug af mobiltelefon under kørsel

Sammenhæng imellem hastighed og uheld

Af forsker Allan Lyckegaard, DTU Transport

Når der sker et alvorligt trafikuheld, er der ofte mange medvirkende faktorer, der optræder samtidigt. Det kan være isglatte veje i kombination med tåge, regn, mørke eller førerens manglende opmærksomhed. Det er hyppigt vanskeligt at afgøre, hvilken rolle hastigheden spiller i uheldet, men forskning har påvist, at risikoen for uheld øges væsentligt ved høj hastighed. Hastigheden forhøjer selve risikoen for, at der sker uheld, og forhøjer samtidig alvorligheden af de uheld, som opstår. For høj hastighed er således fortsat årsag til en stor del af trafikdrabene. Tallene i dette afsnit stammer fra en hollandsk undersøgelse, hvor hastighedens betydning er blevet grundigt belyst.

Hastighedens betydning for uheldsrisikoen

Når hastigheden sættes i vejret, øges den strækning, som bilen kører, inden føreren reagerer, og samtidig øges bilens bremselængde. Under normale omstændigheder er en persons reaktionstid omkring 1 sekund fra det øjeblik faresituationen opdages, til der trykkes på bremsepedalen, men jo højere hastigheden er, jo længere kører bilen naturligvis i det sekund. Generelt medfører en fordobling af hastigheden en firedobling af bremselængden. Der er imidlertid flere faktorer, der spiller ind, og man har således fundet, at sammenhængen mellem hastighed og uheldsrisiko i visse tilfælde følger en potensfunktion, dvs. at på en vej, hvor hastighedsgrænsen er 60 km/t, fordobles risikoen for uheld ved en hastighed på 65 km/t, firedobles ved 70 km/t og tidobles ved 75 km/t. Ved en sammenligning med kørsel under påvirkning af alkohol viser det sig, at denne konstaterede risikostigning er sammenlignelig med risikostigningen ved kørsel med en alkoholpromille på henholdsvis 0,5, 0,8 og 1,2.

Uheldsrisikoen er dog ikke lige stor for alle typer af veje. 100 km/t på en motorvej er mindre farligt end 100 km/t på en landevej eller en byvej. En motorvej er konstrueret til høje hastigheder og er kun tilladt for motorcykler, personbiler og lastbiler. Landeveje og byveje er derimod konstrueret til væsentligt lavere hastigheder, og trafikken er langt mere kompleks og uforudsigelig. Fodgængere, cyklister og motorkøretøjer er til stede samtidig, og trafik fra sideveje vil ofte møde hovedvejene i en anden fart end den øvrige trafik.

Hastighedens betydning for uheldets omfang

Alvorligheden af et uheld er tæt koblet til hastigheden. En stigning i gennemsnitshastigheden på 1 % på en vejstrækning resulterer i en stigning på 2 % i antal personskadeuheld, 3 % i alvorlige personskadeuheld og 4 % i antal trafikdræbte. En kollision imellem to biler ved 80 km/t har 20 gange større risiko for at resultere i et trafikdrab end en kollision ved 30 km/t.

Der er ofte en kombination af flere faktorer til stede ved alvorlige trafikuheld. Når dårlig sigtbarhed, uopmærksomhed og høj fart optræder samtidigt, øges risikoen for uheld betydeligt.



Bilproducenterne har i dag fokus på sikkerhed, og biler leveres med airbags samt stødpudezoner i bilens front, som kan mindske de kræfter, som bilens fører og passagerer påvirkes af ved en kollision. Fodgængere og cyklister er ikke på samme måde beskyttet og er derfor sårbare ved kollision (bløde trafikanter). Rammes en fodgænger af en bil med 30 km/t er der 5 % risiko for, at fodgængerens bliver dræbt. Ved 50 km/t er denne risiko 45 %, og ved en kollisionshastighed på 65 km/t bliver 85 % af alle fodgængere dræbt. Oplevelsen af at blive ramt med 50 km/t er vanskelig at forestille sig, men det svarer faktisk til at hoppe ud fra 4. sals højde. Relativt små reduktioner i hastigheden kan altså spare samfundet for mange trafikuheld og trafikdrab, uden at det går væsentligt ud over mobiliteten.

Fodgængere og cyklister er særligt sårbare ved kollision, og hastigheden er afgørende. Fodgængere, der rammes af biler, der kører 65 km/t, bliver dræbt i 85 % af alle tilfælde!



Fakta

Uheldsrisiko for alkoholpåvirkning og hastighedsovertrædelser på en vej med hastighedsgrænse på 60 km/t.





Bilkørsel med alkohol og andre stoffer

Af seniorforsker Inger Marie Bernhoft



Selv om forekomsten af alkohol hos bilister i trafikken i Danmark er halveret siden 80'erne, er alkohol i trafikken stadig et stort problem. Forskningsresultater afdækker, at ikke blot er alkohol hyppigt forekommende i trafikken, men risikoen for færdselsuheld med alvorlige skader er også væsentligt forhøjet, hvis alkoholpromillen er over lovens grænse, eller alkoholen er blandet med andre stoffer. Den højeste risiko for personskadeuheld med alvorlige skader findes hos bilister, der kører med alkoholpromiller på 1,2 og derover.



Tilbage i 80'erne var der et stort ønske om at få at vide, hvor stort problemet med spirituskørsel i virkeligheden var. Dengang blev der gennemført en landsdækkende undersøgelse for at kunne svare på dette spørgsmål. Tilfældige bilister blev standset af politiet og bedt om at blæse i et alkometer. Bilister blev som noget nyt standset på alle tidspunkter af døgnet og på alle dage i ugen. Dette gav mulighed for at finde ud af, hvordan det stod til med spirituskørsel over hele ugen. Det var påfaldende, at dette ikke kun foregik om natten i weekenderne, men over hele døgnet og alle ugens dage. F.eks. var det nyt for politiet, at en del af spirituskørslen foregik i eftermiddagsmyldretiden. Resultaterne dannede baggrund for en ny taktik i politiets overvågning af færdselssikkerheden: Politiet skulle teste bilister for alkoholpåvirkning over hele døgnet, for vi ved fra mange internationale undersøgelser, at noget af det vigtigste i forebyggelsen af spirituskørsel er, at der er en stor opdagelsesrisiko.

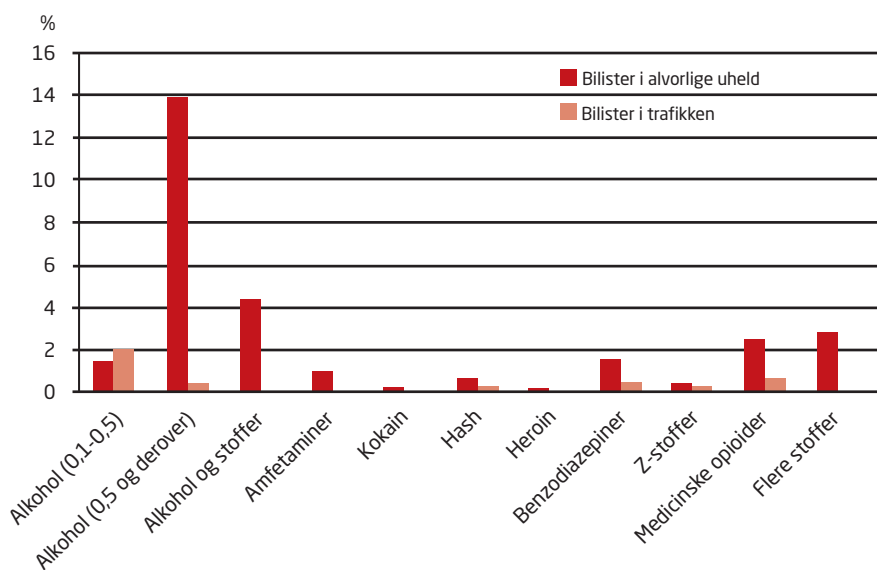
Dengang kørte i gennemsnit over ugen omkring 1 % af bilisterne med en promille på 0,5 og derover. Da der for nylig blev gennemført en ny undersøgelse, var det tilsvarende resultat ca. 0,5 %, dvs. en halvering af spirituskørslen. Vi beregnede i den forbindelse, at ca. 10.000 bilister hver dag kører med en ulovlig alkoholpromille. I den nye undersøgelse blev ikke kun forekomsten af alkohol i trafikken undersøgt i et stort antal europæiske lande, men undersøgelsen omfattede også kørsel med andre stoffer, dvs. både ulovlige stoffer og medicinske stoffer. I Danmark blev undersøgelserne gennemført af DTU Transport i samarbejde med Retskemisk Afdeling på Retsmedicinsk Institut, Københavns Universitet.

Forekomst af alkohol og andre stoffer hos bilister

Forekomsten af alkohol, misbrugsstoffer og lægemidler hos tilfældige bilister, der færdes i trafikken i Danmark, blev undersøgt i perioden marts 2008 - maj 2009. Resultatet er baseret på ca. 3000 anonyme spytprøver fra stikprøvekontroller af tilfældige bilister på danske veje i politikredsene Midt- og Vestsjælland, Sydøstjylland samt Nordjylland. Analyserne viste, at i alt 2,5 % af bilisterne i trafikken generelt var positive for alkohol, heraf var der tale om en promille over den tilladte grænse på 0,5 promille hos 1/5 af disse bilister. Misbrugsstoffer i form af hash forekom hos 0,2 % af bilisterne og amfetaminer hos 0,02 %. Kørsel med medicin var hyppigere, idet 1,5 % positive bilister var positive for medicin, heraf halvdelen for smertestillende medicin.

Samtidig blev forekomsten af de samme stoffer hos alvorligt tilskadekomne bilister i Danmark undersøgt ved hjælp af 840 anonyme blodprøver fra bilister, der efter færdselsuheld blev indbragt til hospitalerne i Odense, Kolding, Vejle, Viborg og Ålborg i perioden oktober 2007 - marts 2010. Det viste sig at alkohol alene eller sammen med én eller flere andre stofgrupper var til stede hos knap 20 % af de alvorligt tilskadekomne bilister, og af de prøver, der var positive for alkohol, var størstedelen over den tilladte promillegrænse.

I figur 1 er vist resultaterne vedrørende forekomsten af alkohol og misbrugs- og lægemiddelstoffer hos bilister i trafikken samt hos alvorligt tilskadekomne bilister i færdselsuheld.



Figur 1. Som det fremgår, havde næsten 14 % af de alvorligt tilskadekomne bilister i den danske undersøgelse en alkoholpromille på 0,5 og derover, hvorimod ulovlige promiller forekom hos 0,5 % af bilisterne i trafikken. Disse andele illustrerer den store forskel i forekomst mellem tilskadekomne bilister og ikke tilskadekomne bilister i trafikken og er et udtryk for risikoen ved at køre med disse promiller. Også for alkohol kombineret med misbrugsstoffer og/eller lægemiddelstoffer var forekomsten højere for de tilskadekomne bilister end hos bilisterne generelt i trafikken.

Hovedresultater fra Danmark

Ulovlige alkoholpromiller alene:

- 0,5 % af bilisterne i trafikken
- 13,5 % af de alvorligt tilskadedekomne bilister

Illegale stoffer alene:

- 0,3 % af bilisterne i trafikken
- 1,9 % af de alvorligt tilskadedekomne bilister

Medicin alene:

- 1,6 % af bilisterne i trafikken
- 4,5 % af de alvorligt tilskadedekomne bilister



Bilister i trafikken og tilskadedekomne

Alkohol alene eller sammen med ét eller flere stoffer forekom som nævnt i alt hos 2,5 % af bilisterne i trafikken, men oftest i en koncentration under den danske promillegrænse på 0,5. Kun 0,02 % af bilisterne, hovedsageligt mænd under 25 år, havde en promille på 1,2 og derover. Men hverken om natten på hverdage eller weekender blev der fundet alkohol i koncentrationer på 0,8 ‰ og derover.

Misbrugsstoffer alene forekom hyppigst hos de unge mænd (18-24 år) på alle tidspunkter af døgnet, men især i weekenden. Kombinationen af alkohol og andre stoffer forekom hyppigst om natten hos mandlige bilister i alderen op til 34 år. Nerve/sovemedicin var lige hyppigt til stede hos mænd og kvinder, mens smertestillende medicin var væsentlig hyppigere hos kvinderne. Generelt sås den højeste forekomst af stoffer, især hash og smertestillende medicin, på weekendnætter.

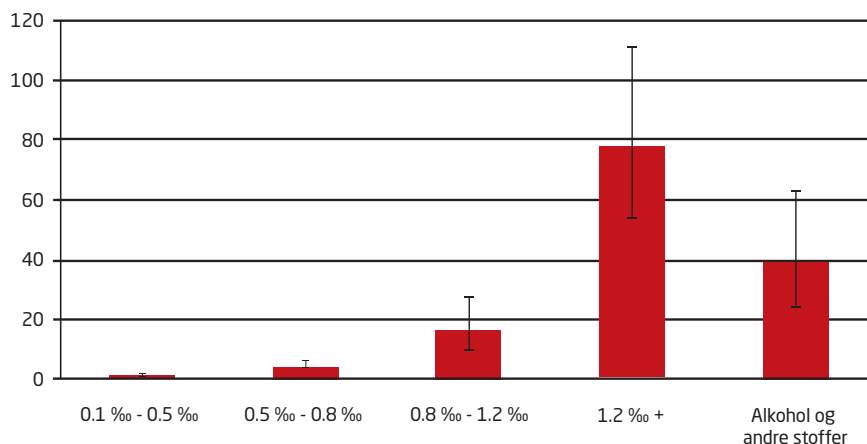
Den samlede forekomst af alkohol og andre stoffer var mere end dobbelt så stor hos de tilskadekomne mænd som hos de tilskadekomne kvinder. Forekomsten af alkohol var hyppigst i aldersgruppen 25-49 år. Illegale stoffer blev fundet hos både mænd og kvinder i alderen op til 49 år, mens medicin blev fundet hos alle aldersgrupper. Forekomsten af alkohol var størst i weekenden, mens den for alle andre stoffer var størst på hverdage.

Stærkt forhøjet risiko

På baggrund af data fra både Danmark og fra en række andre europæiske lande, der også deltog i projektet, blev risikoen ved at køre under påvirkning af alkohol og forskellige andre stoffer beregnet. Undersøgelsen er foretaget med et såkaldt case-control design; det vil sige, at man sammenligner risikoen for at komme alvorligt til skade hos bilister, der har indtaget f.eks. alkohol, med risikoen for at komme alvorligt til skade hos bilister, der ikke har indtaget alkohol. Det risikomål, man opnår, er et mål for, hvor risikabelt det er at køre med alkohol i forskellige koncentrationer i forhold til at køre helt ædru (risikoen hos ædru er sat til 1).

Risikoen for at blive alvorligt skadet i et færdselsuheld er beregnet på baggrund af dataindsamlinger i Belgien, Danmark, Finland, Holland, Italien og Litauen. I alt blev der i projektet indsamlet prøver fra ca. 2.500 alvorligt tilskadekomne bilister og fra ca. 16.000 bilister i trafikken. Resultatet for alkohol er klart (se figur 2): Risikoen for at komme alvorligt til skade stiger eksponentielt med stigende alkoholpromille. Ved en høj alkoholpromille på over 1,2 ‰ er risikoen for at blive alvorligt skadet i et færdselsuheld således beregnet til at være et sted mellem 55 og 110 gange så stor som ved ædru kørsel.

Risiko



Figur 2. Risiko for at komme alvorligt til skade ved spirituskørsel. Det er lige så farligt at køre med en lav alkoholpromille og samtidig have indtaget andre stoffer, som det er at køre med en høj alkoholpromille.

Risikoniveau	Risiko	Stof
Let forhøjet risiko	1-3	0.1 ‰ ≤ alkohol < 0.5 ‰ hash
Noget forhøjet risiko	2-10	0.5 ‰ ≤ alkohol < 0.8 ‰ Benzoyllecgonin Kokain Ulovlige opiater (morfin og kodein) Sovemedicin Smertestillende medicin
Stærkt forhøjet risiko	5-30	0.8 ‰ ≤ alkohol < 1.2 ‰ Amfetaminer, herunder ecstasy Flere stoffer på én gang
Meget stærkt forhøjet risiko	20-200	Alkohol ≥ 1.2 ‰ Alkohol i kombination med andre stoffer

Tabel 1. Risiko for at komme alvorligt til skade ved kørsel positiv for alkohol og forskellige andre stoffer. Risikoen, uanset hvilket stof eller stoffer der er tale om, er signifikant højest for førere i alderen 18-24 år og lavest for de ældste førere.

Kapitlets forfatter



Seniorforsker Inger Marie Bernhoft.



På DTU Transport testes personers evne til at køre bil under påvirkning af alkohol. Specialkonstruerede briller gør det muligt at opnå alkohollignende påvirkning med forskellige promiller, hvorefter forsøgspersonen skal gennemføre en computersimuleret bane kørsel. Samme test gennemføres også under "Åbent Hus" arrangementer (foto). Resultatet er en entydig bekræftelse af, at alkohol og bilkørsel er en særdeles farlig kombination!



XX 22 227



Risiko i trafikken og den menneskelige faktor

Af seniorforsker Mette Møller

ca. 85 % af alle vejtrafikuheld er trafikantens adfærd en afgørende faktor ved uheldet. Hvis man kan påvirke trafikanternes handlinger i en mere hensigtsmæssig retning, kan mange færdselsuheld derfor undgås. Inden man når dertil, er det dog nødvendigt først at forstå, hvorfor trafikanter i nogle tilfælde opfører sig uhenigtsmæssigt eller ligefrem livsfarligt. Trafikpsykologi er en anvendt disciplin, der benyttes til netop dette. Hovedparten af den trafikpsykologiske forskning er baseret på undersøgelser af bilister, men de grundlæggende psykologiske mekanismer er alment gældende for alle mennesker, der færdes i trafikken. I dette kapitel gives en kort introduktion til den menneskelige faktors betydning for trafiksikkerheden. Endvidere tydeliggøres det vha. fænomenerne distraktion og vejvrede, at det har store sikkerhedsmæssige konsekvenser, hvis andre motiver end sikkerhed bliver bestemmende for trafikanternes adfærd.

På trafiksikkerhedsområdet forstås trafikanternes adfærd ofte som en del af et system, der består af tre elementer: 1) Trafikanten, 2) vejen og dens omgivelser og 3) køretøjet (se figur 1). Når trafikken glider glat uden uheld, er der god balance og samspil mellem elementerne, og tilsvarende er uheld et resultat af et sammenbrud i samspillet mellem de tre elementer.



Figur 1. Det trafikale system

Trafikanten vedrører forhold som trafikantens kørefærdigheder, mentale tilstand, motiver, kørestil etc.

Vejen og dens omgivelser vedrører f.eks. vejens udformning og tilstand, placering af beplantning og vejskilte, glat føre, dårlig sigtbarhed etc.

Køretøjet vedrører forhold relateret til køretøjets tilstand, der har betydning for, om et uheld sker. Det kan f.eks. være defekte bremses, et punkteret dæk, defekte lygter etc.

I langt de fleste uheld bidrager flere faktorer til, at uheldet sker. Der kan for eksempel være tale om en kombination af høj kørehastighed (trafikanten) og en skarp kurve (vejen og dens omgivelser), hvor uheldet kun indtræffer, fordi begge faktorer er til stede. Et andet eksempel kunne være en kombination af mangelfuld vejafmærkning (vejen og dens omgivelser), og samtale i mobiltelefon under kørslen (trafikanten).

Case:

En ung mand kommer kørende på en landevej. Han kører i sin fars bil og har en kammerat med på passagersædet ved siden af sig. Han kører ca. 115 km/t. Den tilladte hastighed på den pågældende vejstrækning er 80 km/t. På et tidspunkt svinger vejen. Bilens højre hjulpar kommer ud i rabatten. Efter ca. 50 meter lykkes det at få bilen rettet op, så hjulene kommer tilbage på kørebanen. Bilen skrider dog tværs over kørebanen og rammer et helleanlæg. Bilen ruller rundt og bryder i brand.

Der er dog også eksempler på, at en enkelt faktor er tilstrækkelig til at udløse et uheld. Det kan f.eks. være en situation, hvor trafikanten får et ildebefindende under kørslen, eller hvis bilens ene dæk punkterer. Hvis kørehastigheden er høj, forværres konsekvenserne af uheldet, men i de eksempler er det ikke hastigheden i sig selv, der er den udløsende faktor.

Trafikantens forudsætninger for at køre sikkert

Af de tre elementer, der indgår i det trafikale system, er ”trafikanten” den hyppigste uheldsfaktor. Samtidig er trafikanten den uheldsfaktor, som det er vanskeligst at gøre noget ved. Det skyldes, at selv om færdselsloven sætter rammen for, hvordan trafikanter skal agere, er det i praksis overladt til den enkelte trafikant at opføre sig trafiksikkert. Vejens udformning og omgivelser kan hjælpe trafikanten til f.eks. at vælge en passende kørehastighed og gøre det lettere for ham/hende at orientere sig, mens kontrol med køretøjet kan reducere omfanget af uheld, der skyldes defekte bremses eller lignende forhold. Men hvis en bilist vælger at tilsidesætte færdselsloven og køre spirituskørsel med 180 km/t i et byområde, vil hverken tydelige lyssignaler og advarselsskilte, skridsikker vejbelægning eller effektive bremses formentlig kunne forhindre en tragedie.

Lidt forenklet kan man sige, at tre forudsætninger skal være på plads, for at en trafikant kan agere trafiksikkert. 1) Trafikanten skal være fortrolig med håndtering af det aktuelle køretøj, færdselsregler etc. og 2) trafikanten skal vælge en trafiksikker kørestil samt endelig 3) trafikanten skal have adgang til relevant information, være opmærksom på denne information og fortolke informationen korrekt.

Køn, alder, køreerfaring, holdning til trafiksikkerhed, generel livssituation, psykologisk tilstand og andre individuelle, sociale og situationelle forhold har betydning for, hvor trafiksikkert den enkelte kører. Unge bilister i alderen 18-19 år har generelt øget uheldsrisiko i trafikken netop i kraft af et komplekst samspil mellem en række forskellige faktorer. Pga. af den unge alder har unge bilister begrænset køreerfaring og er dermed mindre fortrolige med håndtering af køretøjet. Den ringe køreerfaring bidrager desuden til, at unge har vanskeligere ved at ”læse” trafikken og dermed ved at forudse, hvordan trafikken og vejen vil udvikle sig. Det gør det vanskeligt for den unge bilist at agere hensigtsmæssigt og medfører, at han/hun lettere ender i situationer, der kan føre til kollision. Samtidig befinder unge sig i en fase af deres tilværelse, der generelt er kendetegnet ved opgør med autoriteter, stærk påvirkning fra kammerater, overvurdering af egne evner og undervurdering af risici. Endelig er de dele af hjernen, der bl.a. vedrører evnen til at overskue konsekvenserne af sine handlinger, først færdigudviklet midt i 20'erne. Disse forhold bidrager til, at motivationen til at køre risikobetonet kan være stærkere end motivationen til at køre trafiksikkert. Derudover bidrager de til, at den unge bilist flytter opmærksomheden væk fra trafikken, hvilket medfører en reduceret kapacitet til at opdage og reagere i en uventet eller kritisk situation.



En trafikant er trafiksikker, hvis vedkommende kan håndtere sit køretøj, kender færdselsreglerne etc. og samtidig vælger en trafiksikker kørestil. Endelig skal trafikanten have adgang til og skal kunne fortolke og handle på grundlag af relevant information.

Distraction - en frivillig risiko

Distraction er et godt eksempel på, at de valg trafikanterne træffer under kørslen, er afgørende for trafiksikkerheden. Det er let at forstå, at det er farligt at køre bil med lukkede øjne. Men det er svært at forstå, at det at køre bil, når man er distraheret, kan sammenlignes med at køre bil med lukkede øjne. Lidt forsimplet kan man sige, at man kun ser de ting, man er opmærksom på. Så hvis man f.eks. har rettet sin opmærksomhed mod indholdet af en samtale i en mobiltelefon, er der risiko for, at man ikke ser en cyklist, der kommer bagfra, selv om man rutinemæssigt drejer hovedet for at orientere sig, inden man svinger til højre.

Betegnelsen distraction bruges om situationer, hvor en bilist eller en anden trafikant, retter sin opmærksomhed væk fra kørselsopgaven og i stedet koncentrerer sig om andre aktiviteter, personer eller begivenheder.

Stort set alle bilister foretager sig i større eller mindre grad andre ting, mens de kører bil. Det skønnes, at bilister udfører disse aktiviteter i 30 % af den tid, bilen er i bevægelse. Justering af radio/musikanlæg er den aktivitet, som flest bilister foretager sig under kørslen.

Dernæst kommer samtale med passagerer og indtagelse af mad og drikke. Baseret på internationale undersøgelser skønnes det, at distraktion er en medvirkende faktor i op til 30 % af de færdselsuheld, der finder sted. Der findes ingen dokumentation for, om problemet har samme omfang i Danmark, men der er ikke umiddelbart grund til at tro, at Danmark skulle adskille sig markant fra andre vestlige lande på dette punkt. En af de eneste danske undersøgelser, der belyser problemstillingen, indikerer, at uopmærksomhed er en risikofaktor i relation til ulykkelighed med unge, motorvejsulykker, ulykker med varebil, højresvingsulykker, cyklistuheld i kryds og ulykkelighed med motorcykler.

Interessen for, hvordan distraktion påvirker bilistens evne til at køre trafiksikkert, er ikke ny. Etablering af vinduesviskere på bilens forrude var noget af det første, der gav anledning til bekymring, mens bilradioen i 1930'erne tilsvarende udløste bekymring. Den teknologiske udvikling har i de senere år givet os mulighed for, at gøremål, der tidligere blev udført på arbejdspladsen eller i hjemmet, nu kan udføres i bilen. Dermed er det i stigende grad blevet vigtigt at undersøge, om bilister kan køre trafiksikkert, når de foretager sig andre ting under kørslen.

Ca. 70 % af det, der distraherer bilisten, er relateret til aktiviteter inde i bilen. Listen af aktiviteter er lang og omfatter f.eks. udskiftning af CD, soignering, opsamling af tabte genstande, samtale i mobiltelefon eller med en passager, betjening af GPS, orientering på kort, skrivning af sms og indtagelse af mad og drikke. Distraktion er i stor udstrækning et resultat af frivillige aktiviteter, som bilisten selv beslutter, om han/hun vil foretage eller ej. Det skønnes, at op mod halvdelen af de distraherende aktiviteter helt kunne undgås. Distraktion som følge af f.eks. barnegråd er vanskelig at undgå, men bilisten har mulighed for at reducere uheldsrisikoen ved at vente med at reagere, til det er muligt at holde ind til siden, frem for at forsøge at håndtere situationen under kørslen.

Fire typer distraktion

Det er relevant at skelne mellem fire forskellige typer distraktion i forbindelse med bilkørsel: Visuel, kognitiv, motorisk og auditiv (se tabel 1). De fire typer distraktion er ikke gensidigt ekskluderende og forekommer i praksis i forskellige kombinationer afhængig af, hvilken aktivitet der er tale om. Manuel indtastning af en destination på en GPS involverer f.eks. et element af visuel distraktion (at se på displayet), kognitiv distraktion (at huske det pågældende gadenavn mv.) samt motorisk distraktion (selve indtastningen).

Tabel 1, Fire typer distraktion

Distraktionstype		Beskrivelse
Visuel distraktion		Når bilisten ser væk fra trafikken
Kognitiv distraktion		Når bilisten tænker på andre ting end på trafikken
Motorisk distraktion		Når bilisten slipper rattet med en eller begge hænder
Auditiv distraktion		Når bilisten lytter efter andet end trafikken

Hvad er farligst: At skrive en sms eller at drikke en kop kaffe?

Forekomsten af distraktion registreres ikke rutinemæssigt i forbindelse med færdselsuheld. Det er derfor ikke muligt at udtrække information om forekomst og karakter af distraktion via den nationale uheldsstatistik. Den manglende registrering kan skyldes, at distraktion først for ganske nylig er blevet anerkendt som en risikofaktor. Dertil kommer, at distraktion, i modsætning til f.eks. høj fart og alkohol, ikke efterlader spor, der med sikkerhed kan fastslå, om distraktion var en medvirkende årsag til, at uheldet skete. Det bedste indblik i den relative farlighed af forskellige distraktorer stammer i øjeblikket fra en amerikansk undersøgelse fra 2005, hvor flere distraktorer er undersøgt samtidig (se tabel 2). Generelt kan det slås fast, at alle aktiviteter, der indebærer, at bilisten ser væk fra trafikken, slipper rattet eller tænker på andre ting end på trafikken er risikable. Det kan endvidere konkluderes, at aktiviteter, der omfatter flere former for distraktion, samtidig generelt hører til blandt de farligste. Et eksempel er manuel indtastning af en sms, der øger uheldsrisikoen med en faktor 23. Med nutidens udbredte brug af mobiltelefoner vil procentangivelserne i tabel 2 med stor sandsynlighed se anderledes ud i dag. 2012-opgørelser fra Rådet for Sikker Trafik viser således at 40-45 % af danskerne taler i mobiltelefon i større eller mindre omfang i forbindelse med bilkørsel, 40 % læser sms og 26 % skriver sms i større eller mindre omfang.

Tabel 2. Procentdel af distraktionsuheld, der skyldes forskellige distraktorer

Distraktor	%
Distraktion udefra	29,4
Justering af radio/cd	11,4
Passagerer	10,9
Dyr og lignende i kabinen	4,3
Andre ting bragt ind i bilen	2,9
Justering af klimaanlæg	2,8
Indtagelse af mad og drikke	1,7
Anvendelse af mobiltelefon	1,5
Rygning	0,9
Anden distraktion	25,6
Ukendt distraktion	8,6



Distraktion, hvor chaufføren foretager aktiviteter, der er uvedkommende for kørslen, er en medvirkende faktor i op til 30 % af alle færdselsuheld. Indtastning af sms indebærer en særlig høj risikofaktor.

Vejvrede - når trafikproppen bliver personlig

At færdes i trafikken er en integreret del af hverdagen for langt de fleste mennesker. Bilkørsel er ikke en adskilt aktivitet, men hænger tæt sammen med vores tilværelse i øvrigt. Vi tager vores humør, personlighed etc. med ind i bilen ligesom den situation vi kommer fra eller skal hen til har betydning for, hvordan vi kører. Følelser som vrede, glæde og frustration påvirker vores kørsel og kan udgøre en risiko ved at udløse risikobetonet adfærd eller forringe bilisternes koncentration om kørselsopgaven. Der findes kun begrænset forskning om følelsers betydning for trafikadfærden, men vrede er den følelse, der er bedst belyst. Det skyldes formentlig det meget voldsomme udtryk i form af tilråb, fagter/håndtegn, trusler, vold mod køretøj og i ekstreme tilfælde vold mod personer, som vreden kan have. Når vreden er meget voldsom, kaldes den vejvrede. Nogle trafiksituationer udløser i højere grad end andre voldsom vrede. Det drejer sig f.eks. om situationer, hvor en parkeringsplads bliver snuppet foran næsen på en, utålmodig kørsel (f.eks. en trafikant der kører tæt på), ubetænksom kørsel (f.eks. at køre lige ind foran en anden bil på en motorvej). Trængsel og trafikpropper er også væsentlige udløsende faktorer.

Hvor udbredt er vejvrede?

Mange undersøgelser betoner, at medieinteressen for vejvrede har været stigende i de senere år. Men det er vanskeligt at afgøre, om der reelt har været et stigende antal episoder. Tal fra Danmark viser, at vold og trusler i trafikken er en forholdsvis sjælden foreteelse. I 2005 havde 0,5 % af bilisterne inden for de sidste 12 måneder oplevet at blive slået af en medtrafikant, mens 0,1 % selv havde slået en trafikant. 3,2 % havde oplevet, at deres køretøj blev slået/eller sparket til, mens 0,3 % selv havde slået eller sparket til et køretøj. Tal fra 2008 viser, at omfanget og karakteren af vejvrede stort set er uændret fra 2005. Undersøgelsen fra 2008 viser endvidere, at der er sammenhæng mellem alder og udøvelse af vejvrede. Således var 55 % af dem, der anførte at have udøvet vejvrede, under 40 år. Endvidere viser undersøgelsen, at udøvere af vejvrede havde signifikant større risiko for selv at blive udsat for vejvrede, også når der kontrolleres for alder. Endelig viser undersøgelsen, at de fleste episoder med vejvrede opstår mellem to bilister, og at flere mænd end kvinder udsættes for vejvrede.

Dr. Jekyll og Mr. Hyde?

Forskningen tyder på, at dem, der udviser vejvrede, er individuelt disponeret for at reagere voldsomt og aggressivt. Der er dog forhold i trafikken, der bidrager til, at trafikanter måske i højere grad giver udtryk for deres vrede i trafikken, end de ville gøre i andre sammenhænge. I trafikken er det vanskeligt at se andre trafikanters ansigtsudtryk og tyde deres kropssprog. Det er derfor svært at afgøre, hvilken hensigt der ligger bag en given adfærd, og om adfærden var tilsigtet eller ej. Dette har to konsekvenser. For det første, at der let opstår misforståelser. For det andet, at trafikanter er anonyme overfor hinanden og derfor i højere grad opfatter og behandler hinanden som ting frem for personer. Endvidere har aggressive ytringer typisk ingen konsekvens for udøveren. Udøveren er hurtigt væk igen, og det er vanskeligt for "ofrene" at tage til genmæle.

Den menneskelige faktor

Som det er fremgået, er den menneskelige faktor helt afgørende for, hvor sikkert eller farligt det er at færdes i trafikken. Inden for det trafikpsykologiske område findes der ikke en "grand theory", der kan forklare alle aspekter af de forhold, der har betydning for, hvordan



Det er oftest situationer, hvor parkeringspladsen bliver snuppet samt hensynsløs eller ubetænksom kørsel, der udløser vredesudbrud i trafikken. Trængsel og trafikpropper er også væsentlige udløsende faktorer.

mennesker opfører sig i trafikken. Det teoretiske og psykologfaglige udgangspunkt, der benyttes til at forstå, forklare og påvirke menneskets adfærd i trafikken, tilpasses derfor efter den aktuelle problemstilling. Som eksempler på psykologiske fagområder, som der trækkes på, kan nævnes: Kognitionspsykologien, der bl.a. er relevant for at forstå, hvordan menneskets kapacitet og funktionsmåde mht. sansning, perception, indlæring, hukommelse etc. påvirker evnen til at køre trafiksikkert i forskellige situationer; socialpsykologien, der er relevant for at forstå betydningen af sociale normer, gruppepres, holdninger etc.; personlighedspsykologien, der er relevant for at forstå betydningen af den enkeltes personlighed og følelser, samt udviklingspsykologien, der er relevant for at forstå betydningen af de psykologiske forandringer, der sker med mennesker gennem tilværelsen og sammenhængen til den trafikale adfærd.

Konsekvensen af de mange influerende faktorer er, at der ingen lette løsninger er i forsøget på at få den menneskelige faktor under kontrol. Forbedringer af køreuddannelsen, holdningsbearbejdende kampagner og lignende samt teknologiske løsninger som fartspærre og alkoholås er eksempler på tiltag, der på hver sin måde kan bidrage til adfærdsændringer inden for et afgrænset område. Uanset hvilken strategi, man vælger, er udfordringen imidlertid den samme: Motivationen til at køre trafiksikkert udfordres kontinuerligt af andre mere eller mindre bevidste motiver som f.eks. at nå frem til tiden, at få afløb for sin vrede, opnå status blandt venner eller stille sin sult med en sandwich og en kop kaffe.



Kapitlets forfatter



Seniorforsker Mette Møller.



Enighed om Danmarks hastighedspolitik?

Af seniorforskerne Claus Hedegaard Sørensen og Anu Siren



Er der partipolitisk konsensus i dansk hastighedspolitik? Dette spørgsmål er særdeles relevant, da fart som ulykkes- og skadesfaktor ifølge Færdselssikkerhedskommissionen er den største udfordring i dansk trafiksikkerhedsarbejde. EU-Kommissionen har tilsvarende peget på høj hastighed og hastighed, der ikke er afstemt efter forholdene, som en af de vigtigste årsager til ulykker. Vejhastighed og restriktioner kunne måske associeres med forskellige politiske ideologier, således at f.eks. en liberal politisk tilgang vil tendere mod ingen eller høje hastighedsgrænser på vejene og begrænset kontrol. Ved at interviewe en trafikpolitiker fra hvert af Folketingets partier afdækkes, i hvilket omfang hastighedspolitikken er præget af enighed eller uenighed mellem de politiske partier. Svaret spiller formentlig en væsentlig rolle for, hvordan de politiske processer forløber, og hvordan viden anvendes i politikdannelsen.

Hvad er hastighedspolitik?

Politik består både af indhold og processer, hvor det politiske indhold refererer til idegrundlag, formål/værdier og konkrete virkemidler. I dette kapitel forstås "politik" som offentlig politik defineret som en eller flere forbundne beslutninger eller synspunkter, der tages af en politisk aktør. Hastighedspolitik er dermed beslutninger og synspunkter, som vedrører hastighed. Kapitlet er afgrænset til danske politiske aktører og til bilers hastighed på vejene. Hastighedspolitikens mulige formål og værdier er her på forhånd defineret som trafiksikkerhed, fremkommelighed og miljø/energi. Hastighedspolitikken indeholder mange mulige, konkrete virkemidler. De vigtigste er hastighedsgrænser og kontrol samt sanktioner (straf), der her analyseres, men andre virkemidler kan også være vejudformning, vejindretning og vejteknik, kampagner/undervisning og køretøjsteknik. Anvendelse af disse virkemidler kræver ressourcer og dermed prioriteringer.

Konsensus i et politisk felt

Det centrale er her spørgsmålet om konsensus, altså i hvilket omfang hastighedspolitik i dag er præget af enighed eller uenighed blandt de politiske partier i Folketinget. Uenigheder kunne tænkes at eksistere, fordi netop vejhastighed og restriktioner ofte associeres med forskellige politiske ideologier. Omfang og karakter af konsensus kan spille en væsentlig rolle for, hvordan feltet kan håndteres, bl.a. hvordan de politiske processer forløber og hvilken rolle viden kan forventes at spille. Vi vil derfor analysere i hvilket omfang dansk, national hastighedspolitik er kendetegnet ved konsensus.

Danske politikere interviewes

For at afdække i hvor høj grad der er konsensus om hastighedspolitikken er en repræsentant fra hvert af Folketingets partier interviewet. I udgangspunktet tilstræbtes at interviewe politikere, som er medlemmer af Færdselssikkerhedskommissionen. Færdselssikkerhedskommissionen er nedsat af justitsministeren og består af repræsentanter for de politiske partier, myndigheder og organisationer. Fem af otte politikere i den Færdselssikkerhedskommission, som blev nedsat efter folketingsvalget i 2011, er blandt de interviewede. Det er interviewpersonernes individuelle synspunkter, som kommer til udtryk i interviewene, hvilket betyder, at andre partirepræsentanter kunne have svaret anderledes. Da det i hoved-

sagen er *trafiksikkerhedspolitikere* og endog medlemmer af Færdselssikkerhedskommissionen, vi har interviewet om hastighed, kan det betyde, at sikkerhed tillægges større vægt, end det ville gøre, hvis andre trafikpolitikere var blevet interviewet.

Hastighedspolitikens formål og værdier

Når de otte interviewede folketingspolitikere formulerer sig om formål for hastighedspolitikken, gælder det for dem alle, at hastighedspolitikken begrundes i hensyn uden for hastighedspolitikken selv. For alle otte interviewpersoner udgøres hastighedspolitikens formål af en kombination af hensyn til trafiksikkerhed, fremkommelighed og miljø. Men der er nogen uoverensstemmelse om, hvordan de tre forskellige hensyn skal vægtes. Halvdelen af politikerne peger på sikkerhed som det vigtigste formål for hastighedspolitikken, men flere af disse understreger imidlertid, at der er og skal være en grænse for hensynet til trafiksikkerheden. Der er imidlertid også en politiker, som trækker fremkommelighed frem som det vigtigste hensyn. Og en anden trækker tilsvarende miljøhensynet frem som det vigtigste formål for hastighedspolitikken. Begge disse politikere understreger imidlertid, at der ikke er modsætninger mellem det hensyn, som de prioriterer højest (hhv. fremkommelighed og miljø) og så trafiksikkerhed.

Sammenhængen mellem de tre hensyn understreges også af to politikere, som slet ikke ser det muligt at prioritere mellem sikkerhed, fremkommelighed og miljø. En af dem udtrykker sig sådan: ”I et moderne samfund skal man kunne bevæge sig, så vi skal sørge for, at fremkommeligheden er til stede. Men vi skal også sørge for, at folk ikke får smadret deres liv. Hvis vi så også kan overbevise mennesker om, at hvis man kører for hurtigt, så ødelægger man også miljøet, og at det i øvrigt er dyrt med et højt benzinforbrug, så hænger det jo sammen”. Sammenfattende fremstår trafiksikkerhed som det vigtigste formål i hastighedspolitikken.

