

TRAFIKDAGE PÅ AALBORG UNIVERSITET

*Trafikforskningsgruppen,
Aalborg Universitet*



Artikelsamling 2006



Redaktion:

Leif Gjesing Hansen, Aalborg Universitet

Lise Drewes Nielsen, Roskilde Universitet

Otto Anker Nielsen, Danmarks Tekniske Universitet

Tove Hels, Danmarks Transportforskning

Titel:

Artikelsamling fra Trafikdage på Aalborg Universitet 2006

Redaktion:

Leif Gjesing Hansen, Aalborg Universitet

Lise Drewes Nielsen, Roskilde Universitet

Otto Anker Nielsen, Danmarks Tekniske Universitet

Tove Hels, Danmarks Transportforskning

Udgiver:

Trafikforskningsgruppen, Aalborg Universitet

Udgivet:

Som elektronisk publikation på adressen: www.trafikdage.dk

ISP's Skriftserie: Nr. 316

ISBN: 978-87-91830-07-5

ISSN: 1397-3169

Forord

Denne konferencerapport dækker udvalgte indlæg fra Trafikdage på Aalborg Universitet 2006, som blev afviklet den 28.-29. august 2006.

På dette års konference har oplægsholderne haft mulighed for at indlevere artikler til vurdering med henblik på publicering i denne publikation. 26 artikler er blevet udvalgt til publicering og de lægger sig indenfor temaerne Adfærd og mobilitet, Godstransport, Kollektiv transport, Køretøjsteknologi, Trafikplanlægning, Trafiksikkerhed, Trafikteknik, Trafikpolitik, samfundsøkonomi og beslutningsmodeller.

Indholdet og synspunkter udtrykt i de indleverede artikler er alene forfatterernes.

Ud over denne publikation er øvrige artikler og indlæg præsenteret på konferencen tilgængelige på hjemmesiden www.trafikdage.dk.

Trafikdagens formål er at præsentere og debattere forskningsresultater, analyser og praktiske erfaringer fra projekter inden for trafik- og transportsektoren i et forum, hvor forskere møder praktikere. Det er intentionen at, at der på konferencen præsenteres såvel forskningsprojekter som mere praktisk orienterede analyser, udredninger og evalueringer, hvilket også afspejler sig i bredden blandt de publicerede artikler i nærværende publikation.

Formålet med udgivelse af denne publikation er at øge anerkendelsen af de bedste artikelbidrag til konferencen og derved anspore bidragsyderne til at indlevere gode og rettidige artikler. Herudover får konferencedeltagere og andre fagfolk et overblik over de vigtigste faglige nyudviklinger på Trafikdage på Aalborg Universitet. Vurderinger af de indleverede papers er blevet foretaget af medlemmer fra Trafikdagens Programkomité.

Vi håber at nærværende publikation kan give et orienterende og inspirerende indblik i aktuel forskning, udredningsopgaver samt planlægningsinitiativer på trafik- og transportområdet i Danmark og i Norden.

Redaktionen, juni 2007.

Leif Gjesing Hansen, Aalborg universitet

Lise Drewes Nielsen, Roskilde Universitet

Otto Anker Nielsen, Danmarks Tekniske Universitet

Tove Hels, Danmarks Transportforskning

Programkomité

Lárus Ágústsson, Vejdirektoratet
Guro Berge, Statens Vegvesen
Camilla Riff Brems, Danmarks TransportForskning
Gitte Carstensen, Danmarks TransportForskning
Per Darger, Trafikstyrelsen
Hans Ege, Trafikselskabet MOVIA
Mogens Fosgerau, Danmarks TransportForskning
Henrik Gudmundson, Danmarks TransportForskning
Christian Overgaard Hansen, Center for Trafik og Transport, DTU
Ken Friis Hansen, Dinex
Ulrik Valentin Hansen, Viatrafik
Lisbeth Harms, Institut for Psykologi, KU
Ove Holm, Dansk Transport og Logistik
Henrik Harder Hovgesen, Aalborg Universitet
Helle Huse, Rambøll Nyvig
Henrik Nejst Jensen, Vejdirektoratet
Mette Jensen, Danmarks Miljøundersøgelser
Tine Lund Jensen, Transport- og Energiministeriet
Per Homann Jespersen, Roskilde Universitets Center
Kaj Jørgensen, Forskningscenter Risø
René Munk Jørgensen, Center for Trafik og Transport, DTU
Anders Hunæus Kaas, Atkins Danmark
Erik Basse Kristensen, Grontmij | Carl Bro
Alex Landex, Center for Trafik og Transport, DTU
Morten Marott Larsen, Anvendt KommunalForskning
Claus Lassen, Aalborg Universitet
Oli B. Madsen, Center for Trafik og Transport, DTU
Lykke Magelund, Tetraplan
Lene Nøhr Michelsen, Vejdirektoratet
Claus Rehfeld Moshøj, Banedanmark
Jesper Mølgaard, DSB
Petter Næss, Aalborg Universitet
Lars Juhl Poulsen, Vejdirektoratet
Andreas Røhl, Trafikstyrelsen
Niels Schmidt, Århus Kommune
Birgitte Sloth, Økonomisk Institut, SDU
Steen Stensgaard, Silkeborg kommune
Ole Svendsen, Fyns amt
Claus Hedegaard Sørensen, Transportøkonomisk institutt
Charlotte Vithen
Eva Willumsen, COWI
Harry Lahrmann, Aalborg Universitet
Leif Gjesing Hansen, Aalborg Universitet

Indholdsfortegnelse

	Side
Kolofon	2
Forord	3
Programkomité	4
Indholdsfortegnelse	5
Trafikpolitik, samfundsøkonomi og beslutningsstøttemodeller	
Kørselsafgifter i København - systemdesign, anvendelse af provenu og fremtiden for vejafgifter v/Otto Anker Nielsen, Center for Trafik og Transport, DTU	8
Kørselsafgifter i København - trafikmotelberegninger og trafikale effekter v/Jeppe Rich, Otto Anker Nielsen, Center for Trafik og Transport, DTU og Uffe Nielsen, Institut for Miljøvurdering	38
Real estate ownership and the demand for cars in Denmark - A pseudopanel analysis v/Jens Erik Nielsen, Danmarks TransportForskning	60
Before and after analysis of the bridge to Askø v/Trude Tørset, SINTEF	70
Arbejdspendlere først! Konsekvenser av fortrinnsrette for pendlere på frekvensbaserte transportmidler med kapasitetsproblemer v/Gisle Solvoll og Terje Mathisen, Handelshøgskolen i Bodø	84
Gratis ferger - stor og omstridt transportform i Norge v/Finn Jørgensen og Gisle Solvoll, Handelshøgskolen i Bodø og Morten Welde, Vegdirektoratet	94
Adfærd og mobilitet	
Bedre tilgængelighed - Flere passagerer v/Kristoffer Kejser, DSB S-tog	105
Examination of catchment areas for public transport v/Alex Landex, Stephen Hansen og Jonas L. E. Andersen, Center for Trafik og Transport, DTU	115
Overlappende stationsafstande: Bestemmelse af passagerpotentialer v/Valdemar Warburg og Iben Rue, Center for Trafik og Transport, DTU	132
Traffic Culture: Law, Morality and Actual Behaviour (Moral Regulation in Traffic Culture) v/Anette Jerup Jørgensen, Aalborg Universitet	146
Godstransport	
En godstrafikmodel for Øresundsregionen v/Mikal Holmblad, Danmarks TransportForskning	162
Kollektiv transport	
Fremkommelighed på A-buslinierne, status efter fire år v/Torben Abildgaard Knudsen, Hovedstadens Udviklingsråd	174
Simulering af passagerforsinkelser på jernbaner v/Alex Landex og Otto Anker Nielsen, Center for Trafik og Transport, DTU	185

Light rail project in Copenhagen – the Ring 2½ corridor v/Jonas L. E. Andersen, Alex Landex og Otto Anker Nielsen, Center for Trafik og Transport, DTU	207
Optimal Reinsertion of Cancelled Train Lines v/Julie Jespersen Groth, DSB S-tog og Jens Clausen, Informatics and Mathematical Modelling, DTU	222
Evaluation of railway capacity v/ Alex Landex, Center for Trafik og Transport, DTU, Anders H. Kaas, Atkins Danmark, Bernd Schittenhelm, Banedanmark og Jan Schneider-Tilli, Trafikstyrelsen	232

Trafikplanlægning

Transport impacts of the Copenhagen Metro v/Jane Ildensborg-Hansen, TetraPlan A/S og Goran Vuk, Danmarks TransportForskning	255
Helhedsorienteret trafikplan for Hovedstaden v/Øystein Leonardsen, Københavns Kommune	265
Dialogbaseret trafikplanlægning på tværs af landegrænser - kan det lade sig gøre? v/Øystein Leonardsen, Københavns Kommune	281

Trafiksikkerhed

Mere trafik - færre ulykker v/Tove Hels, Danmarks TransportForskning	293
Trafiksikkerhed på strækninger i åbent land - Metode til udpegning og besigtigelse af grå strækninger v/Peter Søndergaard, Via Trafik og Peter Sønderlund, Nordjyllands Amt	302
Grå strækninger på det overordnede vejnet i det åbne land - Udvikling, gennemførelse og vurdering af kategoribaseret udpegningsmetode v/Michael Sørensen, Aalborg Universitet	310

Trafikteknik

Agent Based Individual Trafficguidance v/Jørgen Bundgaard Wanscher, Informatics and Mathematical Modelling, DTU	323
--	-----

Køretøjsteknologi

Perspektiver for biomasse i transportsektoren i Danmark v/Kaj Jørgensen, Forskningscenter Risø	334
Europæiske udstødningsnormer for motorkøretøjer v/Dorte Kubel, Miljøstyrelsen	343
Energiforbrug og emissioner fra non road maskiner i Danmark 1985-2020 v/Morten Winther og Ole-Kenneth Nielsen, Danmarks Miljøundersøgelser	352

Trafikpolitik, samfundsøkonomi og beslutningsstøttemodeller

Kørselsafgifter i København – systemdesign, anvendelse af provenu og fremtiden for vejafgifter

Otto Anker Nielsen, Professor, Ph.D.

Centre for Trafik og Transport (CTT), Danmarks Tekniske Universitet (DTU)

Bygning 115, st.tv. Bygningstorvet, 2800 Lyngby

Email: [oan@ctt.dtu.dk](mailto: oan@ctt.dtu.dk)

Jeppe Rich, Lektor, Ph.D.