Hastighed og trafiksikkerhed

Udgør hastighed et problem for trafiksikkerheden? Alle de interviewede politikere finder, at hastighed i hvert fald på nogle typer af veje, og når hastigheden er særlig høj, udgør et problem for trafiksikkerheden. Men der er alligevel forskelle i tilgangen. En gruppe af politikere mener, at høj hastighed i en række situationer ikke udgør en fare for trafiksikkerheden, og at hastighedens rolle for trafiksikkerheden ofte er overdrevet, mens andre politikere finder, at hastighed generelt udgør et problem for trafiksikkerheden.

Politikere i den første gruppe lægger vægt på, at der ofte er andre årsager til ulykker end netop hastighed, men at hastigheden gør ondt værre. Synspunktet begrundes med, at der ikke findes dokumentation for sammenhængen mellem hastighed og trafiksikkerhed. Nogle politikere i denne gruppe opfatter sig som nogen, der ”går mod strømmen”. De interviewede politikere i denne gruppe repræsenterer Dansk Folkeparti, Liberal Alliance og Venstre. På den anden side står en række politikere, som alle finder, at hastighed udgør et problem for trafiksikkerheden, og næsten entydigt betragter hastighed som det *største* problem for trafiksikkerheden. I flere tilfælde definerer denne gruppe sig ideologisk som en modsætning til de førnævnte politikere og partier. Flere lægger vægt på ansvaret for fællesskabet, hvilket de sætter i modsætning til ”de individuelle muligheder i trafikken” og ”den hurtige fremkommelighed”. I denne gruppe af politikere findes repræsentanter for Enhedslisten, Socialistisk Folkeparti, Det Radikale Venstre og – noget mere usikkert – Socialdemokraterne.

I mellem disse to grupper findes en politiker fra Det Konservative Folkeparti. Vedkommende finder det dokumenteret, at jo højere hastighed desto større risiko for, at skaden opstår. Sammen med politikere i den første gruppe fastholder han imidlertid, at hastighed ikke i sig selv nødvendigvis er det største problem alt efter hvor meget hurtigere, man kører naturligtvis. I stedet ser han uopmærksomhed som den største udfordring, især hvis den kombineres med for høj hastighed, og han ser i dag ikke nogen videre uenighed i forståelsen af sammenhængen mellem hastighed og trafiksikkerhed.

Noget tyder på, at politikerne over de sidste 10 år har nærmet sig hinanden i synet på hastighed. Imidlertid giver interviewanalysen ikke opbakning til en konklusion om konsensus i forståelse af sammenhængen mellem hastighed og trafiksikkerhed. En del politikere ser uenighed i synet på hastighed og definerer i et vist omfang deres egne synspunkter i modsætning til andres.

Hastighedsgrænser

En ting er hastighedens betydning for ulykker og trafiksikkerhed, noget andet de *virkemidler*, som kan tages i anvendelse for at håndtere hastigheden. Et muligt virkemiddel er hastighedsgrænser på vejnettet. Alle de interviewede politikere ønsker hastighedsgrænser, med undtagelse af én, som er i tvivl. Repræsentanten fra Liberal Alliance er således ikke nødvendigvis *imod* hastighedsgrænser, men *spekulerer* på, om hastighedsgrænser burde afskaffes. Generelt ser han behov for trafikregler, men netop hvad angår regler for hastigheden er han i tvivl. Han finder, at langt de fleste ville køre fornuftigt, selvom der ikke var bestemte tilladte hastigheder, og at grænserne alligevel ikke fungerer efter hensigten for dem, som kører ekstremt hurtigt.

En lille gruppe af politikere, som også den ovennævnte politiker tilhører, er fortalere for at øge den tilladte hastighed. En interviewperson argumenterer med, at ”vi jo også skal rundt”, og at det handler om ”at få nogle fartgrænser, som folk respekterer”. De interviewede politikere i denne gruppe repræsenterer Liberal Alliance og Dansk Folkeparti. En stor gruppe af politikere, som kommer fra Venstre, Det Konservative Folkeparti, Socialdemokraterne og Socialistisk Folkeparti er varme fortalere for differentierede hastigheder. For flere politikere drejer det sig om at skabe respekt om den tilladte hastighed. En politiker siger, ”at det er bedre med differentierede hastigheder, så hastighederne rent faktisk matcher det, der kan lade sig gøre. Det, at den enkelte trafikant har respekt for hastighedsgrænserne, forudsætter, at de er mere differentierede”.

Endelig findes en lille gruppe af politikere, som primært lægger vægt på, at den tilladte hastighed flere steder burde sænkes. Til denne gruppe hører medlemmer valgt for Det Radikale Venstre og Enhedslisten. Politikernes syn på hastighedsgrænser har relation til deres generelle forståelse af sammenhængen mellem hastighed og ulykker. De politikere, der mener, at der i visse situationer ikke er sammenhæng mellem hastighed og ulykkers omfang og konsekvenser, er mere afvisende overfor hastighedsgrænser, eller de ønsker høje grænser på f.eks. motorveje og landeveje.

Ligesom de politiske fløje i hastighedspolitikken tilsyneladende har nærmet sig hinanden hvad angår forståelsen af sammenhængen mellem hastighed og trafiksikkerhed, gør det

samme sig åbenbart gældende hvad angår hastighedsgrænser. Det ses tydeligst i den store opbakning til differentierede hastighedsgrænser.

Hastighedskontrol

Kontrol og sanktioner er to forbundne virkemidler til at sikre overholdelse af grænserne. I modsætning til spørgsmålet om hastighedsgrænser, så er der kun ret små uenigheder mellem de interviewede politikere, når det drejer sig om *hastighedskontrol*. På tværs af de grupperinger, vi har skitseret ovenfor, ser næsten alle de interviewede politikere hastighedskontrol som meget væsentligt. Kun den ene politiker, som også er skeptisk overfor behovet for fartgrænser, nævner ikke behovet for kontrol. Forelagt en række forskellige virkemidler til håndtering af problemet med hastighed, peger alle de øvrige interviewede politikere – og på tværs af forskellige fløje – på kontrol som det vigtigste virkemiddel. Med en enkelt undtagelse er opfattelsen på tværs af partiskel, at hastighedskontrol er afgørende, og politisk betragtes det som vigtigere at sikre overholdelse af den tilladte hastighed end at sænke den. Der er større uenighed om, *hvordan* kontrollen skal udøves. En politiker fortæller, at der i spørgsmålet om automatisk trafikkontrol (det såkaldte punkt-ATK¹) findes en ideologisk begrundet forskel mellem venstre og højre side af Folketinget. Således siger en borgerlig politiker, at ”Vi foretrak, at det var en politimand, der udførte opgaven, fordi det også har en større pædagogisk og præventiv effekt at blive stoppet af en politimand og blive konfronteret med sin forseelse”. Men på grund af det store ressourceforbrug ved manuel kontrol er ”vi nødt til at bruge den automatiske hastighedskontrol”, og han finder også, at ”det har en stor effekt, ikke mindst præventiv”.

En anden ideologisk begrundet uenighed om ATK består imidlertid, og den drejer sig om det såkaldte stræknings-ATK. Den ovennævnte politiker opfatter det sådan, at venstre fløjen generelt er mere positiv overfor stræknings-ATK, ”hvor vi fra liberal og borgerlig side siger: Nej, det er vi ikke så glade for, vi vil hellere have punktkontrol, fordi strækningskontrol forudsætter, at alle trafikanter registreres, hvorimod punktkontrol kun registrerer dem, der kører for hurtigt”. Hvor den første ideologisk begrundede uenighed handler om et pædagogisk sigte ved tilstedeværelse af en betjent, handler den anden ideologiske uenighed om selve registrering, som de borgerlige partier helst undgår, hvis det ikke er nødvendigt.

Hastighedssanktioner

Som i spørgsmålet om kontrol, så er der også stort set konsensus, når det drejer sig om *sanktioner* ved hastighedsovertrædelser. En række stramninger i sanktioner har gået hånd i hånd med højere hastighedsgrænser på motorvejene. En interviewet politiker understreger netop den pointe: At man har givet lov til mere på hastighedsområdet, men til gengæld er budskabet til befolkningen, ”at holder I jer så ikke inden for det, I har fået lov til, så skal vi komme efter jer”, og en anden understreger, at ”kontrol uden sanktioner er jo ikke meget værd”. I marts 2011 blev bøderne for en række færdselsforseelser besluttet hævet. Det gjaldt bl.a. bøder for almindelige hastighedsoverskridelser². I det forgangne tiår har øgede

¹Ved punkt-ATK opstilles en enkelt stander eller en serie af standere, og hastigheden bliver målt i et punkt ved hjælp af spoler i vejen, og foto tages ved høj hastighed.

²Alle Folketingets partier stemte for lovforslaget på nær Enhedslisten, som stemte imod, og Liberal Alliance, som undlod at stemme. At de to partier ikke stemte for lovforslaget, skyldes tilsyneladende ikke de øgede bøder for hastighedsovertrædelser.

hastighedssanktioner ellers været koncentreret om særlig hensynsløs kørsel og det, som er blevet benævnt ”vanvidskørsel”, og i 2004 og 2010 blev der enstemmigt vedtaget skærpede sanktioner herom. Interviewene efterlader dog indtryk af, at dette særligt er en problemstilling, som ligger politikerne fra Dansk Folkeparti, Venstre og Det Konservative Folkeparti på sinde, og Dansk Folkeparti opfatter sig selv som et parti, der i særlig grad ønsker hårdere straffe for vanvidskørsel: ”Vi vil gerne have minimumsstraffe for vanvidskørsel. Det kan ikke være rimeligt, at det skal koste 12 til 14 måneder at slå et andet menneske ihjel, bare man bruger en bil som mordvåben”, siger repræsentanten.

I mange formuleringer fra disse politikere genfindes et tydeligt skel mellem den *almindelige bilist* og hans mindre hastighedsovertrædelser, overfor *vanvidsbilisten*, som kører ekstremt og hensynsløst.

Et begrebsapparat

Hvordan kan vi på den baggrund karakterisere hastighedspolitikken? Der kan etableres et begrebsapparat med fire typer af politiske felter defineret ved graden og karakteren af konsensus om henholdsvis formål/værdier og virkemidler. Det vil sige konsensus om *hvorfor* og *hvordan* politiske felter besluttet og implementeres. Udgangspunktet er følgende figur:

	Enighed om virkemidler	
	-	+
Enighed om formål/værdier	Målkonsensus	Stærk konsensus
	Ingen konsensus	Virkemiddelkonsensus

Figur 1. Typer af politiske felter efter karakter og grad af konsensus om formål og virkemidler.

I et politisk felt præget af *stærk konsensus* er der konsensus om både formål/værdier og virkemidler til at nå de opstillede formål. I politiske felter med målkonsensus hersker konsensus om formål/værdier, men uenighed om de rette virkemidler. Det omvendte gør sig gældende for så vidt angår politiske felter med *virkemiddelkonsensus*, hvor konsensus eksisterer om de virkemidler, som må tages i anvendelse, mens politikere kan være splittede hvad angår formål. Endelig findes politiske felter med *ingen konsensus*, hvor konsensus hverken eksisterer om formål eller virkemidler. Mangel på konsensus kan skyldes meget store politiske konflikter, hvor ingen konsensus altså kan etableres – hverken på formål eller virkemidler. I princippet kan et politisk felt med ingen konsensus imidlertid også skyldes mangel på interesse, og at politiske aktører grundet denne indifferens ikke kærer sig om at etablere konsensus om hverken formål eller virkemidler.

Der vil sjældent være enighed blandt politiske aktører om, hvilken grad af konsensus der hersker. Nogle politikere vil se et område som præget af stærk konsensus, mens andre vil opleve moderat konsensus i en eller anden form. Man kan forestille sig, at særligt regeringspolitikere foretrækker at præsentere et politisk felt som præget af stærk konsensus, fordi det gør det mere håndterligt. Begreberne er ikke mindst interessante, fordi der til hver type konsensus kan knyttes forventning om en særlig proces, ligesom også anvendelsen af videnskabelig viden forventes at variere afhængig af konsensus i de politiske felter.



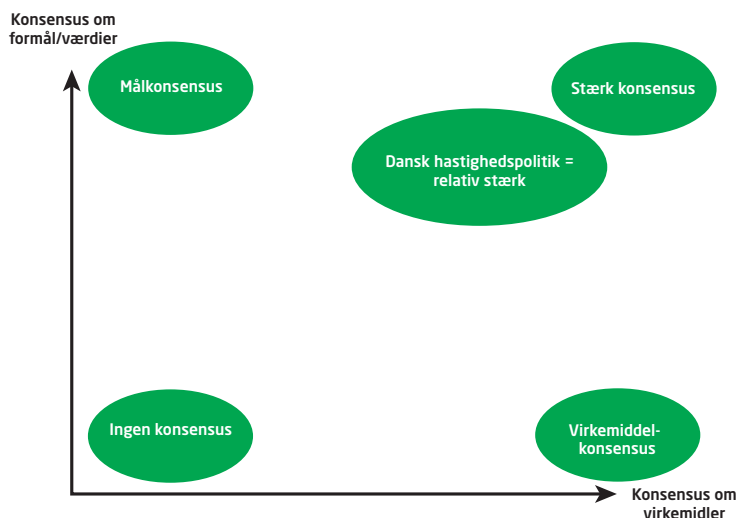
Ligesom de politiske fløje i hastighedspolitikken tilsyneladende har nærmet sig hinanden hvad angår forståelsen af sammenhængen mellem hastighed og trafikssikkerhed, gør det samme sig åbenbart gældende hvad angår hastighedsgrænser. Det ses tydeligst i den store opbakning til differentierede hastighedsgrænser.

Konsensus i hastighedspolitikken?

Hvilken grad og karakter af konsensus eksisterer i hastighedspolitikken? De interviewede politikere er ikke enige i svaret på det spørgsmål. Politikerne har over de sidste 10 år nærmet sig hinanden i forståelsen af sammenhænge mellem hastighed og trafikssikkerhed og i synet på hastighedsgrænser og -kontrol, mens sanktioner også tidligere har været karakteriseret ved relativ stor konsensus. Nogle af de interviewede finder, at der er opstået (en stor grad af) konsensus, men sådan opleves det ikke af de øvrige politikere, som i nogen udstrækning netop definerer deres egne synspunkter i modsætning til andres. Det efterfølgende er således ikke baseret på politikernes direkte besvarelse af netop dette spørgsmål, men udtryk for forfatterens analyser og vurderinger på baggrund af politikernes udtalelser i interviewene. Hvad angår *formål og værdier* i hastighedspolitikken efterlader interviewene indtryk af, at det overordnede formål for alle politikere består af en kombination af hensyn til trafikssikkerhed, fremkommelighed og miljø. Blandt politikere hersker imidlertid nogen uoverensstemmelse om, hvordan de tre hensyn skal vægtes. Hvad angår *virkemidler* i hastighedspolitikken forekommer betydelig konsensus blandt de interviewede politikere, når det drejer sig om kontrol og sanktioner. Det er betegnende, at skærpede sanktioner mod det, som er blevet benævnt vanvidskørsel, blev vedtaget enstemmigt i folketinget, og i spørgsmålet om kontrol er der – i dag – tilsyneladende kun uenighed om stræknings-ATK. Når det kommer til hastighedsgrænserne er der mere uenighed at spore. En lille gruppe af politikere ønsker at øge den tilladte hastighed, en anden lille gruppe ønsker den tilladte hastighed reduceret, og endelig findes en større gruppe af politikere, som er fortalere for differentieret hastighed. Den principielle tilslutning til differentieret hastighed er så stor, så dette instrument tegner et billede af bred enighed.

Relativ stærk konsensus

Hvordan kan vi på den baggrund karakterisere hastighedspolitikken? I begrebsapparatet skelnes mellem konsensus om politiske formål/værdier og virkemidler. Med dette som udgangspunkt vil vi karakterisere dansk, national hastighedspolitik ved *relativ stærk konsensus*.



Figur 2. Dansk hastighedspolitikens placering er karakteriseret ved relativ stærk konsensus.

Interviewene efterlader indtryk af, at der over tid er betydelig dynamik i den konsensus som kan iagttages i dansk hastighedspolitik. Flere interviewpersoner peger på stor uenighed om hastighedsgrænser, da Folketinget i 2002 og 2003 drøftede og besluttede ændring af den generelle hastighed på motorveje fra 110 km/t til 130 km/t, mens der i dag ser ud til at være bred tilslutning til differentierede hastigheder. Det gælder ligeledes automatisk hastighedskontrol (ATK), hvor der tidligere herskede betydelig uenighed mellem de politiske partier, mens der i dag er enighed om punkt-ATK, men fortsat uenighed om stræknings-ATK. Der kan måske konstateres en udvikling af det politiske felt fra noget, der minder om målkonsensus (eller tæt på), til dagens relative stærke konsensus om hastighedspolitikken.

Konklusioner

I indledningen spurgte vi, i hvor høj grad dansk, national hastighedspolitik – som den aktuelt kommer til udtryk i interviews med en repræsentant for hvert af Folketingets partier – er kendetegnet ved konsensus. På baggrund af interviewanalysen er svaret på det spørgsmål, at der kan iagttages relativ stor aktuel konsensus om såvel formål og værdier som virkemidler i hastighedspolitikken, om end nogle uenigheder består. Det gælder både den rette kombination og prioritering af sikkerhed, fremkommelighed og miljø som formål og værdier i hastighedspolitikken, og det gælder hastighedsgrænserne, hvor vi har kategoriseret de interviewede politikere i tre grupper. Samlet set betragter vi dansk hastighedspolitik som karakteriseret ved *relativ stærk konsensus*, dvs. tæt på at have stærk konsensus, men dog med nogen uenighed hvad angår formål og – i større grad – virkemidler.



Sammenfattende fremstår trafiksikkerhed som det vigtigste formål i hastighedspolitikken, og der er kun små uenigheder mellem de interviewede politikere, når det drejer sig om hastighedskontrol.

Kapitlets forfattere



En af kapitlets forfattere, seniorforsker Claus Hedegaard Sørensen.

Forskellige typer af modeller

Når man vil løse problemer indenfor transportområdet ad matematisk vej, er der typisk to forskellige typer af modeller, der kan være anvendelige:

Deskriptive modeller og **optimeringsmodeller**.

Deskriptive modeller beskriver, hvordan et system ser ud, og kan f.eks. bruges til at beregne, hvor mange ture der vil være fra/til et givet område ud fra data om befolkningens sammensætning, eller hvordan trafikken vil flyde, hvis man udvider kapaciteten på en bestemt vejstrækning. Deskriptive modeller anvendes typisk til langsigtede beregninger af konsekvenser af forskellige mulige beslutninger, og f.eks. til simulering af scenarier.

Optimeringsmodeller er derimod preskriptive modeller, der beregner den bedste måde at agere på i et system under givne rammebetingelser, eksempelvis den korteste rute til at besøge en række kunder på en bestemt dag, eller det bedste sted at placere en ny distributionsterminal. Deskriptive modeller opererer typisk på større datasæt end optimeringsmodeller. Når data er så omfattende, at det ikke er muligt at konstruere en optimeringsmodel, der afgør hvilken vej der skal udbygges, kan man i stedet konstruere en deskriptiv model, der undersøger konsekvenserne af forskellige mulige udbygninger og derpå sammenligne disse.



Bæredygtig transportplanlægning

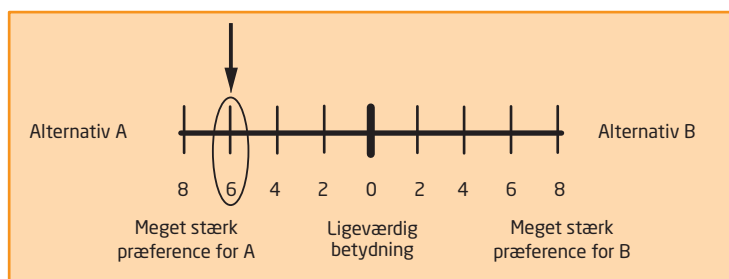
Af adjunkt Anders Vestergaard Jensen, videnskabelig assistent Inga Pilkauskiene, lektor Kim Bang Salling, adjunkt Michael Bruhn Barfod og professor Steen Leleur



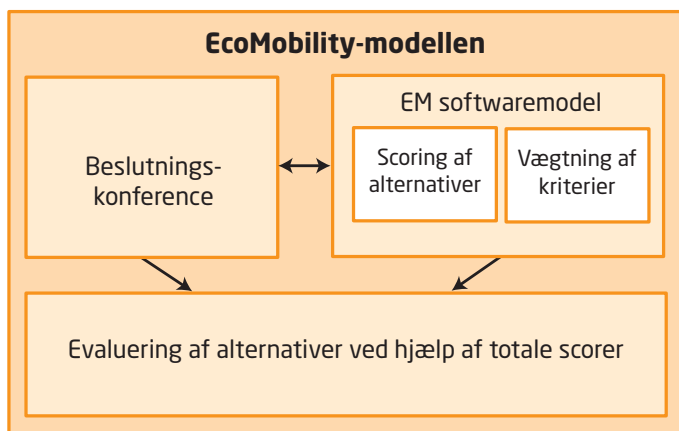
Hvordan afgør man præcist, hvor en fast forbindelse mellem Sverige og Danmark skal placeres, hvilke byer der skal forbindes af en ny motorvej, eller hvor en trængselsring skal ligge? Når politikerne skal beslutte sig for investeringer i transportsektoren, er der ofte tale om milliarder af kroner, og beslutningerne har samfundsmæssige konsekvenser i årevis fremover. Cost-benefit-analyser (CBA) udgør sjældent et tilstrækkeligt grundlag for at træffe beslutninger, især når der også skal inddrages sociale og miljømæssige hensyn. Der skal indarbejdes et utal af forskellige variable, ofte modsatrettede og indbyrdes modstridende, og der er behov for et beslutningsværktøj, der kan inddrage langt mere end blot økonomiske faktorer. Et sådant værktøj er EcoMobility-modellen, som giver beslutningstagere mulighed for at vælge projekter, der sikrer minimale miljøpåvirkninger fra transporten samtidig med øget mobilitet og styrket økonomisk vækst.

En ny vurderingsmodel

EcoMobility-modellen (EM) kan bruges til at vurdere meget komplekse problemer, der næsten altid ledsager beslutninger inden for transportinfrastruktur. Modellen består af to dele, en såkaldt beslutningskonference og en Excel-baseret softwaremodel (den egentlige EM-model). Softwaremodellen benytter to metoder til multikriterie beslutningsanalyse, hvor den ene er baseret på parvise sammenligninger mellem alternativer og den anden på rangordning af kriterier. Figur 1 viser et eksempel på en parvis sammenligning mellem to alternativer A og B, hvor A er vurderet til "stærk præference" sammenlignet med B. En verbal skala gående fra "ligeværdig betydning" til "meget stærk præference for" som beskriver, hvor godt det ene alternativ er frem for det andet. Sådan en parvis sammenligning udføres under hvert af de kriterier, der medtages i modellen. Derudover er det nødvendigt at tildele en vægt til hvert kriterium, der angiver, hvor stor betydning kriteriet har i forhold til de andre medtagne kriterier. Sådan en vægt kan tildeles ved at rangordne kriterierne efter vigtighed. De vigtigste kriterier får så den højeste vægt (betydning) i den samlede analyse. Figur 2 viser en oversigt over EM-modellen. EM-modellen vil i det følgende afsnit blive anvendt på et relevant beslutningsproblem til illustration af teknikken.



Figur 1. Eksempel på en parvis sammenligning mellem to alternativer, A og B.



Figur 2. EcoMobility-modellen.

Ny forbindelse til Sverige?

Modellens praktiske anvendelse kan illustreres ved en situation i Øresundsområdet, hvor man ønsker at vurdere en ny forbindelse over sundet mellem Helsingør og Helsingborg (HH-forbindelsen).

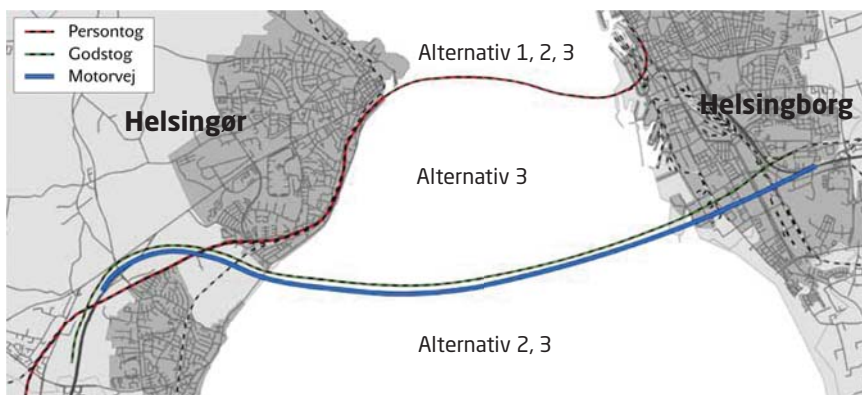
Siden Øresundsbroen blev indviet den 1. juli 2000, er trafikmængden vokset betydeligt. I 2009 passerede dagligt 19.500 køretøjer og 184 gods- og persontog broen, svarende til en vækst på henholdsvis 141 % og 125 % siden 2001, der var broens første hele år som fungerende forbindelse. Når den planlagte forbindelse over Femern Bælt er færdig, forventes yderligere vækst i trafikken i Øresundsområdet, ikke mindst i antallet af godstog, der vil passere gennem Danmark. Derfor vil Øresundsbroen blive en trafikal flaskehals, og det er på den baggrund, at politikerne allerede nu ønsker at undersøge alternativer.

En ny nordlig forbindelse vil reducere rejsetiden mellem Sjælland og Skandinavien og aflaste Øresundsbroen for en del af bil- og togtrafikken. I efteråret 2011 blev tre tunnelalternativer anset for at være de bedste muligheder for en sådan HH-forbindelse. De tre alternativer fremgår af tabel 1 med angivelse af konstruktionstype, trafiktype og samlede anlægsudgifter (i mio. DKK).

HH-forbindelse	Beskrivelse	Anlægsudgift (mio. DKK)
Alternativ 1	Jernbanetunnel (2 spor), kun persontog.	9.500
Alternativ 2	Jernbanetunnel (2 spor), kun persontog + tunnel til køretøjer (2 × 2 spor).	24.500
Alternativ 3	Jernbanetunnel (2 spor), persontog + tunnel til køretøjer (2×2 spor) + jernbanetunnel (enkeltsporet), godstog.	32.500

Tabel 1. De tre foreslåede alternativer for en HH-forbindelse.

Linjeføringen af de forskellige alternativer, der afhænger af trafiktype, er vist i figur 3.



Figur 3. Oversigt over de tre alternativer.

Vurdering af de tre alternativer efter beslutningskriterier

Som en del af arbejdet med udvikling af nye beslutningsstøttewærktøjer i forskningsprojektet EcoMobility blev der gennemført en test på de tre HH-alternativer.

HH-casestudiets overordnede mål er ikke kun at finde det samfundsøkonomisk bedste, men også det mest bæredygtige alternativ for både person- og godstransport. På denne baggrund er følgende kriterier blevet defineret og udvalgt:

- *C1: Samfundsøkonomisk robusthed.* Kriteriet omfatter alternativets overordnede økonomiske præstation.
- *C2: Forbedring for personbiler og den kollektive transport.* Kriteriet lægger vægt på tilgængelighed for såvel biler som kollektiv transport. Dette er repræsenteret ved det øgede mobilitetspotentiale, som pendlerne opnår (de kan dække et større geografisk område med samme tidsforbrug som tidligere).
- *C3: Indvirkning på byer og arealanvendelse.* Kriteriet lægger først og fremmest vægt på det visuelle miljø i Helsingør og Helsingborg. Udformningen af de landbaserede anlæg og deres geografiske placering vil derfor være i fokus. Endvidere vil huspriserne i de to byer sandsynligvis også blive berørt, især for de huse, der ligger tæt ved Øresund og de landbaserede anlæg.
- *C4: Indvirkning på den regionale økonomi.* Kriteriet overvejer alternativernes potentiale med hensyn til at bidrage til den økonomiske udvikling i Øresundsregionen. For at opnå økonomisk udvikling i den nordlige del af Øresundsregionen bør området blive mere attraktivt såvel med hensyn til boliger som virksomheder. Hvis flere virksomheder slår sig ned i området, bliver det mere attraktivt at bo der, hvilket også skaber grobund for flere indkøbsmuligheder. På denne måde øges potentialet med hensyn til at samle virksomhederne og skabe et specialiseret virksomhedsmiljø. En ny forbindelse skal endvidere gøre det mere attraktivt for studerende at bo i området, da det vil blive lettere at krydse sundet, og alle universiteterne i Helsingborg, Lund og København vil være inden for en rimelig rejseafstand/tid.

- *C5: Indvirkning på den logistiske fleksibilitet.* Kriteriet dækker over indvirkningen på effektiviteten, punktligheden, sikkerheden og co-modaliteten i forbindelse med logistik-kæder. Flytning af lagerfaciliteter afspejler de gevinster, der opstår, når virksomhederne f.eks. reducerer antallet af depoter, fordi den nye infrastruktur gør det muligt at betjene kunderne fra færre depoter. Endelig kan et nyt anlæg hjælpe med at udvide virksomhedernes kundegrundlag, og i bedste fald kan det betyde, at nogle virksomheder kan lukke et produktionsområde og derved spare penge.
- *C6: Bidrag til EU's grønne korridorer.* Kriteriet lægger vægt på alternativets potentiale med hensyn til at fremme de grønne transportkorridorer. I henhold til Trafikstyrelsen (2011) er grønne korridorer et europæisk begreb, der betegner langdistance godstransportkorridorer, hvor avanceret teknologi og forskellige transportformer bruges til at opnå energieffektivitet og reducere miljøindvirkningen. Grønne korridorer understøtter EU's dagsorden om at nedbringe kulstofindholdet i transportsektorens brændstofforbrug samtidig med, at de understreger behovet for effektiv logistik. Den nuværende Øresundsforbindelse er i dag en del af EU's øst-vest grønne korridor. En nord-syd grøn korridor skal imidlertid også passere Danmark og Sverige, og den mest oplagte måde at aflaste presset på Øresundsbroen, således at kapacitetsgrænsen ikke overskrides, er at placere en ny fast forbindelse mellem Helsingør og Helsingborg.

For at vurdere de tre alternativer med hensyn til disse udvalgte kriterier anvendes en beslutningskonference, som vil blive beskrevet i næste afsnit.

Anvendelse af beslutningskonference i forbindelse med undersøgelsen af HH-forbindelsen

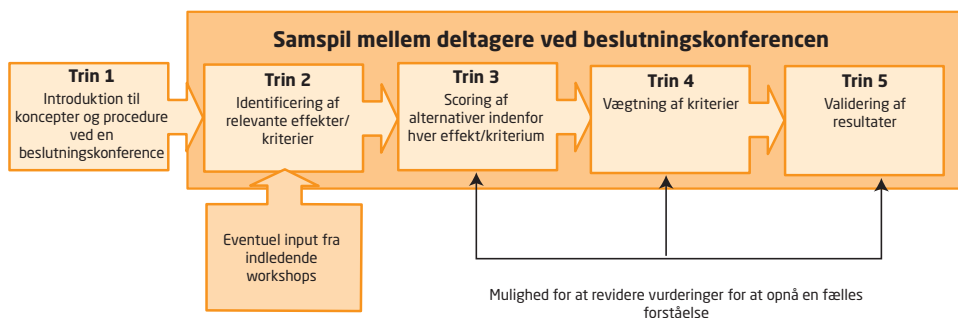
Formålet med en beslutningskonference er at debattere og afklare de tekniske og sociale aspekter i et projekt og nå et samlet løsningsforslag. En beslutningskonference bør udmundede i en fælles forståelse af problemstillingen, et fælles mål og en fælles ansvarsfølelse for projektet hos alle deltagere. Beslutninger truffet i konsensus ved en beslutningskonference har en højere sandsynlighed for at blive accepteret end resultatet af en kompleks beslutningsanalyse, som kun involverer én beslutningstager, der efterfølgende må retfærdiggøre sin beslutning overfor andre. Derudover vil beslutninger truffet ved en beslutningskonference sandsynligvis have bedre vilkår for at fungere i praksis pga. gruppens engagement.



EM-modellen anvender en beslutningskonference til at debattere og afklare tekniske og sociale aspekter ved et projekt.

Som en del af EcoMobility-projektet blev der derfor afholdt en beslutningskonference omhandlende HH-forbindelsen, som havde til formål at finde det mest attraktive af de tre alternativer, der fremgår af tabel 1. Der var eksperter tilknyttet gruppen med henblik på gennemførelse af konferencen og på at etablere et beslutningsstøttegrundlag for en prioritering af alternativerne. Konferencen blev ledet af en facilitator, der fik støtte fra en modelanalytiker, som brugte EM-modellen til at udføre modellering på stedet – ud fra de oplysninger, man fik fra deltagerne. Den femtrinsprocedure, der anvendes i forbindelse med beslutningskonferencer, er beskrevet i figur 4. Denne procedure fører deltagerne gennem beslutningsprocessen og motiverer dem til at producere de input, der er nødvendige for vurderingen. Pilene, der peger tilbage fra trin 5, viser, at det er muligt at gå tilbage i processen og foretage vurderingerne i trin 3 og 4 igen, hvis der ikke er opnået en fælles forståelse.

Trin 1 introducerer de benyttede begreber og metoder således, at deltagerne kender de grundlæggende egenskaber ved beslutningsstøtteværktøjet. Andet trin omhandler en identifikation af de relevante kriterier for vurderingen. I denne henseende kan det være nyttigt at gennemføre workshops allerede i den indledende planlægningsfase, hvor spørgsmål vedrørende projektet kan diskuteres, og kriterier med indflydelse på beslutningsprocessen kan drøftes og defineres. Trin 3 omfatter en bedømmelse af alternativerne ud fra kriterierne. Trinnet udmunder i, at alle alternativer er blevet tildelt en score, som repræsenterer dets performance, i henhold til hvert kriterium. Det fjerde trin introducerer den mest subjektive og vanskelige del af vurderingen: Vægtningen af kriterierne. Der kan være mange og forskellige opfattelser til stede ved beslutningskonferencen, som vil komme til udtryk ved meget forskellige vægtsæt. I stedet for at forsøge at opnå enighed, kan det være nyttigt at undersøge de forskellige vægtsæt hver for sig. I femte og sidste trin valideres de samlede resultater, således at alle deltagerne er indforstået med de opnåede resultater.



Figur 4. Beslutningskonferencens fem trin.

EcoMobility-modellen anvendt på HH-konferencen

Efter en introduktion til processen samt information om alternativer og kriterier var deltagerens første opgave at sammenligne de tre alternativer. De mundtlige tilbagemeldinger blev derefter ud fra den verbale intensitetsskala omdannet til numeriske værdier gående fra 0 til 8 og lagt ind i modellens sammenligningsmatricer. EM-modellen tildeler herefter alternativerne en score mellem 0,0 og 1,0, der udtrykker det enkelte alternativs bidrag til

et specifikt kriterie. Den relative score, som de enkelte alternativer tildeles, fastsættes ved at sammenligne alle alternativerne parvist for hvert af kriterierne.

Herefter blev deltagerne bedt om at rangordne kriterierne, først hver for sig og derefter som en gruppe. Deltagerne skulle angive deres præferencer for ét kriterium frem for et andet, hvor de sammenlignede kriterierne et ad gangen. For eksempel er Kriterie 1 (C4) vigtigere end Kriterie 2 (C1), som er vigtigere end Kriterie 3 (C2), som er vigtigere end Kriterie 4 (C6) osv., $C4 \geq C1 \geq C2 \geq C6...$ (Tabel 4)

Kriterier	Rang-ordning efter betydning	Vægt
C1: Samfundsøkonomisk robusthed	2	0,24
C2: Forbedring for personbiler og den kollektive transport	3	0,19
C3: Indvirkning på byer og arealanvendelse	6	0,04
C4: Indvirkning på den regionale økonomi	1	0,30
C5: Indvirkning på den logistiske fleksibilitet	5	0,09
C6: Bidrag til EU's grønne korridorer	4	0,14

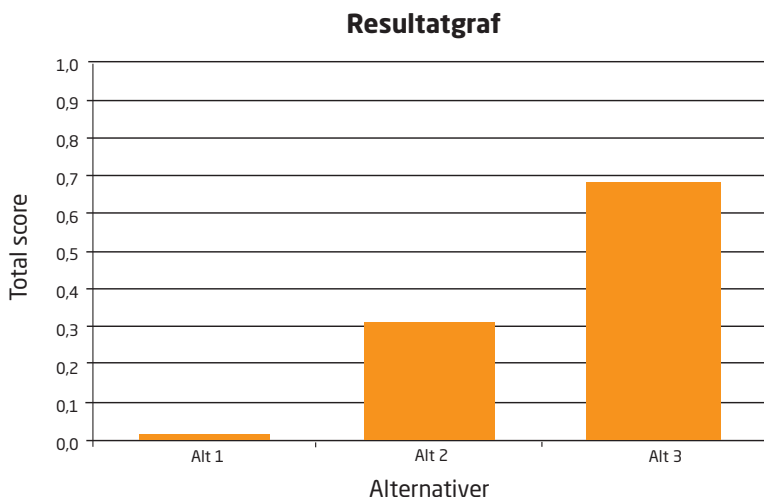
Tabel 4. Deltagernes fælles rangordning af kriterierne.



Vægtning af kriterier

Resultat

Med de separate scorere for alternativerne i forbindelse med alle de enkelte kriterier samt fastsatte vægte for kriterierne blev der udarbejdet en total score for hvert alternativ (figur 5). Alternativ 3 fremstod som det mest attraktive, mens alternativ 1 kun opnåede en meget lav total score.



Figur 5. Søjlediagrammet viser de totale scorere for de tre alternativer.

Det bør bemærkes, at der blev opnået et resultat med samme hovedkonklusion ved at anvende de individuelle vægtsæt, selv om deltagerne så meget forskelligt på vægtningen af kriterierne.

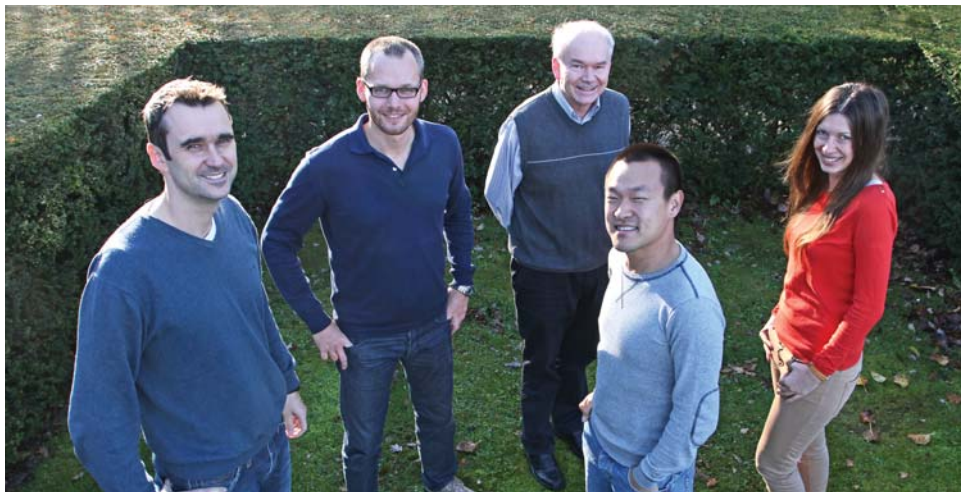
Videre brug af modellen

EcoMobility-modellen forsøger at medtage et bredere sæt af kriterier til transportplanlægning end en traditionel cost-benefit-analyse. For at medvirke til bæredygtig transportplanlægning i både Øresundsregionen og resten af landet er der behov for et beslutningsstøtteværktøj, der kan tage højde for og vurdere de mange og ofte modstridende kriterier og målsætninger, der tit kan være vanskelige at gøre op i penge. Ved at vælge hensigtsmæssige kriterier er det muligt at udtrykke bæredygtighed i en operationel sammenhæng, så det kan indgå som del af beslutningsstøtten. HH-casen viser, at det er muligt at medtage en lang række kriterier så som miljø, økonomisk vækst og tilgængelighed i den samlede vurdering.

Det er planen, at EcoMobility-modellen skal bruges i forbindelse med placeringen af Urban Consolidation Centre (UUC, konsolideringscenter uden for bymidten) i København. Der er blevet foreslået et UCC-initiativ for København, der har til formål at forbedre godstransporten i Københavns centrum. Placeringen af et sådant konsolideringscenter er således et tværfagligt planproblem med mange deltagere, eftersom tekniske, sociale, økonomiske og miljømæssige kriterier alle bør influere på valget.

Det er vigtigt at skræddersy beslutningskonferencer i forbindelse med anvendelsen af EM-modellen. Formålet er, at interessenternes engagement og deres forskellige præferencer skal skabe en fælles platform for forståelse af beslutningsproblemet og gøre det muligt at nå frem til det mest attraktive beslutningsalternativ. EcoMobility-modellen er udviklet som del af Øresund EcoMobility-projektet, der er medfinansieret af EU/Interreg-programmet.

Kapitlets forfattere



Fra venstre: Adjunkt Anders V. Jensen, adjunkt Michael B. Barfod , professor Steen Leleur, lektor Kim B. Salling og videnskabelig assistent Inga Pilkauskiene.



Vurdering af transportprojekter – usikkerhed og risikoanalyse

Af lektor Kim Bang Salling

Når en samfundsøkonomisk analyse benyttes til at vurdere projekter, sætter man kvantitative mål på de uønskede konsekvenser, som en given projektaktivitet medfører for mennesker, miljø og økonomi. Særligt når man skal vurdere store transportinfrastrukturprojekter, der hyppigt har effekter i årevis efter vedtagelsen, er det vigtigt at kunne træffe "gode" beslutninger. I Danmark er det bl.a. de tre store broprojekter (Storebælts-, Øresunds- og Femernforbindelsen) samt Metrosystemet i København, der har understreget behovet for analyser, der kan støtte beslutningerne. Den overordnede idé er naturligvis at maksimere samfundets velfærdsgevinst. Når et projekt er veldokumenteret, og når såvel gevinster som omkostninger er blevet systematisk vurderet, har man en væsentlig støtte i den videre politiske beslutningsproces. En moderne samfundsøkonomisk analyse oplister alle den nye transportinfrastrukturens mulige effekter og anvender et sæt relative enhedsværdier til at estimere projektets samlede værdi. Herved kan projektets samfundsmæssige værdi udtrykt i kroner og øre gøres op.

Cost-benefit-analyse

Da samfundet ikke har uanede ressourcer til rådighed, er det nødvendigt at foretage prioriterede analyser af større investeringer. Dette gælder for alle sektorer i det danske samfund – også transportinfrastrukturinvesteringer. Den typiske fremgangsmåde, når man skal evaluere transportprojekter, er beskrevet i den såkaldte "Manual for Samfundsøkonomisk Analyse", der i 2003 blev udgivet af det daværende Trafikministerium (nu Transportministeriet). Manualen beskriver systematisk, hvorledes en række transporteffekter omsættes til økonomiske bidrag ved hjælp af en cost-benefit-analyse (CBA). Ved en CBA undersøges "samtlige" omkostninger og gevinster i forbindelse med det nye anlæg – om det er sparede

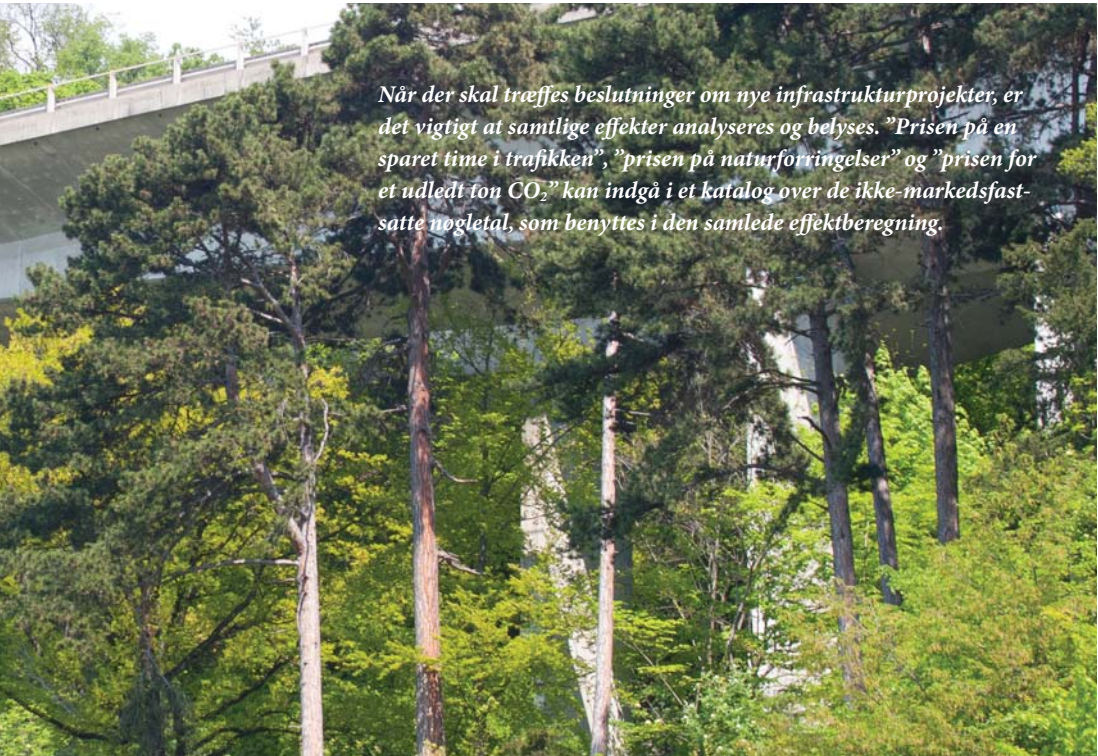
uheld, nedbringelse af luftforurening eller bekæmpelse af trængsel. Alle disse elementer tilknyttes en enhedspris, så det bliver muligt at sammenligne effekter på tværs af sektorer og transportmiddel (se boks 2). I manualen findes en udførlig beskrivelse af, hvorledes disse effekter kvantificeres, samt hvilke enhedspriser der bør tilknyttes. Ved et givent transportprojekt behandles der normalt en række alternative projektforslag – som eksempelvis kan være i form af varierende linjeføringer, hvis projektet er en motorvejsstrækning, eller hvorvidt en fast forbindelse skal være i form af en tunnel eller en bro, eller blot om det overhovedet vil være samfundsmæssigt gavnligt at konstruere et givent projekt (et såkaldt build-no build scenarie). Det eller de alternativer, hvor gevinsterne overstiger omkostningerne med det største beløb, er det projekt, der bør foreslås gennemført. Selve CBA'en består således af en række evalueringskriterier, der alle indeholder informationer vedrørende omkostninger og gevinster, bl.a. i form af et såkaldt benefit-cost forhold (BCR) som netop afvejer et projekts omkostninger overfor dets gevinster. Grundlaget for en CBA bør altid belyses omhyggeligt, ikke mindst fordi det ved tidligere projekter har vist sig, at især anlægsomkostninger og rejsetidsbesparelser er blevet fastlagt på et meget usikkert grundlag. Derudover leverer CBA'en i dens nuværende form kun punktresultater – hvilket ikke er hensigtsmæssigt, set i lyset af de usikkerheder, som selve analysen medtager. Der er derfor brug for en nærmere belysning af usikkerhed i forbindelse med modeller, dataindsamling og enhedspriser for de medtagne transporteffekter såsom uheld, luftforurening, tidsbesparelser etc. Disse sæt af usikkerheder eller risici er medvirkende til, at et stort anlægsprojekt ikke bør vurderes alene på baggrund af en cost-benefit-analyse. En CBA i manualens form skal kun betragtes som et værktøj til beslutningsstøtte.



Om risiko og usikkerhed

Selv om ordet "risiko" ofte bruges i daglig tale, er ordets betydning forholdsvis upræcis. Når vi taler om risiko i forbindelse med en given aktivitet, har alle intuitivt en forståelse af, hvad der menes: Jo højere risiko, jo farligere er aktiviteten. Det er vigtigt at bemærke, at ordet "risiko" kun bruges, når der er en sandsynlighed, men ikke vished for, at noget uønsket vil ske. Vi kan tale om risikoen for et biluheld, risikoen for at miste penge på børsmarkedet mv., men vi taler ikke om risikoen for at vinde i Lotto, for selv om det er usikkert, om man vinder, så er det ikke uønskeligt. Tilsvarende taler vi ikke om risikoen ved at betale skat, for selv om vi ikke bryder os om det, så er der ingen uvished involveret. Risici og usikkerheder er kendetegnende for de fleste af de problemer, som virksomheder og regeringer skal håndtere, og de skal vurderes inden en eventuel beslutning træffes. Begrebet "uvished" har været drøftet i århundreder, f.eks. sagde Sir Francis Bacon, filosof (1561-1626):

Hvis vi begynder med vished, vil vi ende med tvivl; men hvis vi begynder med tvivl, vil vi ende med vished.



Når der skal træffes beslutninger om nye infrastrukturprojekter, er det vigtigt at samtlige effekter analyseres og belyses. "Prisen på en sparet time i trafikken", "prisen på naturforringelser" og "prisen for et udledt ton CO₂" kan indgå i et katalog over de ikke-markedsfastsatte nøgletal, som benyttes i den samlede effektberegning.

Usikkerhed og enhedsprisfastsættelse

En vurderingsmodel er af natur usikker - og flere af de usikre elementer opstår ganske enkelt, fordi man i projektanalysen forsøger at forudse fremtiden. Man skal derfor sørge for, at flest mulige af usikkerhedselementerne belyses, så beslutningerne træffes på det mest kvalificerede grundlag. Usikkerheder i forbindelse med transportvurderinger behandles ud fra kategorier: Enhedsprisfastsættelse og usikkerheder i modeller. De to kategorier af usikkerheder skyldes grundlæggende en kombination af manglende viden og modelsystemets indbyggede tilfældigheder. Enhedsprisfastsættelsen, der ligger til grund for den senere CBA, kvantificerer effekter (konsekvenser for samfundet). Disse effekter kvantificeres dog typisk ikke i traditionel økonomisk forstand, da konsekvenserne af et infrastrukturanlæg ikke handles på almindelige markedsvilkår, som hvis der var tale om en liter mælk. For disse ikke-markedsfastsatte effekter er det derfor nødvendigt at opbygge et sæt af fiktive priser (nøgletal) der bl.a. inkluderer "prisen for et uheld", "prisen for et ton udledt CO₂", "prisen for en time i en bilkø" osv. Et sådant nøgletalskatalog er allerede udarbejdet af forskere fra DTU Transport og tilgængeligt via instituttets hjemmeside (eksempel på udvalg af disse nøgletal fremgår af tabel 1). I det følgende antages det at sådanne nøgletal er "sikre", samt at enhedsprisen, selv om der er inkluderet usikkerhed, vil være relative, på tværs af projekter der sammenlignes. I dette kapitel er det ikke muligt at præsentere en fuldskala risiko- og usikkerhedsanalyse, der dækker alle aspekter ved en transportvurderingsmetode. Der fokuseres derfor kun på de to vigtigste transportrelaterede effekter fra kategorien modelusikkerhed, nemlig anlægsomkostninger og rejsetidsbesparelser.

År				2010	2011	2012	2013
Enhedsomkostning tid - biler. Køretid							
Bolig-arbejde	Markedspris	kr./time pr. person		77	78	80	81
Erhverv	Markedspris	kr./time pr. person		325	329	335	342
Andet	Markedspris	kr./time pr. person		77	77	80	80
Enhedsomkostning tid - gods på bane							
Tidsværdi - gods	Markedspris	Kr./time pr. ton		15,5	15,5	15,6	15,7
Enhedsomkostninger for uheld og støj/oplevelt risiko							
Uheld - Vej. Samlede omk. pr. uheld med personskade	Markedspris	kr./uheld med personskade		4.888.151	4.929.324	4.985.280	5.051.707
Uheld - Vej. Personrelaterede omk. (inkl. velfærdstab) pr. personskade	Markedspris	kr./persons-kade		2.455.689	2.488.095	2.532.135	2.584.418
Uheld - Vej. Materielskadeomk. pr. trafikuheld i kr.	Markedspris	kr./uheld		664.543	670.141	677.748	686.779
Støj - Personbiler	Markedspris	kr./køretøjskilo-meter		0,05	0,05	0,05	0,05
Enhedsomkostninger for CO₂-emission							
CO ₂	Markedspris	kr./kg		0,13	0,14	0,15	0,16

Tabel 1

Undervurdering af anlægsomkostninger og overvurdering af rejsetidsbesparelser

Erfaringer fra mange gennemførte projekter viser, at der er en markant og konsekvent tendens til at undervurdere anlægsomkostningerne og overvurdere rejsetidsbesparelsen ved transportinfrastrukturprojekter. Sådanne undervurderede omkostninger og overvurderede gevinster har naturligvis betydning for den overordnede vurdering af projektet og dets rentabilitet overfor samfundet. Transportforskere har afdækket fire centrale årsager til fejlvurderingerne: tekniske, økonomiske, politiske og psykologiske.

De tekniske årsager kan defineres som fejl i prognoserne på grund af ufuldstændig metodetilgang, utilstrækkelige datamængder, problemer med at forudsige fremtiden og manglende erfaring.

De økonomiske årsager er forankret i en form for økonomisk "egeninteresse" eller en offentlig interesse, hvilket resulterer i en bevidst undervurdering.

De politiske årsager kan f.eks. være strategiske overvejelser eller ønsket om at misrepræsentere vurderingsresultaterne, så projektet får et bedre økonomisk afkast.

De psykologiske årsager skyldes som regel planlægningsfejl og relateres normalt til såkaldt "Optimism Bias" (se boks 3). Det er netop denne del, som oftest styrer de problemer, der findes i forbindelse med estimering af anlægsoverslag, hvor man som individ har tendens til at være overoptimistisk.

Boks 3

Om Optimism Bias

De mere eller mindre konsistente overvurderinger af gevinsterne og undervurdering af omkostningerne i forbindelse med transportinfrastrukturvurderinger benævnes Optimism Bias. Optimism Bias forklares igennem en veletableret teknik kaldet Reference Class Forecasting (RCF). Den teoretiske baggrund for RCF bygger på den såkaldte prospektteori, der beskriver beslutninger mellem alternativer, der indebærer risici, f.eks. hvor det generelle resultat er usikkert, men de tilhørende sandsynligheder er kendt. En referenceklasse er en gruppe af projekter, der kan sammenlignes direkte med det projekt, der undersøges (f.eks. motorvejsprojekter, jernbaneprojekter, metropjekter el. lign.). Der foretages således en systematisk indsamling af tidligere unøjagtigheder/bias for en række projekter, hvor man sammenligner mangler på planlægningsstadiet. Derefter indsamles og sammenlignes erfaringer fra tidligere projekter, så der kan undgås såkaldt "planning fallacy" (den indbyggede tendens til at undervurdere, hvor lang tid man skal bruge for at gennemføre en opgave, selv om man har erfaring fra lignende opgaver). Grunden til, at denne fremgangsmåde benyttes inden for transportområdet, er, at man ønsker at fjerne eller i det mindste minimere tendensen til Optimism Bias og dermed fejlagtige beslutningsgrundlag i forbindelse med infrastrukturplanlægning.



Ved planlægningen af nye transportinfrastrukturprojekter har det vist sig, at anlægsomkostningerne konsekvent undervurderes, og de opnåede rejsetidsbesparelser konsekvent overvurderes. Transportforskerne er til en vis grad i stand til at kompensere for denne tendens i deres analyser.

Estimering af rejsetidsbesparelser

Rejsetidsbesparelser er langt den største bidragsyder til direkte gevinster fra transportprojekter og udgør ofte op til 70-90 % af de samlede gevinster. Opgørelsen over tidsbesparelser foregår typisk ved at benytte tre komponenter, der til sammen udgør rejsetidsbesparelsernes økonomiske værdi, nemlig:

- Monetært afkast/omkostning ved at rejse
- Potentiale/produktionsafkast (udbytte af at rejse)
- Ulempen ved at rejse

De monetære omkostninger er direkte forbundet med valg af rejseform, dvs. vejafgifter, billetpriser eller køb af bil, der nogle gange omtales som "ud-af-lommen" direkte rejseomkostninger. Potentiale/produktionsafkast vedrører den alternative brug af den tid, der bruges på at rejse – som oftest udtrykt i form af mistet arbejdstid. Denne tidsværdi varierer naturligvis meget fra person til person, og dens værdi opgøres som liggende mellem 0 (hvis den sparede tid slet ikke kan bruges produktivt et andet sted) og 1 (hvis den sparede tid kan bruges fuldt ud til andre formål). Endelig er der rejseulempen, der bl.a. kan udtrykkes ved manglende komfort. Denne komponent udgør således den gene, som rejsen indebærer (læs mere om rejsetidsopgørelser i kapitlet: "Hvad koster ti minutter i trafikken").

Rejsetidsbesparelser defineres ydermere i forhold til tre kategorier: erhverv, bolig/arbejde og andet (hovedsageligt fritidsture). Disse kategorier opdeles endvidere i mere rejserelaterede nytteværdier, f.eks. rejsetid/køretid, ventetid, køtid mv. Alle disse aspekter er samlet i det førnævnte nøgletalskatalog, der jævnligt opdateres. Det er klart, at selv om der er gjort en stor indsats for at fremskaffe valide oplysninger om rejsetidsbesparelser, er der forskelle

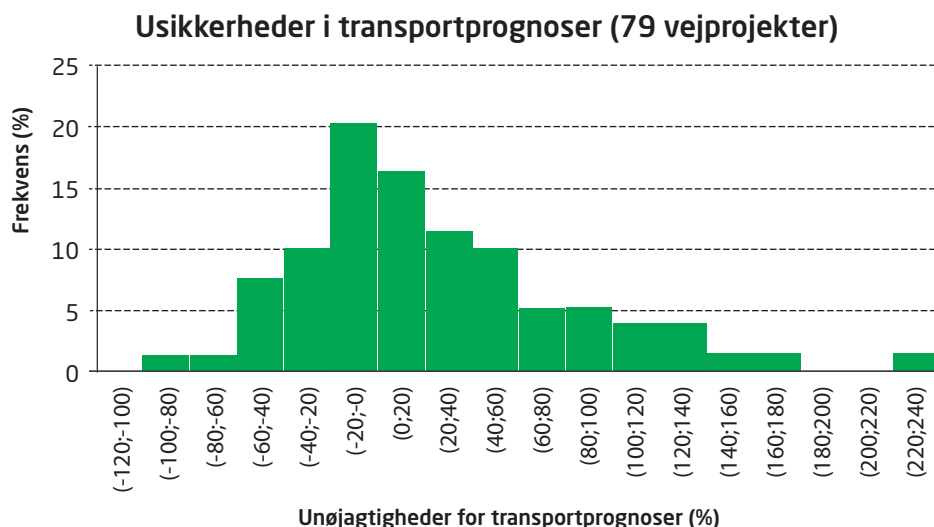
i den måde, som rejsetidsbesparelserne bruges på i forbindelse med de forskellige evalueringsmetoder. For at registrere og opgøre den sparede tid for f.eks. køretøjer, togpassagerer eller godsmængder, bygger rejsetidsbesparelserne på trafikprognoser eller i traditionel forstand efterspørgselsprognoser. Efterspørgselsprognosen danner derfor grundlag for beregning af rejsetidsbesparelser som følge af transportinfrastrukturprojekter. Usikkerheden i forbindelse med at drage fordel af disse prognoser afhænger bl.a. af den tid og indsats, der er brugt på dataindsamling og trafikmodellering.

Afsløring af trafikprognosers manglende præcision

Forskere fra DTU Transport og Aalborg Universitet har i fællesskab foretaget en stor undersøgelse baseret på hundredvis af infrastrukturprojekter i forhold til trafikefterspørgselsprognoser og anlægsoverslag. Undersøgelsen byggede på RCF (se boks 3) og herfra konkluderes det, at trafikprognosernes præcision (I) for vejprojekter normalt ligger inden for intervallet -60 % til 120 %, hvor et negativt fortegn betyder en lavere faktisk efterspørgsel end estimeret i beslutningsgrundlaget og vice versa, se nedenstående formeludtryk (1):

$$I = \frac{O - E}{E} \times 100 \quad (1)$$

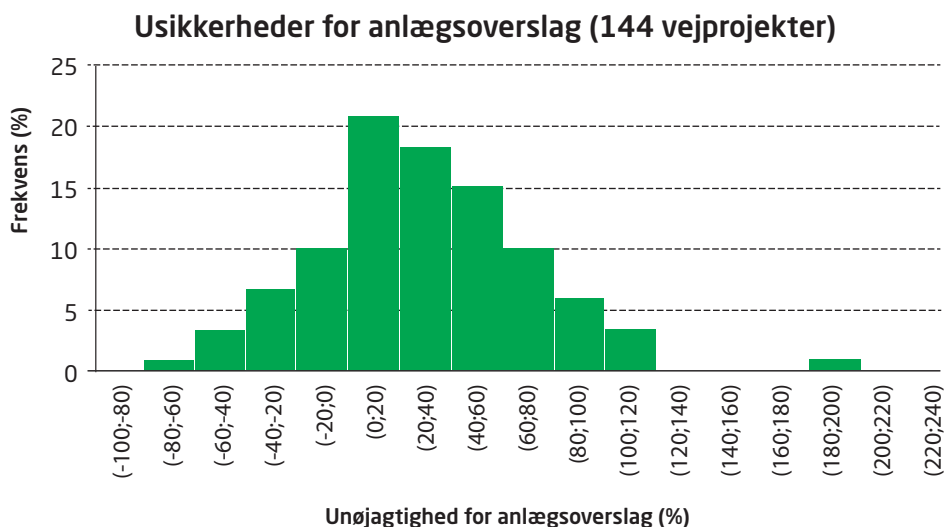
hvor E henviser til den estimerede trafikbelastning, og O er den observerede trafikbelastning, efter anlægget er åbnet. Undersøgelsen konkluderede også, at trafikprognoserne for vejprojekter normalt undervurderes med i gennemsnit 22,3 %, dog med en forholdsvis høj standardafvigelse på 44 % (se figur 1). 27 prognoser for jernbaneprojekter blev undersøgt med hensyn til unøjagtigheden af trafikefterspørgselsprognoserne, og den faktiske trafikmængde var i gennemsnit 39 % lavere end estimeret.



Figur 1. Unøjagtigheder i forbindelse med efterspørgselsprognoser for veje i 79 projekter. Unøjagtigheden måles som den faktiske for lavt skønnede trafikprognose i procent af den forventede trafik, og et negativt tegn betyder derfor en lavere faktisk efterspørgsel end estimeret og vice versa.

Så meget undervurderes anlægsudgifterne

Ud fra samme formeludtryk (1) blev unøjagtigheder for anlægsomkostninger undersøgt. Da omkostningerne for store offentlige projekter ofte undervurderes, bliver vurderingen som nævnt overoptimistisk med hensyn til projektets omkostninger – hvilket i sidste ende kan betyde, at et projekt, der i virkeligheden er samfundsøkonomisk urentabelt, alligevel gennemføres. Undersøgelser gennemført i Skandinavien og Storbritannien har alle bidraget til fortolkning og i visse tilfælde måling af usikkerheden i forbindelse med afvigelser i disse anlægsomkostninger. DTU Transport og Aalborg Universitet har undersøgt budgetoverskridelserne for 114 store vejinfrastrukturprojekter og har i gennemsnit fundet en budgetoverskridelse på 29,3 %, jf. formeludtryk (1). Figur 2 viser unøjagtighederne i forbindelse med omkostningsestimater for de 114 transportinfrastrukturprojekter. Et positivt fortegn i de to diagrammer betyder omkostningsoverskridelser, mens et negativt fortegn betyder omkostningsunderskridelser.



Figur 2. Unøjagtigheder i forbindelse med omkostningsestimater for veje i 114 projekter. Figuren viser den procentvise fordeling af projekter i forhold til omkostningsoverskridelser og -underskridelser (faste priser), så et positivt fortegn betyder, at de estimerede omkostninger er undervurderet.

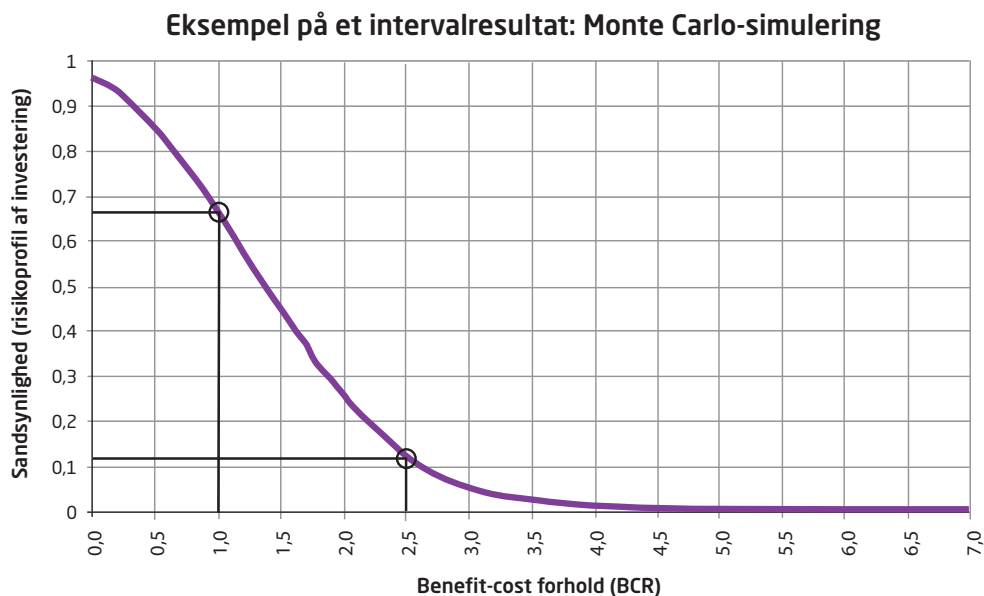
Fra cost-benefit-analyse til risikoanalyse

Figur 1 og figur 2 danner tilsammen grundlag for videre analyser – i denne kontekst af vejprojekter – og de angivne histogramdata kan benyttes til at udlede sandsynlighedsfordelinger til at opstille fremtidige projekialternativer. Med andre ord kan man benytte de udledte fordelinger ved fremtidige evalueringer, så beslutningstagere i endnu højere grad tager ved lære af gamle projekter. Også nye retningslinjer forsøger at lægge en risikoprofil (korrektionstillæg) på anlægsprojekter i Danmark (både på vej og bane). Med den igangværende forskning indenfor området vil det være muligt at udføre en grundig risikoanalyse på baggrund af f.eks. en såkaldt Monte Carlo-simulering. Med en sådan angiver man ikke

På baggrund af aktuel forskning er det i dag muligt at udføre en mere grundig risikoanalyse end den traditionelle cost-benefit analyse og dermed med stor sikkerhed angive, om et projekt er samfundsøkonomisk rentabelt eller ej.



kun punktestimater, men et helt intervalresultat udtrykt ved sandsynlighedsfordelinger. Et tænkt eksempel er vist i figur 3, hvor BCR forholdet angiver, hvornår et projekts omkostninger opvejes af dets gevinster (X-aksen), mens sandsynligheden for at opnå en given BCR er angivet på Y-aksen.



Figur 3. Intervalresultat udfra Monte Carlo-simulering

Såfremt $BCR > 1,00$ vil projektet være samfundsøkonomisk rentabelt. Udfra en traditionel cost-benefit-analyse opnås en BCR på 2,50, hvilket er yderst rentabelt set i lyset af en offentlig investering på 1.1 mia kr. Men såfremt der udføres en risikoanalyse, hvorved de to effekter, anlægsomkostninger og rejsetidsbesparelser, pålægges de to risikoprofiler som angivet i figur 1 og 2, opnås som vist et andet resultat (figur 3). Det kan bl.a. aflæses udfra de optrukne linier, at der rent faktisk kun er 12 % sandsynlighed for at opnå en BCR på 2,5 mens der er ca. 70 % sandsynlighed for at opnå en BCR på 1,00 eller derover. Det er nu muligt at sige, at projektet med 70 % sikkerhed er rentabelt, givet at de korrekte referenceklasser er benyttet.

Mod bedre beslutningsgrundlag

Da beslutningstagere og analytikere som tidligere omtalt har en tendens til at være alt for optimistiske hvad angår anlægsomkostningerne og den fremtidige trafik, er det nødvendigt med efterrationalisering af den traditionelle CBA tilgang. Da projektvurdering som oftest danner grundlag for den politiske stillingtagen til, hvorvidt et projekt er samfundsmæssigt rentabelt og skal igangsættes, er denne efterrationalisering derfor af stor betydning. Den seneste forskning viser med al tydelighed, at der er betydelige usikkerheder forbundet med at

foretage vurderinger af transportprojekter. Da anlægsomkostninger og rejsetidsparelseser som oftest udgør 75-90 % af samtlige effekter, bør dette ikke overses i den samlede samfundsøkonomiske vurdering.

Traditionelt er beslutninger vedrørende infrastrukturprojekter blevet taget på baggrund af kriterier udledt fra en cost-benefit-analyse (CBA). De opnåede punktestimater er benyttet til at kvalificere grundlaget, hvorpå fremtidige transportanlæg er besluttet. Som vist i kapitlet er der grund til at sætte fokus på disse analyser – og i særdeleshed på, hvorvidt alle aspekter af en transportinvestering bliver indfanget i en CBA. På denne baggrund bør bedre risikoanalyser tænkes med, når fremtidige transportinfrastrukturinvesteringer skal besluttet.

Kapitlets forfatter



Lektor Kim Bang Salling



Ruteplanlægning og transportnetværk

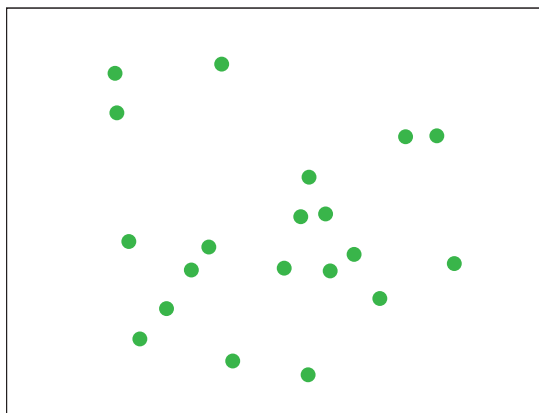
Af professor Oli B.G. Madsen



Flere og flere mennesker og større og større mængder af varer og gods bliver transporteret over længere afstande end nogensinde før. Det forventes samtidig, at transporttiden til og fra arbejdspladser og institutioner er kort, og at varer hurtigt og effektivt kommer frem til butikkerne. Alt sammen skal helst ske med mindst mulig miljøbelastning og med begrænset brændstofforbrug. Løsningerne er bl.a. baseret på en kombination af nye teknologiske redskaber og bedre matematiske modeller og optimeringssoftware. Når man eksempelvis skal planlægge et optimalt transportnetværk af lastbiler, busser eller containerskibe, skal man indarbejde oplysninger om gennemsnitshastighed og kapacitet, og dette skal korreleres med de ønskede ruter, lagerpladser/stoppesteder eller havne og frekvenser, samtidig med at der tages hensyn til servicemål og omkostninger. Der kan ydermere være krav eller ønsker om, at mindre forsinkelser ikke medfører problemer, dvs. løsningen skal være robust. Det er en uhyre kompleks opgave, der kan føre til en matematisk model af enorme dimensioner. I dette og de følgende kapitler vises eksempler på matematikken bag ruteplanlægningen, og på hvordan transportoptimering i praksis kan anvendes af virksomheder i transportbranchen.

Den handelsrejsendes problem

Det simpleste ruteplanlægningsproblem er ”den handelsrejsendes problem” (TSP, ”The Travelling Salesman Problem”), der har fascineret forskerne i de sidste 50 år. En række kunder skal besøges af en handelsrejsende på en given dag. Den handelsrejsende skal tage af sted hjemmefra om morgenen og være hjemme igen om aftenen. Opgaven er at planlægge en rute, så alle kunderne bliver besøgt, og således at den samlede tur bliver så kort som mulig. Det ser umiddelbart nemt ud. Men selv med blot 20 kunder, kan det være vanskeligt at finde den optimale løsning manuelt. Prøv selv at finde løsningen på problemet i figur 1, idet vi antager, at man kan rejse i rette linjer mellem kunderne.



Figur 1. Kunder, der indgår i den handelsrejsendes problem (den optimale løsning er vist i figur 3).

Hvis man er nødt til at følge vejene i stedet for rette linjer, bliver det meget sværere. Det er nemt at udtrykke TSP matematisk ved hjælp af binære variable x_{ij} som er lig med 1, hvis den handelsrejsende tager direkte fra kunde i til kunde j , og lig med 0, hvis det ikke er tilfældet. Dette er kombineret med to sæt af begrænsninger. Det ene sæt begrænsninger sikrer, at hver kunde besøges én gang, og det andet sæt sikrer, at der kun køres én tur i stedet for flere små separate ture. Det er dog matematisk set ret vanskeligt at finde den optimale løsning. Den første optimale metode så dagens lys i 1970. Metoden var langsom og kunne normalt kun håndtere et mindre antal kunder. Den gren af den anvendte matematik, der ofte anvendes til at løse denne type problemer, kaldes operationsanalyse (se mere om rute-lægningsproblemer i boks 1).

Boks 1

“Optimalitet og heuristikker”

Når man vil løse store planlægningsproblemer, som f.eks. rutelægningsproblemer, findes der grundlæggende to måder. Man kan enten forsøge at finde den “perfekte” (*optimale*) løsning, eller man kan nøjes med en “meget god” løsning. Når man har fundet den *optimale* løsning på et problem, kan man bevise matematisk, at der helt sikkert ikke findes en bedre løsning, f.eks. en billigere måde at besøge alle kunder på. Det er naturligvis rart at vide at man har en perfekt løsning, men i praksis kan det kun lade sig gøre at finde en sådan løsning for relativt små problemer. For et simpelt rutelægningsproblem ligger grænsen typisk omkring 100 kunder, hvor beregningerne kan tage dagevis på en meget hurtig computer.

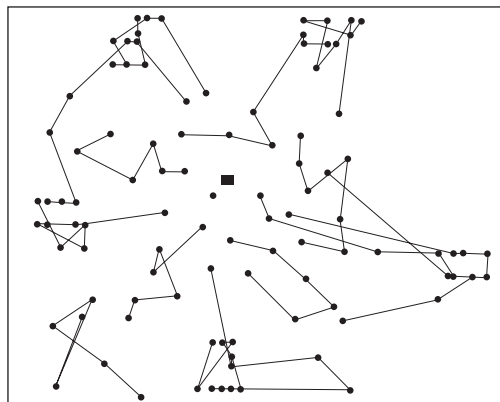
Hvis man ikke behøver en optimal løsning, kan man f.eks. bruge en *heuristik* til at finde en løsning, der er nær-optimal. En heuristik fungerer ofte ved, at man først konstruerer en gyldig løsning på problemet, eksempelvis en ruteplan, der besøger alle kunder, men måske ikke er den billigste. Derefter foretager man gradvise forbedringer af denne løsning. Forbedringerne sker typisk ved at lave nogle “tilfældige” småændringer af løsningen og derefter undersøge, om den nye løsning er bedre end den gamle. Eftersom man laver tilfældige ændringer, kan man sagtens få en ny løsning, der er dårligere end den oprindelige. Den kan man så kassere, og prøve noget andet tilfældigt i stedet for. Et menneske, der skal planlægge, kan ofte hurtigt se, om en løsning er værre eller bedre. Det kan computeren ikke, den er nødt til at lave tilfældige ændringer, men til gengæld kan den regne igennem mange muligheder på kort tid og derfor ofte finde løsninger, der er bedre end dem et menneske kunne finde. Hvis man har lavet en million små, gradvise ændringer (*iterationer*) af en løsning, er man tit kommet frem til et ret godt resultat. De løsninger, der kan konstrueres ved at lave sådanne små ændringer, siges at ligge i den oprindelige løsnings “nabolag”.

Computerkraft og nye udfordringer

I dag kan man rutinemæssigt løse problemer med 100 kunder, og hvis man råder over tilstrækkelig computerkraft, er det muligt at løse problemer med tusindvis af kunder. De nyeste metoder til løsning af TSP er baseret på successive løsninger af et lineært programmeringsproblem (LP), dvs. der er et lineært mål og et sæt af lineære begrænsninger, hvilket betyder, at der lempes på antagelsen om binære variable. Når man løser et LP, får man en løsning, der er ret nem at finde, men som ikke løser det helt rigtige problem. I det oprindelige problem har man en række binære variable, dvs. variable som skal være enten 0 eller 1. En variabel kan f.eks. have værdien 1, hvis man kører direkte fra kunde A til kunde B, og 0 hvis man ikke gør (og besøger andre kunder imellem de to, eller måske besøger B før A).

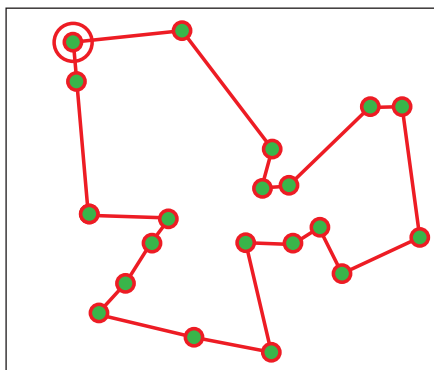
I et LP fjernes kravet om, at variabelen skal være binær (enten 0 eller 1), dvs. den kan også have ikke-heltallige værdier mellem 0 og 1. Computeren er i dette tilfælde bedre til at regne med rationelle tal end med heltal, så problemet bliver derved lettere at løse. Efter at have løst et LP, kan løsningen altså indeholde en sådan variabel med værdien 0,5. Denne løsning kan naturligvis ikke udføres i praksis – man må enten køre direkte fra A til B eller lade være med at gøre det. Man må derfor anvende særlige algoritmer (kaldet separationsalgoritmer) til at finde yderligere begrænsninger, der kan tilføjes LP-problemet, og som kan reducere antallet af ikke-heltallige variable i løsningen. Disse begrænsninger medtages i LP-problemet, som løses igen. Proceduren gentages, indtil der er taget hensyn til alle de oprindelige begrænsninger.

Som tidligere nævnt er TSP det mest simple ruteplanlægningsproblem, og man kan f.eks. bevise, at ruten ikke må krydse sig selv. Hvis man imidlertid udvider problemet til at omfatte adskillige køretøjer med kapacitetsbegrænsninger og kundekrav, kan man opnå optimale løsninger, hvor det enkelte køretøjs specifikke rute krydser sig selv og de andre ruter. Under disse omstændigheder kan det være meget vanskeligt at planlægge ruterne manuelt. Figur 2 viser den optimale løsning på et ruteplanlægningsproblem med 100 kunder, hvor der er et nærmere specificeret tidsrum for, hvornår kunden skal betjenes. Det fremgår tydeligt af figuren, at det ville være meget vanskeligt at finde frem til denne løsning manuelt. Ved hjælp af computere og moderne løsningsmetoder kan man på et par sekunder finde den optimale løsning på de fleste problemer med 100 kunder. Der findes dog stadig problemer med 100 kunder, som endnu ikke kan løses optimalt.



Figur 3. Den optimale tur fra figur 1.

Figur 2. De optimale ruter for besøg af 100 kunder inden for det aftalte tidsrum. Depotet ligger i midten, og for ikke at gøre det for forvirrende er det første og sidste "ben" i de 15 ture ikke medtaget. Bemærk, at en kunde lige sydvest for depotet betjenes individuelt.



De ovenfor beskrevne ruteplanlægningsproblemer er fortsat ret simple fra et anvendelsesmæssigt synspunkt. Der er blevet udviklet mange forskellige matematiske modeller til at bringe varer og mennesker effektivt omkring, f.eks. metoder til at finde den optimale løsning og heuristiske metoder (boks 1). Udover at minimere den totale tilbagelagte afstand kan man også overveje miljø- og energimæssige målsætninger.



Når personer og varer skal transporteres til og fra – og rundt i – eksempelvis verdens megabyer, er de logistiske udfordringer enorme. De teknologiske løsninger og de nye matematiske metoder skal forsøge at følge med storbyernes løbske vækst, de stadigt flere transportmidler og de voksende bybefolkningers krav om kort rejsetid og effektiv service.

Busnetværk i København

Til design af et busnetværk i f.eks. det storkøbenhavnske område vil man anvende eksisterende prognoser for antallet af passagerer, der vil fra A til B i et bestemt tidsinterval, en såkaldt OD-matrix (Origin Destination). Desuden råder man over kendte karakteristika for busserne såsom stoppesteder, kapacitet, hastigheder etc. Opgaven kan formuleres som en matematisk model med variable og sammenhænge mellem disse variable i form af ligninger og uligheder. En variabel x i j kan f.eks. antage værdierne 0 eller 1. Antager den værdien 1, betyder det, at bus k kører mellem stoppested i og j med afgang fra stoppested i klokken t minutter efter midnat. Er den variable 0, så kører bus k ikke som angivet ovenfor. Ligningerne er ofte lineære og sikrer, at tider og kapaciteter overholdes samt giver sammenhænge mellem de variable. Der er ofte i disse ligningssystemer flere variable end ligninger, hvilket i almindelighed betyder, at der er flere løsninger (man kan forestille sig et sæt af ligninger med f.eks. 3 variable og kun 2 ligninger). Derfor vil man normalt indføre en såkaldt målfunktion (i dette tilfælde omkostning eller ventetid for passagerer, der skifter mellem 2 busser), således at man, blandt de mange løsninger, kan udvælge den eller de løsninger, der minimerer omkostningerne eller ventetiden. Et design af et busnetværk i København giver hurtigt 2000-3000 ligninger og 10.000 variable eller endnu større dimensioner. De variable er som nævnt 0-1 variable, eller de kan antage alle reelle værdier større end 0. Problemets dimension giver løsningsmæssige vanskeligheder, og her er det oplagt at satse på en alternativ metode, der giver en tilnærmet, men hurtigere løsning. Læs mere om busnetværk i kapitlet: "Optimering af kollektiv transport".