Centre for Trafik og Transport (CTT), Danmarks Tekniske Universitet (DTU)

Bygning 115, st.tv. Bygningstorvet, 2800 Lyngby

Email: [jhr@ctt.dtu.dk](mailto: jhr@ctt.dtu.dk)

Uffe Nielsen, Seniorøkonom, Ph.D

Institut for Miljøvurdering

Gl. Kongevej 5. 1. sal, 1610 København V

Email: [uni@imv.dk](mailto: uni@imv.dk)

Abstract

Vejafgifter, som middel til at reducere trængsel, er blevet et populært instrument i flere europæiske byer, herunder London og Stockholm. I den forbindelse er et aktuelt problem hvorvidt provenuet skal anvendes. Formålet i papiret er at se på tilbageførselseffekter hvis tilbageførslen sker gennem øgede investeringer i infrastruktur. Dette scenario er relevant eftersom der er et vist folkeligt pres for at penge der opkræves i trafiksektoren skal tilbageføres til samme sektor. Vi viser at hvis tilbageførslen sker som en ”puljeinvestering” med mange projekter involveret, vil der ganske vist ske en øget tilgængelighed, men dog ikke stor nok til at modsvare de øgede udgifter.

Introduktion

Trængselsproblemer i de større Europæiske byer er et stadigt stigende problem. Problemet forsvinder ikke af sig selv, men kræver enten at kapaciteten på vejnettet kontinuerligt øges eller at trafikken reguleres så efterspørgslen i trafiksystemet kan afvikles mere hensigtsmæssigt. Kapacitetsforøgelse kan kun til en vis grad realiseres inden for de givne arealmæssige, tekniske og økonomiske rammer, samtidigt med at der er en meget lang reaktionstid fra det besluttes at bygge ny infrastruktur til det står færdigt. Af ovennævnte grunde forfølger mange Europæiske byer reguleringsvejen, som grundlæggende består i at der indføres geografisk differentierede vejafgifter. Disse kan implementeres som

bompengesystemer eller kilometerbaserede systemer. Da afgiftsniveauerne kan ændres efter behov er dette en fleksibel løsning som kan tillempes ændrede forudsætninger.

I denne artikel fokuseres på to specifikke problemer i forbindelsen med beslutningen af et vejafgiftssystem. Dels systemdesign, som blandt andet omhandler den fysiske udformning af afgiftszonerne samt afgiftsdifferentieringen på køretøjstyper og tidsperioder, dels hvordan provenuet kan genanvendes. Specifikt opstilles en prioriteret liste over mulige Københavnske infrastrukturprojekter.

Projektet er udarbejdet for Institut for Miljøvurdering (IMV) i samarbejde mellem IMV og Center for Trafik og Transport (CTT)¹.

Designet af fire systemer

I designet af et kørselsafgiftssystem er der nærmest uendelig mange forskellige modeller, man kunne regne på, hvis alle kombinationer skulle afprøves. Hvem skal betale? Hvor meget der skal betales? Hvilket område skal afgiftsbelægges? Hvilke tidspunkter afgiftssystemet skal være i kraft? På hvilket grundlag afgiften skal opkræves? Hvordan afgifterne skal opkræves? Og hvordan betalingen håndhæves? Tabel 1 giver en oversigt over de væsentlige byggesten, der kan tages i brug, når et kørselsafgiftssystem skal designes.

Tabel 1: Design af kørselsafgiftssystem

System • Bomring • Zonetakst (<i>mange bomgrænser</i>) • Variable kørselsafgifter	Vejtyper • Ingen differentiering • Dyrere på lokalveje • <i>Motorveje alene</i>
Opkrævningsteknologi • BIZZ i bilen (DSRC teknologi) • GPS teknologi • Forhåndsbetaling og fotogenkendelse	Køretøjstype • Ingen differentiering • Differentiering mellem personbil, varebil og lastbil • Lavere takst for miljøbiler
Geografisk afgrænsning • Indre By • (<i>Godsbanesnittet</i>) • København og Frederiksberg kommuner • Københavns Amt	Prisniveau • Lav takst • Høj takst • <i>Trængselsafgift</i> • Takst svarende til eksternaliteter • Takst med beboerrabat
Tidsrum • Hele døgnet • Hele dagen • Hele dagen med særlig myldretidstakst • <i>Myldretider alene</i> • Morgenmyldretid	Anvendelse af provenu • Lavere kommuneskat • <i>Generelle skattenedsættelser</i> • Tilbageførsel til primært vej og parkering • Overførsel til primært cyklister og kollektiv trafik

Kilde: (Københavns Kommune 2005) med undertegnede's tilføjelser i kursiv

¹ For en uddybende gennemgang henvises til de to hovedrapporter, henholdsvis Wrang K. et al. (2006) og Rich et al. (2006).

Byggestenene dækker fx over systemdesign, opkrævningsteknologi og geografisk afgrænsning. For hver af de otte byggesten er der angivet en række muligheder, fx kan den geografiske afgrænsning være ved den indre by, godsbanesnittedet eller Københavns Amtsgrænse. Det er klart, at for hvert element er der flere muligheder end dem, der er skitseret i boksen.

De enkelte muligheder kan kombineres på flere forskellige måder. Det betyder, at der er rigtig mange forslag til, hvordan det samlede system kan udformes. I det følgende vil vi kort præsentere de fire grundmodeller, som vi regner videre på. Derefter redegør vi for de valg og fravalg, der er taget i denne udvælgelse.

Fire grundmodeller

Vi analyserer i dette projekt fire grundmodeller for 2005, som skitseret i tabel 2 nedenfor.

Tabel 2: Fire modeller for kørselsafgifter i København

Navn	Takstsystem	Geografisk område	Teknisk løsning	Betaling		
Km-takst	Afgiften afhænger af tidspunkt og sted.	Systemet er afgrænset af 4 takstområder: Søringen, godsbanesnittedet, Ring 3 samt Ring 4.	GPS i bilen.	Kroner pr. km.	Myldretid	Udenfor myldretid
				Ydre forstæder	1,00	0,50
				Indre forstæder	2,00	1,00
				Brokvartererne	3,50	1,75
				Indre by	5,00	2,50
Zonetakst (multibom)	Afgiften betales ved passage mellem zoner (bomgrænser). Der er 11 zoner i alt. Afgiften afhænger af tidspunkt og zone.	Systemet består af fire ringe: Søringen, godsbanesnittedet, Ring 3 samt Ring 4, der igen er opdelt til i alt 11 zoner	GPS i bilen.	Kroner pr. zonepassage	Myldretid	Udenfor myldretid
				Ydre forstæder	2	1
				Indre forstæder	4	2
				Brokvartererne	8	4
				Indre by	12	6
Lille Bomring	Betaling for at passere bomringen. Afgiften afhænger af tidspunkt og køreretning.	Indenfor søerne samt dele af Islands Brygge & Sundby Nord	Tags i bilen.	Kroner pr. passage	Myldretid	Udenfor myldretid
				Ind mod by	30	15
				Ud af byen	30	15
Stor Bomring	Betaling for at passere bomringen. Afgiften afhænger af tidspunkt og køreretning.	Følger godsbanesnittedet	Tags i bilen.	Kroner pr. passage	Myldretid	Udenfor myldretid
				Ind mod by	30	15
				Ud af byen	30	15

Km-takst model

I km-takst modellen betaler bilisterne en afgift, der afhænger af antal kørte kilometer, tidspunkt og sted. Taksten er differentieret, så der betales en dobbelt takst i perioder med myldretid i forhold til udenfor myldretid. Taksten er endvidere differentieret, så der er en højere takst i områder med generelt højere trængsel set i forhold til områder med mindre trængsel. Km-takst modellen dækker et område helt ud til Ring 4. Den tekniske løsning er baseret på GPS-teknologien.

Zonetakst model

I zonetakst modellen er der oprettet 11 zoner. Bilisterne betaler en afgift hver gang en zonegrænse passerer. De 11 zoner dækker det samme område som km-takst modellen, taksten er igen differentieret afhængig af tid og sted og endelig er den tekniske løsning ligeledes baseret på GPS-teknologi. Til forskel fra km-takst modellen kan bilisterne i zonetakst modellen køre gratis rundt, så længe de ikke passerer en zonegrænse. Betalingen er derfor ikke fuldt ud afhængig af antal kørte kilometer.

Lille bomring model

I den lille bomring model skal bilisterne betale en afgift, når bomgrænsen passerer. Der er samme betaling uanset, hvor grænsen passerer, men til gengæld afhænger taksten af, om grænsen passerer i eller udenfor myldretid. Som i de andre modeller er der halv pris i perioder uden trængsel. Den lille bomring dækker Indre By, Islands Brygge og Sundby Nord. Den tekniske løsning er baseret på tags i bilen (som bro-bizz på Storebælt) og vejsideudstyr, der registrerer bilens passage af bomgrænsen.

Stor bomring model

Den store bomring bygger på de samme principper som den lille bomring. Den eneste forskel er den geografiske afgrænsning, idet den store bomring følger godsbanesnittet.

Hvorfor disse fire modeller?

I projektet blev taksterne tilrettelagt med sigte mod at reducere de eksterne effekter, der er fra trafikken – dvs. bidrage til reduktion af trængsel, støj og miljøbelastning samt færre uheld. Der er dog samtidig foretaget en afvejning af, hvordan man på den ene side mest effektivt kan håndtere disse eksterne effekter overfor hvordan man på den anden side skruer et gennemskueligt og enkelt system sammen. Erfaringer fra tidligere udredninger og beregninger blev i videst mulige omfang inddraget i forbindelse med valg af systemdesign.

I alle modellerne har vi valgt at tidsdifferentiere taksten, så afgiften er højest i myldretiden. I km-takst og zonetakst modellerne differentieres taksten endvidere i forhold til sted. Taksten er fx højest i Indre København, hvor trængslen er størst. Vi tilgodeser også et miljøformål, idet den samlede betaling hænger tæt sammen med antal kørte kilometer, og dermed udledningen af fx partikler, CO₂ og NO_x.

Endvidere er lastbiler i alle modeller sat til at skulle betale en 3 gange højere takst end personbiler for at afspejle lastbilers øgede miljø og trængselsbelastning. Det har ikke været muligt at differentiere taksterne for forskellige typer biler i trafikmodellen. Vi har derfor ikke kunne sænke taksterne for fx miljøvenlige biler.

Tabel 3 giver et overblik over de anvendte principper i vores modeller.

Tabel 3: Hvem, hvor meget, hvor henne og hvornår skal der betales?

	Anvendt princip i IMV scenarier
Hvem	Ens betaling for alle, dvs. ingen rabatordninger til fx Københavnerne.
Hvor meget	I km-takst og zonetakst modellerne videreføres priserne fra AKTA forsøget (se Rich & Nielsen, 2006). I bomring modellerne er niveauet sat til 15 og 30 kroner pr. passage afhængig af tidspunkt.
Hvor henne	Den lille bomring afgrænser Indre København, den store bomring afgrænses ved godsbanesnittedet, mens km-takst modellen og zonetakst modellen består af fire ringe, der yderst afgrænses af Ring 4.
Hvornår	I alle fire modeller differentieres mellem betaling i og uden for myldretiden. Der betales dobbelt afgift i myldretidsperioder i forhold til perioder udenfor myldretid.

Som det fremgår af tabel 3 skelnes der ikke mellem forskellige befolkningsgrupper. Alle skal betale ens afgifter, og der gives derfor ikke rabat til fx københavnerne. Begrundelsen er, at alle biler påvirker trængsel, miljø og støjniveau ens uanset bilistens tilhørsforhold. Fordeling af gevinster og omkostninger ved systemet er et væsentligt politisk hensyn – men IMV-arbejdet blev som udgangspunkt afgrænset i forhold til politiske fordelingshensyn.