Ruteplaner og netværksdesign for containerskibe

Den danske containerflåde er blandt de største i verden og en af Danmarks væsentligste kilder til udenlandsk valuta. Konkurrencen er imidlertid hård, containerskibe er dyre i indkøb, og selv om skibsfart er blandt de mest miljøvenlige alternativer i dag, gør de kolossale mængder, der transporteres, at skibene sammenlagt har et enormt brændstofforbrug med tilsvarende høj udledning af CO₂ og andre miljøskadelige stoffer. Derfor er det afgørende at få flåden til at operere så effektivt som muligt. Rederierne skal tilrette deres strategi med henblik på at indkøbe de rigtige skibe, afgøre hvilket netværk der skal drives, og hvor de forskellige terminaler skal placeres. På det taktiske plan skal operatørerne beslutte de enkelte skibes ruteplan, hvilke transportordrer der skal accepteres, og i hvilken rækkefølge ordrerne skal effektueres. Hvis man har en containerflåde og beslutter at opkøbe en konkurrerende flåde med eget netværk, skal man kombinere de to flåders netværk for at høste fordel af opkøbet (se figur 4). Hver flåde har egne karakteristika, prognoser for kundebehov og et antal havne og terminaler, der potentielt kan benyttes. Et design af et kombineret netværk kan formuleres som et optimeringsproblem i stor skala, der efterfølgende kan løses.

Netværkstransition

Når man har designet klar til et kombineret netværk, så støder man i visse tilfælde på det såkaldte netværkstransitionsproblem – hvordan man smartest skifter fra det nuværende netværk til det nye netværk. I et busnetværk har man normalt ikke dette problem. Måske skal busnumrene og køreplanerne revideres, men det er overskuelige ændringer, og næste morgen kører busserne blot efter den nye plan. Drejer det sig derimod om en flåde af containerskibe, har man et omfattende netværkstransitionsproblem. Afstandene er store, og man kan ikke i et snuptag flytte skibene til nye destinationer. Det kan tage flere uger. Ydermere



Figur 4. Et eksempel på et netværk af containerskibe med markerede havne (3-bogstavskoder) og indtegnede sejlruiter.

er skibene måske fyldt med containere, som i et nyt netværk bør være på andre skibe. Netværkstransitionsproblemet kan som ovenfor formuleres som et optimeringsproblem med variable og ligninger, men det har indtil nu ikke været behandlet meget i forskningsverdenen. Der er imidlertid kommet fokus på løsninger til dette problem i de seneste par år, og de potentielle gevinster er markante. Eksempelvis kan man betragte et lille realistisk netværk bestående af en flåde med 11 mindre containerskibe, som fra de helt store containerhavne fragter containerne videre til mindre havne. Her er situationen så dynamisk, at man skal omplanlægge netværket omkring hver fjortende dag samt bestemme netværkstransitionen. En matematisk model og tilhørende nyudviklet næroptimal løsningsmetode kunne reducere den sejlede distance med 6,9 %. Ved yderligere at spare et skib kunne den sejlede distance reduceres med i alt 15 %, dvs. yderligere 8,1 % i forhold til den første løsning. Disse distance-reduktioner vil betyde en besparelse for shippingselskabet på mere end en halv million kr. hver 14. dag. Desuden kan en sådan ny plan fremskaffes på et par timer, mens det tidligere tog flere dage at konstruere en ny plan. Eksemplet viser, hvordan nye matematiske løsninger hurtigt kan omsættes til millioner af kroner på bundlinjen hos transportvirksomheder.

Kapitlets forfatter



Professor Oli B.G. Madsen.

Udbudsstyring i transportsektoren

Af professor Oli B.G. Madsen

Der findes en række produkter, der er vanskelige, eller ligefrem umulige, at sælge efter et bestemt tidspunkt. Det kan eksempelvis være gårsdagens avis (svær at sælge), men det kan også være flysæder, efter at flyet er gået i luften (umulige at sælge). Udbudsstyring handler om at tilbyde forgængelige ressourcer til den rigtige pris på det rigtige tidspunkt. I transportsektoren er de udbudte ressourcer typisk flysæder eller togpladser, færgebilletter, krydstogtskafytter, containerskibskapacitet, udlejningsbiler og hotelværelser. Luftfartsindustrien har konstrueret og anvendt matematiske modeller til udbudsstyring fra omkring 1980, og derved sparet mange penge, og i dag har modellerne bredt sig til andre anvendelsesområder.

Udbuds- og ressourcestyring er især interessant, hvis man har en relativt fast total kapacitet af en forgængelig ressource. Efterspørgslen skal helst kunne opdeles i forskellige klasser (f.eks. i flybranchen første klasse, business class og økonomiklasse) og være stærkt varierende. Ressourcen skal kunne sælges i god tid inden den skal bruges af køberen, og de variable omkostninger skal være meget mindre end de faste omkostninger.

I udbudsstyringsmodeller gælder det om at balancere tabet ved tomme pladser mod omkostningen ved at måtte afvise kunder, man allerede har lovet plads. De matematiske modeller finder en optimal løsning, der på daglig basis fastlægger den optimale udnyttelse af pladserne baseret på efterspørgselsprognoser, overbookingsstatistikker, gennemsnitlige billetpriser, det nuværende bookingniveau og et sæt sofistikerede matematiske algoritmer. Algoritmerne er ofte baseret på såkaldt stokastisk dynamisk programmering, og i vore dages online systemer skal algoritmerne i spidsbelastningsperioder kunne behandle omkring 5000 forespørgsler pr. sekund. Dette stiller meget store krav til de udviklede algoritmer. Hvis der mangler pladser i eksemplet med flysæder, skal algoritmen kunne beregne, om der skal tilbydes billetter i enten en dyrere prisklasse eller billigere prisklasse eller på et helt andet fly.

Nedenfor er vist et simpelt eksempel fra SAS. Tabellen er en oversigt over pladserne i et fly fem dage før afgang. Flyet har i alt 110 siddepladser fordelt med 85 på business class (B) og 25 på økonomi klasse (E). Tallene i venstre søjle og øverste række viser, hvor mange pladser, der allerede er booket på henholdsvis B- og E-klasserne. På positionen ud for B=55 og E=15 står 30,10. Det betyder, at hvis der allerede er booket 55 B-pladser og 15 E-pladser, så kan man sige ja til endnu 30 B-forespørgsler og 10 E-forespørgsler, i alt $55+15+30+10 = 110$ pladser, hvilket lige svarer til flyets kapacitet. Går vi en række ned og en søjle til højre ved B=60 og E=20, kan man sige ja til henholdsvis 25 B-pladser og 15 E-pladser, i alt $60+20+25+15 = 120$. Her vil man altså overbooke med $120-110 = 10$ pladser. Da nogle passagerer erfaringsmæssigt ikke møder op, og andre senere aflyser deres rejse, vil der normalt stadig være plads til alle, men der er en lille risiko for, at man ved afgang må afvise passagerer og flytte dem til andre afgang. Ved at benytte disse modeller vil man dog alt i alt kunne sige ja til og efterfølgende betjene flere passagerer. I tilfældet med SAS kunne man ved at be-

nytte udbudsstyringsmodeller i gennemsnit få 1,5 ekstra passager med i hvert fly. Med flere hundrede afgang pr. dag bliver det til særdeles mange passagerer og en stor indtægt på et år.

I eksemplet med 2 passagerkategorier, B og E, er den bagved liggende model en dynamisk programmeringsmodel. Her arbejdes med udtrykket $V(B,E,t)$, hvilket er den minimale forventede totale omkostning, man kan opnå med en optimal bookingpolitik forudsat, at B- hhv. E-passagerer allerede har booket billetter i begyndelsen af tidsperiode t . Man kan



SAS Case – Part of decision table for day 5

	E	5	10	15	20	25	30	35	40	45
B										
5		5,05	5,10	5,10	5,15	5,15	5,20	5,20	5,20	5,25
10		10,05	10,10	10,10	10,15	10,15	10,20	10,20	10,20	10,25
15		10,05	10,10	10,10	10,15	10,15	10,20	10,20	10,20	10,25
20		15,05	15,10	15,10	15,15	15,15	15,20	15,20	15,20	15,25
25		15,05	15,10	15,10	15,15	15,15	15,20	15,20	15,20	15,20
30		20,05	20,10	20,10	20,15	20,15	20,20	20,20	20,20	20,15
35		20,05	20,10	20,10	20,15	20,15	20,20	20,15	20,10	20,05
40		25,05	25,10	25,10	25,15	25,15	25,15	25,10	25,05	25,00
45		25,05	25,10	25,10	25,15	25,15	25,10	25,05	25,00	25,00
50		25,05	25,10	25,10	25,15	25,15	25,10	25,05	25,00	25,00
55		30,05	30,10	30,10	30,15	30,10	30,05	30,05	30,00	30,00
60		30,05	30,10	30,10	25,15	25,10	25,05	25,00	25,00	25,00
65		25,05	25,10	25,10	20,15	20,10	20,05	20,00	20,00	20,00
70		20,05	20,10	20,10	15,15	15,10	15,05	15,00	15,00	15,00
75		15,05	15,10	15,10	15,15	10,10	10,05	10,00	10,00	10,00
80		10,05	10,10	10,10	10,15	5,10	5,05	5,00	5,00	5,00
85		5,05	5,10	5,10	5,15	0,10	0,05	0,00	0,00	0,00
90		0,05	0,10	0,10	0,15	0,10	0,05	0,00	0,00	0,00
95		0,05	0,10	0,10	0,15	0,10	0,05	0,00	0,00	0,00
100		0,05	0,10	0,10	0,15	0,10	0,05	0,00	0,00	0,00
105		0,05	0,10	0,10	0,10	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
110		0,05	0,10	0,10	0,10	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00

derpå opskrive et rekursivt udtryk, hvor $V(B, E, t)$ udtrykkes vha. $V(B', E', t-1)$, $B' < B$ og $E' < E$. På denne måde kan man starte ved en kendt værdi af V , f.eks. for $t=0$ og så vha. rekursionsformlen arbejde sig op til V med de ønskede værdier af B , E og t . Det lyder simpelt, men bagved ligger der et omfattende beregningsarbejde. Stokastisk dynamisk programmering betyder, at der i modellerne er indført en række sandsynligheder for f.eks. et bestemt antal booking og aflysninger i tidsperiode t for B -passagerer.

I dag bruger de fleste transportselskaber "revenue management"-modeller i deres planlægning, og mange af disse modeller er uhyre komplicerede. Mange luftfartsselskaber arbejder eksempelvis med 20-30 priskategorier og har ikke blot ruter fra A til B, men komplicerede netværk, hvor man ved at sige ja til en booking fra A via B til C måske senere ikke kan sige ja til en mere økonomisk fordelagtig booking fra B til C.

Med udbuds- og ressourcestyring fastlægges den optimale udnyttelse af eksempelvis pladser på krydstogtskibe. Styringen af pladser i transportsektoren er baseret på avancerede matematiske algoritmer, der anvender efterspørgselsprognoser, bookingstatistikker samt nuværende bookingniveau.





Det ser romantisk og afslappet ud, men for at bruden kan få en frisk buket blomster, skal et enormt logistisk puslespil først løses. På blomsternes vej fra gartneri til kunde medvirker transportforskere, planlæggere, lagerfolk samt chauffører, og undervejs anvendes superavanceret ruteplanlægningssoftware.

Genvejen til friske blomster

Af forsker Hanne L. Petersen, professor Stefan Røpke
og journalist Carsten Broder Hansen

Udvikling af logistiksoftware til planlægning af optimale fragtruter er en forskningsmæssig udfordring, især hvis der også skal tages hensyn til, at varerne kan pakkes om undervejs. For transportvirksomhederne kan forbedrede logistikværktøjer betyde store gevinster i form af sparet tid og brændstof.

Røde, blå, gule og et utal af mere ubestemmelige farver fylder den enorme lagerhal hos transportvirksomheden Alex Andersen Ølund A/S. Blomster i tusindvis står tætpakket i containervogne og i mobile reolsystemer, og nu venter lagerarbejderne på lastbilernes ankomst. Moderne transportvirksomheder benytter sig af komplicerede beslutningsprocesser, for at friske varer med kort holdbarhed kan nå frem til forbrugeren. Hos Alex Andersen er produktet planter og blomster, og virksomhedens logistiske hovedudfordring er at finde ud af, hvornår det med en transport fra A til B kan betale sig at sende vognen via en lagerterminal, og hvornår den direkte rute er optimal. Det er et enormt puslespil at bringe blomster fra gartnerier til vindueskarme eller brudebuketter, og processen kræver erfarne transportplanlæggere (disponenter), lagerfolk og chauffører. Transportbranchen kan i dag følge hver enkelt palle og hver eneste lastbil tæt, og med den kommercielt tilgængelige ruteplanlægningssoftware kan virksomhedens planlæggere beregne de korteste opsamlingsruter og korteste udbringningsruter. Tidligere har den tilgængelige software mest fokuseret på selve rutelægningsproblematikken, men i de senere år har der været forøget fokus på mange af de tilknyttede problemer, f.eks. pakninger hvor man nemt kan få adgang til de varer man skal bruge på det rigtige tidspunkt uden at skulle flytte andre varer først, eller hvordan bilen skal pakkes for at udnytte pladsen bedst muligt, hvis man kører med varer der ikke er ”pænt firkantede”, som f.eks. møbler. Forskere fra DTU Transport har set på problematikken omkring ompakning og udbringning via lagerterminaler og udviklet et prototypeværktøj, der kan hjælpe disponenten med at afgøre, hvilke varer der skal sendes direkte fra afsender til modtager, og hvilke der skal sendes via terminalen (se boks 1).

Da mange større vognmandsfirmaer benytter sig af ompakningsterminaler, er der et stort potentiale for besparelser i den samlede transportmængde, hvis disse kan anvendes mere effektivt. Om produktet er blomster eller stykgods er næsten underordnet, da besparelsen i tid og kilometer er vigtig for alle transportfirmaer. Forskerne har udviklet en algoritme, der beregner effektive leveringsruter, og samtidig tager stilling til, hvilke ordrer der skal sendes direkte. Her ved øges udnyttelsesgraden af bilerne, så de ikke kører halvtomme, og tomkørslen reduceres.

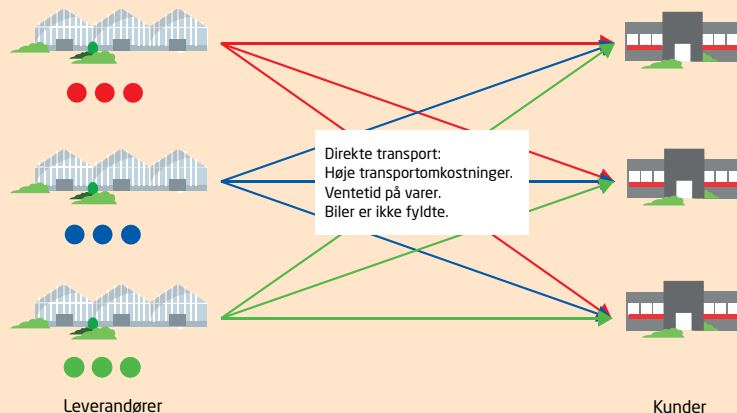
Direkte eller via terminal?

En lastbil, der forlader et gartneri med blot et lille parti blomster, skal selvfølgelig helst kunne sendes forbi andre gartnerier i nærheden, inden den returnerer. Hvis en slutkunde imidlertid kun har bestilt en 2/3 fyldt sending, skal det besluttes om en anden slutkunde i samme region kan besøges med den sidste tredjedel, så flere kunder kan besøges på samme kørsel. Gartnerierne skal afhentes og holdes op mod kundernes bestillinger, kundernes beliggenhed, antallet af lastbiler og ruterne til lagercentralerne. Hvis virksomheden opererer med en mulighed for ompakning på en central lagerterminal, opnår man større fleksibilitet i planlægningen, og man kan forbedre tidsforbrug og kørt afstand. Med ompakning kan det ofte lade sig gøre at betjene de samme ordrer med færre lastbiler. Med planlægningssoftware kan man i dag beregne den samlede korteste rute for samtlige biler og tilsvarende beregne, hvordan udbringningen bedst løses med et givet antal kunder og blomstercontainere i forhold til lastbilernes antal, kapacitet og kørselsrute. Komplexiteten øges imidlertid hurtigt, og antallet af leverandører, lagerterminaler, blomstersendinger, lastbiler og slutkunder kan nemt nå over det niveau, hvor disponentens beregninger er præcise. Der er derfor behov for et planlægningsværktøj, der løbende kan angive den anbefalede rute og gerne tage højde for pludseligt opståede ændringer.

Boks 1

Transportvirksomhedens udfordringer

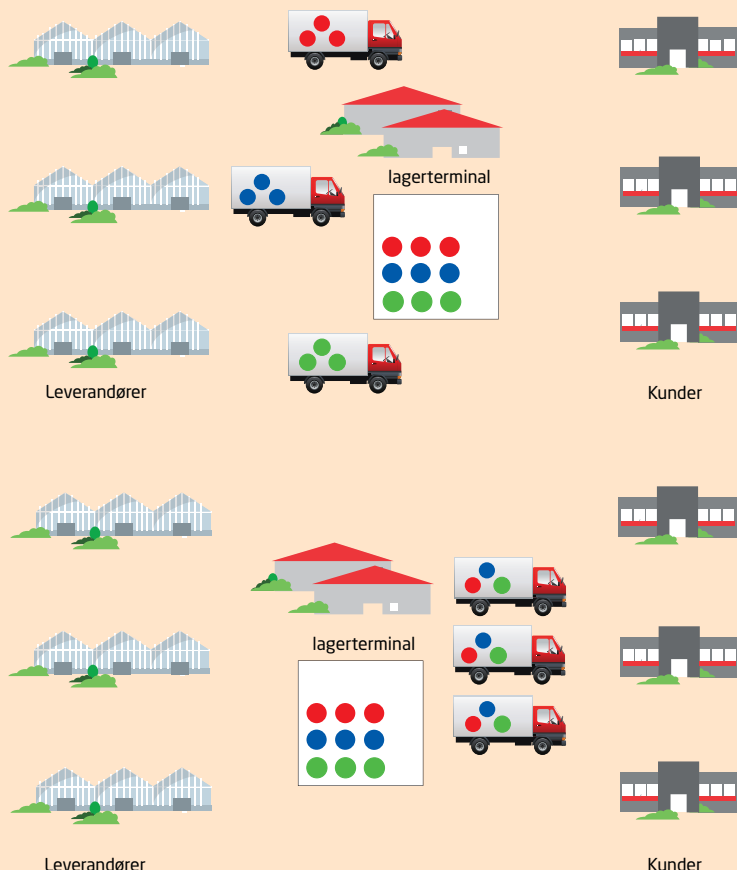
Fig.1



Data i kilometervis

Projektet med at optimere brugen af lagerterminaler ved transport af blomster er en del af innovationskonsortiet "I-GTS - Intelligente GodsTransportSystemer", der, ud over DTU Transport, også havde deltagelse af Teknologisk Institut, DI Transport og flere vognmænd og andre aktører fra branchen. Firmaet Alex Andersen Ølund A/S har stillet data til rådighed og har så godt styr på deres data, at de kunne levere et datasæt bestående af alle leverancer til hjemmemarkedet for en uge, dvs. omkring 6000 sendinger.

Fig. 2. Hurtigompakning i lagerterminal



Figur 1 og 2 viser et forenklet eksempel på virksomhedens problemstilling. Hos tre forskellige producenter (eksempelvis gartnerier) skal vognmandsfirmaet hente varer, og hver producent fremstiller en særlig variant af produktet (eksempelvis blomster eller planter). Der er desuden tre forskellige kunder, f.eks. supermarkeder eller blomsterhandlere, som hver skal have udbragt noget af hver produktvariant. Direkte transport fra producent til kunde (figur 1) betyder høje transportomkostninger, ventetid på varer, og at lastbilerne desuden ikke altid er fyldt op. Sådanne kombinationer med flere producenter, flere produktvarianter og flere kunder kan optimeres ved hurtigompakning i lagerterminal som vist i figur 2. En lagerterminal minder om et almindeligt lager, men varer, der ankommer til en lagerterminal, skal forlade terminalen samme dag (intet langtidslager). Derfor er lageromkostningerne lave sammenlignet med et traditionelt lager, og transporten er billigere sammenlignet med direkte levering. En lagerterminal er til gengæld vanskeligere at styre end almindelige lagre. Det kræver bedre koordinering og overblik over varestrømmen, stiller større krav til konstant indsamling af aktuelle data og kræver øget brug af computere og avancerede algoritmer for at fungere effektivt.

Kontakten mellem forskere og virksomheder sikrer, at forskningen har mulighed for at arbejde med aktuelle problemstillinger, lave realistiske test-cases, og få en god dialog omkring, hvilke aspekter af problemet der er væsentligst, og undervejs blive klogere på, hvilke elementer der måske er blevet overset i første omgang. Samtidig giver det mulighed for at virksomhederne får nye input om hvad der rører sig i forskningsverdenen, og for, at de kan få afprøvet nye ideer i forhold til lige netop deres egen aktuelle situation (boks 2).



Alex Andersen Ølund A/S har omkring en million containerkørsler om året med blomster samt et lignende antal kørsler for at få de tomme containere rundt mellem grossister, gartnerier og terminaler. Få procent sparet tid på hver transport kan betyde millioner af kroner på bundlinjen.

Tid er penge

Et datasæt fra en transportvirksomhed som Alex Andersen Ølund A/S indeholder normalt et afhentningssted, et leveringssted samt et ”leveringstidsvindue”, som er det tidsinterval, hvor sendingen forventes at ankomme til destinationen. Desuden har datasættet oplysning om sendingens emballering, altså om blomsterne er lastet på paller eller står i containere. Datasættene bliver suppleret med virksomhedens oplysninger om, hvor mange biler der i alt har kørt i perioden, og hvilken rute bilerne har kørt. Man kan ligeledes se, om disponenterne på de enkelte sendinger har valgt at sende bilen via en terminal eller ej. På en typisk dag indløber ordrene omkring kl. 13, og så planlægges det derfra, hvilke biler der

kører til terminalerne samme nat, og hvilke biler der skal af sted tidligt næste morgen fra terminalerne. Alex Andersen Ølund A/S har omkring en million containerkørsler om året med blomster, samt et lignende antal kørsler for at få de tomme containere rundt mellem grossister, gartnerier og terminaler. En disponent har typisk omkring 16 faste lastbiler om dagen at holde styr på, men i højsæsonen er det minimum 60 biler, der skal jongleres med. Set fra transportvirksomhedernes synspunkt er det den potentielle tidsreduktion, der er de nye logistikværktøjers helt store gevinst. Hvis den udviklede algoritme tages i brug i praksis, forventes en potentiel reduktion på op til 10 % af transportens samlede tidsforbrug, men selv et mere forsigtigt skøn vil betyde millioner af kroners besparelser og markante miljøgevinster.

Boks 2

"Large Neighbourhood Search"

Mange løsningsheuristikker er baseret på at konstruere nabolagsløsninger ved at lave små justeringer af en eksisterende løsning. I dette projekt har vi anvendt en metode kaldet *large neighbourhood search* (stornabolagssøgning), som bruger lidt større ændringer i hver iteration.

Large neighbourhood search går ud på, at man fjerner op til 30-40 % af de planlagte aktiviteter og derefter indsætter dem i løsningen igen, én ad gangen. I figur 3 ses et lille eksempel på, hvordan LNS fungerer på et simpelt udbringningsproblem, hvor otte kunder skal have leveret varer af tre biler, og hver bil højst kan besøge tre kunder. Øverst ses en mulig løsning, i midten er tre aktiviteter/ besøg fjernet fra løsningen, og nederst er de indsat igen – enten på et nyt sted, eller på det samme sted de var fra starten. Det viste eksempel er meget lille, og derfor overskueligt, og man kan se at der nok ikke findes nogen løsninger, hvor alle kunder besøges, men den samlede kørte afstand er kortere end i den nederste løsning. Når problemet bliver større, stiger antallet af mulige løsninger voldsomt.

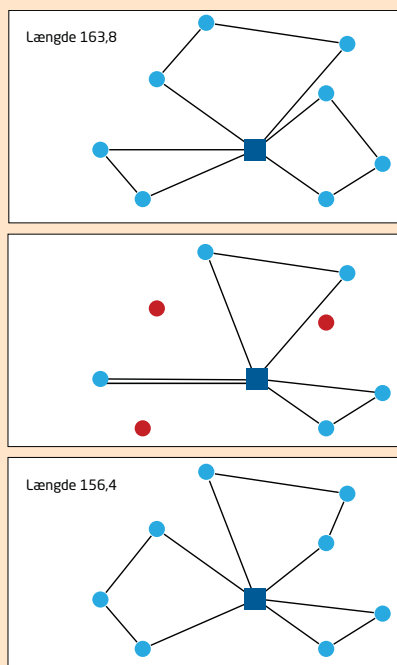


Fig. 3



Transport af varer med kort holdbarhed kan med fordel foregå via hurtigompakning i lagerterminal. Et logistikværktøj kan fortælle planlæggerne, hvilke containere det kan betale sig at sende via lagerterminalen, og hvilke vognmanden bør udbringe direkte til kunden.



Kapitlets forfattere



En af kapitlets forfattere, forsker Hanne L. Petersen.

bus



Optimering af kollektiv transport

Af lektor Allan Larsen og forsker Hanne L. Petersen

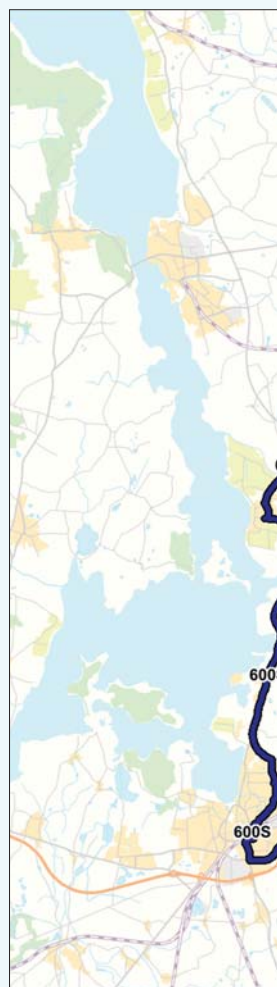
Det kollektive transportsystem er af vital betydning for specielt de større byer. Uden det kollektive udbud af trafik vil vejene sande til, og mobiliteten (fremkommeligheden) mindskes væsentligt. De fleste mennesker, der gør brug af det kollektive transportsystem, stiller sig spørgsmål som: Kan det mon ikke gøres bedre? Hvorfor kommer næste bus ikke, når jeg har brug for den? Kunne det ikke lade sig gøre at lave en køreplan med bedre korrespondance mellem de enkelte busafgange? Svaret på disse spørgsmål er som regel: Jo, det kan ofte gøres bedre, men på bekostning af noget andet, herunder (ofte økonomiske) ressourcer. Derudover er planlægningen af det kollektive transportsystem en særdeles kompliceret og udfordrende opgave. Komplexiteten kommer dels af, at der som oftest er tale om meget store systemer med tusindvis af daglige afgange, der skal koordineres med fysiske og menneskelige ressourcer, dels af de økonomiske rammer, som planlægningen er underlagt.

Den kollektive trafikplanlægning har gennem en lang årrække haft succes med at benytte optimeringsmetoder til at effektivisere planlægningen af driften. Op gennem 1980'erne og 1990'erne har der primært været tale om relativt simple optimeringsmodeller, der har kunnet løse delproblemer af det samlede system. Det seneste årti har de stadigt stærkere computere og forbedrede optimeringsmodeller dog betydet, at det i dag er muligt at begynde at integrere flere delproblemer og dermed opnå løsninger, der er endnu bedre for brugeren, dvs. passagererne, og for trafikudbyderne, dvs. trafikselskaberne, og disses ejere, skatteborgerne.

I dette kapitel beskrives et eksempel på hvordan optimeringsmetoder kan benyttes til at forbedre rejseoplevelsen for passagererne i den kollektive trafik.

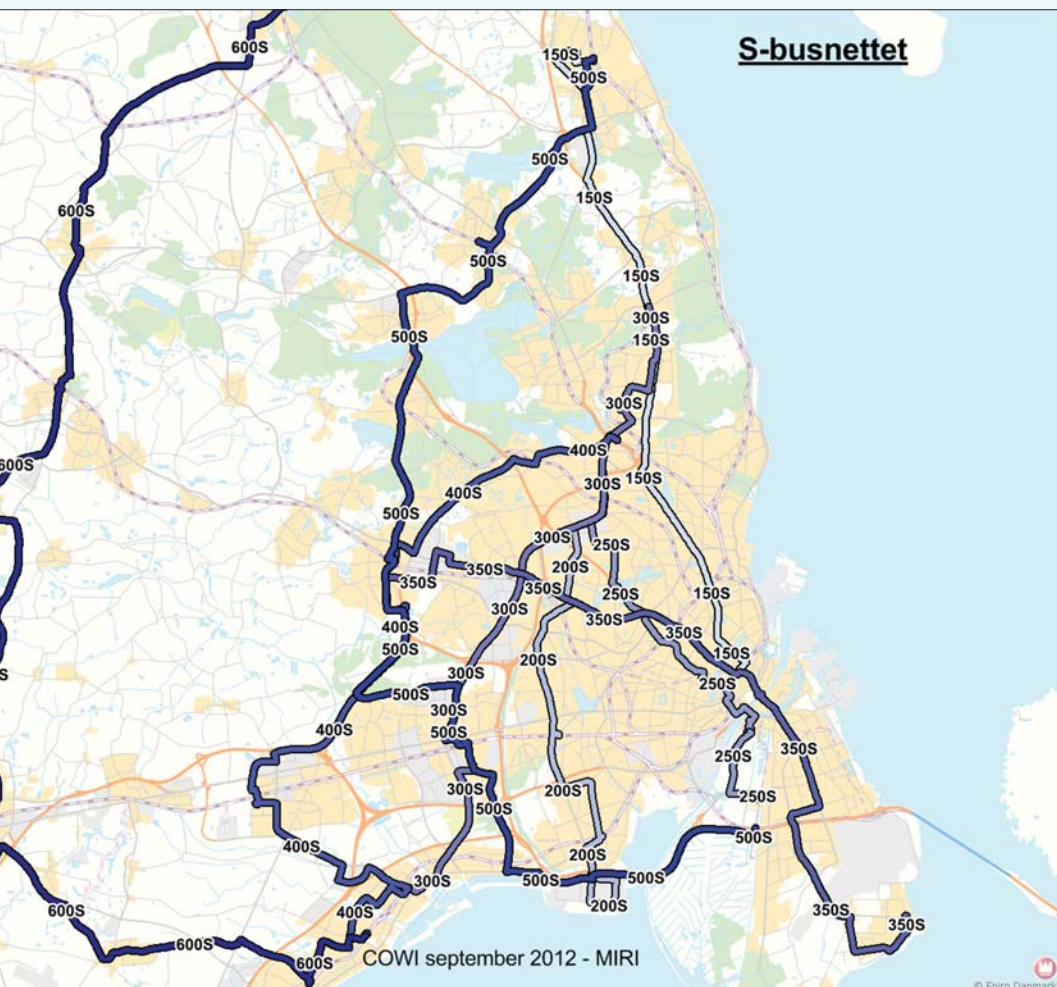
S-tog og S-busser i hovedstadsområdet

Projektet, der er beskrevet i dette kapitel, beskæftiger sig med samspillet mellem bus og tog i lokaltrafikken i hovedstadsområdet – nærmere bestemt mellem S-busserne og S-togene. S-togsnettet består af en række ”fingre”, der løber ud fra centrum, og S-busnettet blev indført i 1990 som et supplement, der skulle løbe på tværs af disse fingre. Sidenhen er der kommet flere S-buslinjer til, således at der både findes tværgående S-busser, som krydser en masse S-togslinjer, og langsgående S-busser, som kører radiale ud fra centrum, ligesom S-togene.



Figur 1. Det københavnske S-togsnet og S-busnet.

Både S-tog og S-busser udgør en væsentlig del af det storkøbenhavnske transportnetværk, og det er derfor vigtigt for de mange daglige passagerer, at der er gode muligheder for at skifte mellem disse forbindelser.



De traditionelle planlægningsfaser

Planlægning af busdrift i kollektiv transport foregår typisk som flere adskilte faser:

1. Netværksdesign
2. Frekvensfastsættelse
3. Køreplanslægning
4. Vognløbsplanlægning
5. Mandskabsplanlægning

De tre første faser har typisk til formål at fastsætte, hvilket serviceniveau kunderne skal tilbydes, mens de to sidste faser fokuserer på at kunne udføre den ønskede service med de lavest mulige omkostninger.

Man starter med selve netværksdesignet, hvor det besluttes, hvordan netværket skal se ud. Hvilke ruter skal køres, hvor skal endestationerne være, og hvilke veje og stoppesteder/stationer skal betjenes på vejen.

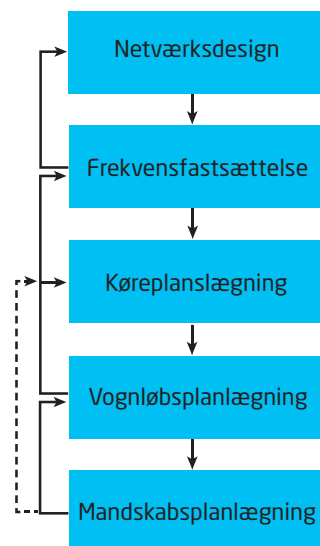
Herefter følger frekvensfastsættelsen, hvor serviceniveauet fastlægges, dvs. hvor mange daglige afgang der skal være på en given rute, og hvor tit bussen skal køre i morgenmyldretid, midt på dagen, eftermiddagsmyldretid, aften, osv.

Køreplanslægning handler derefter om at bestemme de nøjagtige afgangstidspunkter fra hvert enkelt stoppested i løbet af dagen, således at de ønskede frekvenser opretholdes, og der opnås gode skifteforbindelser i vigtige knudepunkter.

Vognløbsplanlægning handler om at afgøre, hvilke køretøjer der skal køre de enkelte afgang. Et "vognløb" er en kombination af ture, der skal køres af den samme "vogn" i løbet af en dag. Det starter på depotet, hvorfra køres ud til afgangspunktet for den første tur. Når denne tur er færdig, kan det være, der skal køres en ny tur, der starter fra samme endestation (dvs. at slutpunktet for den ene tur er startpunkt for den næste), eller det kan være vognen skal køre tom hen til et nyt startsted. Efter at have kørt et antal ture vender vognen tilbage til det depot, den startede fra. Under vognløbsplanlægningen er formålet at kunne gennemføre alle de ture, der kræves af køreplanen, billigst muligt, dvs. med færrest muligt køretøjer.

Til sidst udføres mandskabsplanlægningen, dvs. det afgøres hvilke chauffører der skal køre hvilke ture. Et vognløb vil typisk anvende flere forskellige chauffører i løbet af dagen, da chaufførerne skal overholde regler om f.eks. pauser i løbet af dagen.

Figur 2 viser, hvordan resultatet af hver fase sendes videre som input til den efterfølgende fase, og hvordan man somme tider kan være nødt til at vende tilbage til en tidligere fase, fordi den allerede truffe beslutning måske ikke kan gennemføres i praksis.

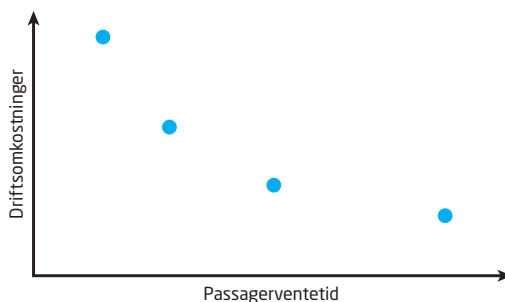


Figur 2. Planlægningens faser.

De fem planlægningsfaser er traditionelt blevet gennemført hver for sig. Det gør, at man i hver fase har et mindre og mere overskueligt problem at arbejde med. Til gengæld gør det også, at man måske går glip af nogle fordele. Hvis man først fastlægger alle afgangstider i hele køreplanen, og derefter prøver at finde den bedste måde at afvikle køreplanen på, med færrest mulig køretøjer, kan man risikere at overse ”nemme” besparelser. Måske ville man kunne spare en hel bus væk, hvis man bare havde kunnet flytte en afgang fra Nørreport Station fra 10:51 til 10:53. Så længe faserne betragtes adskilt, kan denne type fordel ikke udnyttes.

For at løse optimeringsmodeller som den her beskrevne vil man gerne kunne udtrykke prisen for en given vognløbsplan med et enkelt tal, så man nemt kan afgøre, hvilken af to planer der er bedst. Hvis operatøren vil køre busser efter en bestemt plan, skal vi kunne bestemme en pris for denne plan. Omkostningen for operatøren er ret enkel at regne ud: Antallet af kilometer busserne kører (og dermed benzinforbruget), antallet af chauffører der skal bruges, og hvor mange timer de skal arbejde. Men hvad er prisen for, at fem passagerer fra Ishøj til Rødovre skal vente to minutter? Syv minutter?

I denne type problemer er det nødvendigt at kunne foretage en afvejning. For en given vognløbsplan kan vi regne ud, hvad det koster operatøren at køre de nødvendige ture, og vi kan ligeledes regne ud, hvor mange minutter passagererne kommer til at vente. Ved at sammenligne disse to tal vil man ofte se, at jo færre minutter passagererne venter, jo flere penge koster det operatøren at køre busserne. Det er meget sjældent, at den bedste plan for passagererne også er den billigste for vognmanden. Et eksempel på en sådan sammenligning kan ses i figur 3.



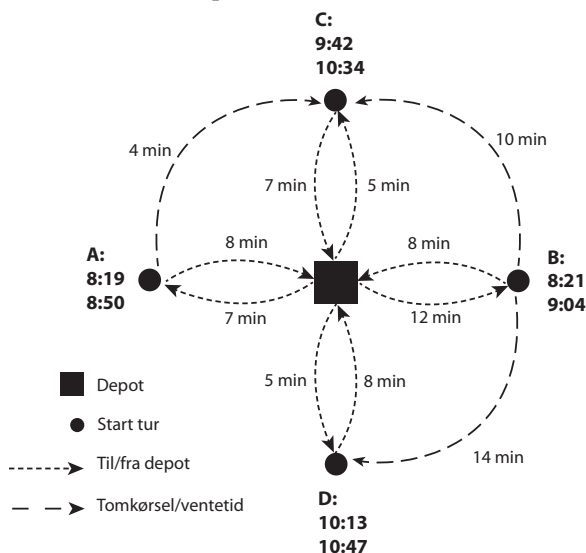
Figur 3. Eksempel på sammenligning af forskellige løsninger.

Sådanne problemer kaldes multiobjektive, da der er flere forskellige mål (*objektiver*) til at måle, hvor god en løsning er. Her er det ikke umiddelbart muligt at udtrykke prisen for en plan med ét tal, således at computeren selv kan afgøre hvad der er ”bedst”. Man kan så enten udvælge et antal løsninger, svarende til figur 3, og lade nogle menneskelige beslutningstagere sammenligne og vælge, hvor mange penge de synes passagerernes tid er værd, eller man kan prøve at sætte en pris på ventetiden, som så kan regnes sammen med driftsomkostningen. I dette projekt har vi valgt den sidste løsning og fortæller nærmere om dette i afsnittet Data.

Vognløbsplanlægning

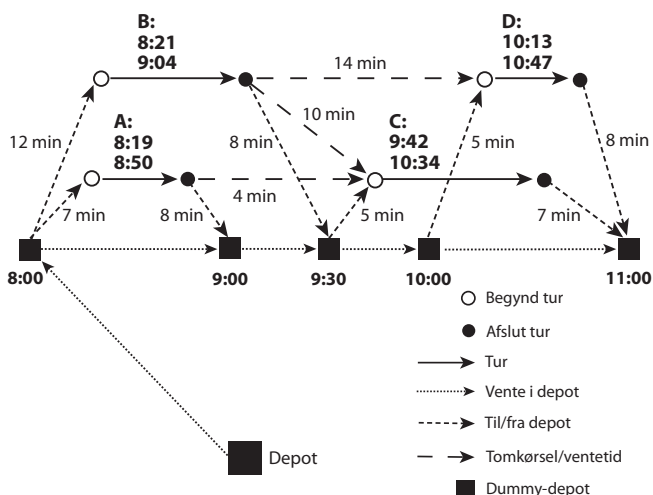
Den løsningsmetode, der er anvendt, er baseret på løsning af et vognløbsplanlægningsproblem (Vehicle Scheduling Problem, VSP), så lad os først give en kort introduktion til dette problem.

I figur 4 ses et eksempel på et simpelt VSP. Der er fire ture, der skal køres, A, B, C og D, vist med cirkler, og et depot markeret med en firkant. Vi kan se på figuren, at tur A starter kl. 8:19, og slutter kl. 8:50, at det tager 7 minutter at køre fra depotet til A's startpunkt, og 8 min. at køre fra A's slutpunkt til depotet. Fra A's slutpunkt til C's startpunkt tager det 4 min. osv. Eftersom B allerede starter kl. 8:21, mens A først er færdig 8:50, er det ikke muligt at betjene tur A og tur B med samme bus. Tur D starter så sent, at hvis man vil betjene den med samme bus som tur A, kan det bedst betale sig at køre bussen til depotet og vente efter tur A, og derefter ud til startpunktet for D.

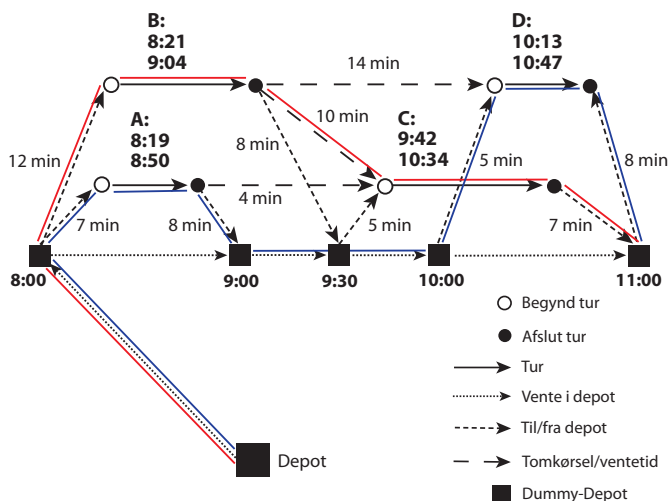


Figur 4: Eksempel på et VSP med 4 ture der skal køres.

Det samme lille problem kan også tegnes som vist i figur 5, hvor tiden forløber på x-aksen fra venstre mod højre. Hver pil i grafen viser noget, en bus kan gøre, og et vognløb består af en sammenhængende vej gennem grafen, der starter i den store depotknode nederst, og slutter i den sidste dummy-depotknode til højre.



Figur 5. Problemet fra figur 4.



Figur 6. Problemet fra figur 4, med en løsning med 2 busser indtegnet.

Figur 6 viser et eksempel på en løsning. Denne løsning bruger to busser til at betjene de fire ture. En bus, der kører tur A og D, og en bus, der kører B og C. Det ses af figuren at den ene bus holder på depotet ca. fra kl. 9:00 til 10:00.

Ved at beskrive problemet som i figur 5 kan man få en fornemmelse af, hvordan problemet kan beskrives matematisk og løses med metoder kendt fra det område af matematikken, der kaldes *grafteori*. En løsning kan beskrives ved at kræve, at der fra hvert punkt i grafen skal gå lige så mange busser ud, som der kommer ind. Hvis vi tilføjer en ekstra "snydepil" fra 11:00 til depotet, gælder dette for samtlige punkter. Herved sikres, at der ikke pludselig er brug for en bus, som ikke er der, fordi vi ved, at grafen også viser, hvornår bussen skal køre hen til punktet. Tilsvarende kommer vi ikke til at have en bus stående efterladt et sted, for hvis en bus ankommer til et punkt, vil der altid være en aktiv pil, som fortæller os, hvor den skal køre hen derfra. For alle de runde punkter kan vi desuden sige, at der skal være helt præcis én pil, der kommer ind, og én, der går ud. Så ved vi, at alle ture er betjent, og at der ikke er dobbeltdækning nogen steder. De firkantede punkter er det valgfrit at benytte, og de må også gerne bruges mere end én gang, som f.eks. punktet kl. 8:00.

Det kombinerede køreplans- og vognløbsproblem

I dette projekt har vi undersøgt mulighederne for at finjustere outputtet fra fase tre, samtidig med at vi gennemfører fase fire. Vi går ud fra, at frekvensfastsættelsen er foretaget, og at et udkast til en køreplan foreligger, men vi er ikke bundet til at skulle bruge præcis den køreplan. Når vi løser køretøjstildelingsproblemet, giver vi algoritmen mulighed for at foretage småjusteringer af køreplanen undervejs ved at forskyde de foreslåede afgangstidspunkter. For at sikre at køreplanerne stadig er gode for passagererne, holder vi øje med, hvordan skiftetiderne ændres, når vi flytter afgangstiderne. Desuden ligger antallet af daglige afgang fast.

Vi går også ud fra, at S-togenes køreplaner ligger fast, så det kun er busserne, vi kan justere. I praksis skyldes dette, at det er sværere at lave køreplaner for trafik, der foregår på skinner, da der er mindre fleksibilitet, og det vil derfor være buskøreplanen, der skal tilpasses togene, og ikke omvendt.

Formålet med projektet er altså at finde en plan for, hvordan busserne skal bruges til at betjene de fastsatte afgange, og producere en plan for, hvilke busser der skal køre hvor. Desuden er der mulighed for at lave nogle justeringer i køreplanerne for at kunne køre turene billigere, men der skal stadig tages højde for passagerernes skiftemuligheder.

Data

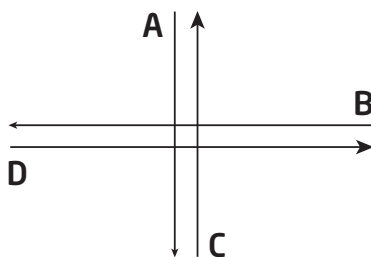
For at kunne finde den mest passagervennlige plan er det nødvendigt at vide hvor mange passagerer der rejser på forskellige strækninger, og hvad det koster at lade en passager vente et antal minutter. Disse oplysninger findes ikke samlet på forhånd. Så kan man enten tage ud og lave en optælling – den skal være meget omfattende, hvis data skal være nøjagtige nok – eller man kan estimere data. I dette projekt er det valgt at estimere tallene, da hovedformålet her var at undersøge muligheden for at integrere to faser af beslutningsprocessen, og ikke at lave faktiske køreplaner baseret på nøjagtige data.

Vi har på forhånd fastsat ca. 40 linjekrydsningssteder, som vi kigger på, hvor der er mulighed for at skifte transportmiddel. Det er typisk S-togsstationer, hvor busserne stopper, og man kan skifte mellem bus og tog, samt nogle enkelte steder, hvor to buslinjer mødes/krydser hinanden. Når en buslinje og en toglinje krydser hinanden, er der 8 skiftemuligheder, som det ses i figur 7. Passagerer, der kommer fra A, kan skifte til enten retning B eller D, passagerer fra C kan ligeledes skifte til enten B eller D, og passagerer, der kommer fra B eller D, kan skifte til A eller C. Der er selvfølgelig ikke lige mange passagerer, der rejser i alle retninger, så det er nødvendigt at have separate estimater for hver enkelt mulighed. Disse afhænger endvidere af f.eks. tidspunktet på dagen.

I praksis vil det også være sådan, at passagerstrømmene ændrer sig, når køreplanen ændres. Hvis der bliver bedre skiftemuligheder på en bestemt forbindelse, vil flere passagerer foretrække denne forbindelse, og hvis der bliver længere ventetid et andet sted, vil disse passagerer måske vælge en anden, hurtigere, rejserute i stedet. Disse effekter er ikke medtaget i dette projekt.

For at finde ud af hvad det koster samfundet at en passager venter i ét minut, har vi brugt en tidsværdi fastsat af et tidligere studie, som siger, at 1 minut koster ca. 1 krone.

Du kan læse mere om tidsværdi i kapitlet: "Hvad koster ti minutter i trafikken?"



Figur 7. 8 mulige skifteretninger: $A \rightarrow B$, $A \rightarrow D$, $B \rightarrow A$, $B \rightarrow C$, $C \rightarrow B$, $C \rightarrow D$, $D \rightarrow A$ og $D \rightarrow C$.



Lynby st.

400

Hundige st.

353

Helsingør st.

94N

Københavns
Rådhusplads

400S

Hundige st.

Prætorium Københavns Kommune Bus
HOLDINGSTYRE

 movia



400	Hundige st.
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	8
9	9
10	10

400S	Hundige st.
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	8
9	9
10	10

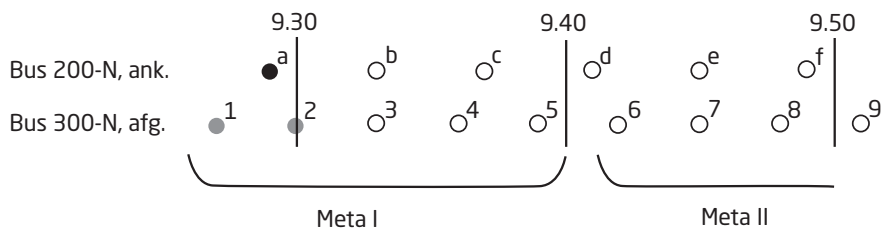
190 Holte st.

4043

Til sidst skal vi finde ud af, hvordan vi vil udtrykke løsningens omkostning i ét tal, som udtrykker både omkostningen fra driften for operatøren, og omkostningen fra ventetiden for passagererne for at løse vores multiobjektive problem. I dette tilfælde har vi regnet omkostningen som summen af disse to beløb. Som vist i figur 3 er der også mulighed for at lave yderligere sammenligninger af disse to forskellige størrelser, og i praksis er det bestemt ikke sikkert, at man vil vægte en krone for operatøren på samme måde som en krone for passageren/samfundet.

Problemløsning

For at løse det kombinerede køreplans- og vognløbsproblem bruger vi en metode, der er beregnet til at løse VSP'er, og som er modificeret til også at kunne justere køreplanen. Muligheden for at justere køreplanen håndteres ved, at hver tur, der skal køres, er duplikeret for at angive de forskellige mulige afgangstidspunkter. Hvis man kigger på figur 5, vil det betyde, at hver af de fire "turpile" erstattes af f.eks. 5 forskudte pile, sådan at én af de 5 skal bruges, men man kan selv vælge hvilken. En sådan tur kalder vi en metatur.



Figur 8. Hvordan skiftet afhænger af afgangstiden.

Vi kan nu se samspillet mellem de forskellige buslinjer i figur 8. Figuren viser forskellige mulige ankomster for linje 200 i nordgående retning (a-f) og tilsvarende mulige afgange for linje 300 nordgående (1-9) fra Lyngby Station. Vi går ud fra, at man ankommer med linje 200 og ønsker at rejse videre med linje 300. For linje 300 kan vi se nederst, at tur 1-5 tilhører samme metatur – dvs. lige præcis en af de fem mulige afgange vil blive kørt. Tilsvarende for afgang 6-10 (afgang 10 er ikke vist på figuren). Det vil sige, at der på linje 300 er en afgang hvert kvarter, men de præcise minuttal er ikke fastlagt endeligt.

Hvis man ankommer til stationen med tur a, kan man ikke køre videre med 1 eller 2, da 1 er kørt allerede, og der ikke er tid nok til at nå 2, inden den afgår. Vi ved, at netop en af afgangene 1-5 vil blive kørt. Hvis det er 3, 4, eller 5, vil denne være den bedste forbindelse videre, men hvis 1 eller 2 køres, vil det i stedet blive afgange fra den næste metatur, der skal bruges. Vi kan således ikke sige på forhånd, hvilke metature der giver muligheder for indbyrdes skift, idet begge de to viste metature kan være bedste forbindelse for tur a, afhængigt af hvordan køreplanen bliver fastlagt.

Brugen af metatursbegrebet giver således mulighed for at sikre, at den nye køreplan ligger tilstrækkelig tæt på den oprindelige – hver afgang kan kun skubbes med et bestemt antal minutter til hver side. Derudover skal der stadig holdes regnskab med skiftemulighederne,

både mellem bus og tog, og fra bus til bus. Disse skift gør det krævende at beregne, hvordan passagerventetiderne påvirkes, når løsningen ændres.

Implementering i praksis

Som beskrevet tidligere er planlægningsprocessen i dag typisk baseret på en trindelt planlægning, hvor de enkelte faser betragtes adskilt pga. problemets store kompleksitet.

Beregningerne viser, at der er potentiale for at reducere passagerernes ventetid ved skift mellem forskellige linjer med op mod 20 %, men hvis en løsning som den her skitserede skal anvendes i praksis, stilles der større krav til nøjagtigheden af de data, der benyttes. Det vil være ganske tidskrævende at fremskaffe de nødvendige data ved manuelle optællinger eller spørgeskemaundersøgelser blandt passagererne.

En anden mulighed er Rejsekortet, som er på vej frem i disse år, og som registrerer den enkeltes rejser mere præcist end det nuværende billetbaserede system. Med en øget udbredelse af Rejsekortet vil der også opstå et bedre overblik over danskernes rejsemønstre, et overblik der kan udnyttes til videre forbedringer i den kollektive transport.

Endelig vil det i praksis være sådan, at når man ændrer på køreplanens afgangstider, vil der også være nogle passagerer, der ændrer rejsemønster. Sådanne afledte effekter bør også inddrages, før man kan træffe endelig beslutning om at indføre køreplaner baseret på skiftetidsforbedringer.

Kapitlets forfattere



En af kapitlets forfattere, lektor Allan Larsen.



Transport og bæredygtig byudvikling

Af seniorforsker Thomas A. Sick Nielsen, adjunkt Maria Josefina Figueroa
og seniorforsker Henrik Gudmundsson



Både i Danmark og resten af verden lever de fleste mennesker i dag i byer, og andelen af bymennesker vil fortsat øges fremover. Byer giver mange fordele og samler viden, teknologi, kultur, handel og information i geografisk overskuelige enheder. Byerne er koncentrerede udbud af boliger, arbejde, service og infrastruktur, og de fungerer som knudepunkter for kommunikation, transport, energi og materialestrømme. De mange fordele kommer dog ikke uden ulemper. Når mange indbyggere samles på lidt plads, opstår trængsel og gener, samtidigt med at afstanden til naturområder og naturressourcer som drikkevand og fødevarer øges. Byer over hele verden står over for store udfordringer relateret til et voksende antal køretøjer og øget trængsel, luftforurening, overudnyttelse af ressourcer, tab af landskab og økosystemer samt sociale og boligmæssige uligheder. Det er dog også i byerne, at det særligt kan betale sig at iværksætte planer og tiltag, der kan skabe bæredygtig udvikling. Dette kapitel gennemgår nogle af byernes udfordringer med fokus på transportproblematikken og viser nogle af de nyeste ideer til, hvordan fremtidens bæredygtige løsninger skal findes.

Byudviklingens udfordringer

Alt tyder på, at stadig større dele af verdens befolkning vil bevæge sig fra landområder til bycentre, og en bæredygtig byudvikling er helt nødvendig for at undgå kollaps. En bæredygtig udvikling må på en gang tage hensyn til økonomiske, miljømæssige og sociale målsætninger samt medvirke til at sikre fremtidige generationers energi- og naturressourcer. Der skal således både tænkes på aktuelle løsninger og på at imødegå de fremtidige problemer, der er uløseligt knyttet til varige ændringer af arealanvendelsen, når natur eller landbrug omdannes til by. I den forbindelse er infrastruktur og transport helt centralt. En velfungerende infrastruktur er en forudsætning for at et byområde kan klare sig i konkurrencen med andre byer om at tiltrække investeringer og arbejdskraft i en global økonomi. Samtidigt er mobilitet, begrænset trængsel og overkommelig rejsetid af stor økonomisk betydning, og af betydning for den livskvalitet en byregion kan tilbyde sine indbyggere. Transportmuligheder og -kvalitet er afgørende for byens sociale bæredygtighed. Trængsel og lange rejsetider giver usikkerhed og tidsspild, der kan have bredere økonomiske, sociale og sundhedsmæssige implikationer. Internationale undersøgelser har eksempelvis påvist, at en kombination af lange pendlingsafstande og stort tidsforbrug har direkte sundhedskonsekvenser.

Biltrafik er et hovedproblem

Hertil kommer naturligvis transportens energiforbrug og emissioner. Når det drejer sig om den olieafhængige transport (benzin og diesel), der ofte har individuel karakter, hvor hver trafikant har stor frihed til at træffe egne rutevalg, har det vist sig at være særdeles vanskeligt at reducere energiforbruget eller opnå "CO₂-neutralitet". Støj og røg udgør naturligvis et særligt stort problem i byerne, hvor trafik-, bygnings- og befolkningskoncentration betyder, at forureningen er permanent, og at mange mennesker udsættes for generne. Historiske tiltag såsom fjernelse af bly fra benzinen, reduktion af svovlindholdet i benzin og diesel



Transportmulighederne har afgørende betydning for den livskvalitet byboerne oplever. Grand Central Terminal New York er formentlig verdens største togstation, når det gælder antal perroner (44). Stationen er i to etager med 41 spor øverst og 26 spor nederst. Stationen er også en af verdens mest besøgte turistattraktioner.

samt katalysatorer og partikelfiltre på bilerne har lettet en række problemer, men partikkelkoncentrationer og NO₂ (luftvejsirritant) fra trafikken udgør dog fortsat et væsentligt sundhedsproblem, også i danske byer hvor det f.eks. skønnes, at flere tusinder dør hvert år på grund af luftforurening.

Transportsystemerne er også indirekte en faktor af betydning for mulighederne for at skabe bæredygtig udvikling af byer og byregioner. Historisk har udbygningen af sporvejsnettet og senere vejnettet samt øget bilejerskab muliggjort en udvidelse af byens areal, og betydet en forøgelse af arealforbruget pr. indbygger. Ny og udvidet infrastruktur har fortsat betydning for bosætningsmulighederne og for lokaliseringen af ny byvækst og nye byarealer. Infrastrukturen lægger i sig selv beslag på væsentlige arealer, og arealforbruget til by og infrastruktur har negativ indvirkning på biodiversitet, rekreative muligheder, vandforsyning og vandafledning, der alt sammen ellers er vigtige elementer i forhold til at opnå en attraktiv byregion og bæredygtig udvikling.



I mange byer forværres trængslen og forureningen af, at tunge køretøjer skal levere varer til byernes forretninger. For at genere mindst muligt i åbningstiden er lastbilerne ofte tvunget til at køre ind til butikkerne i myldretiden, hvor trængslen i forvejen er på sit højeste.

Mod nye byløsninger

På grund af transportens store betydning for byernes økonomiske, sociale og miljømæssige bæredygtighed har samspillet mellem by- og trafikplanlægningen været genstand for omfattende forskning. Moderne designs sigter mod bæredygtige løsninger, både i lille og stor skala, og i det følgende vises eksempler på sådanne løsninger. Forskning har peget på, at byens tæthed, form, serviceniveau, hastigheder mv. har betydning for transportafstande og transportmiddelvalg. Stor tæthed og lille udstrækning fører til mindre brug af bil, og korte afstande til station/stop og højt serviceniveau fører til øget brug af kollektiv trafik. Endelig giver høje cykelhastigheder, fordi cykler og direkte cykelruter prioriteres højere i trafikken, ikke overraskende, øget cykling. Selve byens struktur peger således direkte mod løsninger der imødegår mange af de problemer, der blev skitseret i forrige afsnit. Byregioner, der gør cykling og kollektiv transport tilgængelig, attraktiv og effektiv, kan bidrage til en bæredygtig udvikling.

Betydningen af tilgængelighed

Tidligere har byplanlægningen tilstræbt at reducere gener og risici ved i størst muligt omfang at adskille fodgængere og biltrafik og ved at prioritere stort udbud af kollektiv trafik. Der var imidlertid sjældent medtaget overvejelser om, hvor attraktive de forskellige transportformer blev, og dermed hvilke valg det kunne resultere i. Aktuelle tilgange til byplanlægning – særligt i tætte centerområder – arbejder derfor ofte på at påvirke valget af transportmiddel. Der arbejdes både med at sikre mulighederne for at benytte gang og cykel til og fra nye byområder, men i høj grad også mod stor tilgængelighed for den kollektive trafik, så den bliver et reelt alternativ til biltransport. Den kollektive trafiks grundlæggende ”problem” er, at den er rutebunden og baseret på faste stationer/stop, og at det er nødvendigt også at transportere sig til og fra station/stop, hvilket forlænger rejsetiden væsentligt. Hvis den kollektive trafik skal være et konkurrencedygtigt alternativ, er der behov for korte afstande både mellem boliger og stationer/stop og mellem eksempelvis arbejdspladser og stationer/stop. Stationsnærhedsprincippet for lokalisering af intensive arealanvendelser (=kontorbyggeri), der blev indført i hovedstadsregionen i 1989, har sigtet mod dette, bl.a. for at bidrage til en bæredygtig udvikling.

Metroen til Ørestaden

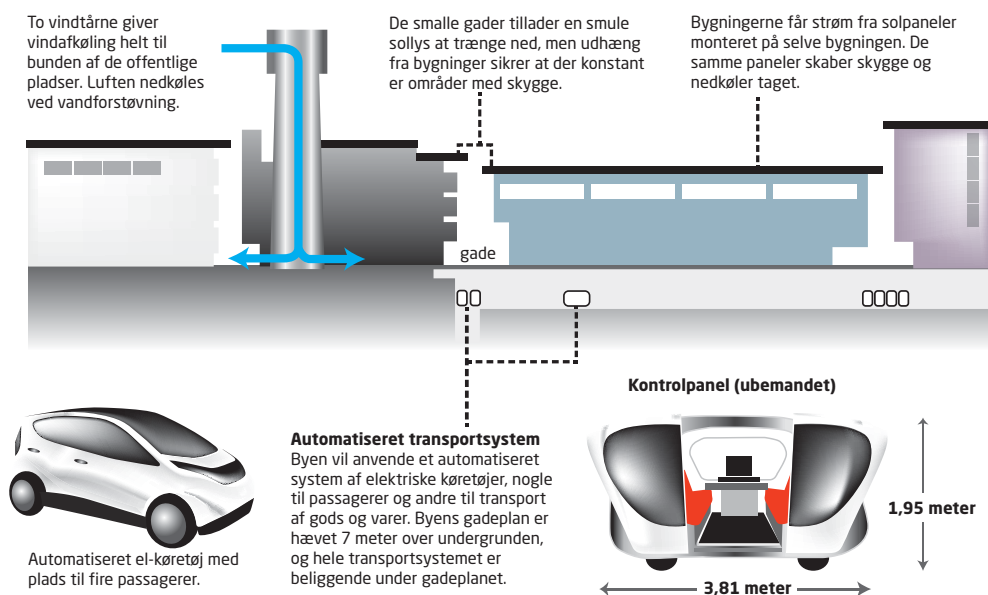
Ørestaden mellem Københavns centrum og lufthavnen er et eksempel på en nyere byplan, der har haft et væsentligt fokus på bæredygtighed, hvilket især er kommet til udtryk i samspillet mellem by og trafiksystem. I Ørestad får næsten hele det nye byområde adgang til en metrostation inden for 600 meter. Herfra afgår metro mod Københavns centrum hvert 4. minut i myldretiden. Ud over det høje serviceniveau på metroen, er bilkørslen begrænset i en række af de tætte bydele, samtidigt med at antallet af parkeringspladser er begrænset og samlet i en række P-huse, som der skal betales P-licens for at bruge. Der er mulighed for at gå og cykle både inden for bebyggelserne, langs vejene op på grønne stier adskilt fra vejene. En grundidé er, at der er nem og direkte adgang for gående og cyklende – mens biltrafikkens fordele reduceres noget gennem parkeringsbegrænsninger og tilkørselsforhold. En egentlig evaluering af Ørestadens succes og betydning for bæredygtigheden foreligger ikke og må nok afvente fuld udbygning af området.

Metroen i Ørestadsområdet i København er planlagt, så der er nem og direkte adgang til stationerne for gående og cyklende – mens biltrafikkens reduceres via parkeringsbegrænsninger og tilkørselsforhold.



Fremtidens by?

Masdar City i De Forenede Arabiske Emirater er et internationalt eksempel på byplanlægning i nært samspil med avanceret miljø, energi, og transportteknologi. Masdar-projektet er tænkt som en visionær totalløsning, der både skal huse en forventet byvækst og fungere som et levende laboratorium for high-tech byudvikling, baseret på bæredygtige løsninger og produkter. Et vigtigt princip er anvendelse af energikilder med "0-udledning", så byens elektricitet kommer fra en solcellepark. Det ekstremt varme klima i området har motiveret en byplan inspireret af traditionelle arabiske byer med smalle gader, der giver skygge, der sammen med en høj tæthed skaber gode muligheder for transport til fods. En høj mobilitet i byen og kvaliteten af gaderum vil opnås ved at fjerne biler og lastbiler fra gadeplan og i stedet tilbyde hurtigt kollektiv trafik inden for byområdet. Brug af biler vil være begrænset til særlige zoner – og ankomende i bil vil normalt skulle parkere uden for det nye byområde. Inden for byen vil en del af transporten komme til at foregå med et automatiseret system af elektriske køretøjer, der kører på et skinnenet under og over jorden (figur 1). De høje omkostninger ved projektet (ca. 22 mia. USD) gør Masdar til et lærestykke i futuristisk byplanlægning, som kan bidrage til udvikling og afprøvning af løsninger, men som det vil være vanskeligt at eftergøre andre steder i verden.



Figur 1. Den planlagte fremtidsby Masdar City får høj mobilitet i byens centrum i kraft af et hurtigt kollektivt automatiseret transportsystem baseret på elektriske køretøjer på et skinnenet 7 meter under jorden. Brug af biler vil være begrænset til særlige zoner.

Indikatorer for bæredygtige transporttiltag

Byens transport er svær at styre, fordi den er et resultat af mange enkeltpersoner og virksomheders beslutninger og den samtidigt påvirkes af infrastrukturen og af en lang række regler og tiltag. Transporten er kompleks, og med undtagelse af helt nyopførte byer som i forrige eksempler vil den altid kun kunne designes delvist. For at følge med i, om udviklingen foregår i en bæredygtig retning, og om politik og tiltag fungerer efter hensigten, er der behov for indikatorer. Det kan være en opgørelse over, hvor der er mindst trængsel, mindst forurening, og hvor der er lavest ulykkesrisiko. Det kan også være hvorvidt byen er let at færdes i, eksempelvis en opgørelse over, om varer og personer kommer frem til tiden. Indikatorer er et tal (eller en anden målestok) for et eller andet vigtigt aspekt af trafikken. Antallet af mennesker, der bliver kørt ned hvert år, er eksempelvis en god indikator for trafiksikkerheden. På samme måde er antallet af personer, som anvender bil, tog eller cykel for at komme på arbejde, er overordnet indikator på, hvor gode vilkår de enkelte transportformer har i byen (boks 1). I de seneste år er trafikens energiforbrug og CO₂-udslip medtaget som vigtige indikatorer på byens trafikale bæredygtighed. En indikator kan således vise noget om et problem, men ikke alt, og tilsvarende kan en vifte af indikatorer vise meget om en bys bæredygtighed, men langt fra alt.

Boks 1

Københavns Kommunes cykelregnskab

Udviklingen i en række indikatorer måles år for år og sammenholdes med mål for år 2015. Går det den rette vej mod målene?

	96	98	00	02	04	06	08	10	15
MILJØMETROPOLEN - MÅL									
Andel, der cykler på arbejde (%)	30	30	34	32	36	36	37	35	50
Alvorligt tilskadekomne cyklister (antal pr. år)	252	173	146	152	125	97	121	92	59
Antal cyklister, der er trygge (%)	60	58	57	56	58	53	51	67	80

Fremtid og udfordringer

Det er i virkeligheden meget vanskeligt at opnå entydige mål for, hvorvidt den ene by har en mere bæredygtig transportstruktur end en anden by. Man skal sikre målinger af alle de vigtige punkter og opføre data i "søjler" i de økonomiske, sociale og miljømæssige "regnskaber". Dernæst skal man huske at sammenligne regnskaberne på tværs. Hvis eksempelvis trafikken glider hurtigt og sparer tid, ser det fint ud i den økonomiske søjle, men såfremt trafikken samtidig forbruger store mængder energi eller kun fungerer godt for de mest vel-

havende trafikanter, så giver det tab for både miljøet og i det sociale regnskab. Man skal ligeledes kunne sammenligne betydningen af de valgte indikatorer på tværs. Mener man eksempelvis, det er vigtigere, at luften er ren, end at alle har kort afstand til et busstoppested? Endelig skal man helst måle og anvende indikatorer på samme måde i alle byer – hvilket absolut ikke er tilfældet i dag, hvor der kun findes ufuldstændige sammenligninger. Man kan derfor fortrinsvis anvende indikatorer i den enkelte by, f.eks. til at følge om de vedtagne planer faktisk medfører forbedringer. Uden indikatorer famler man i blinde under byplanlægningen.

Transportplanlægningen i fremtidens bæredygtige byudvikling skal selvfølgelig består i at bevare flest mulige positive elementer og reducere flest muligt negative. De sidste årtiers vækst i trafikken har baggrund i, at befolkningen har påskønnet og udnyttet den forbedrede individuelle mobilitet. Denne individuelle mobilitet har imidlertid store miljømæssige omkostninger og medfører store gener, når den foregår i tætte byområder. Særligt er en stor del af klodens nye megabyer i højvækstlande tæt på et trafikalt sammenbrud. Mange forskere og trafikplanlæggere peger på behovet for fleksible ”multimodale” transportløsninger, der prioriterer og udnytter fordelene i kollektiv trafik i kombination med cykel og gang, men samtidig sikrer alternative muligheder, når og hvor dette ikke rækker. Behovet for at kombinere høj mobilitet med større miljøhensyn vil præge udviklingen af byregioner, infrastruktur og service i fremtiden.

Kapitlets forfattere



En af kapitlets forfattere, seniorforsker Henrik Gudmundsson.



Megabyerne i de nye højvækstlande er tæt på at nå et trafikalt sammenbrud. Væksten skaber øget transportmængde og løfter millioner af mennesker ud af fattigdom og ind i den hastigt ekspanderende middelklasse. Den forbedrede økonomi medfører, at cykler og knallerter udskiftes med biler, hvilket naturligvis yderligere forstærker trafikproblemerne.



Pendling i Danmark

Af seniorforsker Ninette Pilegaard og
seniorforsker Thomas Alexander Sick Nielsen



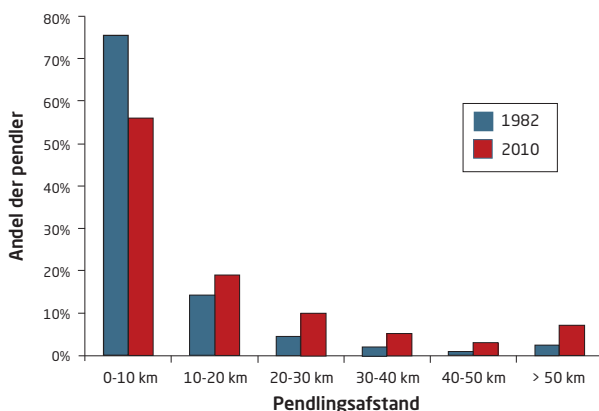
Pendling opstår bl.a. når folk sælger deres arbejdskraft. Når folk hver dag skal udbyde deres arbejdskraft på et arbejdsmarked, må de rejse mellem hjem og arbejde for at kunne gennemføre denne transaktion. For flertallet af danskerne begynder pendling med industrialiseringen omkring midten af 1800-tallet, hvor der for første gang blev betydelig fysisk adskillelse mellem hjem og arbejdsplads. Parallelt blev transportsystemerne ændret og opgraderet, og siden er pendlingsomfanget, de tilbagelagte afstande og udviklingen i trafikken stort set kun øget. Pendling kan samfundsøkonomisk opfattes som en omkostning, et økonomisk tab på grund af de direkte udgifter til transportmidler, el, benzin m.m. samt et tab af tid, der også har en værdi. Samtidig er pendling dog også en nødvendig forudsætning for at opretholde det arbejdsmarked, som vi kender. Pendling er påvirket af personlige præferencer samt socioøkonomiske forhold (alder, uddannelse, antallet af børn), arbejdsmarkedsforhold, bopælslokalisering samt virksomhedens lokalisering og udvikling. Både adgangen til transportmidler og udbygningen af infrastrukturen med bl.a. flere motorveje bidrager til at øge rejsehastighederne og dermed mulighederne for pendling.

Pendlingens historie

I det førindustrielle samfund eksisterede pendling i praksis ikke. Hovedparten af befolkningen var beskæftiget i landbruget eller som en del af håndværkerhusstande. Boligen var for de flestes vedkommende nærmest identisk med arbejdspladsen, og den daglige bevægelsesradius var sjældent længere end boligens umiddelbare nærhed. Industrialiseringen adskilte gradvist arbejdssted fra boligen. I første omgang i meget lille skala, idet en stor del af arbejdskraften fortsat boede på virksomhedernes område, mens de øvrige arbejdere måtte pendle til fods. Som en konsekvens blev industrialiseringens storbyer meget tætte, og industriområderne var centralt placeret. Udviklingen af hurtig og billig transport, kollektiv såvel som individuel, banede gennem 1900-tallet vejen for udvikling af forstæder. Byerne blev arealmæssigt større og mindre tætte, og pendling mellem forstæder og by blev normen for en meget stor del af befolkningen. I nutidens samfund er det ofte muligt for husstande at sprede arbejdsplads, uddannelsessted, fritidsaktiviteter og service i et geografisk udstrakt hverdagsrum omkring boligen. Pendlingen mellem hjem og arbejde har historisk udgjort den væsentligste del af husstandenes transporter, men ser i dag ud til at blive overhalet af trafik til og fra andre aktiviteter. Pendlingen har dog fortsat stor betydning som den dagligt tilbagevendende tur, der påvirker mange andre funktionelle sammenhænge i Danmark, og ikke mindst trængslen på vejene.

Pendlingsstatistik 1982 til 2012

Danmarks Statistik har hvert år siden 1982 opgjort data for pendling, hvilket giver mulighed for at følge og sammenligne udviklingen over tid. I 2010 var den gennemsnitlige afstand mellem hjem og arbejdssted 19,7 km, mens det tilsvarende tal for 1982 var 11,8 km – altså en vækst på 7,9 km eller 67 %. Der er ikke umiddelbart sammenlignelige tal fra før 1982, men forskellige undersøgelser foretaget af Københavns Kommune for det storkøbenhavnske område angiver en gennemsnitlig pendlingsafstand på 1,75 km i 1911 og 3,42 km i 1945. Væksten mellem 1982 og 2010 skal således ses som det seneste led i en lang udvikling. Til trods for en forøgelse af arbejdsstyrken er der et direkte fald i antallet af beskæftigede, der pendler mindre end 10 km mellem hjem og arbejde. Samtidig stiger andelen for lange pendlingsafstande. Fra 1982 til 2010 er der sket mere end en fordobling af folk, der pendler over 30 km (figur 1).



Figur 1: Fordelingen af danske pendlere på pendlingsafstande, 1982 og 2010. Væksten i personbilparken foregår helt parallelt til væksten i pendlingsafstandene. Antallet af personbiler pr. 1000 indbyggere voksede fra 263 i 1982 til 397 i 2010.



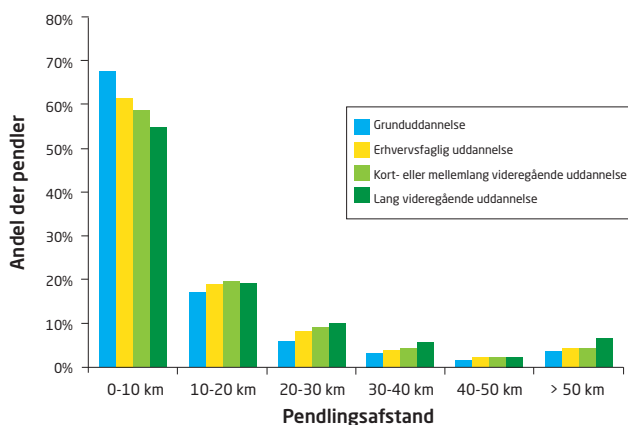
Pendling har stor funktionel vigtighed og er ikke mindst betydende for belastningsniveauet af de offentlige transportmidler og trængslen på vejene.

Hvad er en pendler?

Ordet pendler kommer fra tysk og betegner én, der pendulerer, dvs. bevæger sig frem og tilbage. I udgangspunktet har pendling således ikke kun betegnet pendling til job, men også til skole og uddannelsessteder, som rejser der foregår dagligt eller regelmæssigt. Mange forskellige statistiske konventioner har gennem tiden været i brug af praktiske årsager. F.eks. at der skulle anvendes et transportmiddel, eller at kommunegrænsen skulle krydses, for at man blev "talt med" som pendler. Den mest holdbare definition er dog salget af arbejdskraft og bevægelsen fra hjemmet til et arbejdssted. Den aktuelle danske statistik opgør alene pendling til job, uden inddragelse af oplysninger om transportmidler eller krydsning af administrative grænser. Oplysninger om pendling til skole og uddannelser skal findes i andre undersøgelser.

Pendling i forhold til uddannelse

Pendlingsafstanden er generelt større jo længere uddannelsen er. Figur 2 viser sammenhængen mellem uddannelsens længde og pendlingsafstand (i 2002). Holdt op mod nyere tal er udviklingen klar. Længere pendlingsafstande karakteriserer alle uddannelsesgrupper. Færre pendler kort, mens flere pendler langt. Det er en bred bevægelse, hvor også ufaglærte og folk med kort uddannelse pendler længere og længere. Dette skal nok ses i lyset af de danske arbejdsmarkedsforhold. Det danske arbejdsmarked er i internationalt sammenhæng meget fleksibelt, med stor hyppighed af jobskift. I Danmark er vi i gennemsnit 4,7 år i samme job mod 8,2 år som EU's gennemsnit. Udskiftning af arbejdskraft (jobomsætning) er således relativ høj, hvilket gælder næsten alle jobkategorier.



Figur 2: Fordelingen af pendlere efter pendlingsafstand og længste fuldførte uddannelse, 2002.

Er pendling et økonomisk tab?

Pendlingens særlige rolle og efterspørgsel rejser spørgsmålet om, hvorvidt pendling skal forstås som et rent økonomisk tab?

Transportøkonomer antager normalt, at den tid, der bruges på pendling, har en værdi for pendlerne svarende til ca. 50 % af deres bruttoløn (på timebasis). De direkte monetære omkostninger til transport (f.eks. benzin) er normalt af samme størrelsesorden. Betyder dette så, at tiden og pengene brugt på pendling blot er "tabt" værdi for pendlerne, eller påvirker pendlingen også arbejdsmarkedet på strukturel vis? Som nævnt er pendling essentielt for udbuddet af arbejde, men udgør samtidigt en væsentlig omkostning for pendleren. Gennemsnitspendleren tilbagelægger ca. 8.700 km om året, bruger i tid, hvad der svarer til 7 døgn, samt ca. 32.000 kroner i direkte udgifter (tal beregnet for 2011) på at transportere sig mellem hjem og arbejde. Men har omfanget af pendling også betydning for eksempelvis lønninger og arbejdsudbud eller for produktiviteten i virksomhederne? Dette er et område, som har stor interesse. Det kan tænkes, at arbejdsudbuddet ændrer sig som følge af pendlingsafstanden, men empiriske studier antyder hidtil, at det ikke, eller næsten ikke, er tilfældet for den enkelte pendler. Dog kan man ikke afvise, at ændringen i pendlingsomkostninger, f.eks. pendlingsafstanden, påvirker udbuddet for det samlede arbejdsmarked, dvs. beskæftigelsen og arbejdsløsheden.

Pendling i forhold til lønninger

Både i Danmark og internationalt ses en positiv sammenhæng mellem lønninger og pendlingsafstand, altså at folk med længere afstand til arbejdet også typisk får højere løn. Men skyldes dette, at lønnen påvirkes af pendlingen i sig selv, eller er det alene et spørgsmål om selektion, altså at kun dem, som kan få en høj løn, pendler langt? Det er velkendt, at selektion spiller en stor rolle i denne sammenhæng, men studier peger på, at pendlingsomkostninger i sig selv også kan påvirke lønnen.

På et konkurrencedygtigt arbejdsmarked uden søgefriktioner (søgefriktioner opstår, når det kræver tid og kræfter at finde og ansøge om nyt job) foreskriver teorien, at virksomhederne ikke fastsætter lønniveauerne på baggrund af arbejdstagernes pendlingsafstand, for lønniveauerne er baseret på arbejdstagernes marginale produktivitsniveau. Hvis en virksomhed imidlertid nyder en vis grad af monopsonistyrke¹ på arbejdsmarkedet, som gør det muligt at betale lønninger, der ligger under det marginale produktivitsniveau, kan virksomheden evt. betale kompenserende lønninger til arbejdstagere med længere pendlingsafstande. Hovedårsagen hertil er, at der er større sandsynlighed for, at arbejdstagere med lange pendlingsafstande kan finde andre jobs indenfor kortere afstand. De forskellige teoretiske monopsonimodeller bekræfter denne formodning. Pendlingsafstandens effekt på lønningerne ser ud til at være statistisk signifikant og positiv.