Så er der spørgsmålet om taksternes størrelse. Ud fra en samfundsøkonomisk tilgang skal afgifterne afspejle eksternaliternes omfang. I praksis er der dog to begrænsninger. For det første vil det betyde, at afgiften skal variere ganske meget afhængig af primært tidspunkt, sted og type af køretøj, idet eksternaliteterne netop varierer meget med disse variable. Omvendt vil det være vanskeligt for bilisterne at overskue takstsystemet, hvis der er stor variation i taksterne. Man risikerer derfor at påvirkningen af bilisternes adfærd reduceres. For det andet er der usikkerhed om værdien af de samfundsøkonomiske eksternaliteter.

Det blev valgt at anvende de samme takster i km-afgift og zoneafgift modellerne, som var gældende i AKTA forsøget (se også den tekniske dokumentationsrapport, Rich & Nielsen, 2006).

For bomring modellerne har vi valgt en betaling på 15 kr. og 30 kr. pr. passage afhængig af, om der er myldretid eller ej. Der ligger tre overvejelser bag disse takster. For det første skal de have en vis størrelse, så der sikres en adfærdsmæssig effekt. For det andet skal der være en væsentlig forskel mellem de tidsdifferentierede takster, så valget af tidspunkt for turen påvirkes. Myldretidsbetalingen er valgt som dobbelt så stor som uden for myldretiden af hensyn til at gøre systemet så enkelt som muligt. For det tredje skal taksterne som nævnt helst omtrentlig afspejle størrelsen af eksternaliteterne. Vi har i fastsættelsen af taksterne konsulteret Trafikministeriets opgørelse over eksterne effekter af trafik. Det er fx denne tredje overvejelse, der ligger bag fastsættelsen af tre gange så høje afgifter på lastbiler.

Der er valgt forskellige geografiske afgrænsninger i projektet. Den lille bomring afgrænses af søerne samt dele af Sundby nord og Islands Brygge på Amager, mens den geografiske afgrænsning for den store bomring går ved godsbanesnittedet. Den geografiske afgrænsning for

km-takst og zonetakst modellerne er mere eller mindre ringvejssystemet rundt om København. Dette er primært gjort for at minimere antallet af indfaldsveje til systemet, og ud fra en betragtning om, at systemet skal dække de områder, der er hårdest ramt af trafikens negative eksterne effekter.

Trafikale effekter – med fokus på design

De overordnede trafikale effekter er gennemgået i hovedrapporten samt i Rich og Nielsen 2006b. Nedenfor fokuserer vi på de afledte designmæssige problemer ved de forskellige løsninger. Disse aflæses bedst ud fra en analyse af netværkseffekter og omvejskørsel.

Netværkseffekter og omvejskørsel

En række af resultaterne ovenfor synes umiddelbart vanskelige at forklare. Imidlertid afslører mere detaljerede analyser af netværkseffekter årsagerne hertil. Disse gennemgås i det følgende for de enkelte scenarier.

Kilometertakst

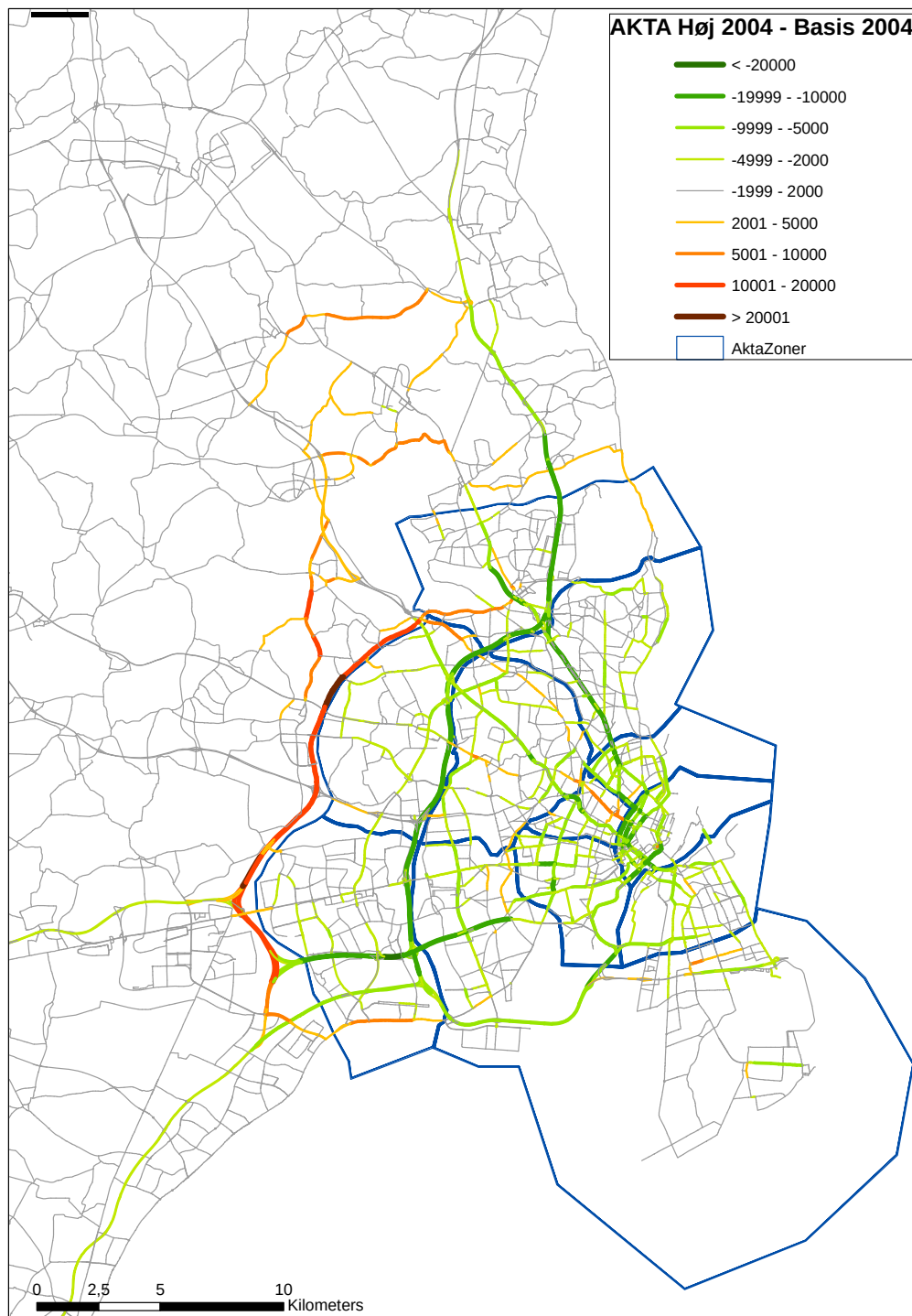
Figur 1 illustrerer ændringen af efter kilometertakst i forhold til basis i 2004. Som det fremgår, sker der generelt en stor reduktion i trafikmængden inden for takstzonerne. Dog er der enkelte veje inden for betalingsområdet, f.eks. Søborg Hovedgade, Nørrebrogade og Frederikssundsvej, hvor der sker en vækst i trafikken. Dette skyldes en overflytning fra længere ruter (f.eks. ad motorveje) over til de direkte og kortere ruter ad disse bygader. Dette er selvsagt en uheldig effekt, som dog ikke har en stor størrelsesorden, og som kan modvirkes via. følgeinvesteringer, f.eks. i trafiksanering af disse gader (om end det faktisk allerede delvist er sket i Søborg Hovedgade og Frederikssundsvej).

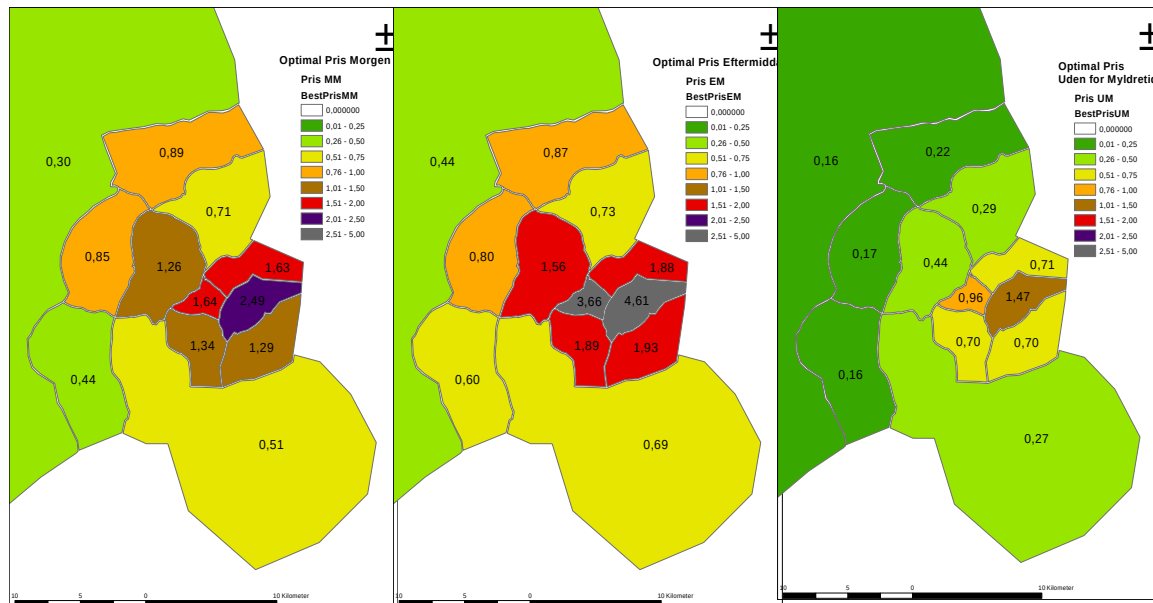
En anden meget kraftig – og uheldig – effekt er, at der sker en massiv vækst i trafikken uden for betalingsområdet – i særlig grad ad Ring 4, men også ad en række ruter nord for København. Da disse strækninger som udgangspunkt havde et beskedent trafikniveau er væksten – relativt set – meget stor.

Man kan spørge, om det er realistisk, at vejnettet kan rumme så stor vækst – f.eks. ”chokoladekrydset” mellem Ring 4 og Ballerup Byvej. Det skal dog her bemærkes, at en rute fra Farummotorvejen til Køge Bugt motorvejen eksempelvis i myldretiden sparer ca. 15 kr. ved at undgå takstområdet. Er der tale om en fritidstur med tidsværdi på 30 kr. per time kan bilisten således ”tåle” 30 minutters ekstra rejsetid/kø. Det bemærkes i den forbindelse, at trafikmodellen skelner mellem forskellige turformåls tidsværdier, ligesom der inden for det enkelte turformål opereres med en statistisk (logaritmisk normalfordelt) fordeling af tidsværdien. Dette betyder, at der for er en stor del af bilisterne vil være en forholdsvis lav betalingsvilje.