¹ Monopsoni = købermonopol



Omfanget af pendling følger den generelle udvikling i velstand og er resultat af øgede muligheder, øget specialisering samt ændringer i livsstil og forbrugsmønstre.

Værdien af pendling i Danmark

Danmark er blandt de lande, der har den højeste bilbeskatning (en ny bil beskattes med op til 180 % af prisen uden skat). Næsten 40 % af befolkningen bor i det tætbefolkede hovedstadsområde, hvor den kollektive transport er veludbygget. Da klimaet er relativt mildt, og landet er fladt, er cykling forholdsvis udbredt til pendling. Som følge heraf er det kun en mindre del af befolkningen, som kører i bil på arbejde. Samtidig er den gennemsnitlige pendlingstid den ene vej kun 20,5 minutter. Langt de fleste arbejdstagere tilbagelægger relativt korte afstande på cykel eller med kollektiv transport. For disse arbejdstagere kan selv små ændringer i pendlingsafstanden (f.eks. 1 km) have betydelige konsekvenser for deres pendlingstid. For en cyklist med en gennemsnitsfart på 16 km/t betyder en kilometer længere transport den ene vej eksempelvis en daglig stigning i pendlingstiden på otte minutter, svarende til ca. 1,67 % af værdien af personens totale arbejdskraftudbud pr. dag. Hvis der skulle gives fuld kompensation for pendlingstiden, skal lønningerne øges med 1,67 % for at kompensere cyklisten.

I Danmark har alle med mere end 12,5 km til arbejde hver vej ret til et skattefradrag (befordringsfradrag eller kørselsfradrag). Denne skattenedsættelse er baseret på et fradrag, der har til formål at kompensere for de monetære omkostninger pr. kilometer pendling, dvs. brændstofudgifter, afskrivninger på bilen mv. I gennemsnit svarer disse fradrag til en stigning i nettolønnen på ca. 1/3 af fradraget.

Hvorfor pendler vi?

Transport og pendling har en særlig rolle inden for økonomisk teori – det er nemlig ikke en konventionel vare, der efterspørges for sin egen skyld. Efterspørgsel efter transport må forstås som afledt efterspørgsel. De fleste rejser udføres, fordi personen eller husholdningen skal nå et eller andet mål. Tilsvarende er en persons pendling afledt af behovet for at udbyde arbejdskraft (sælge tjenester) på et arbejdsmarked og derved tjene penge til at kunne efterspørge andre konventionelle varer (fødevarer, tøj, fritidsaktiviteter osv.). Den er således påvirket af personlige præferencer samt socioøkonomiske forhold (alder, uddannelse, antallet af børn), arbejdsmarkedsforhold, bopælslokalisering og virksomhedens lokalisering.

Tidsforbrug og stress i forbindelse med pendling

Amerikanske forskere formulerede i 1970'erne ideen om rejsetidens konstans (Zahavis lov). De opdagede, at når de sammenlignede forskellige lande til forskellige tider, var rejsetiden næsten konstant. Omvendt betød dette samtidig, at de tilbagelagte afstande så ud til at afhænge af rejsehastigheden, altså hvor langt man kunne nå indenfor den faste rejsetid. Ideen har været kritiseret, fordi der mangler et adfærdsteoretisk grundlag, samtidig med at gennemsnittet for et land dækker over meget store interne variationer. Den gennemsnitlige rejsetid er dog stadig forbløffende konstant – eller i det mindste kun langsomt foranderlig. Det gennemsnitlige tidsforbrug for pendling mellem hjem og arbejde (én vej) lå i Danmark i 2002 mellem 21 og 22 minutter. For København, 1911, er den blevet opgjort til ca. 19 minutter og tilsvarende for 1945. Rejsetiden er således næsten uændret gennem 90 år, mens gennemsnitshastigheden på turen mellem hjem og arbejde er steget fra 5,5 km/t i 1911 over 11 km/t i 1945 til 44 km/t i 2002.

Rejsehastigheden lader således til, om ikke at være årsag, så dog forudsætningen for udviklingen i pendlingsafstandene. De psykologiske og sociale begrundelser forbliver dog uafklarede. En række undersøgelser har fokuseret på sundhedsmæssige konsekvenser af pendling i form af øget stress og følgesygdomme såsom hjerte-karsygdomme o.l. Stress og presset på tidsbudgettet udgør en plausibel forklaring på, hvorfor længere rejser forudsætter højere hastigheder, men forklarer ikke, hvorfor højere hastigheder hidtil ikke er blevet omsat til kortere rejsetid. Udviklingen ser faktisk ud til at gå mod længere rejsetider, men den udvikling forløber langsomt.

Pendling i fremtiden

Pendlingens fremtid har ofte været i fokus i forhold til tankerne om bæredygtig udvikling eller "smart cities" som forventes at blive ressourceeffektive byer uden trængselsproblemer. Globaliseringen og den stadige forbedring af informations- og kommunikationsteknologien åbner naturligvis for nye måder at bo, arbejde og pendle på. I hvilken grad disse muligheder kommer til at ændre pendlingen afhænger imidlertid af, hvor mange som kan udnytte de nye muligheder, hvordan de vil bruge disse muligheder, og om arbejds- og fritidsrelationer, der foregår via digitale medier og kanaler, vil vise sig at have samme værdi som nutidens "face-to-face" relationer.

Hvis blot alle de idioter havde
taget toget, kunne jeg have
været på golfbanen nu!



Valg af transportmiddel

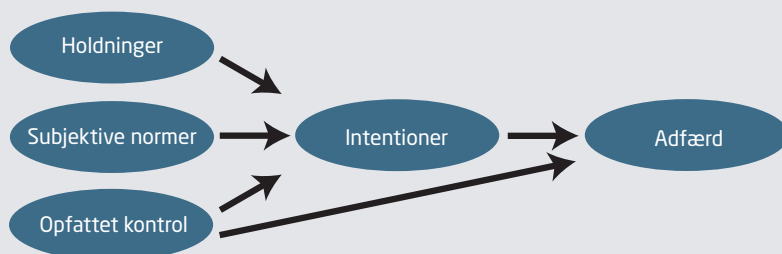
Af lektor Anu Kristiina Siren og forsker Sonja Haustein

Det er velkendt, at privatbilisme bidrager til alvorlige miljøproblemer, både lokalt og globalt. Mange mennesker har imidlertid et positivt billede af bilen og forbinder den uløseligt med frihed, status og livskvalitet. Bilen opfattes ydermere som en nødvendighed for at få hverdagens praktiske gøremål til at hænge sammen. For at reducere bilismens skadevirkninger kan man forsøge at udvikle tekniske løsninger samt forbedre infrastrukturen, så bilerne ikke behøver køre så langt, og man kan prøve at bryde bilisternes adfærdsmønstre og få dem til at vælge andre transportmidler. Men at ændre adfærd er nemmere sagt end gjort. Der er nemlig mange forskellige faktorer, der spiller en rolle i vores adfærd, og som influerer på de valg, vi foretager i dagligdagen.

Vi ved, at infrastrukturen har stor betydning for mobilitetsadfærd. Hvis der eksempelvis kun er få offentlige transportmuligheder, bliver folk naturligvis nødt til at benytte bil, selv om de egentlig var motiverede til at tage bus eller tog. Men vi ved også, at ud over infrastrukturen er personrelaterede faktorer som sociodemografiske forhold (alder, indkomst, køn) samt holdninger (værdier, normer, motivation) også bestemmende for specifikke aktiviteter og dermed valg af rejsemål, ruter og transportmiddel. Trafikpsykologerne er især interesserede i holdninger som et element i transportmiddelvalg samt mulighederne for at påvirke adfærd gennem ændringer i disse.

I en anerkendt "teori om planlagt adfærd" antages det, at det enkeltelement, der har størst betydning for en persons adfærd, er intentionen om at gennemføre en adfærd. Modellen er bl.a. blevet brugt til at forklare sundhedsadfærd, men den er også anvendt i sammenhæng med transportadfærd, eksempelvis til at forudse brug af transportmidler under givne forhold. I modellen betragtes individets adfærd som baseret på intentioner, der igen er baseret på tre elementer:

- Holdninger (Hvad sker der, hvis jeg gør X, og er det det, jeg ønsker?)
- Subjektive normer (Hvad synes de andre, hvis jeg gør X?)
- Opfattet kontrol (Er X tilladt eller muligt? Hvor let eller svært er det for mig?)



Ifølge teorien kunne man altså opnå adfærdsændringer ved at skabe ændringer i holdninger, subjektive normer samt opfattet kontrol. En del kampagner rettet mod at skabe holdningsændringer i forhold til transportmidler har været baseret på teorien. Det er eksempelvis forsøgt at skabe mere

positive opfattelser af den offentlige transport og andre transportformer, der er mere miljøvenlige end biler. Subjektive normer kan påvirkes ved at skabe kollektive holdningsændringer vedrørende bestemte transportmidler. For eksempel kan man prøve at gøre cykling mere cool gennem markedsføring, kampagner og ved brug af de sociale medier. Man kan også bruge økonomiske incitamenter til at gøre udvalgte transportmidler mere attraktive. Visse steder har man f.eks. forsøgt at tilbyde tidsbegrænset gratis offentlig transport til folk, som normalt kører i bil. Erfaringer fra flere af sådanne forsøgsordninger vil danne grundlag for at finde den mest effektive metode til at skabe varige adfærdsændringer hos privatbilister. Omvendt kan teorien også benyttes til at gøre transportsystemet bedre og tilpasse det til kundernes ønsker og behov og derved fremme en adfærdsændring. Det er sandsynligt, at et punktligt offentligt transportsystem fører til positive associationer hos brugere.

Vil man gå mere radikalt til værks, kan man skabe adfærdsændring gennem påbud eller kontrol. Det kunne være ved at indføre regler, der begrænser brug af visse transportmidler eller helt forbyder disse i bestemte områder eller i visse tidsperioder. I 1970'erne blev der indført bilfrie søndage pga. energikrisen, hvilket formindskede brugen af privatbiler betydeligt. Mens sådanne midler skaber store adfærdsændringer, bliver de dog ofte set som et for stort indgreb mod den personlige frihed, og det ser ikke ud til, at der foreløbigt er udsigt til politiske tiltag i retning af forbud for at regulere privatbilismen.









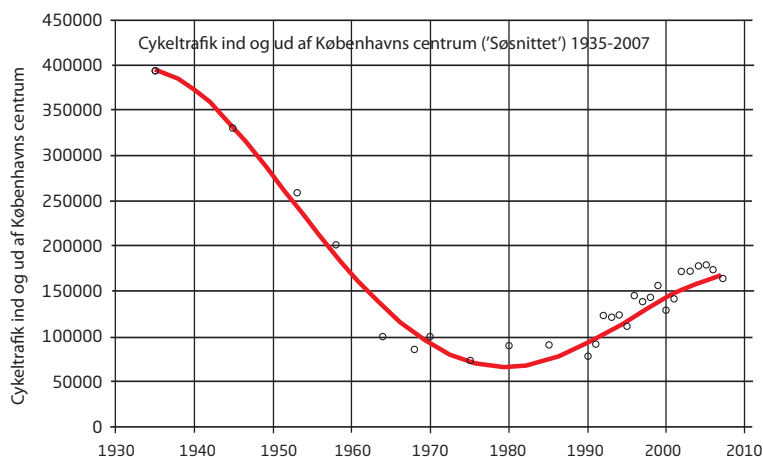
Cyklen - redskabet til sundhed og bedre miljø

Af seniorforsker Thomas Alexander Sick Nielsen,
seniorforsker Linda Christensen
og seniorrådgiver Thomas C. Jensen

Der er talrige gode argumenter for at fremme cyklen som transportmiddel, naturligvis navnlig over korte afstande. Cyklen giver CO₂-neutral transport og bidrager ikke til forurening af byer og boligområder, og netop på korte ture forurener biler relativt mere og har større energiforbrug, fordi motoren belastes af koldstarten, og fordi de korte ture ofte gennemføres i byområder. Ud over miljøgevinsten betyder cyklen fysik aktivitet og dermed øget sundhed i befolkningen, og ikke mindst i lyset af den kraftige stigning i antallet af overvægtige og medfølgende livsstilssygdomme er der endnu en grund til at fremhæve cyklen. Der er næppe tvivl om cyklens generelle fortræffeligheder, og Folketinget har da også målrettet investeringer mod cykelprojekter for at opretholde og fremme cyklens udbredelse som transportmiddel i Danmark. Vejdirektoratets cykelindeks, der er baseret på oplysninger fra tællestationer fordelt over hele landet, har dog peget på, at cykling er vigende og dermed, at en styrkelse er påkrævet. Men hvor mange danskere cykler egentlig jævnligt, hvorfor cykler vi, og over hvor store afstande bevæger vi os på cykel? I dette kapitel præsenteres de grundlæggende data for cykling i Danmark. Fokus er på, hvilken andel af transporten på rejser op til 22 km ud og hjem der foregår til fods eller på cykel.

Cykling i København før og nu

Københavns Kommune har siden 1930'erne foretaget tællinger af cykler, der passerer gennem ringen af søer omkring den indre by (figur 1). For København gælder det – ligesom som for de fleste byer i Europa – at der var flest, som cyklede før 2. verdenskrig. Efter 1945 er cykling faldet stabilt efterhånden som bilen har gjort sit indtog, med 1970'erne som et historisk lavpunkt. Efter 1970'erne er cykling i København igen vokset betragteligt, og det kan være fristende at kæde udviklingen sammen med 1970'ernes energikrise og de "bilfrie" søndage, der naturligvis stimulerede cykling. Det er dog bemærkelsesværdigt, at væksten i cykling er noget særligt for København, der kun ses tilsvarende i få andre byer i Europa.



Figur 1. Cykling i København fra 1935 til 2009.

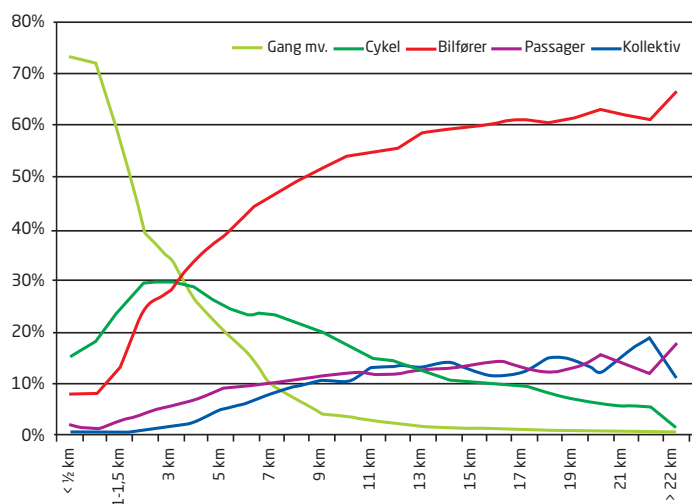
De overordnede tal for cykling i Danmark

Forskning ved DTU Transport har afdækket, hvordan befolkningen rejser på korte ture, hvordan de vælger transportmiddel, samt hvilke faktorer der har indflydelse på valget. Hovedkilden til forskningen er Transportvaneundersøgelsen, som hvert år indsamler viden om ca. 10.000 danskeres transportadfærd inden for et døgn. Læs mere om Transportvaneundersøgelsen i kapitlet: "Sådan transporteres danskerne". Undersøgelsen viser, at for rejser over 22 km for den samlede ud- og hjemrejse anvendes cyklen meget lidt, og den er således i praksis ikke et alternativ til bilkørsel på lange strækninger.



Cyklen anvendes primært på korte ture på mellem 1 og 10 kilometers længde.

Danskerne i aldersgruppen 10-84 år cykler i gennemsnit 0,49 ture, eller 1,45 km om dagen. I forhold til den samlede persontransport svarer dette til 17 % af alle ture og 4 % af det samlede antal km, vi tilbagelægger. Cyklen har tydeligvis sin styrke på korte, men ikke alt for korte ture, hvor gang er dominerende (Figur 2). Det sidste skyldes formentlig, at på helt korte ture vil den tid, det tager at hente, oplåse, parkere og låse cyklen være relativt lang i forhold til transporttiden.



Figur 2. Rejsernes fordeling på transportmiddel afhængig af rejselængden. Beregnet for alle rejser i 1998-2006 for danskere på 18-84 år. Fly, færge og turistbus o. lign. er udeladt af opgørelsen.

Boks 1

Scenarier og vægtede analyser

De viste figurer i kapitlet er ikke baseret direkte på tallene fra transportvaneundersøgelsen, men på analyser, der viser, hvor meget forskellige faktorer såsom rejsens længde og formål, personens alder, uddannelse og biladgang osv. påvirker transportmiddelvalget. På basis af disse analyser opstilles såkaldte scenarier, der viser de enkelte faktoreres betydning hver for sig, når man fastholder de øvrige faktorer.

Eksempelvis viser de "rene" tal, at unge cykler mere end andre aldersgrupper, men når man tager højde for (kontrollerer for) det faktum, at unge har færre kørekort og mindre adgang til bil end ældre aldersgrupper, så cykler unge ikke mere end andre aldersgrupper. Kontrollen finder i dette tilfælde sted ved at udregne transportmiddelvalget i en hypotetisk situation, hvor alle aldersgrupper har samme andel af kørekort, biladgang osv.

Hvem cykler og går mest?

Antallet af biler og antal af kørekort i familien har stor betydning for, hvor meget henholdsvis cykel og bil anvendes. En scenarieberegning (boks 1) baseret på de sammenhænge, der er mellem bilejerskab og transport i den danske befolkning, viser, at hvis ingen familier havde bil, ville hele 57 % af turene blive gennemført på cykel – og yderligere 9 % til fods.

Resultaterne i Tabel 1 giver en idé om, hvad der sker, når familien får bil, og bil nummer to. Tallene viser, at det primært er cyklen, som bliver opgivet til fordel for bilen. Der cykles

mere i familier med én bil og to kørekort end i familier med 2 biler, fordi der i det tilfælde ofte er mindst én voksen, der ikke kan bruge bilen. Resultaterne tyder på, at når familien får bil nummer to, lægges cyklen helt på hylden. For familier med 2 biler er det således kun 7 % af transportarbejdet, der foregår på cykel. Enlige er en smule mere tilbøjelige til at lade bilen stå og cykle end både par og familier med 2 biler. I tabellen er der taget højde for bl.a. aldersforskelle.

Tabel 1. Modelberegnet transportmiddelfordeling på korte rejser målt i km afhængig af antallet af kørekort og biler i familien kontrolleret for øvrige variable. Kollektiv trafik indgår ikke i modellen.

% af km	Ingen bil	2 personer med 2 kørekort		1 person med ét kørekort
		Én bil	2 biler	
Cykel	57 %	17 %	7 %	10 %
Gang	9 %	5 %	4 %	5 %
Bilfører	19 %	67 %	82 %	83 %
Bilpassager	16 %	11 %	7 %	2 %
I alt	100 %	100 %	100 %	100 %

Børn medfører lavere brug af cykler

Børn i familien er den vigtigste årsag til, at folk vælger at køre i bil (Tabel 2). Transportarbejdet i bil øges med omkring 2 procentpoint for hvert barn, familien får. Børn skal transporteres, og det er bilen særlig velegnet til. Dette medfører i sig selv dog ikke mindre transport til fods og på cykel. Forældrene kører derimod mindre i bil som passager, og dermed mere i bil hver for sig (og antagelig med deres barn/børn i bilen). Når familien får det første barn, øges andelen af kilometer, familien går. Når børnene bliver ældre, forsvinder denne effekt igen.

Tabel 2. Transportmiddelfordelingen for voksne, der har børn i forskellige aldersgrupper kontrolleret for øvrige variable.

% af km	Ingen børn	0-4 år	5-9 år	10-15 år
Cykel	17,0 %	16,3 %	18,7 %	16,9 %
Gang	5,4 %	6,6 %	4,2 %	4,5 %
Bilfører	67,8 %	69,3 %	69,6 %	69,8 %
Bilpassager	9,8 %	7,8 %	7,6 %	8,8 %
I alt	100 %	100 %	100 %	100 %

Alder, indkomst og cykling

Alderen viser sig at have nogen betydning for transportmiddelvalget (Tabel 3). Når der er taget hensyn til biladgang, stilling, indkomst mm., er resultatet overraskende, at yngre under 35 år går og cykler lidt mindre end de fleste andre aldersgrupper, og de kører mere i bil. De 18-24-årige kører mere i bil som passager, antagelig fordi mange bor hjemme i familier med bil. De 25-34-årige har den højeste andel bilkørsel som fører, 71 %, og de 65-75-årige har den laveste, 66 %.

Tabel 3. Transportmiddelfordelingen afhængig af alderen kontrolleret for øvrige variable.

% af km	18 - 24	25 - 34	35 - 44	45 - 54	55 - 64	65 - 74	75-
Cykel	15,2 %	15,0 %	17,2 %	18,4 %	19,1 %	18,4 %	14,7 %
Gang	4,6 %	4,8 %	5,2 %	5,4 %	5,2 %	5,9 %	5,6 %
Bilfører	68,8 %	70,6 %	70,0 %	68,2 %	66,7 %	65,8 %	67,9 %
Bilpassager	11,4 %	9,6 %	7,6 %	8,0 %	9,0 %	9,9 %	11,9 %
I alt	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

Jobtype, stilling og indkomst betyder kun lidt for, hvor meget der cykles eller køres i bil, når man har taget højde for biler i husstandene. Når folk med højere indkomst kører mere i bil end lavindkomstgrupperne, skyldes det således blot, at de oftere har bil, men ikke andre sociale faktorer.



Jobtype, stilling og indkomst betyder kun lidt for, hvor meget der cykles eller køres i bil.

Hvor og hvornår cykles?

Terrænets beskaffenhed har stor betydning for, hvor meget der cykles. I de fladeste dele af Danmark er det 21 % af transportarbejdet, der gennemføres på cykel, mens det i de mest kuperede områder kun er 10 %. Samtidig forøges bilens andel af transporten fra 66 % i de fladeste områder til 74 % i de mest bakkede. Temperaturen har, måske ikke overraskende, ligeledes stor betydning for, om transportmidlet er cykel eller bil. Ved en temperatur på 20 °C er cyklernes andel af transportarbejdet oppe på 21 %, mod 14 %, når temperaturen er nede på frysepunktet. Fodgængertrafikken er generelt 19 % lavere om sommeren end om vinteren. Overraskende nok har vind og nedbør kun en ganske lille betydning for om transportmidlet er cykel eller bil.



Ikke overraskende falder brugen af cykler med temperaturen.

På hvilke typer ture cykles mest?

Rejsens formål er i mange tilfælde afgørende for, om der cykles eller køres bil (Tabel 4). For indkøb og transport af varer samt afhentning og udbringning af personer foregår kun 10-15 % af transporten til fods eller på cykel. Ved indkøb er det 12 %, der foregår på cykel mod 76 % i bil (som fører). Når der skal hentes og bringes ting eller børn og andre familiedemedlemmer, er det 8 %, der foregår på cykel og hele 84 % i bil (som fører). Bilen er også det foretrukne valg for erhvervsrejser (72 %), hvor der fokuseres meget på at spare arbejdstid.

Tabel 4. Transportmiddelfordelingen for hvert rejseformål - kontrolleret for øvrige variable

% af km	Arbejde alene	Arbejde kombineret med andet	Fritid	Hente/bringe	Indkøb	Erhvervsrejser
Cykel	28,8 %	25,2 %	14,5 %	7,9 %	11,7 %	16,9 %
Gang	2,8 %	3,1 %	9,0 %	3,8 %	3,7 %	2,7 %
Bilfører	61,1 %	66,5 %	62,9 %	84,3 %	76,0 %	72,3 %
Bilpassager	7,3 %	5,2 %	13,6 %	4,0 %	8,6 %	8,2 %
I alt	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

Helt anderledes forholder det sig med pendling/arbejdsrejser. Omkring 30 % af transportarbejdet på disse rejser foregår til fods eller på cykel. Hvis der skal ordnes ærinde på vejen, er andelen lidt mindre end 30 %, og hvis det er en direkte ud- og hjemtur uden andre ærinde på vejen, er procentdelen lidt højere.



Dagslys har en vis betydning for transportmiddelvalget, men stort set kun for kvindernes vedkommende. Efter solnedgang falder kvindernes transport til fods fra 5,9 % til 4,4 %, og på cykel fra 18,6 % til 15,7 %.

Hvordan kan cykling stimuleres?

Der eksisterer nogle klare trafikale sammenhænge, der påvirker vores valg af transportmiddel, og dermed også, hvorvidt færre eller flere tager cyklen. Langsom fremdrift i bilkørsel eksempelvis på grund af omveje, lave hastigheder eller hyppige bilkøer vil gøre cykling mere attraktivt som alternativ. Det samme gælder parkeringsmulighederne og parkeringsafgifter – der kan gøre bilkørsel mere besværligt i forhold til cyklen. Omvendt vil hurtig fremdrift i bilkørsel samt gode og billige parkeringsmuligheder styrke bilismen på bekostning af cyklen. Uden at inddrage biltransport som sammenligningsgrundlag er der også en række direkte tiltag, der kan fremme cykling. Det kan være bedre og mere direkte cykelruter og prioritering af cykler i kryds, så forsinkelser mindskes. Gode cykelparkeringsfaciliteter med høj sikkerhed mod tyveri og hensigtsmæssig placering af disse faciliteter er også med til at gøre cykling behagelig og sikker.



Talrige, gode og hensigtsmæssigt placerede cykelparkeringsfaciliteter er et vigtigt punkt, hvis cykling skal fremmes.



Kampagner for at få flere til at cykle er almindelige. I Danmark har der været forsøg på at opnå forskellig rækkevidde for budskabet og kampagner til forskellige målgrupper. Eksempler er "Alle Børn Cykler" (150.000 deltagere i 2011) og "Vi cykler til arbejde" (93.444 deltagere i 2011). Begge er tilbagevendende tiltag rettet mod hhv. skolebørn/skoler og voksne/arbejdspladser, og begge kampagner tager udgangspunkt i, at indirekte forhold som faciliteter, klubber eller organisering gennem institutioner og arbejdspladser kan spille en rolle i forhold til at stimulere cykling.

Cyklen som strategisk politisk redskab

I Danmark arbejder en række kommuner med at fremme cykling under overskriften "Cykelby". Der planlægges og gennemføres tiltag som bedre infrastruktur for cyklister, planer for fremme af lokal sundhed, målsætninger for cykling, kampagner og opmærksomhedsskabende events. Odense har været National Cykelby, og både Aarhus og København har meldt deres kandidatur. En del andre byer og kommuner søger også i samme retning. F.eks. deltager Frederikshavn, Randers, Viborg og Silkeborg i projektet Nordiske Cykelbyer, hvor udvikling af cykelstrategier, cykelregnskaber o.l. indgår. Cyklingen indgår i stigende grad i en "pakke" der skal være med til gøre byen attraktiv for tilflyttere og borgere, og som noget, der gør danske byer mere synlige i udlandet, hvor der mange steder netop er stor interesse i at fremme cyklingen. Resultatet har været en opprioritering af cyklingen og en udvikling af infrastrukturen, det var svært at forestille sig for bare 10 år siden.

Forskningen på DTU Transport har afdækket, at såfremt bilers køretider forøges med 25 %, kan biltrafikken på korte rejser reduceres med 3 procentpoint og cykeltrafikken tilsvarende øges med 2 procentpoint (målt i bilers og cyklers andel af transportarbejdet/km på korte rejser). Hvis man kan komme 10 % hurtigere frem på cykel, øges cyklernes andel af transporten med 2 procentpoint. En kombination af 25 % langsommere bilkørsel og 10 % hurtigere cykling kan tilsammen reducere biltrafikken med 5 procentpoint.

Tvivl om hvad der er effektivt

Betydningen af at bo i en kommune med en markant cykelpolitik og højtprofilerede cykeltiltag kan vurderes ved at se på, hvilke transportmidler der har været valgt i Odense, Aalborg og København i henholdsvis 1998/99 og 2002/2003. I løbet af perioden er biltrafikken faldet med godt 1,5 procentpoint i Odense og knap 1,5 procentpoint i Aalborg, mens der for København ikke kan ses en ændring. Cykeltrafikken er steget med 1,5 procentpoint i Aalborg og 2 procentpoint i Odense. Ændringernes størrelse er behæftet med stor usikkerhed, ikke mindst fordi transportadfærd varierer fra dag til dag og fra person til person. Cykelkampagnen 'Vi cykler til arbejde' ser derimod ud til at have en markant effekt i selve kampagneperioden, hvor transportarbejdet på cykel øges med 7 %.



Det ser fortsat ud til, at cyklen realistisk kun vil kunne erstatte korte bilture. Da en stor del af biltrafikken er lange ture, vil selv en langt større cykelfremmende indsats kun have forholdsvis lille betydning for danskernes samlede biltrafik. Der er dog en relativt større effekt på CO₂-udslippet, da de korte bilture i højere grad er koldstarter. Desuden vil der være en positiv effekt i byerne i forhold til lokal luftforurening og generelt bymiljø. Hertil kommer betydningen for folkesundheden af den fysiske aktivitet, der følger af øget cykling – en gevinst der er stort set uafhængig af, om øget cykling hænger sammen med mindre bilkørsel. Det er dog vanskeligt at vurdere, hvilke tiltag og især hvilke kombinationer af tiltag der samlet både kan flytte ture fra bil til cykel og i almindelighed få flere til at cykle mere og længere. Den fremtidige forskning kan med fordel fokusere på, hvordan gode cykelvaner etableres og vedligeholdes, herunder betydningen af skoler og arbejdspladser, på hvilke kampagner der virker, og hvilke grupper af brugere som der skal tages hensyn til, når man planlægger øget cykling. Der er også behov for at vide mere om, hvilke kvalitetsparametre der er vigtige for at gøre cykling attraktivt, herunder spørgsmål om tryghed i trafikken, hastighed og kvaliteten af cykelstier og ruter.

Kapitlets forfattere



To af forfatterne: Seniorforsker Thomas Alexander Sick Nielsen (tv.) og seniorrådgiver Thomas C. Jensen.





P
Eldelebiler
2 vogne

Elbiler - ledestjerne eller luftkastel?

Af seniorforsker Linda Christensen, seniorforsker Ole Kveiborg
og adjunkt Stefan Lindhard Mabit

Den globale opvarmning har gjort CO₂-reduktion til et højt prioriteret område både i Danmark, EU og verdenssamfundet. Mens det fra international politisk side foreløbig kniber med at forpligte sig til de konkrete mål for reduktionen, som klimaforskerne peger på er absolut nødvendige, er der talrige forslag til, hvordan vi hver især kan gøre en indsats for at begrænse CO₂-udledningen. Et meget lovende tiltag kunne være at erstatte vores nuværende benzin- eller dieseldrevne bil med en elbil. De seneste år er der kommet nye hurtige, smarte og højtydende elbilmodeller, og alt efter model er rækkevidden i dag mellem 100 og 500 kilometer. Tilsyneladende er elbilen nu et troværdigt alternativ til konventionelle biler. Når vi som forbrugere selv skal bestemme, hvilken bil der er bedst, er der imidlertid mange andre faktorer end CO₂-effektivitet, der er afgørende. Bilafgifter, antal og placering af ladestandere og køretøjets sexappeal kan også spille ind, så er det overhovedet realistisk at flytte folk over i elbiler? Ville du købe en elbil som din første bil i dag, og hvor meget mindre CO₂-udledning giver det egentlig, hvis en stor del af os erstatter benzinbilen med en elbil? Det er nogle af de spørgsmål, som forskerne forsøger at finde svar på. Svarene kan være med til at bestemme, hvordan verdens trafikale fremtid skal se ud.

Elbilernes indlysende fordele

Elbilers drivmiddel er elektricitet fra genopladelige batterier. Der er allerede flere biler på markedet, som ligner traditionelle biler, og flere vil komme til (se tabel 1). Der er således allerede elbiler som i design og ydelse modsvarer konventionelle sportsvogne, men hovedparten af elbilerne befinder sig fortsat i de små klasser. En elektrisk motor er mere effektiv end en traditionel benzin- eller dieselmotor og derfor skal en elbil anvende mindre energi til at køre den samme distance. Størstedelen af energiproduktion i dag forurener og producerer CO₂, men hvis det politiske mål om, at 50 % af Danmarks elektricitet skal komme fra vindkraft i år 2020 bevares, betyder det en ekstra dimension til elbilernes muligheder. En elbil, der kører på strøm dannet fra vindmøller, giver principielt ingen CO₂-udledning eller anden forurening. Ydermere kan en elbil fungere som et fleksibelt batteri, der kan lagre vindmøllernes overskudsproduktion, og kan således direkte indgå i fremtidens intelligente og fleksible elnet. En elektrisk motor har ingen udstødning og genererer meget lidt lyd, hvilket indebærer store fordele, især i bycentre med meget trafik og ved motorveje, hvor støjgenerne i dag er ganske betragtelige. Fra politisk side er der udbredt velvilje til at se på afgiftssystemet for biler, så det fremover sandsynligvis også bliver økonomisk attraktivt at erhverve sig en elbil. Med alle disse fordele vil det være logisk at forvente, at størstedelen af den eksisterende bilpark hurtigt blev erstattet med elbiler, men der er en række forhindringer, der indtil videre ikke gør en udskiftning realistisk.

Tabel 1. Tekniske egenskaber ved udvalgte elbiler, der forhandles i Danmark (2011)

Fabrikant	Mitsubitsi	Peugeot	Citroën	Nissan	Renault	Renault	Peugeot	Tesla
Model	iMiEv	iOn	C-Zero	Leaf	Fluence Z.E.	Kangoo	Partner Van	Roadster
Type	4 sæders	4 sæders	4 sæders	5 sæders	5 sæders	2 sæders	2 sæders	2 sæders/sport
Topfart	130 km/t	130 km/t	130 km/t	145 km/t	135 km/t	130 km/t	112 km/t	200 km/t
Rækkevidde	150 km	144 km	150 km	175 km	160/185 km ¹	170 km	120 km	400 km
Batterikapa-citet	16 kWh	16 kWh	16 kWh	24 kWh	24 kWh	24 kWh	23 kWh	~60 kWh ²
Maksimal motoreffekt	47 kW	47 kW	47 kW	80 kW	70 kW	44 kW	42 kW	215 kW

Testbilister afslører mangler

Kun et fåtal blandt os er virkelig dybt interesserede i teknikken bag vore mobiltelefoner, computere, tv-apparater og biler. Vi er tilfredse, når blot tingene fungerer pålideligt og som forventet. Fra forbrugerens synsvinkel er den vigtigste forskel på almindelige biler og elbiler derfor opladningsmetoden. Batterierne i en elbil bliver ladet ved at tilslutte bilen til en strømkilde, og med den nuværende teknologi skal elbilerne oplades hver nat ved hjemmet i stedet for på en benzintank, som man er vænnet til fra almindelige biler. Der er gennemført flere pilotprojekter, hvor elbilernes køreegenskaber og anvendelighed blev undersøgt, og hvor testbilisterne også blev spurgt om, hvorvidt de selv ville anskaffe sig en elbil.

Resultaterne viser, at elbilerne overordnet set klarer de tiltænkte opgaver godt. Bilerne fremhæves som pålidelige, og testbrugerne er særligt tilfredse med køreegenskaberne, støjsvagheden og med, hvor nemt de vænner sig til at køre i elbil. Brugernes forbehold over for elbiler handler blandt andet om den høje pris og den lave tophastighed. De væsentligste indvendinger er imidlertid elbilens begrænsede rækkevidde og den lange opladningstid, der på nuværende tidspunkt ligger på 8-11 timer ved opladning via en 10 AMP strømkilde.

Forskellige opladningsmetoder

I dag findes der primært tre forskellige metoder til at oplade elbiler:

- Skift af hele batteriet. Det giver den fordel, at man altid kan sætte det udtagne batteri til opladning mens man kører, men ekstra batterier er kostbare for tiden er prisen på et 20-24 kWh batteri 75.000 kr. som dog forventes at falde til 10.000 kr. i løbet af nogle år. Fordelen ved udskiftning er naturligvis størst, hvis man har et bevægelsesmønster som dagligt bringer en tilbage til det opladede batteri.
- Standardladning (10-16 AMP 1 fase). Den langsomme, men billigste opladning, som forventes at foregå ved hjemmet om natten, eventuelt suppleret med lignende opladning på arbejdspladsen. Varighed omkring 6-10 timer for en fuld opladning. Da der ofte er overskud af elektricitet om natten, specielt når produktionen foregår med vindmøller, vil prisen ofte være noget lavere om natten. I teorien kan man sagtens forestille sig, at prisen er tæt på 0 kr.
- Hurtigladning (16-64 AMP 50 kW). En quick-lader kan oplade et bilbatteri til 80 % af fuld ladning på omkring 20 minutter Disse ladere er særdeles kostbare i indkøb. Der regnes med, at en lynladestationen i dag koster 6 mio. kr. faldende til 2 mio. kr. i 2015, og de vil formentlig kun blive opsat ved udvalgte indkøbscentre og butikskæder.

Endelig arbejdes der på at udvikle trådløse ladere, der fungerer via elektrisk induktion. Induktionsteknologien kan overføre energi til bilen via magnetisk udveksling mellem en ladestander, der i princippet kan placeres i kørebanen, og en adapter i bilen. Lige nu er energitabet dog for stort til, at teknologien er konkurrencedygtig.

Opladning er det største problem

På dage, hvor elbilen skal køre længere end de 100-150 kilometer, der, alt efter bilmodel, i dag er de fleste elbilers normale rækkevidde, skal bilen også oplades uden for hjemmet. Ved at sammensætte data fra to danske undersøgelser, en med 350 biler hver med en GPS-måler installeret, og den anden den store Transportvaneundersøgelse (se også kapitlet "Danskerne transportvaner") har forskerne afdækket hvor ofte elbiler skal oplades uden for hjemmet, og dermed har man også et godt bud på, hvor mange ladestander, der skal opsættes rundt omkring i landet, for at et skifte til elbil er realistisk. Analysen viser, at på en gennemsnitlig enkeltdag vil mere end 80 % af familierne kunne klare sig med blot den natlige opladning ved hjemmet. Men ikke overraskende ændres behovet markant, når man betragter kørsels-vaner over en længere periode. I løbet af to uger er det således 82 til 95 %, som har behov for opladning uden for hjemmet (figur 1 og tabel 2). Da 70 % af alle husstande i Danmark kun ejer én bil, er det indlysende, at der skal etableres et stort netværk af ladestander, hvis elbiler skal blive et almindeligt alternativ til de konventionelle biler.

DTU Transport har udviklet en model til at optimere lokaliseringen af et sådant netværk af ladestander til quickladning. Modellen viser, at hvis elbiler har samme transportadfærd som konventionelle biler, vil det med kun 15 stationer være muligt at dække behovet for batteriskifte for 96 % af de bilister, der har brug for dette. Med 30 batteriskiftestationer eller 50 quickladere vil det antal, der ikke kan nå frem til ladning før de løber tør for strøm, være minimalt. Hvis man har en batteriskiftobil, vil langt de fleste kunne klare sig med én eller højst 2 batteriskift i dagens løb, mens biler med fast batteri skal lade mindst 2-3 gange i dagens løb.

Det nødvendige antal besøg ved de enkelte stationer vil typisk være mellem 50 og 100 for de mest besøgte stationer i 2020 og kun ret få besøg ved de mindst besøgte. Så mange besøg vil skabe kapacitetsproblemer på quickladestationerne, hvis ikke der findes mindst 50 af disse. For batteriskiftestationerne er der kun behov for 2 parallelle skiftelinjer på enkelte af de mest besøgte.

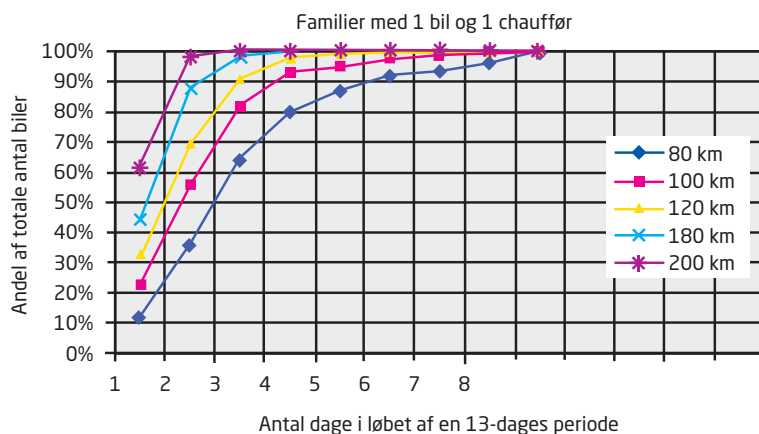
Standerbehov fremover

Den første forudsætning, der skal være på plads, hvis man skal erhverve en elbil, er, at der skal placeres en ladestander eller installeres et elstik ved køberens bopæl. Det helt store problem er dog at få opsat standere til de mange potentielle brugere, som bor i lejligheder, hvor der ikke umiddelbart kan etableres adgang til egen lader til den nødvendige natlige opladning. Det er beregnet, at hvis 100.000 familier i Danmark hver køber en elbil, vil der være behov for 9.000 ladestandere ved fortovs-kanten, heraf halvdelen af standerne i København og halvdelen af resten (dvs. 1/4), der skal fordeles mellem Aarhus, Aalborg og Odense. De 9.000 ladestandere har hver to udtræk, så to elbiler kan oplades samtidig, og for at det samlede behov kan blive dækket, forudsættes det, at standerne kan benyttes af andre elbiler, når ejerne er taget på arbejde eller til andre aktiviteter. En sideløbende undersøgelse påviser, at såfremt ladestandere bliver almindeligt udbredte i bycentre, kan over halvdelen af opladningerne uden for hjemmet med fordel foregå, mens føreren alligevel har sat bilen for at deltage i møder, indkøb, sport etc. Men der kan opstå kapacitetsproblemer i bycentrene i weekender, hvor flere besøger venner og går på restaurant, i biografen og benytter andre kulturelle tilbud eller besøger seværdigheder. Givet at de første godt 9.000 offentlige standere etableres, er behovet 4-5.000 nye standere for hver 100.000 elbiler, som bilparken vokser med. Opladning i forbindelse med fritidsaktiviteter kan ikke erstatte opladning hjemme og ved arbejdspladsen, da den tid, der som regel er til opladning, ikke er lang nok til at lade batteriet helt op.

Tabel 2.

Rækkevidde	80 km	100 km	120 km	150 km	200 km
Familier med en bil og to familier-medlemmer med kørekort	1.82	1.70	1.54	1.38	1.26

Tabellen viser det gennemsnitlige antal quick-ladninger pr. dag for elbiler der har behov for at oplades den pågældende dag

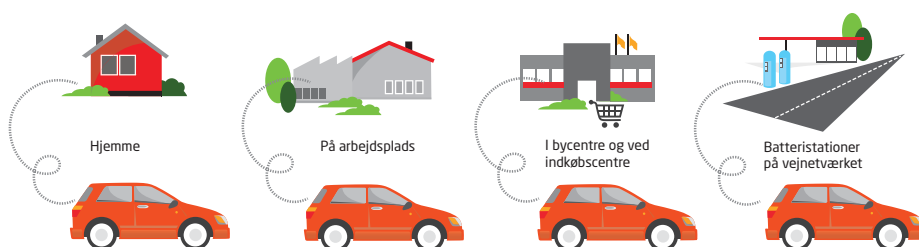


Figur 1 viser det maksimale antal dage i en to-ugers periode, hvor en chauffør må oplade bilen, ud over den natlige opladning ved hjemmet. Hver kurve svarer til en bestemt kørt distance og angiver den andel af chauffører, som kun har behov for at oplade henholdsvis højst en dag, højst to dage, højst tre dage etc. Data er for aleneboende i Storkøbenhavn.

Ladestandere for millioner

Hvis elbiler skal have almindelig udbredelse, forventes det således, at der skal være lade-faciliteter ved alle boliger, men det formodes, at to husstande kan deles om en stander i tætbebyggede områder. Derudover skal der opsættes standere ved bilejernes arbejdspladser. Selv om der kun er tale om 10 eller 16 AMP standere med 1 fase, og hver ejer formentlig selv finansierer standeren ved hjemmet, vil en indkøbspris på ca. 10.000 kr. pr. stander formentlig afholde mange arbejdspladser fra at opsætte et stort antal standere, medmindre op-sætningen støttes økonomisk, eller etablerings- og driftudgifter deles mellem virksomhed og medarbejdere med elbil. Ud over dette potentielle problem forventes det offentlige at skulle betale for opsætning af standere i bycentrene. Hovedparten af de offentlige standere skal have en høj effekt (min. 16 AMP 1 fase) for at kunne fungere under indkøbsture og de andre kortvarige aktiviteter, som folk normalt foretager sig i centrum. Derudover er disse ladestandere væsentligt dyrere (30-50.000 kr. pr. stander) end de standere, der kan benyttes ved arbejdspladser og private boliger, da de skal være sikret mod tyveri af strøm og mod hærværk. Den anslåede udgift til de offentlige standere er omkring 120 mio. kr. i de største byer og 50 mio. kr. til andre lokaliteter, og finansieringen forventes at foregå ved bruger-betaling (se tabel 3).

Med det anslåede antal bilister, som har brug for opladning, vil en pris på 20-22 kr. i afgift, ud over elprisen, pr. opladning være realistisk, hvis der er tale om enkeltstående brug. Hvis man dagligt har behovet, vil beløbet sandsynligvis forekomme alt for højt. I stedet kan man forestille sig en abonnementsordning for pendlere kombineret med direkte betaling for de bilister, der kun benytter standen lejlighedsvis (tabel 4).



Tabel 3.

		Investering		Belånings- rente	Afdrags- periode	Indtægt over 10 år	Antal besøg pr. måned	Gennem- snitlig pris pr. besøg
	Antal ladestandere	Pr. stander	I alt		Antal måneder			
Bycentre	4.000	30.000	120.000.000	7 %	120	1.393.302	72.000	19.35
Andre områder			50.000.00	7 %	120	580.542	21.000	27.64
I alt			170.000.000			1.973.844		

Tabel 3 viser et eksempel på en mulig finansiering af opsætning af ladestandere til 100.000 elbiler.

Tabel 4.

	Antal besøg	Kundefordeling	Pr måned/besøg	Indtægt pr. måned
Faste abonnenter	23.250	10.000	60	600.000
Gæster	69.750	90.000	20	1.395.000
I alt	93.000	100.000		1.995.000

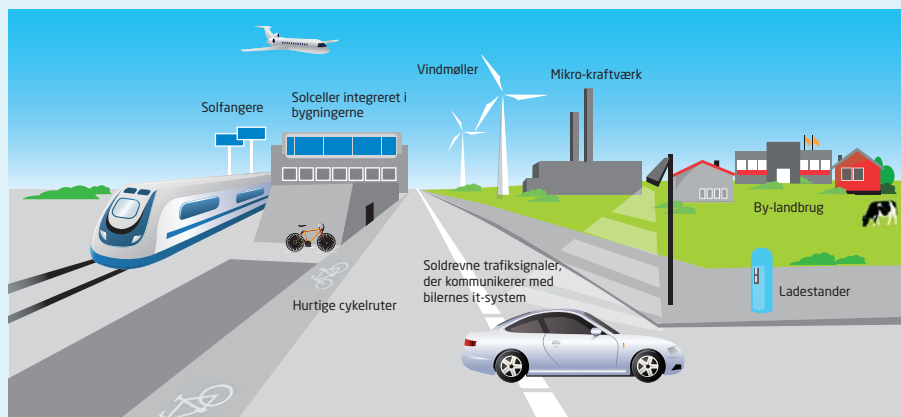
Tabel 4 viser den sandsynlige indtægt, hvis 10 % af de kunder, som benytter ladestandere, er med i en abonnementsordning, hvor hver abonnent betaler 60 kr. pr. måned. De resterende 90 % af kunderne betaler 20 kr. pr. besøg ved en ladestander. Betaling i begge grupper tilfælde er ud over prisen for den optankede el.

Moderne elbiler

Siden 2005 er batteriteknologien blevet væsentligt bedre, særligt da lithium-ion-batterier er blevet den mest anvendte batteritype i de nyeste generationer af elbiler. Antallet af elbiler, der bliver produceret af mindre, uafhængige selskaber, er sideløbende øget, startende i 2008-2009 med den norske to-sæders Think og ikke mindst den amerikanske sportsvogn Tesla Roadster. Flere af de etablerede bilproducenter har ombygget deres konventionelle firesæders modeller til elbiler, som eksempelvis Citroën C1, men indtil 2011 var der ingen klassisk familiemodells elbil på markedet. I begyndelsen af 2011 sendte både Peugeot, Citroën og Mitsubishi imidlertid mindre 4- og 5-dørs modeller ud på det danske marked, og allerede i 2010 introducerede Renault og Nissan middelstore elbiler i USA. Renault begyndte i efteråret 2011 at sælge deres model Fluence, som er en bil i almindelig familiebil størrelse, til danske bilkøbere. Alle disse nye bilmodeller, inklusiv Think og Tesla Roadster, accelererer hurtigt, og de har en tophastighed, der er sammenlignelig med traditionelle benzin- og dieseldrevne køretøjer. De er ydermere kollisionstestede og godkendte og er sikkerhedsmæssigt på niveau med øvrige bilmodeller i samme klasse. Det er kun elbilernes begrænsede rækkevidde, som fortsat er den væsentligste forskel i forhold til klassiske biler. I starten af 2013 blev luksus bilen Tesla Model S introduceret i Tyskland. Den nye model har en batterikapacitet på 85 kWh, en rækkevidde på 500 km, en motor på 416 hk og den accelererer fra 0-100 km/t på 4,6 sek.



Elbiler og CO₂-udslip - samfundsøkonomisk utopi og realitet



Af seniorforsker Ole Kveiborg og seniorrådgiver Thomas C. Jensen

Elbiler er af både miljøorganisationer og flere politikere blevet fremhævet som fremtidens transportmiddel. Den stort set forureningsfri og støjsvage fremdrift virker umiddelbart langt mere attraktiv end traditionelle biler med de velkendte gener fra støj og udstødning. Der er ikke mangel på visioner, når fremtidens samfund skal beskrives. Lydløse biler og letbaner binder transporten sammen i et intelligent netværk, drevet af vindenergi og andre bæredygtige energikilder. CO₂-udslippet er minimalt, luften er klar og støjniveauet er beskedent. Visionen er umiddelbart besnærende, men hvor realistisk er den, og hvor langt ud i fremtiden skal vi, inden elbiler vil udgøre en væsentlig del af den samlede bilpark? Med nogle beregningsmodeller har forskerne forsøgt at afdække de realistiske samfundsøkonomiske konsekvenser, hvis en afgiftsundtagelse for elbiler ledsages af massive investeringer i den nødvendige infrastruktur til opladning. Modelresultaterne fra DTU Transport viser, at antallet af elbiler i 2020 under diverse forudsætninger om afgiftsundtagelser, prisudvikling og energieffektivisering vil være mellem 8.600 og 15.200 elbiler, hvis der ikke findes hurtiglade faciliteter. Hvis alle biler havde udskifteligt batteri, vil antallet i 2020 stige til 12-20.000 med 15 batteriskiftestationer, 16-28.000 med 30 stationer og 23-41.000 med 50 skiftestationer. Sammenlignet med en bilpark på 2,5 mio. er det dog kun en meget beskedent andel. Ved en forøgelse fra 15 til 30 stationer vil hver ekstra batteriskiftestation kunne føre til 830 ekstra biler i 2020.

Skøn over mængden af elbiler i 2020

Registreringsafgift	Skifte- og lynlade-stationer	Antal biler
Ja, fra 2013	0	8-15.000
Ja, fra 2013	15	12-20.000
Nej	30	16-28.000
Nej	50	23-41.000

Beregningerne tyder på, at hvis fortsat afgiftsfritagelse og investeringer i ladeinfrastruktur som beskrevet ovenfor betragtes som initiativer til at reducere CO₂-udledningen, bliver det samfundsøkonomisk relativt dyrt. Typisk er prisen over 3.000 kroner pr. ton CO₂ sparet, og det er højere, end man finder ved de fleste andre tiltag og især sammenlignet med prisen på CO₂-kvoter, som forventes at stige gradvist til 250 kr. pr. ton. De store omkostninger ligger i bortfaldet af statslige indtægter fra registreringsafgiften. De positive effekter fra reducerede kørselsomkostninger samt bedre luftkvalitet og mindre støj er indregnet, men de kan ikke opveje omkostningerne.

Kapitlets forfattere



En af kapitlets forfattere: Seniorforsker Linda Christensen.





Sådan transporteres danskerne

Af Data- og Modelcenter, DTU Transport

For at kunne træffe hensigtsmæssige beslutninger om landets trafik og transport skal politikere og de besluttende myndigheder have tilstrækkelig viden om det, de skal træffe en beslutning om. Transportvaneundersøgelsen (ofte forkortet TU) blev igangsat netop for at få kortlagt danskernes transportvaner, principielt defineret som al persontransport indenfor landets grænser. Det er en landsdækkende spørgeskemaundersøgelse, der løbende indsamler viden. De adspurgte angiver bl.a. hvor og hvordan de har rejst en given dag, og hvorfor de rejste som de gjorde, samt en række baggrundsoplysninger som køn, alder, uddannelse, beskæftigelse osv. Da personerne udvælges, så de udgør et repræsentativt udsnit af den danske befolkning, kan undersøgelsen give et retvisende billede af befolkningen (de 10-84 årige) som helhed. Data fra TU er derfor en rig kilde til viden om vores færden og et uundværligt redskab i den transportpolitiske beslutningsproces.

Sådan fungerer Transportvaneundersøgelsen

Transportvaneundersøgelsen er gennemført med stort set samme indhold siden 1992, dog med afbrydelser i 2004 og 2005. Der er foretaget mange forbedringer og andre ændringer i spørgeskemaet siden starten, men der er en hovedkerne af spørgsmål, som er med i alle årene. Hver dag året rundt kontaktes et repræsentativt udvalg af danskere mellem 10 og 84 år pr. brev, med en opfordring om at deltage i undersøgelsen. I et normalt år udsendes breve til omkring 20.000 danskere, og heraf gennemføres der interview med 12-13.000. Man kan besvare via internet, hvilket ca. 20 % gør, eller blive interviewet pr. telefon. For at sikre at også sæsonudsving behandles repræsentativt, gennemføres interviews spredt over alle årets 365 dage.

I interviewet stilles detaljerede spørgsmål om al transporten på én bestemt dag (normalt dagen før interviewet): Rejseformål, rejsetidspunkt(er), transportmiddel, turlængde m.m. Udgangspunkt og endemål for de enkelte ture registreres på adresseniveau, så der efter databehandling kan identificeres geografiske koordinater på 98 % af start- og slutpunkterne. Desuden spørges interviewpersonen om en lang række baggrundsoplysninger om sig selv og den samlede husstand: Køn, alder, husstandstype, beskæftigelse, indtægt, bilejerskab, boligforhold m.m.

Hvad kan Transportvaneundersøgelsen bruges til

Datakvaliteten, datamængden og ikke mindst den geografiske stedfæstelse af rejserne gør, at det er muligt at lave analyser af transportadfærden på bestemte dele af vejnettet, i bestemte områdetyper eller i afgrænsede geografiske områder. Med udgangspunkt i data for en kommune eller region kan man besvare spørgsmål som: Hvor stor er markedsandelen for forskellige transportmidler? Til hvilke rejseformål anvendes de forskellige transportmidler, og hvor langt rejses der? Der viser sig store forskelle i transportadfærden rundt om i landet og i forskellige kommuner. TU anvendes derfor især af offentlige myndigheder og kommuner til forskellige typer af analyser samt i forskningsprojekter, der søger at beskrive danskeres trafikale adfærd. TU bruges ikke mindst i projekter, hvor forholdet mellem forskellige

En unik datakilde

Der foretages mange dataindsamlinger i Danmark, der på delområder besvarer nogle af de samme spørgsmål, som TU forsøger at besvare, men ingen med samme datamængde. Da TU siden 1992 løbende er blevet opdateret med nye data, er datagrundlaget blevet særdeles omfangsrigt. De indsamlede data er desuden af en forholdsvis bred karakter, hvilket gør det muligt at anvende dem i mange sammenhænge. Fordelen ved en løbende dataindsamling som TU er, at man ofte kan undgå at foretage yderligere indsamling af data, der både vil være fordyrende og forsinke beslutningsgrundlaget for et konkret projekt. I det enkelte projekt kan fokus og ressourcer derfor rettes mod løsning af opgaven frem for datagrundlaget. I flere tilfælde er TU den bedste kilde til trafikale data i Danmark, og i nogle sammenhænge den eneste.

Det, der bl.a. gør TU til en ret enestående datakilde, også i internationalt perspektiv, er:

- TU er gennemført over en lang årrække
- TU indeholder store datamængder - siden 1992 er interviewet omkring 270.000 danskere, der har givet os detailoplysninger om over 750.000 ture. Det gør TU til en af de største undersøgelser af sin slags på verdensplan
- TU er den primære kilde til viden om danskernes cykel- og gangtrafik
- TU beskriver sammenhængen mellem personer og transportadfærd
- TU har en meget nøjagtig beskrivelse af de enkelte tures geografi (start- og slutadresser)
- TU dækker hele landet

transportmidler og/eller formålet for turene er nødvendig at belyse. Og TU er bl.a. en af de primære datakilder i arbejdet med den Landstrafikmodel, der er under udvikling. I Landstrafikmodellen er TU-data fundamentet i en sammenkobling af data fra mange kilder, som eksempelvis vejtrafiktællinger og passagertal fra den kollektive trafik. Ved hjælp af TU kan det daglige eller årlige transportomfang kvantificeres som antal ture pr. person, kilometer pr. person eller minutter pr. person, og TU kan hermed f.eks. beskrive det samlede antal transport-kilometer for hele befolkningen eller for en undergruppe bestemt af et specifikt parameter. I TU kan transporten desuden kobles til formålet med den pågældende tur og indsamlede baggrundsoplysninger og endda kombineres med andre datakilder såsom forskellige typer registerdata. Det sidste er muligt på grund af detaljerede oplysninger på CPR- og adresse-niveau, der selvfølgelig behandles strengt fortroligt iht. persondataloven.

Hvad Transportvaneundersøgelsen ikke kan

Som beskrevet kan TU bruges i mange sammenhænge, og bliver det i vid udstrækning også. Alligevel er det vigtigt at huske på, at TU er en (landsdækkende) stikprøveundersøgelse, og dermed har sine begrænsninger, når data anvendes på detaljeret niveau. For visse typer af analyser (særligt i forhold til udvikling over tid), er det nødvendigt at være forsigtig i sine slutninger på baggrund af TU. Både på grund af den generelle usikkerhed i forhold til betydningen af enkelthændelser i særlige perioder, men også på grund af de ændringer der gennem årene er foretaget i metode og definitioner. Dette ændrer dog ikke ved, at TU i mange tilfælde er det bedste sted at hente data om transport, da der simpelthen ikke er alternative datakilder på området.



Transportvaneundersøgelsen kan koble transporten med turens formål og med baggrundsoplysninger om den transporterede person, som f.eks. køn, indkomst, boligform og alder.

En typisk dag for en typisk dansker fra et transportmæssigt synspunkt

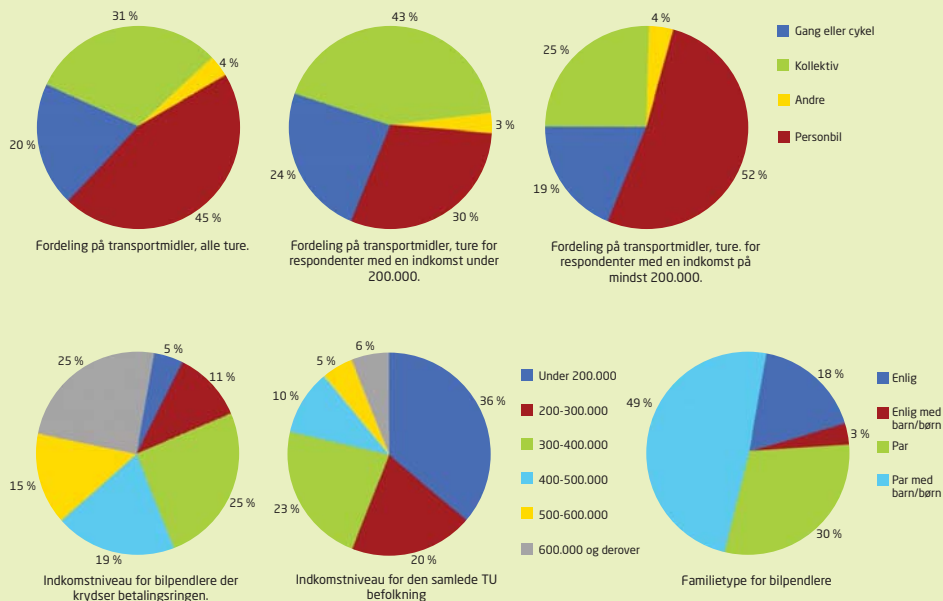
Hvis vi udvælger en helt tilfældig dansker på en helt tilfældig dag, kan Transportvaneundersøgelsen give et billede af, hvordan denne person (her kaldet Peter) transporterer sig rundt på denne dag. På en gennemsnitlig dag foretager Peter tre ture, hvoraf én vil være til arbejde, én vil være i forbindelse med en fritidsaktivitet, og den sidste vil være et ærinde. Fritidsaktiviteten vil typisk være et besøg hos familie/venner, der tegner sig for 35 % af disse ture, mens ærindet for over halvdelen af turene er indkøb. Den længste af turene vil være turen til arbejde med 17,3 km, herefter kommer fritidsturen med 15,7 km og til sidst ærindet på 7,2 km i gennemsnit.

Når Peter transporterer sig rundt, foretrækker han bilen. 57 % af de ture Peter foretager, sker nemlig i bil. Peter har ligesom 87 % af danskerne over 18 år kørekort og er for det meste selv chauffør. Bilen er hverken lånt eller lejet, for som 81 % af danskerne bor han i en husstand, der råder over mindst én bil. Peter har også en cykel; den bruger han mest på de kortere ture under 10 km, hvor han vælger cyklen ca. hver fjerde gang. På de helt korte ture under 1 km vælger Peter dog for det meste bare at gå. Peter rejser ikke med kollektiv transport hver dag, men det sker dog, og i gennemsnit bliver det til en tur hver femte dag. Turene fordeler sig nogenlunde ligeligt mellem rejser med bus og tog, men da togrejserne gennemsnitligt er længere, tæller disse for hele 69 % af de tilbagelagte kilometer.

Analyse i forbindelse med betalingsringen

Fra ideen om en betalingsring omkring København blev født, og til den blev opgivet igen, var der megen debat og mange argumenter både for og imod. Et af argumenterne fra nej-siden var, at den ekstra afgift for at krydse ringen ville ramme de lavere indkomstgrupper ekstra hårdt. Et argument fra ja-siden var tilsvarende, at en forholdsmæssig større del af de lavtlønnede brugte de kollektive transportmidler og således ville få mere glæde af de lovede investeringer i denne. Begge sider havde ganske givet en pointe, men umiddelbart kan det være svært at afgøre, hvilket af de to argumenter der vægter højest. Her kommer Transportvaneundersøgelsen ind i billedet, for med den kan vi rent faktisk sige noget om, hvor mange der ville krydse en teoretisk betalingsring, med hvilket transportmiddel, hvor meget de tjener og meget andet.

Nedenstående diagrammer er eksempler på, hvordan Transportvaneundersøgelsen kunne bruges til at belyse et emne som netop betalingsringen. Til dannelse af diagrammerne er anvendt de registrerede ture, som ville have krydset den betalingsring, som S og SF skitserede i det første oplæg til ringen (den såkaldte Ring 2-løsning). Her ses forskellen mellem, hvilke transportmidler de lave indkomstgrupper henholdsvis de højere bruger, fordelingen af indkomster for pendlere i bil samt deres familietype. Denne type resultater kan således anvendes til at kvalificere den politiske debat og afdække, hvor meget vægt forskellige argumenter for og imod et givent projekt reelt har. Det bør dog bemærkes, at der her er tale om faktisk gennemførte ture, der således ikke beskriver, hvilke adfærdssændringer en eventuel betalingsring ville have medført.

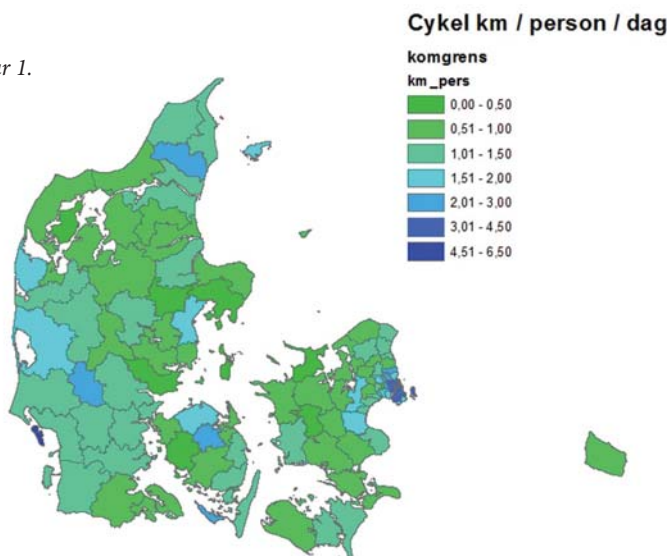


Eksempel - Cykling i Danmark

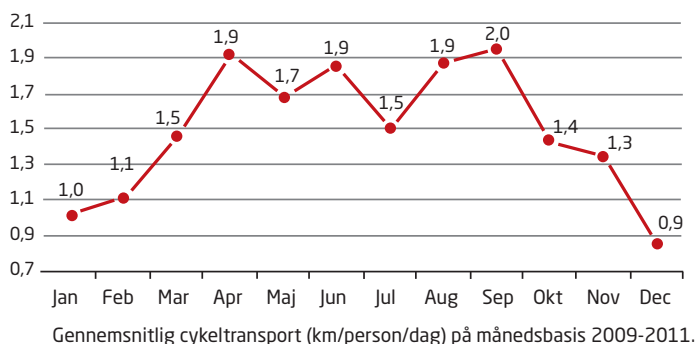
I Danmark har vi en meget udbredt cykelkultur, og særligt København er verdenskendt for de mange cykler og er endda kåret til verdens bedste cykelby. Generelt foretages der i langt mindre grad trafiktællinger af cyklister end tællinger for motoriserede køretøjer. Derfor er Transportvaneundersøgelsen ofte det bedste sted at hente data om danskernes brug af cykel. Ifølge TU cykler hver dansker i gennemsnit 1,45 km hver dag, og da den gennemsnitlige længde af hver tur er 2,98 km svarer dette omtrent til en cykeltur hver anden dag.

Disse tal dækker dog over store geografiske forskelle, og forskelle i hvornår der cykles. Som det ses på figur 1, cykler indbyggerne i København og Odense markant mere end dem, der bor i mindre tæt befolkede områder. At vejret og temperaturen har indflydelse på danskerne lyst til at cykle, kommer nok næppe bag på nogen, men Transportvaneundersøgelsen kan faktisk hjælpe os med at kvantificere det. Transportvaneundersøgelsen viser for eksempel, at danskerne som gennemsnit set over de sidste tre år cyklede næsten dobbelt så meget i juni måned, som de gjorde i januar (figur 2).

Figur 1.



Figur 2.



Eksempler på informationer fra TU

Vidste du at (generelt):

- På trods af aldersforskellen tilbagelægger de to aldersgrupper 36-59 år og 70-85 år den samme daglige afstand til fods (0,6 km/person).
- Hver tredje pendlerrejse kombineres med en eller anden form for ærinde.
- 74 % af transporten i Danmark sker i personbil.
- Ture med en fritidsaktivitet som formål udgør 41 % af trafikken.
- 87 % af danskerne over 18 år har kørekort, 84 % har adgang til bil og 68 % ejer en cykel.
- Dage helt uden transport udgør i gennemsnit 16 % af alle dage.

Vidste du at (geografi):

- Borgerne i Region Sjælland er dem, der pendler mest i Danmark (28 km/person/dag), mens Region Hovedstadens borgere pendler mindst (17 km/person/dag).
- Borgerne i Region Sjælland er også dem, der bruger bilen mest (36 km/person/dag), mens Region Hovedstadens borgere bruger bilen mindst (21 km/person/dag).
- Region Hovedstaden er til gengæld den region i Danmark, hvor borgerne transporterer sig mest med cykel (2,2 km/person/dag) til fods (1,0 km/person/dag) og med kollektiv transport (6,8 km/person/dag).
- Bilrådigheden er højest i Vestjylland og det sydlige Jylland, hvor 91 % har adgang til bil.
- Skoleelever og studerende i Region Nordjylland er med en gennemsnitlig turlængde for uddannelsesture på 12,6 km dem med længst til skole og uddannelse.
- Cykling for beboere i København og Frederiksberg kommuner udgør 21 % af den samlede cykling målt i km, selv om de kun udgør 12 % af danskerne. Desuden ejer 78 % af københavnernes en cykel, imod 67 % af den resterende befolkning.

Vidste du at (køn):

- I gennemsnit kører mænd 30 % mere i bil end kvinder; den gennemsnitlige mand kører hver dag 20 km i bil, mens kvinder kører 15 km.
- Mænd tilbagelægger 49 % flere kilometer på ture til arbejde og hele 3,6 gange så mange kilometer for erhvervsrelaterede ture.
- Mænd foretager 59 % flere ture end kvinder, hvor formålet er at hente og bringe ting, mens kvinder foretager 52 % flere ture end mænd, hvor formålet er at hente eller bringe personer.
- Kvinder er mest flittige til at gå til lægen, da de foretager hele 69 % flere ture end mænd, hvor formålet er social- eller sundhedsrelateret.

Data- og Modelcenter er en enhed på DTU Transport, der arbejder med indsamling, opbygning og formidling af trafikale data og transportmodeller i tæt dialog med forskere og centrale aktører i transportsektoren. Data- og Modelcenter er blandt de vigtigste formidlere af data om transport i Danmark.



Hvad koster ti minutter i trafikken?

Af professor Mogens Fosgerau



Selv om hensyn til miljø og sikkerhed også indgår i beslutninger om nye investeringer i infrastruktur, er det ofte tiden, der er den væsentligste faktor. Tid er nemlig penge værd. Viljen til at betale for tid kan omsættes til en pris og en økonomisk værdi – også selv om tid ikke kan købes i en forretning. Beslutningerne om, hvor en ny motorvej skal anlægges, eller hvordan man begrænser trængslen i myldretiden, kan økonomisk set koges ned til spørgsmålet om, hvad tid er værd i penge. Dette kapitel handler om, hvordan man måler værdien af tid i trafikken, og hvordan man analyserer trængslens anatomi for at finde de bedste trafikreguleringsløsninger.

Opgørelse af værdien af tidsbesparelser

Er det pengene værd at bygge et bestemt stykke infrastruktur til X milliarder kroner, hvis det kan spare Y trafikanter for Z minutter hver? Når der skal træffes beslutninger om større trafikprojekter, går en del af beslutningsgrundlaget ud på at anslå en samfundsøkonomisk værdi af tidsbesparelserne. Det er de færreste, der umiddelbart kan svare på, hvad de vil betale for at spare ti minutter, så for at måle værdien af tid må man se på folks valg i situationer, hvor de prioriterer mellem tid og penge. Skal man med toget, kan man måske vælge mellem et almindeligt tog og et lyntog, som er dyrere og hurtigere. Hvis togene i øvrigt var ens, kunne man gøre forskellen op som en pris pr. minut. De personer, der tager lyntoget, afslører dermed, at deres betalingsvilje er større, mens de, der tager det almindelige tog, omvendt afslører, at deres betalingsvilje er mindre.

Man benytter som regel interviewdata til at måle værdien af tid, hvor hver person tager stilling til en række valg af typen lyntog eller almindeligt tog. Hvis lyntoget er f.eks. både 5 minutter hurtigere og 5 kroner dyrere, kan man se, hvor mange der er parat til at give mindst 1 krone pr. minut, og hvor mange, for hvem det er for dyrt. I næste situation er lyntoget måske 10 minutter hurtigere, men 15 kroner dyrere, hvilket fortæller, hvor mange der vil give mindst 1,5 krone per minut. Og så videre. Der opstilles nu en statistisk model for at finde ud af, hvad man i gennemsnit er parat til at betale for et minut.

Udbredt inkonsistens

Det første, man finder, er, at folk ikke bare er lidt, men snarere meget inkonsistente. Langt de fleste kan sagtens finde på at sige ja til en lav pris, nej til en højere pris og ja igen til en endnu højere pris. Det kan give en økonom grå hår i hovedet, når man er vant til økonomisk teori, som beskriver mennesker som rationelle beslutningstagere. Det er jo ikke rationelt at være inkonsistent. En stor del af inkonsistensen skyldes sandsynligvis, at det er besværligt at regne. Man kan ikke forlange, at folk skal bruge lommeregner for at finde ud af, at såfremt de har sagt ja til at betale 5 kroner mere for et 5 minutter hurtigere tog, så burde de også sige ja til at betale 8 kroner mere for et 10 minutter hurtigere tog. Når valgene oven i købet er hypotetiske uden faktiske konsekvenser, er det oplagt, at mange ikke anstrenger sig meget for at tænke længe over deres svar. Den statistiske model må altså tage højde for, at folk laver fejl. Til økonomernes glæde viser det sig, at der findes en høj grad af systematik bag disse fejl.

Betalingsvillighed følger indkomst

For det første er der flere, der vil købe tid, når den er billig, end når den er dyr, hvilket jo er godt for den økonomiske teori. Den almindelige markedsmekanisme virker altså stadig, selvom man kun kan sige, at folk tilsyneladende er økonomisk rationelle i gennemsnit. For det andet vokser viljen til at betale for tid naturligt nok med indkomsten. Jo rigere man er, desto mere vil man give for et minut. Sammenhængen viser sig oven i købet at være så præcis, at personer med dobbelt så stor indkomst i gennemsnit også vil betale dobbelt så meget pr. minut, de sparer. For det tredje er det betryggende, at den gennemsnitlige værdi af tid viser sig at ligne den gennemsnitlige timeløn efter skat. Så man vil omtrent give det samme for tid, som man selv får for den. Det tyder på, at den økonomiske teori er en rimelig beskrivelse af de fundamentale drivkræfter bag folks prioritering mellem tid og penge.

Systematisk afhængighed

Der viser sig imidlertid flere vanskeligheder, når interviewene analyseres, bl.a. systematiske forskelle mellem transportformerne, som kan være svære at håndtere. For eksempel er tid mere værd for bilister end for buspassagerer. Men egentlig burde det være omvendt, for de fleste synes, det er mere behageligt at køre i bil end i bus - man skulle altså være villig til at betale mere for at slippe for at bruge tid i bussen end for at slippe for at bruge tid i bilen. Når tid i en bus tilsyneladende har en lavere værdi, skyldes det formodentlig, at det ikke er de samme mennesker, der kører i bil og i bus (se boks 1). Biler er dyre, og bilister tjener gennemgående flere penge end buspassagerer. Så en del af forskellen på, hvad man vil betale for at spare tid, skyldes forskelle i indkomst. Værdien af tid afhænger systematisk af indkomst, alder, køn osv. Alt andet lige vil en 40-årig mand med høj indkomst betale mest. I de fleste lande tager man højde for dette, således at man ikke investerer mere i veje, blot fordi bilister har højere indkomster.

Den vigtige uforklarede rest

Selv efter en korrektion er der en stor rest tilbage, som ikke er forklaret af noget, forskeren kan observere. To personer kan se ens ud fra forskerens synspunkt og begge være villige til at betale mest for at slippe for tid i bus. Men den ene har mere travlt end den anden og dermed en højere tidsværdi. Hvis den travle vælger bil og den anden bus, vil det for forskeren se ud, som om tidsværdien er større i bil, selvom begge egentlig hver især ville betale mest for at gøre busturen kortere. Den uforklarede rest viser sig imidlertid at være ret vigtig for den gennemsnitlige tidsværdi og dermed for, hvordan man vurderer trafikprojekter. Med hurtigere computere er det nu blevet praktisk muligt at tage den uforklarede rest med i beregningerne og sige, at den f.eks. er normalfordelt. Dermed ved forskeren ikke, hvad værdien er for den enkelte. Men han kan beregne sig frem til, hvor mange der har en tidsværdi på 60 kroner pr. time, 70 kroner pr. time osv. og det er tilstrækkeligt til at finde et gennemsnit. Værdien af tid måles ved på én gang at få greb om fejl, den systematiske variation i værdien og den uforklarede rest. Fra dette udsigtspunkt kan man se, hvor de mindre avancerede metoder fejler. Og de kan fejle ikke bare lidt, men helt og aldeles. Det er faktisk nødvendigt at rulle det tunge statistiske skyts ud. Ellers kan man i yderste instans risikere milliardstore fejl i de samfundsøkonomiske vurderinger af trafikprojekter.

Boks 1

En undersøgelse fra DTU Transport har sammenlignet 347 personer, der havde mulighed for at vælge mellem bil og bus på deres rejse. Bilisterne var i gennemsnit villige til at betale langt mere end buspassagererne for at spare rejsetid, nemlig 28 % mere for bilrejsetid og 39 % mere for busrejsetid.

Undersøgelsen sammenlignede også 311 personer, der havde mulighed for at vælge mellem bil og tog på deres rejse. Også her var bilisterne gennemsnitligt villige til at betale mere end togpassagererne for sparet rejsetid, nemlig 45 % mere for bilrejsetid og 7 % mere for togrejsetid (det sidste tal er dog så lille, at forskellen ikke er statistisk signifikant).



Tid er penge, særligt for bilister, som i gennemsnit er parate til at betale langt mere end andre trafikanter for at spare rejsetid. En del af forklaringen er, at bilister i almindelighed tjener mere end bus- og togpassagerer.

Myldretidens økonomi

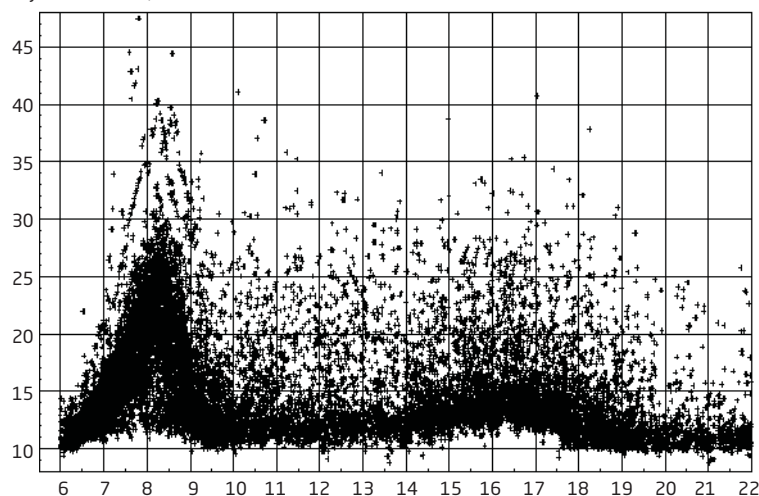
De trafikpolitiske beslutninger kan føles i kroner og øre i dagligdagen. Statskassen får mere end 40 milliarder kroner hvert år fra transportafgifter og bruger igen en del af disse på milliardinvesteringer i veje, broer, tog. En gennemsnitshusstand bruger mere end 30.000 kroner om året på transport, og hver person kører i gennemsnit mere end 14.000 kilometer årligt i bil, bus, tog mv. Politikerne er ikke mindst optaget af at finde løsninger på trængselsproblematikken, og det vurderes, at samfundet hvert år mister milliarder af kroner, fordi folk hver dag sidder i kø i myldretiden omkring de store byer. Der er igangværende undersøgelser af, hvordan man kan regulere denne trafik, og eksempelvis trængselsafgifter bringes hyppigt på banen. Flere byer rundt om i verden har allerede indført afgifter i form af betalings-

zoner og andre systemer, der begrænser trafikken. Når man skal udforme et sådant system hensigtsmæssigt, er det nødvendigt først at forstå trængslens anatomi. Det samme gælder, hvis man vil forsøge at afhjælpe problemerne ved at bygge flere veje, udbygge den kollektive trafik eller påvirke trafikafviklingen gennem intelligent signalstyring mv.

Frederikssundsvejen i myldretiden

Hvis man vil forstå, hvad der sker på en indfaldsvej til en by, kan man se på f.eks. Frederikssundsvej om morgenen (figur 1). Man starter med at lægge mærke til, at der er en markant myldretidsspids. Mellem kl. 7 og 8 bliver trafikken tættere, og bilernes gennemsnitshastighed falder. Samtidig vokser variationen, og kl. 8 er der mest forskel fra dag til dag på hastigheden. Mellem kl. 8 og 9 bliver situationen mere rolig. Først stiger gennemsnitshastigheden, mens dag-til-dag variationen først falder lidt senere, sikkert fordi myldretiden nogle dage varer længere end andre.

Rejsetid i min./11,5 km



Figur 1. Køretiden på 11,5 km Frederikssundsvej mellem kl. 6 og kl. 22.