Generelt kan man anføre at en trængselsafgift bør modsvare de marginale omkostninger som den enkelte bilist påfører de andre bilister som følge af trængsel (selvom vi her i øvrigt har et mere bredt formål med vejafgiften).

Figur 2 illustrerer hvad den gennemsnitlige trængselsomkostning er i basis. Såfremt bilisterne skulle betale dette ville der komme en stor reduktion af trafikken, der så ville resultere i meget lavere gennemsnitlige trængselsomkostninger. Man skulle i praksis finde en ny ligevægt mellem prissætning og rutevalg. Dette er et bi-level problem, idet rutevalget i sig selv er en ligevægt mellem ruter og speed-flow beregninger, og derfor vanskeligt at løse i praksis. Figuren er imidlertid en nyttig indikator for hensigtsmæssige prisniveauer. I den forbindelse bemærkes, at yderområdet er hele Hovedstadsområdet – altså helt ud til ubelastede områder. At der alligevel foreslås en vis betaling tyder på et behov for en 5. ydre betalingszone – f.eks. fra Ring 4 til Ring 5 korridoren. Eller med andre ord – noget tyder på at kilometertakstscenariet burde dække et større geografisk område.

Figur 1: Differenskort mellem kilometertakst og basis 2004 scenariet.

Figur 2: Gennemsnitlige trængselsomkostninger, målt i basis 2004.

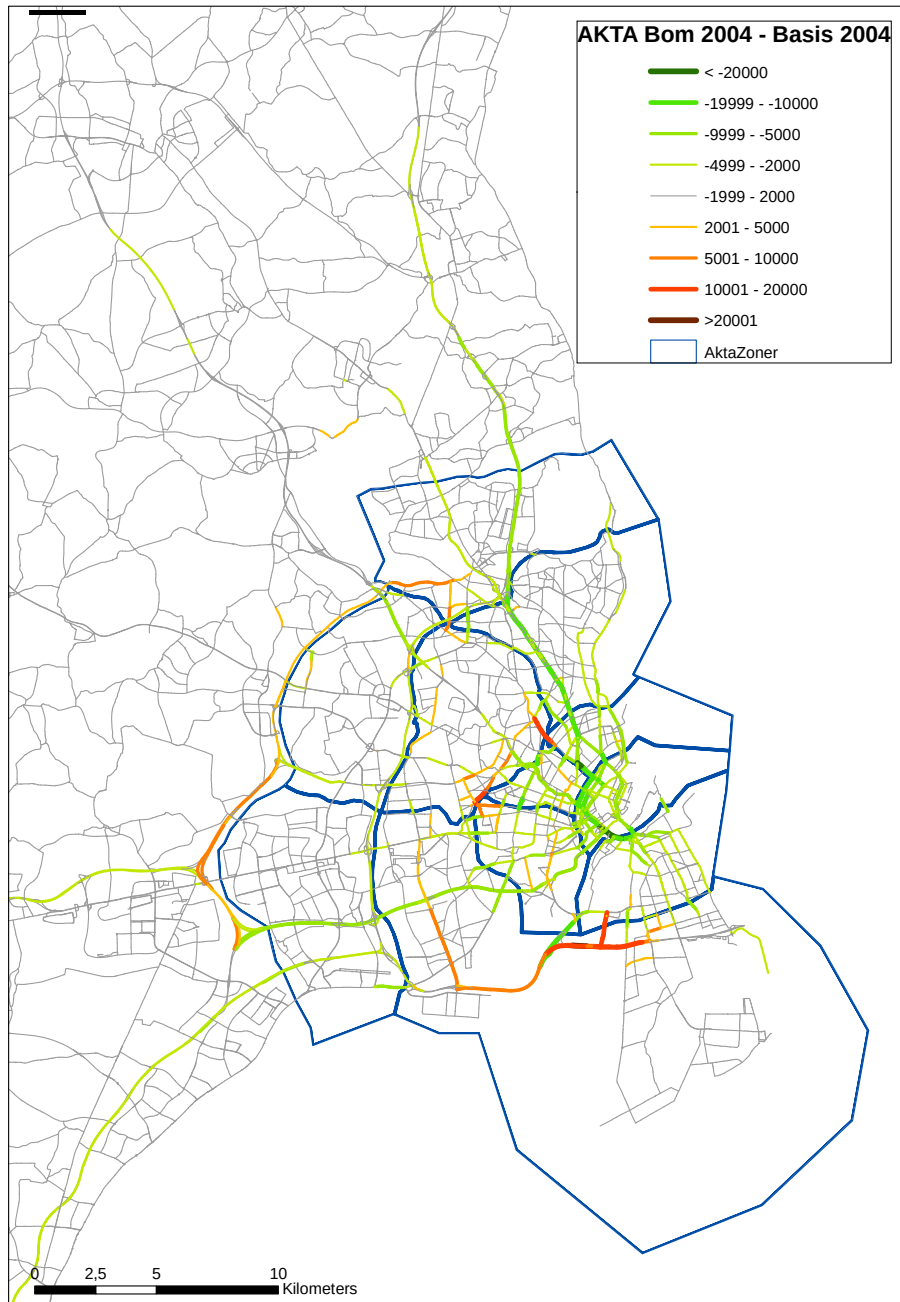
Zonetakstscenariet

Figur 3 illustrerer de trafikale effekter af Zonetakstscenariet.

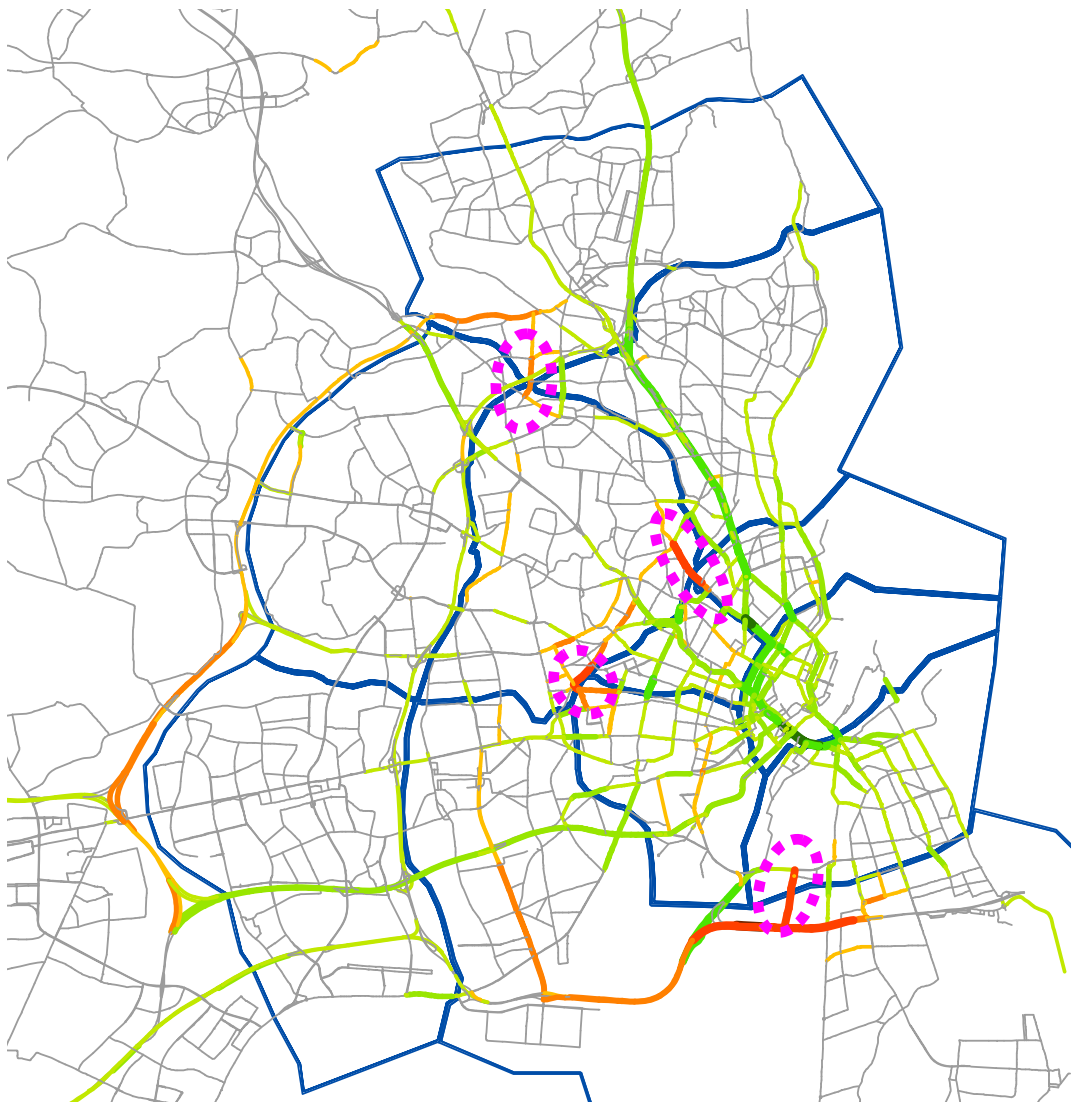
Som det fremgår, sker der generelt store fald i trafikken i de centrale dele af København, hvilket er ønskværdigt.

Der er i dette system også omvejskørsel ad Ring 4 – men i mindre omfang end kilometertakstscenariet. Forskellen skyldes, at der i Zonetakstscenariet betales for at krydse bomringe. Dette betyder, at ture mellem zoner mellem Ring 4 og Ring 3 vil få en ekstra udgift ved at benytte Ring 3 (passage af typisk en ekstra bomgrænse) i forhold til at køre inden for ringen. I kilometertakstscenariet er der derimod en besparelse. Forskellen betyder på den ene side, at Ring 4 ikke belastes så meget. Men omvendt, så er faldet i trafik på Ring 3 mindre, ligesom der i Zonetakstscenariet ikke er et fald i trafik på de tværgående veje i den ydre takstzone modsat hvad der observeres for kilometertakstscenariet. Dette er en uheldig effekt, idet disse veje er trafikveje i byområder (modsat Ring 4, der delvist er motorvej, delvist facadeløs stor trafikvej).

Den anden følgeeffekt er, at der er en række smalle korridorer, hvor man kan køre mellem to områder ad en enkelt vej, der kun krydser en bomgrænse, mens de alternative ruter krydser to grænser. Dette er forsøgt eksemplificeret i Figur 4. Dette er klart en uheldig effekt, og bomsystemer bør designes således at disse effekter undgås.

Figur 3: Differenskort mellem Zonetakstscenariet og basis 2004.

Figur 4: Differenskort mellem Zonetakstscenariet og basis 2004 – eksempler på "rabat korridorer" markeret med lilla



Lille bom

Figur 5 viser et differenskort mellem lille bom og basis i 2004. Som det fremgår, sker der på den ene side en aflastning af trafikken indenfor ringen, men på den anden side en stor vækst i trafikken udenfor.

Figur 6 illustrerer dette nærmere ved et zoom. Som det fremgår, er det muligt at undgå betaling for ture gennem centrum til Amager ved at benytte Sjællandsbroen. Idet man derved sparer to bomkrydsninger, dvs. i alt f.eks. 60 kr. i myldretiden, kan det berettige et betydeligt merforbrug af tid for de bilister og turformål, der har lave tidsværdier. Dette giver anledning til en betydelig trængsel i brokvartererne, der igen medfører en overflytning af ture herfra til Ring 2, hvor der også sker en vis vækst i trængslen. Dette overfører ture til motorringvejen (sammen med ture, der undgår at køre gennem city for at undgå betaling). Alt i alt giver dette

generelt en vækst i biltrafikken uden for betalingsringen – med undtagelse af enkelte radiale motorveje.

Omvendt sker der et fald i transportarbejdet inden for den lille ring, samt som nævnt på de radiale veje. Man kan dog forvente at denne reduktion i trængsel også medfører en modeffekt med nye ture, idet ture inden for ringen, samt ture der benytter radialvejene, men som ikke går helt ind til centrum, får en tidsgevinst uden betaling. Dette er forklaringen på det stigende trafikarbejde.

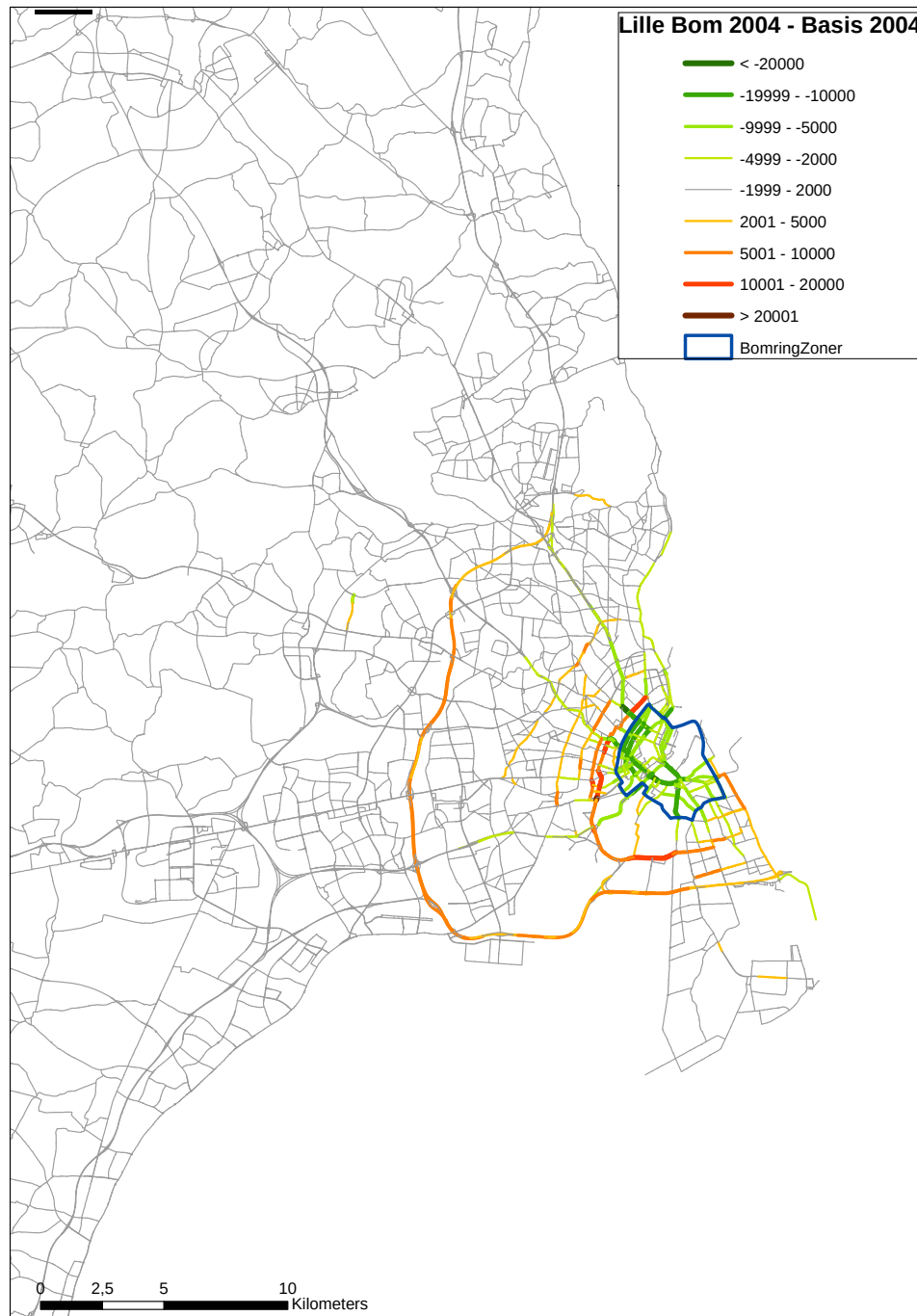
Der var i projektets styregruppe en diskussion af mulige forklaringer på omvejskørslen. Derfor er der i figur 7-9 vist særskilte differenskort for henholdsvis personbiler, varebiler og lastbiler. Da der er ca. 10 gange så mange personbiler som varebiler og lastbiler, er skalaen for personbiler en faktor 10 større end for de to andre køretøjstyper for at gøre det let at sammenligne figurerne.

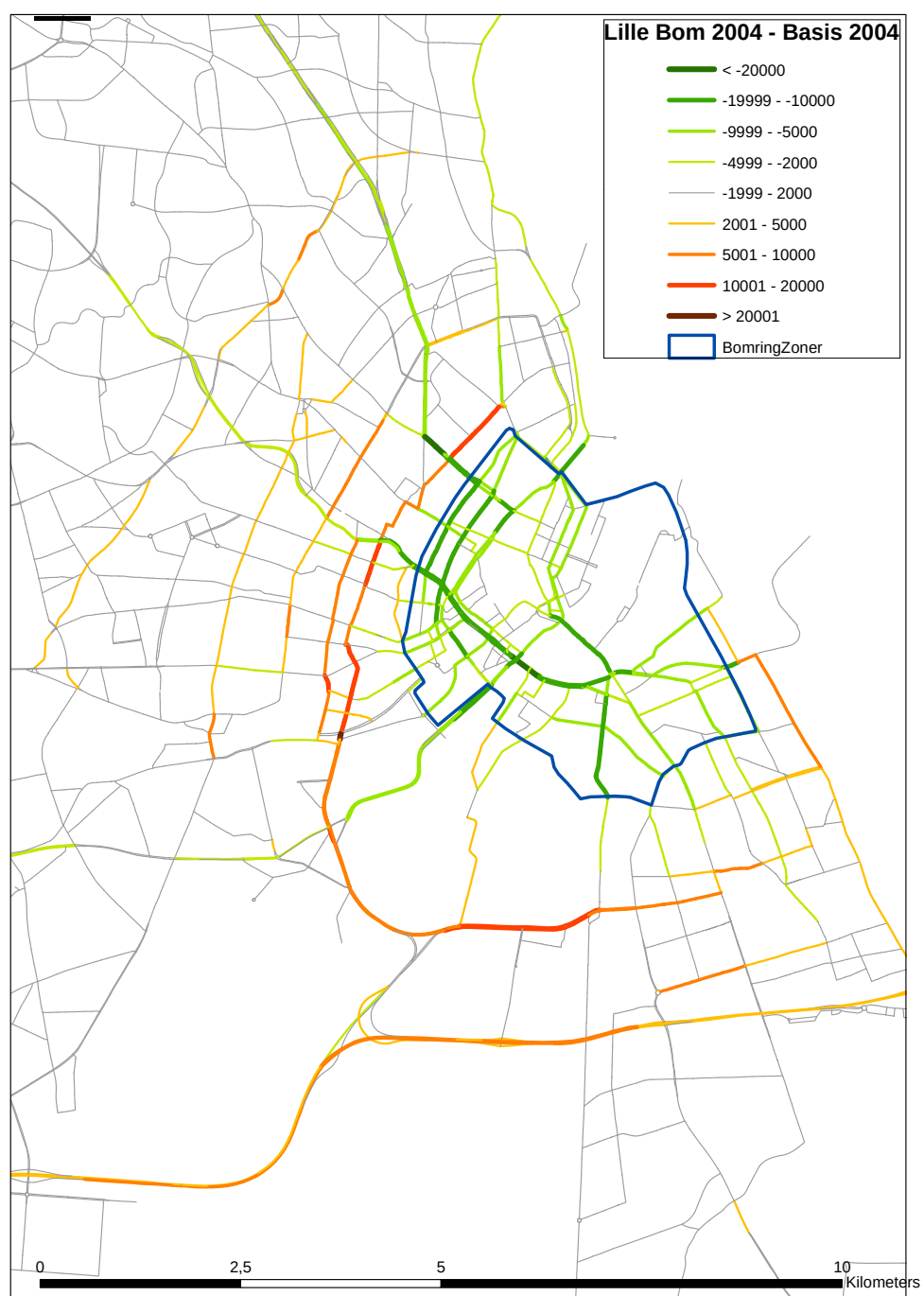
Man kan sige, at billedet er forholdsvist ens for de 3 køretøjstyper. I alle tilfælde opnås en massiv reduktion af trafikarbejdet inden for bomringen, samt en betragtelig omvejskørsel.