Formen på myldretidsspidserne er ikke givet udefra. Den bestemmer i en vis forstand sig selv. En bilist, som skal på arbejde, vurderer, om hun skal køre kl. 8, hvilket måske ville passe hende bedst i forhold til arbejdet, eller om hun skal tage tidligere af sted for at slippe hurtigere igennem. Hendes beslutning afhænger dermed af formen på spidsen. Men spidsen bliver omvendt til som summen af alle de enkelte bilisters beslutning om, hvornår de vil køre. Hvis man udbyggede kapaciteten på Frederikssundsvej, ville myldretiden blive kortere, men i spidsbelastningen ville trafikken være lige så slem som nu, nemlig på bilisternes smertegrænse.

Matematisk model tydeliggør problemet

Hvis man vil prøve at forstå situationen lidt bedre, kan man benytte en matematisk model. Med en simplificeret model kan man ofte få øje på generelle sammenhænge, som ellers ville fortabe sig i alle virkelighedens detaljer. Den simpleste model for en situation som mor-

genmyldretiden på Frederikssundsvej kaldes flaskehalsmodellen. Her har vi et stort antal identiske bilister, lad os sige 1000, som alle gerne vil være fremme kl. 8. Der er imidlertid en flaskehals på vejen, så kun et begrænset antal, f.eks. 10, kan komme igennem pr. minut. Bilisterne kan ikke lide at stå op om morgenen, men de kan endnu mindre lide at komme for sent. De kan heller ikke lide at sidde i kø. Derfor prøver de at vælge rejsetidspunkt sådan, at de balancerer mellem at komme for tidligt, for sent eller sidde for længe i kø. Endelig forestiller vi os, at de alle har stor erfaring og har valgt et rejsetidspunkt, som de ikke kan forbedre. Fordi bilisterne er ens, kan vi nu vide, at alle tidspunkter er lige dårlige. De første skal stå for tidligt op, men undgår køen. De midterste kommer nogenlunde til tiden, men må sidde længe i kø, mens de sidste undgår køen ved at komme for sent. Bilisterne klumper sig sammen omkring kl. 8, men det kommer de ikke hurtigere igennem af, for der kan jo kun komme 10 bilister igennem i minuttet.



Trængsel anslås at koste samfundet milliarder af kroner, særligt på grund af spildtid i bilkøer i myldretiden omkring de store byer. Flere byer rundt om i verden i verden har allerede indført trængselsafgifter, men det er uhyre kompliceret at designe et afgiftssystem, der tager højde for de enorme variationer i indfaldsvejenes kapacitet.

Den bedste tilstand

Modellen afdækker, at det ville være smartere for alle, hvis der netop var 10 bilister, der tog hjemmefra hvert minut. Man ville komme på arbejde til samme tid som før, for der kan alligevel ikke komme flere gennem flaskehalsen. Men køen ville være væk, og som helhed ville alle derfor vinde. Nogen ville dog vinde mere end andre. For den første bilist ville situationen være den samme som før: ingen kø, men alt for tidligt ud af sengen. For den sidste ville situationen også være som før: ingen kø, men for sent på arbejde. For den midterste ville det derimod være rigtig dejligt. Hun kan stå passende sent op og alligevel være på arbejde præcis kl. 8 uden at opleve nogen kø, for den er forsvundet. Dette viser imidlertid også, hvorfor denne behagelige tilstand ikke er så let at realisere. Den første bilist kunne

jo sove lidt længere og tage af sted på samme perfekte tidspunkt som den midterste bilist. Der ville godt nok opstå en smule kø, fordi der nu er en mere, der kører kl. 8, men det ville gå ud over andre og ikke hende selv. Og sådan ville bilisterne blive ved med at klumpe sig sammen omkring kl. 8, indtil køen var kommet igen. Flaskehalsmodellen viser, hvordan morgenmyldretiden på Frederikssundsvej indebærer et stort spild, fordi bilister ikke kan koordinere, men klumper sig sammen omkring kl. 8. I dette store spild ligger en tilsvarende stor gevinst gemt, som kan høstes ved hjælp af en trængselsafgift, der får bilisterne til at sprede sig tidsmæssigt.

Modellens mangler

Men modellen mangler et væsentligt aspekt, nemlig usikkerheden. På virkelighedens Frederikssundsvej kl. 8 om morgenen varierer hastigheden let fra 60 km/t den ene dag til 15 km/t den anden dag. Der kan være trafikuheld, vejarbejde, dårligt vejr, meget trafik eller måske bare små tilfældigheder i trafikafviklingen, der bliver til store variationer i vejens kapacitet. Hvis man udbygger den simple matematiske model med det aspekt, at kapaciteten varierer tilfældigt fra dag til dag, bliver det hele pludselig meget svært matematisk, selvom der egentligt ikke er så mange elementer i modellen. Man kan ikke sådan lige regne ud, hvordan myldretidsspidserne kommer til at se ud, så man er nødt til at benytte sig af computersimulationer, og dermed af en mængde antagelser, som kan være misvisende. Det er lidt ubehageligt, for så kan man ikke vide, hvor meget de resultater, man måtte finde, afhænger af de specifikke antagelser, man har måttet gøre for at sætte tal på. Der er ingen tvivl om, at trængselsafgifter kan benyttes til at høste en gevinst, også i situationen, hvor kapaciteten er usikker. Men når man tager højde for usikkerheden, så er det ikke lykkedes at fravriste den simple matematiske model mange generelle indsigter, som kan benyttes til at designe en trængselsafgift, selv i et så afgrænset problem som morgenmyldretiden på Frederikssundsvej.

Kapitlets forfatter

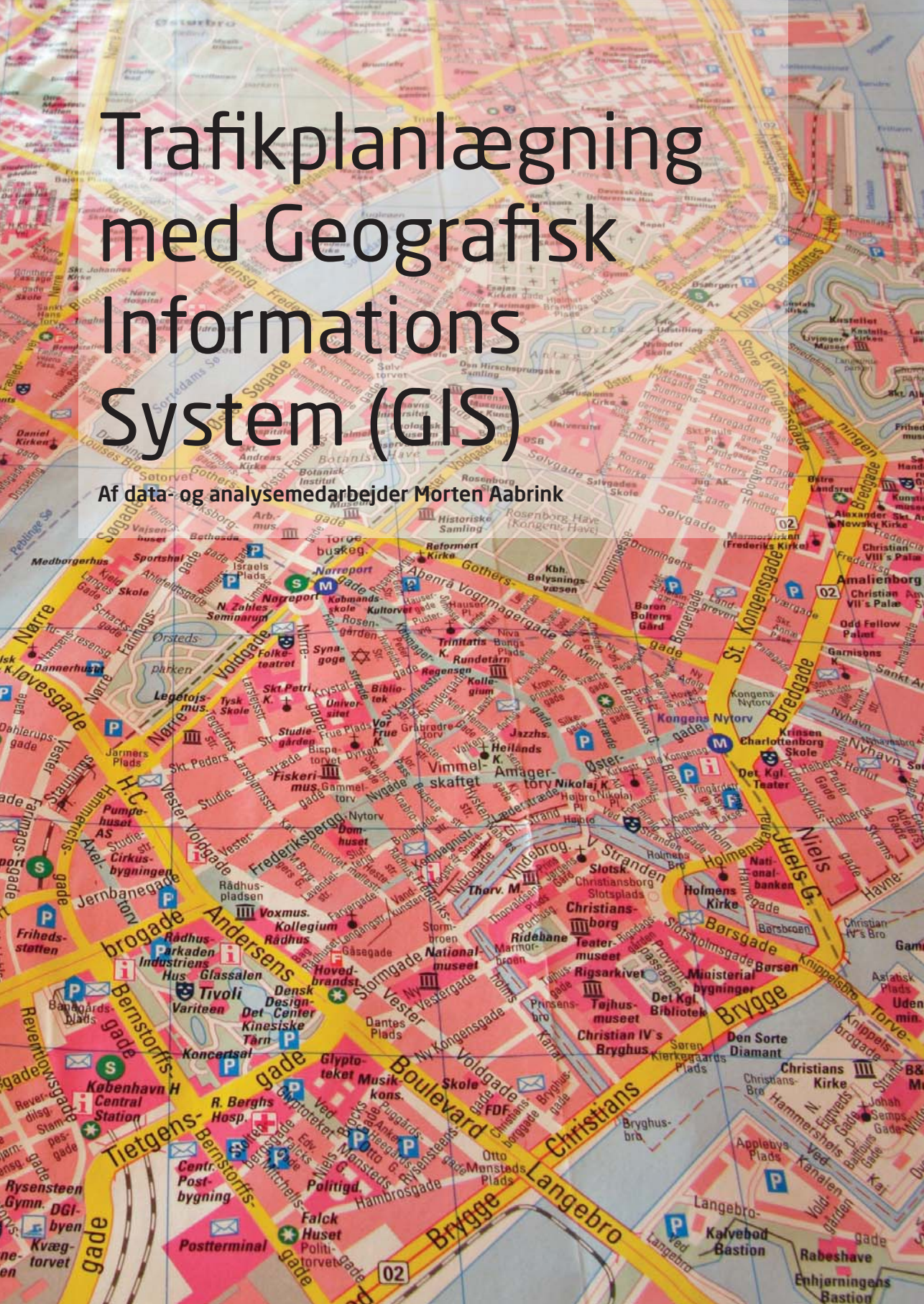


Professor Mogens Fosgerau.



Trafikplanlægning med Geografisk Informations System (GIS)

Af data- og analysemedarbejder Morten Aabrink



De fleste af os støder på GIS i det daglige, f.eks. når vi indtaster en destination på vores GPS-navigatør. Vi kan bruge navigatøren til at fortælle os, hvor destinationen ligger i forhold til vores nuværende position, og samtidig kan den foreslå en rute for, hvordan vi kommer frem til destinationen. Inden navigatøren kan hjælpe os, skal der overføres data om den virkelige verden til GPS-navigatøren. Bag den grafiske overflade findes en mængde digitale data, som danner grundlag for de beregninger, der visualiseres på GPS-navigatøren. Disse beregninger kan foretages i GIS. GIS anvendes også i forbindelse med komplicerede trafikmodeller, som eksempelvis Landstrafikmodellen, der kan regne på utallige konsekvenser af forslag til ændringer i Danmarks trafikale infrastruktur. Dette kapitel giver en introduktion til GIS og viser nogle eksempler på, hvordan man i praksis anvender GIS til at gennemføre trafik- og transportanalyser og planlægge fremtidens trafikale Danmarkskort.

Introduktion til GIS

I dette kapitel betragtes GIS som et system, der integrerer hardware, software og data med rumlig udbredelse. GIS bidrager til at analysere, forstå og visualisere geografiske data. Som et eksempel kan et punkt betragtes som vist nedenfor.



Punktet har umiddelbart ingen kontekst eller relation til det omkringliggende miljø, og vi kan derfor ikke bestemme, hvad punktet er, eller hvor det ligger.



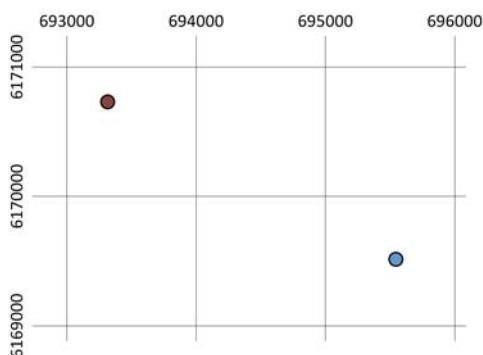
Ved at indføre yderligere et punkt kan der skabes en relation mellem punkterne, men vi kan stadig kun bestemme punkterne i forhold til hinanden. Punkterne kan symbolisere hovedstæderne København og Auckland eller to lygtepæles placering på samme vej. Hvis punkterne indeholder geografisk information om beliggenheden, kan de indlæses i GIS-software. Hvis den geografiske information mangler, kan den knyttes til punkterne, hvis beliggenheden kendes. I GIS sprog hedder det at georeferere. Den geografiske dimension gør at GIS-software nøjagtig kan identificere punkternes beliggenhed.

I daglig tale hedder det sig, at Jorden er rund, men det er en tilnærmelse af virkeligheden. Der findes ingen ellipsoider, som kan beskrive hele Jordens form fuldstændig i overensstemmelse med virkeligheden. Det er muligt at beregne afstande på krumme overflader, men det er mere kompliceret end at beregne afstande på plane flader. For at beregningen kan få så høj overensstemmelse med virkeligheden som muligt, er det nødvendigt at have ellipsoider, som tilnærmer sig Jordens overflade. Derfor benyttes forskellige ellipsoider, også kaldet geografiske referencesystemer, alt efter hvor på Jorden data er beliggende. For at få sammenfald mellem det geografiske referencesystem og jordoverfladen, forskydes det geografiske referencesystem i forhold til Jordens centrum. Modellen, der beskriver denne forskydning, kaldes for datum. Hvis datum ændres, ændres koordinaternes værdier også. Derfor er det vigtigt at vide, hvilket geografisk koordinatsystem og datum data er registreret i. Hvis man har denne information, kan matematiske modeller omregne data registreret i et format til et andet format. På den måde kan data i forskellige geografiske koordinatsystemer og datum alligevel knyttes sammen i GIS.

Fra tre til to dimensioner

I trafik- og transportsammenhænge er det ofte interessant at regne på afstande. Før det kan lade sig gøre er det nødvendigt at repræsentere sfæroidens tredimensionelle overflade på et todimensionelt plan. Det gør sig eksempelvis gældende, når der skal produceres kort. Skallen på en mandarin minder tilnærmelsesvis om Jordens overflade. Hvis skallen bredes fladt ud på bordet, går den i stykker, og der opstår revner og områder i skallen, hvor bordet nu kan ses. Denne forvrængning eksemplificerer udfordringen, når et punkt fra en tredimensional overflade skal overføres eller projekteres til en todimensional flade.

Der findes forskellige projektioner til forskellige formål. Nogle projektioner bruges til at beregne afstande, man siger de er afstandstro, andre eksempelvis til at beregne arealer, de såkaldte arealtro projektioner. Det er ikke muligt at bevare begge ting samtidig, men ved at benytte en optimal projektion til data, tilnærmes virkeligheden. Nedenfor er vist et eksempel, hvor de to punkter fra tidligere er indlæst i et projekteret koordinatsystem.

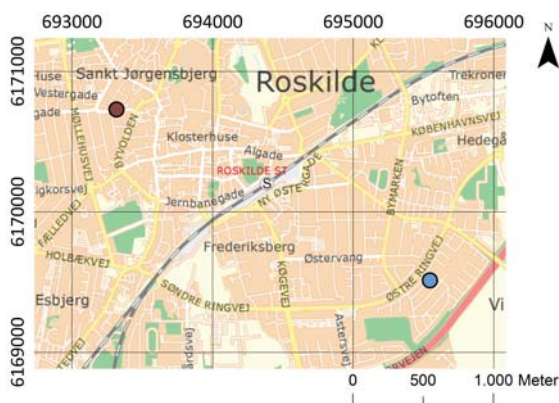


To punkter beliggende i ETRS 1989 UTM Zone 32N.

I dette tilfælde er punkternes position indlæst i det geografiske koordinatsystem ETRS 1989 og datum med samme navn. Punkterne er beliggende på Sjælland i Danmark. Zone 32N i UTM-koordinatsystemet er tilpasset til bl.a. Sjælland og kan derfor med fordel benyttes i dette tilfælde. Med disse informationer kan vi meget nøjagtigt placere punkterne. Det er dog stadig de færreste, der ud fra denne information kan angive, hvor på Sjælland punkterne ligger. Det er eksempelvis i dette tilfælde, at GIS er et stærkt værktøj.

Baggrundskort og datalag

Vi har ofte en god ide om, hvor eksempelvis København ligger i forhold til Aarhus. I ovenstående tilfælde vil det derfor være behjælpeligt, hvis der indsættes et baggrundskort. Det kunne være et verdenskort med lande, et Danmarkskort med de største byer eller et kort, som viser vejnavne. Detaljeringsgraden af kortet afhænger af, hvilke data man har til rådighed, hvilke data der skal vises, budskabet, og hvem modtageren er.



To punkter med baggrundskort.

I dette tilfælde er baggrundskortet et billede, som lægges ind som et lag bagved punkterne. Det ses, at punkterne ligger i Roskilde. Det ene punkt nordvest for Roskilde Station og det andet sydøst for Roskilde Station. I dette tilfælde viser baggrundskortet desuden informationer om vejnettet i området. Det ville være forstyrrende og uoverskueligt hvis alle vejnavne var vist, så her er kun navnene på de største veje og bydele vist. Baggrundskortet har også signatur for typen af infrastruktur. Eksempelvis motorvejen i den sydøstlige del af kortet, som har en rød signatur, og jernbanen, der passerer gennem Roskilde, som er stiplet sort og hvid signatur.

I ovenstående eksempel har vi to overordnede datalag. Punktlaget med de to punkter og baggrundskortet med forskellige signaturer. Der er teoretisk set ingen grænser for, hvor mange lag, der kan lægges ind i GIS. Det kunne også have været luftforurening, supermarkeder, skoler, matrikler, antal mobiltelefoner pr. 1000 indbyggere i en kommune etc. Fælles for datalaget med de to punkter og datalaget med baggrundskortet er, at de har fået defineret deres position i et geografisk koordinatsystem og derfor har den geografiske information tilfælles. Det betyder, at vi med GIS kan knytte de to datakilder til hinanden.

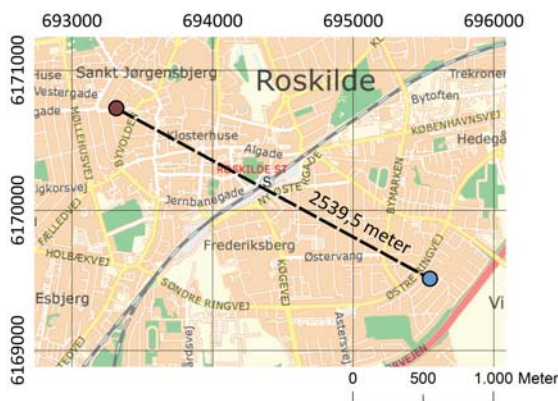


GIS giver mulighed for at lægge utallige datalag ind. Til transportanalyser kan det eksempelvis være cykelstier, buslinjer eller lysregulering, der kan være interessante.

Netværkslag i GIS

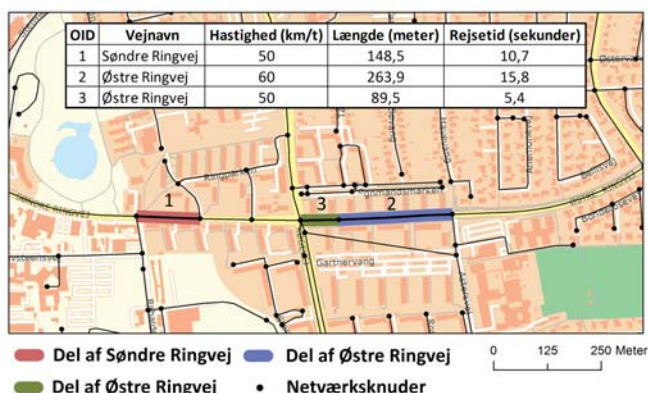
Helt grundlæggende er hver adresse i GPS-navigatoren geokodet. Det betyder, at adressen er stedfæstet med koordinater, på samme måde som i det indledende eksempel med punkterne. Det giver bl.a. mulighed for at beregne afstanden mellem adresserne. Nedenfor gennemgås hvordan afstanden i meter og rejsetiden mellem to punkter bliver beregnet i én type af GIS-software. Metoden er langt hen ad vejen identisk med, hvordan beregningerne foregår i GPS-navigatorer.

Hvis afstanden mellem de to punkter skal tilbagelægges i lige linje, kan den udregnes på baggrund af de to adressers beliggenhed i GIS-softwaren, så længe data har tilknyttet geografisk information. Da punkterne er indlæst i et projekteret koordinatsystem, kan afstanden måles direkte med et værktøj i softwaren eller beregnes ved at indføre en tredje type data, nemlig en linje.



Fugleflugtsafstand mellem to punkter beregnet i GIS.

Afstanden mellem punkterne er beregnet til at være 2539,5 meter. Af oplagte grunde er det dog i langt de fleste tilfælde mest interessant at følge vejnettet frem for en lige linje. For at det kan lade sig gøre skal information om vejnettets karakteristika lagres digitalt. I forbindelse med rejsen fra A til B er det interessant dels at kende afstanden, der skal tilbagelægges, samt hvor hurtigt afstanden kan tilbagelægges. Ud fra de to variable kan rejsetiden, som oftest er den, vi er interesseret i at kende, når vi benytter GPS-navigatorer, nemlig bestemmes. Før rejsetiden kan beregnes i GIS, er det nødvendigt at have et netværk. Netværket er endnu et lag, som lægges ind i GIS. Det består af linjestykker, såkaldte polylines, hvor hver polyline repræsenterer en vej eller en del af en vej. For hver polyline kan der i teorien lagres uendelig meget information. I dette tilfælde er vi interesseret i vejens længde og hastighedsbegrænsningen på vejen. Efterfølgende ses et eksempel, hvor der er zoomet ind på vejnettet i Roskilde. Tabellen øverst i figuren er en såkaldt attributtabel, hvor hver række indeholder information, som er knyttet til en specifik polyline i vejnettet.



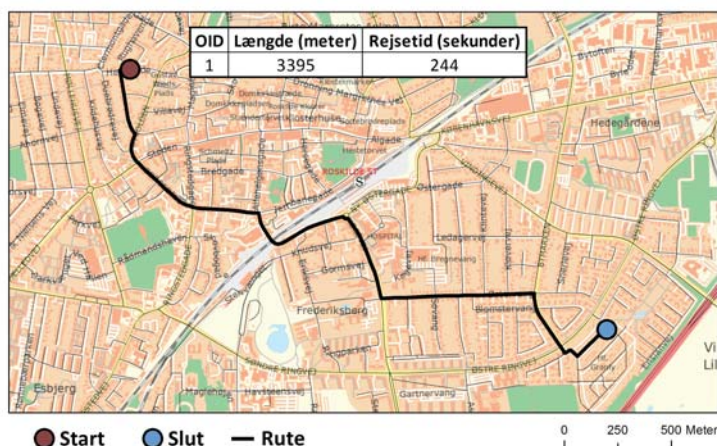
Attributtabel med tilhørende attributter for tre udvalgte vejstykker.

Rejsetidsberegning

For hver variabel, eksempelvis hastighed, har hvert linjestykke tilknyttet en attribut, der fortæller, hvad hastigheden er. I dette tænkte eksempel er variablerne OID (unikt ID i tabellen), vejnavn, hastighed, længde og rejsetid. Ovenstående figur viser, at linjestykket OID = 1 udgør en del af Søndre Ringvej. Fra attributtabelen ses det, at linjestykket har en hastighedsbegrænsning på 50 km/t og er 148,5 meter langt. Ud fra dette kan vi beregne rejsetiden og anføre det i attributtabelen. Forudsat at vi på strækningen bevæger os konstant med den maksimalt tilladte hastighed, er rejsetiden 10,7 sekunder. På figuren ses det, at der mellem hvert linjestykke er en netværksknude. Linjestykket OID = 1 repræsenterer hele vejen mellem de to tilstødende veje, men hvis vi kigger på OID = 2 og OID = 3, som hver udgør en del af Østre Ringvej, ses det, at knudepunktet, som adskiller vejene, ikke har tilstødende veje. Umiddelbart betyder det, at knuden kan fjernes, da de to linjestykker kan lægges sammen til et linjestykke. Jo færre knuder i netværket, desto hurtigere kan beregninger foretages.

Grunden til, at vejnettet har en knude i dette tilfælde, skal imidlertid findes i attributtabelen. Hvis vi kigger i tabellen, ser vi, at hastigheden på de to vejstykker er forskellige. Hvis de to vejstykker blev lagt sammen, ville vi miste informationen om, at hastigheden skifter. Alt efter hvad vi skal bruge informationen til, kan det være hensigtsmæssigt at frasortere data for at nedbringe datamængden. I tilfældet, hvor den hurtigste vej målt på rejsetid skal findes, vil denne netværksknude kunne fjernes. Det skyldes dels, at der ikke er nogen tilstødende veje i knuden, og derfor er rejsen via denne rute nødt til at foregå på hele linjestykket (ikke kun dele af det), og fordi rejsetiden for de to linjestykker separat er den samme som summen af rejsetiden for de to linjestykker. Det er ressourcekrævende at sikre, at data er nøjagtige. I mange sammenhænge er der også en tidsmæssig dimension, som bevirker at data konstant ændrer sig. Kortvarende ændringer kan være vejarbejde eller trafikuheld, mens længerevarende ændringer eksempelvis kan være nye motorvejsstrækninger.

I det følgende repræsenteret med grå linjer, ses et større udsnit af netværket, som er en digitaliseret udgave af vejnettet. I dette datalag har alle vejstykker tilknyttet attributter som vist i attributtabelen ovenfor. Derfor kan ruten med den korteste rejsetid mellem de to adresser beregnes.



Vejnettet med den korteste rute mellem et start- og slutpunkt.

Afstanden mellem de to adresser er beregnet til 3395 meter og tager ca. 4 minutter at tilbagelægge i bil. Det er cirka 850 meter længere end afstanden beregnet i fugleflugtslinje.

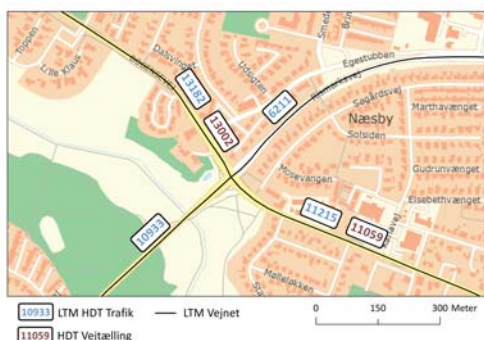
Beregningen er foretaget ud fra hastighederne i attributtabelen, som afspejler den maksimalt tilladte hastighed. Da bl.a. sving, lyskryds, rundkørsler og trængsel har indflydelse på den faktiske hastighed, vil beregningen kunne optimeres ved at indføre informationer om disse i vejnettet. I ovenstående tilfælde kunne det medføre, at den hurtigste rute ikke nødvendigvis er den korteste rute som vist her.

Landstrafikmodellen i GIS

Brugen af GIS kan også indgå i forbindelse med komplicerede trafikmodeller. Det er Landstrafikmodellen (LTM) et eksempel på. Landstrafikmodellen kan regne på trafikmæssige konsekvenser af ændringer i infrastrukturen og er dermed et vigtigt redskab, når fremtidige infrastruktursprojekter skal besluttes.

Når et nyt projekt overvejes, lægges de foreslåede ændrede linjeføringer ind i modellen, hvormed det nye scenarie afviger fra modellens basisvejnet. Modellen kører i GIS-miljø, hvor datainput omfatter et kvalitetssikret vejnet. Et andet input til Landstrafikmodellen stammer fra trafiktællinger foretaget af Vejdirektoratet. Tællinger foretages bl.a. på de overordnede veje i Danmark, eksempelvis motorveje og hovedveje. De giver et overblik over, hvordan trafikken fordeler sig på vejnettet. For at kvalitetssikre modellens resultater sammenlignes trafiktællingerne med resultatet fra Landstrafikmodellen.

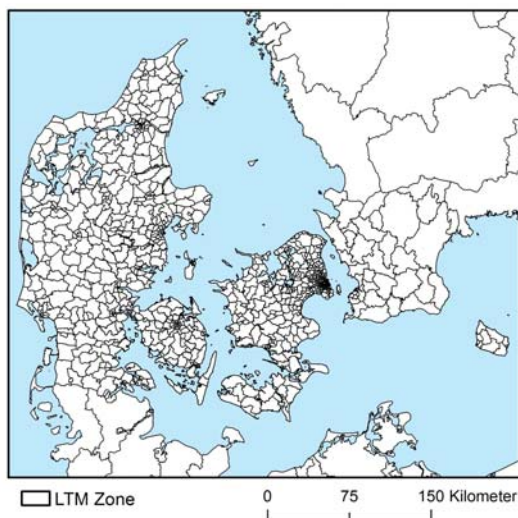
I dette tilfælde er der foretaget to tællinger på den store vest/østgående vej. Hverdagsdøgntrafik (HDT) er et udtryk for, hvor mange køretøjer, som passerer et tællested på en gennemsnitlig hverdag. Afgivelsen fra modellen er relativt lille i dette tilfælde, og stemmer fint overens med Landstrafikmodellens resultat. Hvis der er stor afvigelse mellem vejttællingen og modellens resultat, er der grund til at undersøge tilfældet nærmere. Afgivelsen behøver ikke skyldes modellen, der kan være tale om en fejl i tællingen.



Udsnit af Odense med hverdagsdøgntrafik (HDT) beregnet af Landstrafikmodellen og virkelige tællinger.

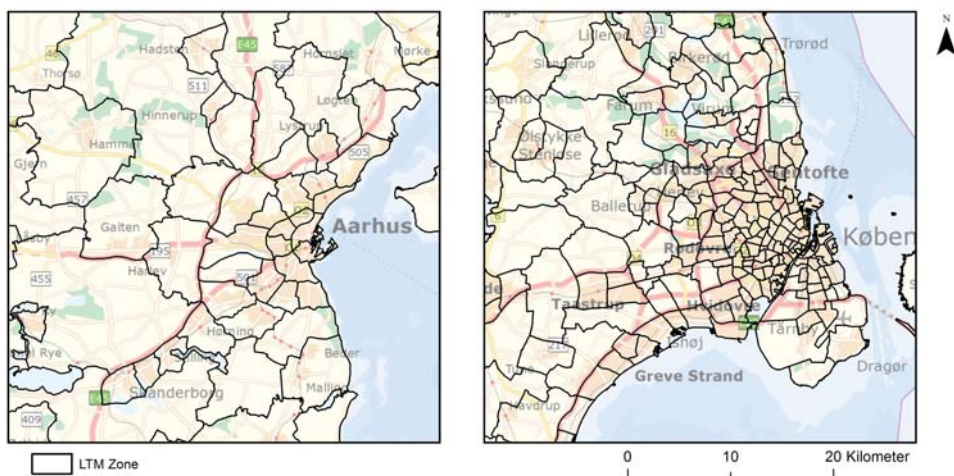
Samling i zoner

Tidligere blev det beskrevet, hvordan GIS og GPS assisterer i planlægningen af vores rejser. Hvis eksemplet med, at hver person rejser fra en unik adresse til en anden, skulle overføres til Landstrafikmodellen, ville modelberegningerne tage ekstremt lang tid og kræve enorme hardwareressourcer. For at forsimple beregningerne er befolkningen samlet i zoner, hvorfra rejserne i vejnettet beregnes fra zone til zone. Nedenfor er niveau 2-zonerne for Landstrafikmodellens vist. Laget er en ny type data, som kaldes polygoner. Hver zone består af et polygon.



Udsnit af niveau 2-zonekort fra Landstrafikmodellen: (LTM).

Da Landstrafikmodellen bruges i dansk kontekst, er der behov for større detaljeringsgrad i Danmark end i udlandet. Som det ses af figuren, er zonerne i Danmark derfor mindre end zonerne i eksempelvis Sverige og Nordtyskland. Det ses også, at zonerne er mindre i Malmø og i området omkring Øresundsbroen end længere nordpå i Sverige. Malmø-regionen har større relation til det danske vejnet end det centrale Sverige. Detaljeringsgraden afhænger også af trafikmængden. Der, hvor trafikmængden er størst, vil ændringer i infrastrukturen få betydning for flest. Bl.a. derfor er der også forskel på størrelsen af zonerne internt i Danmark. Detaljeringsgraden er størst omkring de større byer, hvor der også er mest trafik.



Inddeling af niveau 2 zoner i Aarhus- og Københavnsområdet.

Som med overvejelserne omkring detaljeringsgraden og kvaliteten af data i forrige afsnit ligger der også mange overvejelser til grund for valget af detaljeringsgrad med Landstrafikmodellens zoner. Hvis vi eksempelvis kun er interesseret i at vide, hvor meget trafik der er på Storebæltsbroen, mens trafikken på det øvrige vejnet vurderes som underordnet, kan antallet af zoner reduceres betragteligt. Omvendt er det nødvendigt med høj detaljeringsgrad, hvis Landstrafikmodellen skal bruges til at beregne effekterne af en ny vej i indre København. Det gælder generelt for GIS og trafikdata, at jo større detaljeringsgrad, der arbejdes med, desto længere tid tager beregninger og dataanalyser. Derfor er det optimalt at have forskellige detaljeringsgrader til forskellige beregninger. Landstrafikmodellen bliver tilgængelig på flere niveauer, der har forskellig zone- og netværksdetaljeringsgrad. Niveau 2, som vises på figurerne ovenfor, er på nuværende tidspunkt den midterste detaljeringsgrad.

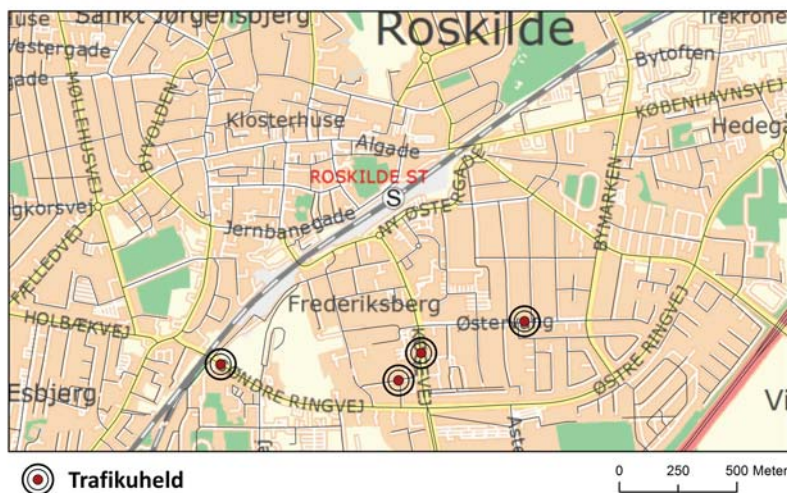
Dataforædling med GIS. Trafikuheld som eksempel.

I databaser arbejdes der med nøgler, som sammenkæder information. Eksempelvis har motorkøretøjsregistreret data om køretøj og nummerplade. Hvis der søges på en bestemt bilmodel, vil der være flere nummerplader, som har samme bilmodel, men hvis der søges på én nummerplade, vil der kun være én forekomst, fordi nummerpladen pr. definition er unik og tilknyttet én bestemt bil. Det gør, at nummerpladen kan bruges som unik nøgle. Denne form for sammenkædning er essentiel i databaser.

I GIS er princippet det samme, men ud over at kunne sammenkæde oplysninger ved hjælp af en unik nøgle, kan den geografiske information benyttes. Når der eksempelvis sker et trafikuheld, og tilskadekomne henvender sig til skadestuen, registreres informationer om uheldet, såsom typen af transportmiddel, transportmidlets alder og graden af tilskadekomst. Samtidig noteres det, hvor uheldet er sket. Ud fra denne information kan uheldet georefereres, hvormed det kan indlæses i GIS-softwaren. Det giver mulighed for at placere trafikuheldet i relation til vejnettet. I det følgende er vist tænkte eksempler, hvor trafikuheld kan være sket.

Til Landstrafikmodellen benyttes zoneopdeling, hvor detaljeringsgraden af zonesystemet kan gøres bedre, hvor der mest trafik. Hvis man eksempelvis kun er interesseret i at vide, hvor meget trafik der er på Storebæltsbroen, kan antallet af zoner reduceres betragteligt.





Ud fra de geografiske informationer om et givet uhelds placering kan informationer om vejnettet overføres til uheldet. Denne GIS-manøvre kaldes ”spatial join”. Det giver mulighed for at få informationer, såsom vejtype og hastighedsbegrænsning, som ikke blev noteret, da uheldet skete, knyttet til trafikuheldet.

Der er også mulighed for at lave et ”spatial join” omvendt, hvor oplysninger om trafikuheldet bliver knyttet til vejen. På den måde kan vi i vejnettet få oplyst, hvor mange trafikuheld der er sket på den pågældende strækning, og hvor alvorlige de har været. Det kan supplere arbejdet med forebyggelse af trafikuheld ved eksempelvis at tælle antallet af trafikuheld på en given strækning. Med GIS er der altså en mulighed for at berige data ved at benytte den geografiske dimension.

Da antallet af trafikuheld bl.a. afhænger af trafikmængden, er det muligt at give et mere retvisende bud på, hvor ”farlig” en vejstrækning i virkeligheden er, hvis trafikmængden kendes. Af økonomiske og praktiske årsager findes der ikke tælledata fra alle steder på hele vejnettet, men med resultaterne fra eksempelvis Landstrafikmodellen beregnes der trafikmængder for veje, hvor der ikke er foretaget trafiktællinger. En af flere metoder til at vurdere, hvor farlig en vej er, er ved at se på trafikmængden og antallet af trafikuheld. Hvis trafikmængden er relativ høj, og der er få uheld på en given lokalitet, er det sandsynligvis ikke her, man fokuserer indsatsen for at forbedre trafiksikkerheden. Er trafikmængden derimod lav, og der sker relativt mange trafikuheld, kan det tyde på, at der er lokalitetsbestemte forhold, som kan have indflydelse på antallet af trafikuheld, og som man derfor med fordel kan koncentrere trafiksikkerhedsindsatsen omkring.

Udviklingen indenfor GIS og transport

Kapitlet har givet et indblik i nogle af de værktøjer og metoder, der på nuværende tidspunkt benyttes indenfor GIS og GIS-software i transportsammenhæng. Udviklingen indenfor rutevejledning er siden årtusindeskiftet gået fra at have været en trykt kortsamling på størrelse med en A4-side med indeks over vejnavne, til at være digitale informationer lagret i

en GPS-navigator, der lynhurtigt kan søge på en specifik adresse. Vejnettet for hele verden kan i dag lagres på en enhed, der næsten ingenting fylder. Smartphonen har de seneste år automatisk givet brugere adgang til telefonens indbyggede GPS, og ved hjælp af forskellig software kan telefonen bruges til at navigere med, finde biografer i nærheden eller logge sin position til brug på sociale online tjenester. For trafik- og transportområdet er de senere års udbredte brug af GPS og smartphones til mangfoldige formål særdeles interessant. En stor del af befolkningen har nu nem og hurtig adgang til trafikale data, eksempelvis realtidsopdateringer af trafikken, så trafikanten kan vælge en alternativ rute for at undgå at sidde i kø. Det betyder ændrede transportvaner og rutevalg. Realtidsopdateringen er bl.a. mulig, fordi brugeren sender oplysninger om sin egen færden. Disse data kan øjeblikkeligt indgå i analysen af den pågældende trafiksituation. Som element i transportforskningen er der i årevis blevet indsamlet data ved hjælp af GPS-modtagere båret af udvalgte personer. De indsamlede GPS-data bidrager til forståelsen af befolkningens transportvaner. Fremgangsmåden har typisk bygget på, at personerne får tilsendt eller installeret en GPS-enhed, som vedkommende kan have med sig. I takt med at GPS'en i smartphones bliver mere nøjagtig, mobilnetværket udbygges og priserne for datatransmission bliver lavere, kan den traditionelle tilgang suppleres eller helt erstattes af eksempelvis smartphones. At deltageren automatisk sender data via mobilnetværket kan lede til, at langt flere kan deltage i fremtidige transportvaneundersøgelser og give mere detaljerede informationer om transportmønstre og transportvaner. Denne viden vil sandsynligvis føre til fremtidige infrastrukturtiltag, der i højere grad er tilpasset trafikanternes egentlige trafikmønstre.

Kapitlets forfatter



Data- og analysemedarbejder Morten Aabrink.

Transporthorisonter er en inspirationsbog om de vigtigste udfordringer, ideer og forskningsresultater inden for bl.a. mobilitet, trængsel, logistik, trafik-psykologi, infrastruktur og økonomi samt om transportsektorens indvirkning på miljø, sundhed og samfundsudvikling. Bogen gennemgår de forskellige fagområders praktiske betydning for individer, samfund og på globalt niveau. Transporthorisonter udleveres gratis som klassesæt til alle gymnasier og tekniske skoler, og det er håbet, at bogen vil blive brugt i eksempelvis fagene matematik, naturgeografi, samfundsfag og psykologi samt i det tværfaglige tematiske arbejde. Ud over gymnasierne henvender bogen sig til alle som interesserer sig for transportsystemets rolle i samfundet, og som måske på deres vej har bidt mærke i forhold, som de har undret sig over.

Transporthorisonter og det tilhørende opgavehæfte er skrevet af forskere og studerende ved DTU Transport. Bogen har en webside via DTU Transports hovedside, www.transport.dtu.dk, og herfra kan hele bogen samt de enkelte kapitler downloades. Derved gøres indholdet nemt at anvende i temaundervisning og i forbindelse med undervisning i supplerende stof. På websiden vil bogens forfattere desuden placere flere opgaver, opdaterede afsnit, forslag til ekskursioner og relevante links, og her kan faglærerne direkte spørge om emner i relation til undervisningen samt aftale eventuelle klassebesøg.