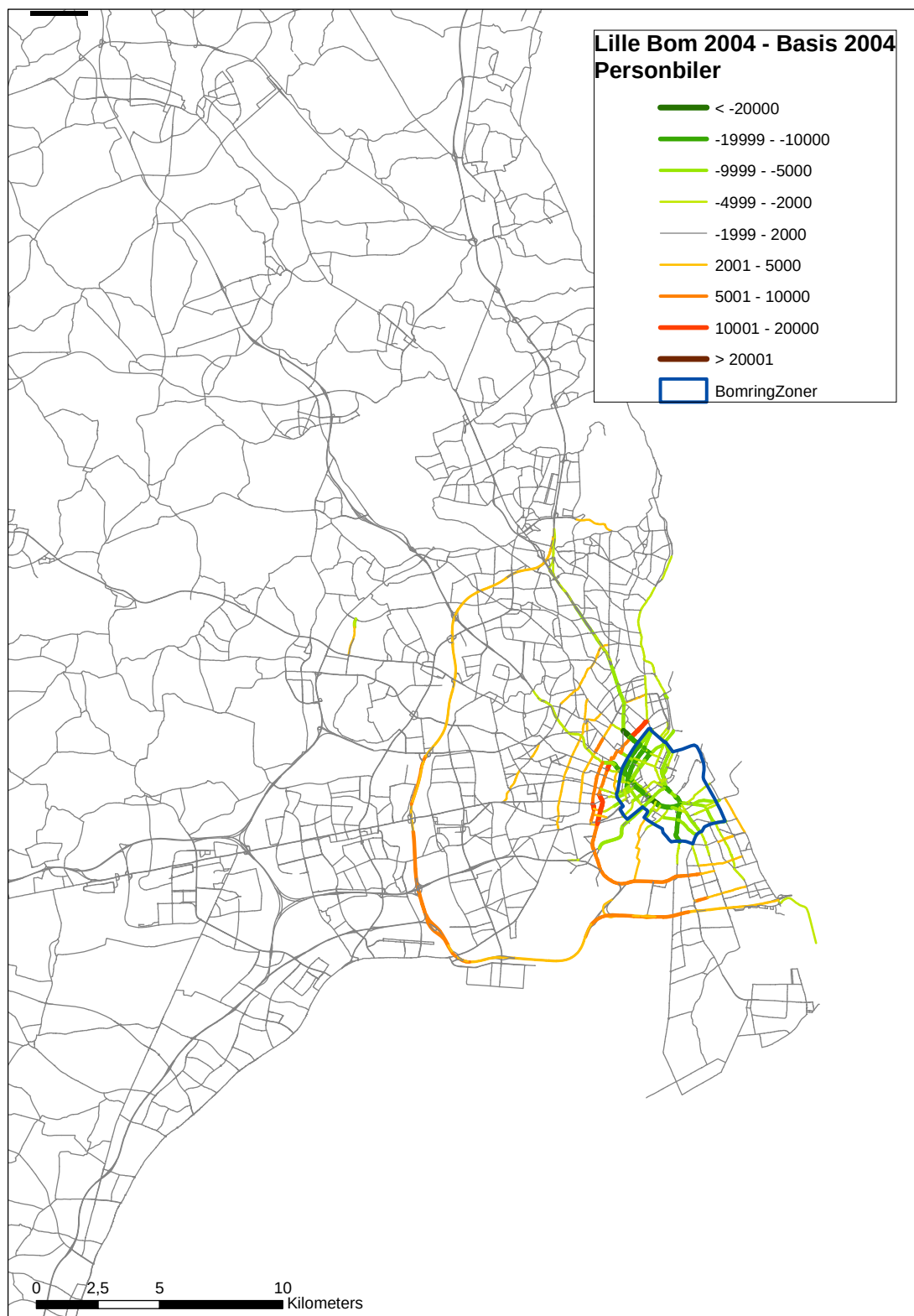
Personbilerne har stor omvejskørsel ad Ring 3, samt ruten over Sjællandsbroen og gennem brokvarterne.

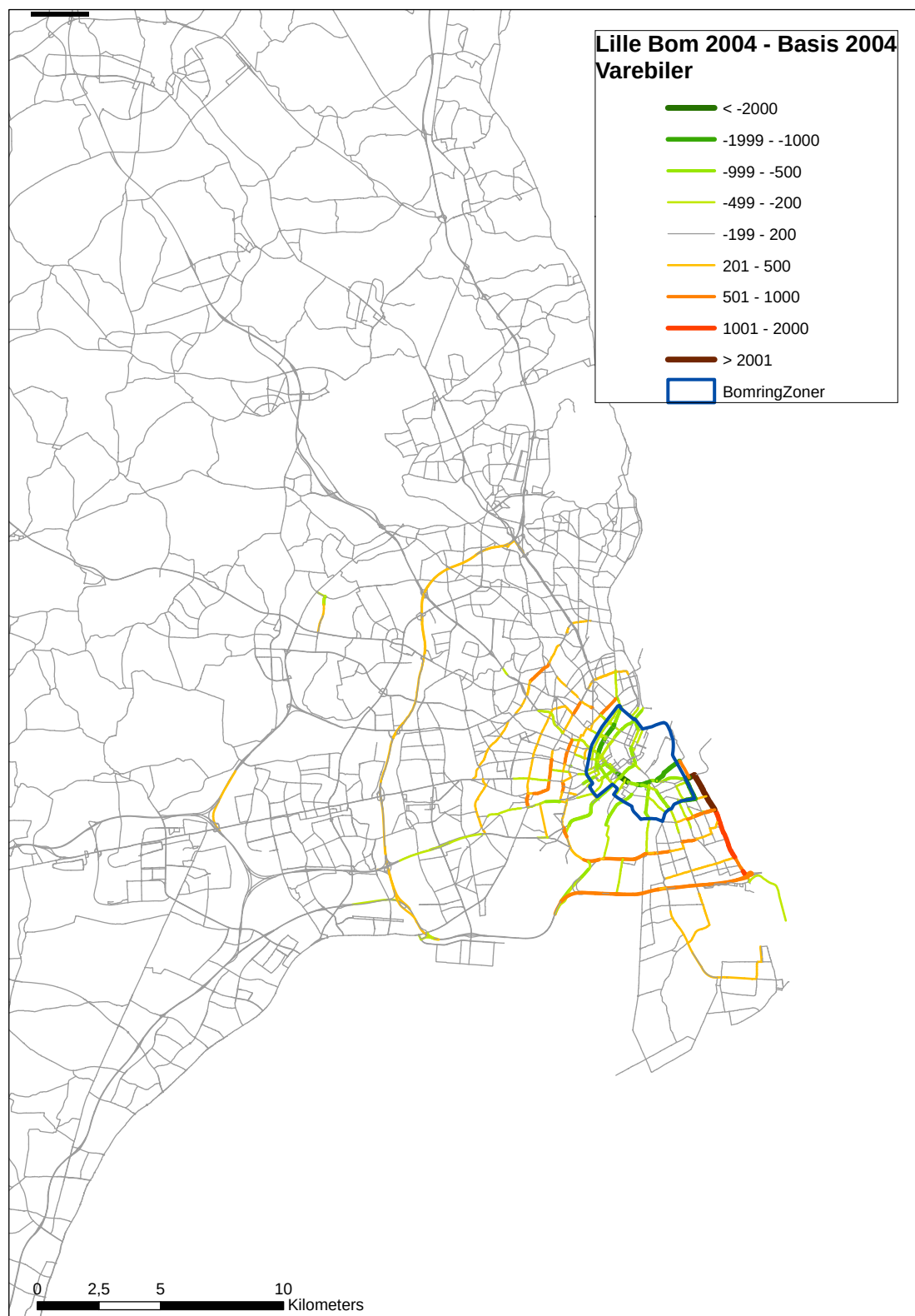
Billedet for lastbiler er det samme, men her er der også en massiv vækst i trafikken ad Amager Strandvej og forskellige ruter herfra mod Vest syd for ringen. At der her sker en stor vækst skyldes forholdsvist mange lange lastbilture til Prøvestenen, Refshaleø og de tilbageværende industrier i øvrigt i den nordlige del af Østamager. Et andet element er væksten i trafikken ved Tuborgvej og på Østerbro. Dette skyldes overflytning af lange lastbilture til/fra Nordhavn, der i stedet for ruten af Voldgaderne eller søgaderne, nu undgår ringen ved at køre nord om den.

Hvad angår varebiler er den mest markante forskel, at der ikke sker en så stor vækst ad Ring 3 som for de to andre køretøjstyper, og tilsvarende at der ikke sker et tilsvarende fald i trafikken ad de radiale ruter. Dette noget andet billede skyldes, at mange varebilsture er kortere distributions og håndværkskørsel (lokale håndværkere, etc.) , og færre ture går mellem Amager og de nordlige dele af regionen. Som for lastbiler er der dog stor omvejskørsel for ture til/fra Østamager, men med mere lokale konsekvenser.

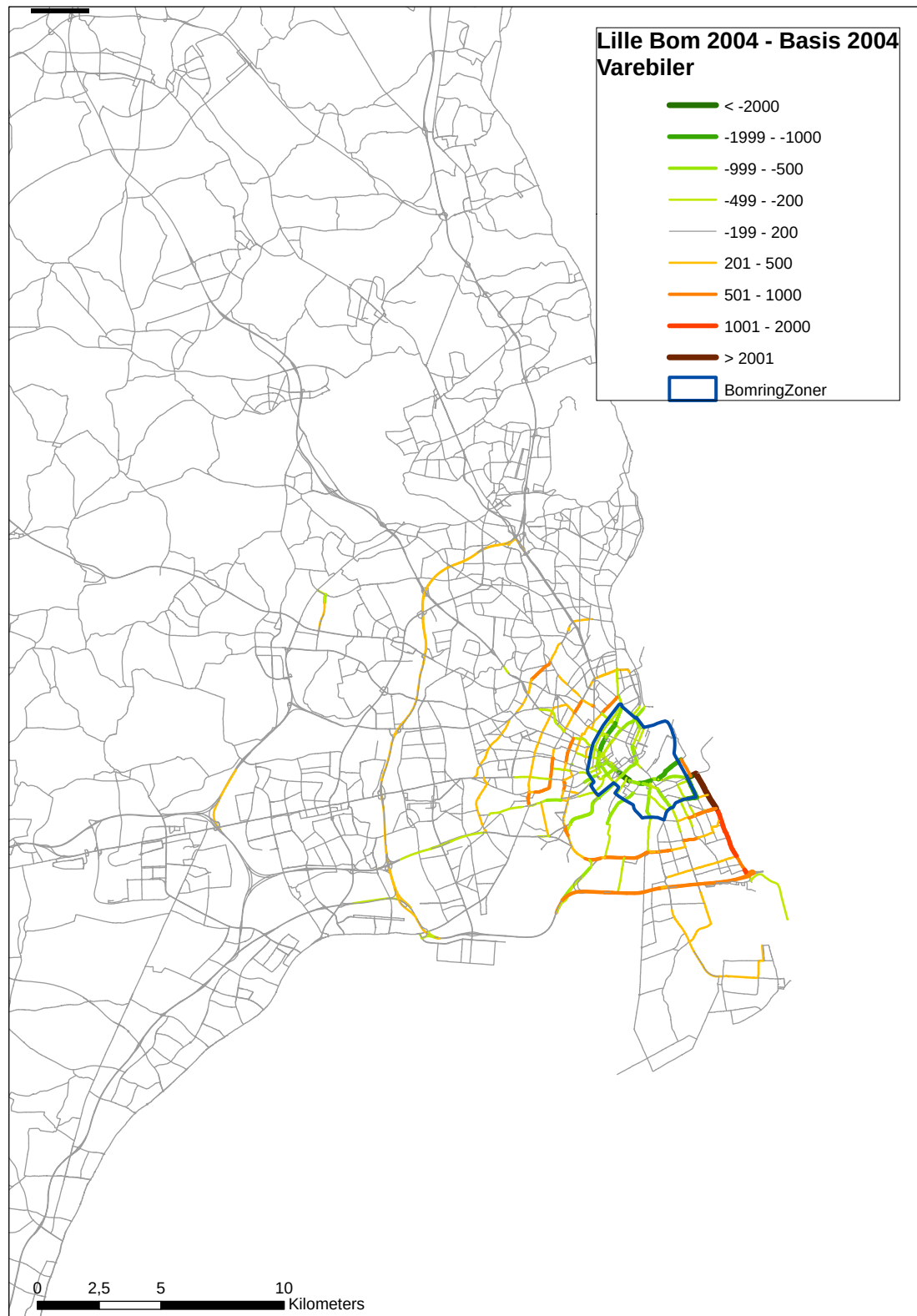
Figur 5: Differenskort mellem lille bom og basis 2004.

Figur 6: Differenskort mellem lille bom og basis 2004 – zoom in.

Figur 7: Differenskort mellem lille bom og basis 2004, personbiler.

Figur 8: Differenskort mellem lille bom og basis 2004, varebiler.

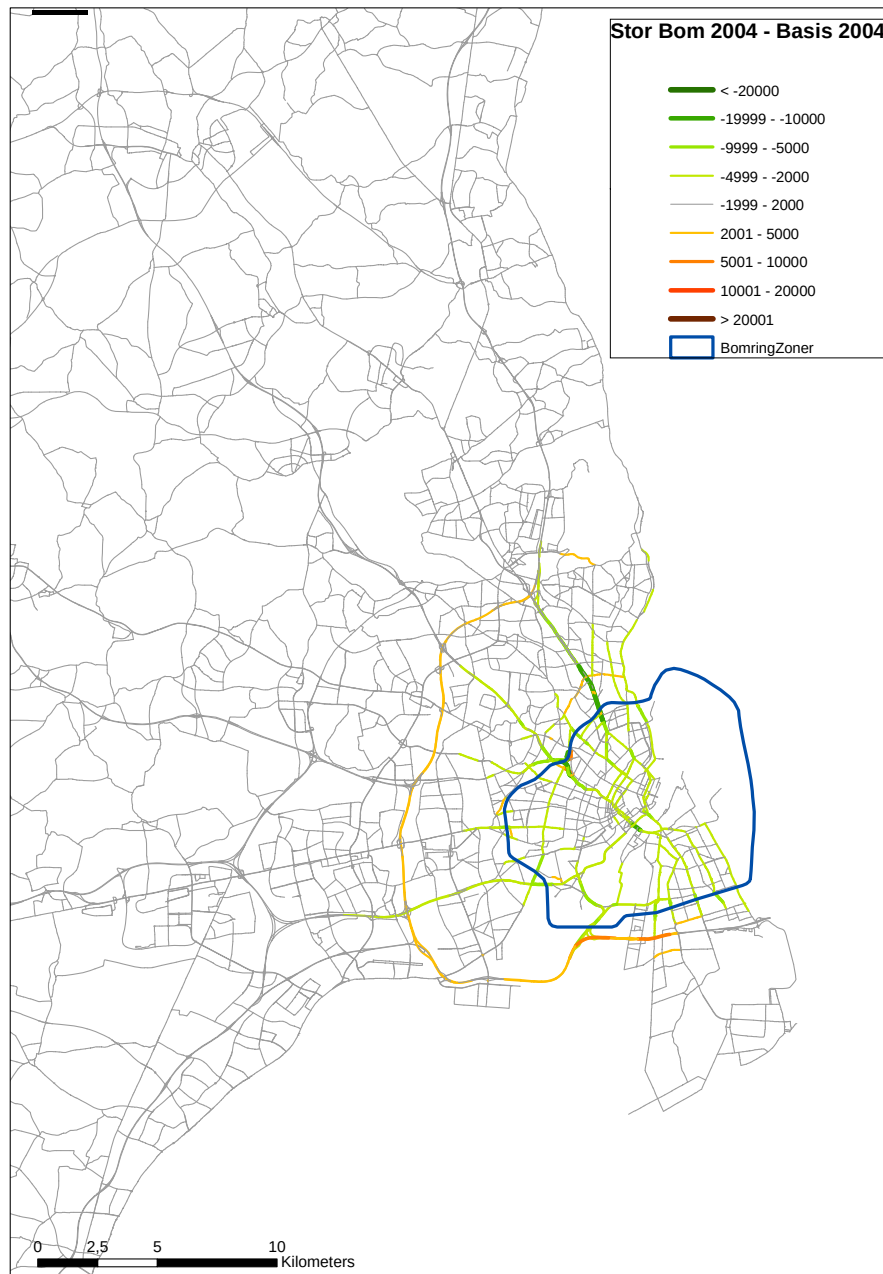
Figur 9: Differenskort mellem lille bom og basis 2004, lastbiler.



Stor bom

Figur 10 illustrerer forskellen mellem stor bom og basis. Generelt har dette system en ønskværdig trafikal effekt. Trafikken falder således generelt inden for bommen. Derudover falder trafikken generelt inden for MotorRing 3, bortset fra en lille vækst ved Tuborgvej. Trafikken stiger på MotorRing 3, men det er jo også en fordel at flytte trafikken væk fra boligområder.

Selvom stor bom ikke reducerer trafikken så meget i centrum, som lille bom og de andre systemer, så har systemet den store fordel, at der ikke er fordelingsmæssige konsekvenser, således at nogle områder får en øget gene af biltrafikken.

Figur 10: Differenskort mellem stor bom og basis 2004.

Tilbageførsel af provenu

For at analysere effektiviteten af at tilbageføre provenu til infrastruktur, såvel kollektiv som vej, er gennemført scenarier med tilbageførsel. Som udgangspunkt blev de to mest lovende pris-scenarier – nemlig stor bom og km.-takst – valgt som basis herfor. Ved tilbageførsel af provenuet bliver infrastrukturen bedre og dermed fremkommeligheden hvilket påvirker efterspørgslen og benefits.

Der blev i projektet analyseret en bred portefølje af mulige projekter og er fremkommet med en liste over ”bedste” projekter ud fra en overordnet vurdering af benefit-cost. Denne vurdering er baseret på erfaring fra eksisterende projekter samt allerede implementerede projekter i København.

I tabel 4 og tabel 5 nedenfor vises en oversigtstabel med kollektive forbedringer og deres forankring i forskellige scenarier. Generelt, desto større provenu desto flere projekter kan der afholdes. Men derved medtages mindre og mindre rentable projekter, idet de bedste projekter først tages fra listen. Da kilometertakstscenariet 2015 giver størst provenu medtages fleste projekter for dette system. Med andre ord, i et givent scenario laves en ”pakke” af infrastruktur forslag som analyseres under ét.

Tabel 4: Oversigtsliste over vejprojekter i de forskellige scenarier i 2015.

Nye Vejprojekter	Basis	Bom	Km.takst
Havnetunnel		X	X
Lyngbyvej ramper		X	X
Ring 4			X
Ring 5			X
Ring 5 – syd			X
Frederikssundsmotorvejen, tilkørselsopgraderinger			X
Ganløse omfartsvej			X
Lynge, delkomponent af ring 5			X
Birkerød			X
Allerød Nord			X
Isterødvej Tilkørsel			X
Fredensborg, forbindelsesveje			X
MotorRing 4, sporopgradering	X	X	X
MotorRing 3, sporopgradering	X	X	X
Køgebugt motorvejen, sporopgradering	X	X	X
Ørestaden, opgraderet vejnet	X	X	X
Græsted omfartsvej	X	X	X
Vej mellem Birkerød og Farum	X	X	X
Frederikssundsmotorvejen, anlægsgelse	X	X	X

Tabel 5: Oversigt over nye kollektive tiltag for hvert scenario i 2015.

Nye kollektive tiltag	Linie navn	Basis	Bom	Km.takst
Letbane Lyngbyvej Nørreport-Nærum	Letbane1		X	
Forlænget letbane Nærum-Vedbæk	Letbane1+			X
Ring 2½ letbane Nærum-Avedøre Holme	Letbane2½		X	X
Letbane Herlev-Nørrebro-Amager	Letbane3		X	
Forlænget letbane Amager - Dragør	Letbane3+			X
Letbane Nørreport - Buddinge	Letbane4		X	X
S-tog til Fredensborg	Linie E_F S07		X	X
M1 ny køreplan	M1_2015	X		
M2 ny køreplan forlænget til lufthavn	M2_2015	X		
M1 forlænges til Rødovre	M1_2015+		X	X
M2 forlænges til Rødovre	M2_2015+		X	X
Metro NØ Nordhavn - Kastrup	MetroNØ			X
Metroring CityRing	MetroRing	X		
Metroring forlænges m. Sydhavnsgræn	MetroRingS		X	X
Ny S-tog Langs Ring 3	Ring3S-tog			X
Ringbane til Ny Ellebjerg	Ringbane	X		
Ringbane til Kastrup	Ringbane+		X	X
Ny S-togs struktur	S07	X	X	X
Fremkommelighedstiltag for busser			X	X
S-banerør				X

Det er oplagt at ovenstående måde at analysere tilbageførselsproblematikken på, er forsimplet og vil ikke yde de forskellige projekter fuld retfærdighed. Følgende problemer kan nævnes;

1. Projekter er ikke uafhængige, men tværtimod indbyrdes konkurrenter om passagererne. Dvs. jo flere projekter der indføres desto mindre vil den marginale benefit være for det sidst tilføjede projekt.
2. Af hensyn til den indbyrdes afhængighed mellem projekterne, vil den initiale CBA for et givent projekt være misvisende og burde belyses i sammenhæng med andre projekter. Her ville man finde at CBA raterne falder med indførelse af alternative projekter og "projekt poolen" ville skulle formindskes.
3. Idet kørselsafgifter reducerer trafikniveauet, betyder det, at benefits for vejprojekter, der udvider kapaciteten bliver mindre end i en situation uden vejafgifter. Man "saver" med andre ord den gren over man sidder på.

Man kan af tabel 4 og 5 i den første kolonne ”basis” se hvilke projekter der er forudsat i basis 2015 scenariet.

Effekt af tilbageførsel

I forhold til scenarierne uden tilbageførsel 2015 betyder tilbageførslen til den kollektive trafik og vejnettet umiddelbart færre ture (Tabel 6 og Tabel 7). Selvom der er færre ture, er der imidlertid et svagt stigende trafikarbejde sammenholdt med scenarierne i 2015 uden tilbageførsel. Forklaringen på dette paradoks er, at den nye infrastruktur, i særdeleshed Motorring 5 og havnetunnellen fordrer mere omvejskørsel. Lignende resultater blev fundet i forbindelse med havnetunnelprojektet. Provenuet er svagt faldende for kilometertakstscenariet og svagt stigende for stor bom. Det første skyldes i særdeleshed vækst i trafikken udenfor betalingszonen, i særdeleshed på Ring 5.

Tabel 6: Overordnede trafikale effekter for tilbageførselsscenarioerne 2015.

Scenario	Tilbageførsel	Ture(hverdags) (x1000)	Trafikarbejde (x1000)	Provenu (mio. kr.)
Base	Uden	4.004	40.903	
Km.takst	Uden	3.757	38.123	5.192
Stor bom	Uden	3.898	39.842	2.840
Km.takst	Med	3.889	39.888	2.850
Stor bom	Med	3.735	38.223	5.134

Tabel 7: Overordnede trafikale effekter relativt til scenarier uden tilbageførsel.

Scenario	Tilbageførsel	Ture(hverdags) (x1000)	Trafikarbejde (x1000)
Stor bom	Med	-0,26%	0,11%
Km.takst	Med	-0,56%	0,26%

Tabel 8 nedenfor viser, at det netop er yderområderne der oplever øget trafikarbejde (relativt til situationen uden tilbageførsel), mens at København oplever et fald. Dette bekræfter at der genereres en del omvejskørsel udenfor betalingszonen. Tallene er i øvrigt stort set identiske med scenarierne uden tilbageførsel (der sker ikke den store ændring i transportarbejdet for vej).

Tabel 8: Trafikarbejdet opdelt på kommuner og amter for tilbageførselsscenarioer 2015 (mio. km. per dag).

Navn	Basis 2015	Uden tbf. Km.takst	Uden tbf. Stor bom	Med tbf. Km.takst	Med tbf. Stor bom
Frederiksberg	1,4	1,211	1,380	1,2	1,4
Frederiksborg Amt	6,9	7,262	6,979	7,3	7,1
København	12,4	10,406	11,248	10,3	10,9
Københavns Amt	14,3	13,408	14,314	13,4	14,4
Roskilde Amt	5,9	5,813	5,898	6,0	6,0
Total	1,4	1,211	1,380	1,2	1,4

Transportmiddelvalg

I kraft af at det kollektive net forbedres relativt til vejnettet sker der en vis overflytning, dog i ret begrænset omfang. Meget af den trafik som den kollektive trafik erobrer kommer fra cykel og til en mindre grad fra gang.

Tabel 9: Effekter på transportmiddelvalg for tilbageførselsscenarioerne (1000 ture)

Scenario	Tilbageførsel	Bil	Kollektiv	Cykel	Gang
Basis	Uden	4.004	1.184	1.307	1.305
Km.takst	Uden	3.757	1.277	1.400	1.359
Stor bom	Uden	3.898	1.227	1.347	1.326
Km.takst	Med	3.735	1.354	1.374	1.349
Stor bom	Med	3.889	1.268	1.332	1.320

Sammenholdt med 2015 situationen kommer der 70-80.000 flere kollektivrejsende (Ringmetroen er forudsat etableret i basis 2015) og af disse skifter kun ca. 20.000 til bil mens lidt flere – 27.000 - skifter til cykel og lidt færre – 10.000 – skifter til gang. Resten er udtryk for trafikspring – altså nygenerede ture med kollektiv trafik - svarende til 10-15.000 ture per hverdag. Netop trafikspringet kan diskuteres og der kan argumenteres for at det beregnede trafikspring på 15.000 i kilometertakstscenariet er relativt konservativt.

Tabel 10: Relative effekter på transportmiddelvalg 2015 med tilbageførsel i forhold til 2015 uden tilbageførsel (relativt i % inden for hvert transportmiddel)

Scenario	Tilbageførsel	Bil	Kollektiv	Cykel	Gang
Km.takst	Uden	-6,2	7,9	7,2	4,1
Stor bom	Uden	-2,6	3,7	3,1	1,7
Km.takst	Med	-0,6%	6,1%	-1,9%	-0,7%
Stor bom	Med	-0,2%	3,3%	-1,1%	-0,5%

Eksterne effekter

Flere projekter giver større drift- og vedligeholdelsesomkostninger, så besparelsen i forhold til reduktioner i trafikarbejdet ædes til en vis grad op af øgede faste omkostninger og et større net (dette kan ses ved at sammenholde ”Uden” tilbageførsel og ”Med” tilbageførsel).

Tabel 11: Drift- og vedligehold for tilbageførselsscenarioer opgjort på 261 hverdagsdøgn.

	Basis	Uden tbf. Km.takst	Uden tbf. Stor Bom	Med tbf. Km.takst	Med tbf. Stor Bom
1985 priser	285	276	280	282	283
2005 priser	458	443	451	453	455

Kun 5 mio. spares der på drift- og vedligehold for kilometertakstscenariet. Som kommenteret tidligere er de viste omkostninger ovenfor formentligt et underestimat eftersom en del af de

implementerede projekter per kilometer vil have en højere driftsomkostning end VD's standardpriser. Et eksempel er havnetunnellen.

I forhold til uheld sker der mindre reduktioner i forhold til situationen uden tilbageførsel. For kilometertakst er der tale om en reduktion på 29 personskadeuheld, mens tallet for stor bom kun er 6. Andre rapporterede uheld reduceres med henholdsvis 52 og 16. Dette kan umiddelbart synes i modstrid med at trafikarbejdet falder (tabel 6 og 7). Det skyldes dog omfordelinger til mere sikre vejtyper, primært havnetunnellen og ring 5, samt opgraderinger til mere højklasede veje ude på Sjælland.

Tabel 12: Uheld for tilbageførselsscenarioer opgjort på 261 hverdagsdøgn.

	Basis	Uden tbf. Km.takst	Uden tbf. Stor Bom	Med tbf. Km.takst	Med tbf. Stor Bom
Beregnet antal personskadeuheld i kryds	759	673	717	655	711
Beregnet antal andre rapporterede uheld i kryds	1.503	1340	1425	1.303	1.409
Beregnet antal personskadeuheld på strækninger	709	677	691	666	691
Beregnet antal andre rapporterede uheld på strækninger	1.491	1419	1456	1.404	1.456

Støjbelastningstallet reduceres i forhold til situationen uden tilbageførsel med ca. 700 SBT for kilometertakst og 300 SBT for stor bom. Disse reduktioner er relativt pæne, men skyldes generelt, at trafiksystemet bliver mere højklaset med en større del af trafikken på motorvejsnettet som er udvidet. Hertil kommer, at havnetunnellen isoleret set bidrager væsentligt til støjreduktionerne.

Tabel 13: Støjbelastningstallet for tilbageførselsscenarioer opgjort på 261 hverdagsdøgn.

Basis	Uden tbf. Km.takst	Uden tbf. Stor Bom	Med tbf. Km.takst	Med tbf. Stor Bom
61.603	58.743	60.056	58.046	59.747

Netværkseffekter og omvejskørsel

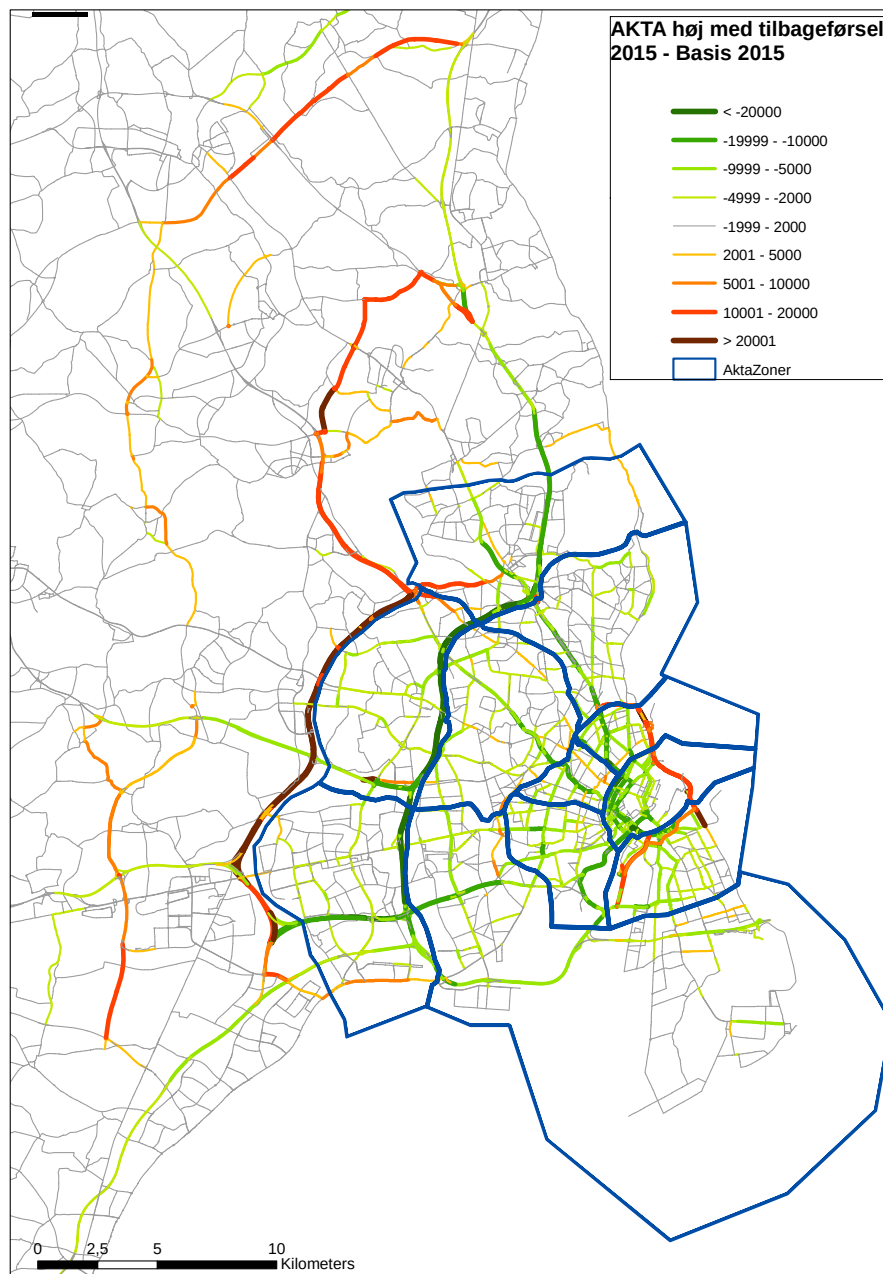
En række af de problemer der blev observeret i basis beregningerne i relation til netværkseffekter og omvejskørsel er forsøgt taklet i tilbageførselsscenarioet for kilometertakst.

- Aflastningen af de trafikveje uden for Ring 4, der fik uhensigtsmæssig mertrafik.
- Overflytning til den udbyggede Ring 5 korridor og tilsvarende reduktioner i de forskellige byområder, der ellers blev belastet af mertrafik (Allerød, Birkerød, Lyngby, Gentofte).
- Overførsel fra forskellige belastede ruter gennem Farum/værløse til den nu opgraderede Farummotorvej samt til Ring 4.

- Overflytning af trafik til Havnetunnel, og dermed tilsvarende aflastning af trafiknettet i centrum af Købehavn.
- Overflytninger til kollektiv hvor det var muligt. Herunder til letbanelinier ad Søborg Hovedgade, Frederikssundsvej, Nørrebrogade samt Amagerbrogade².

Med andre ord er disse ting i stort omfang lykkedes hvilket kan ses af figur 11. Scenariet giver således tilfredsstillende ændringer af biltrafikken, der både får store fremkommelighedsgevinster og flyttes væk fra byområder ud på motorveje og omfartsveje/motortrafikveje. En enkelt uheldig effekt er mere trafik på Bagsværdvej samt Gammel Køge Landevej ved Brøndby Strand.

² Selvom det er lidt svært at se på figuren, har disse projekter overflyttet biltrafik til kollektiv trafik og i enkelte tilfælde helt elimineret væksten. Selvom effekten af disse projekter slet ikke er så markant, som af de nye vejprojekter, har de dog haft en mærkbar effekt med ønskeligt fortegn.

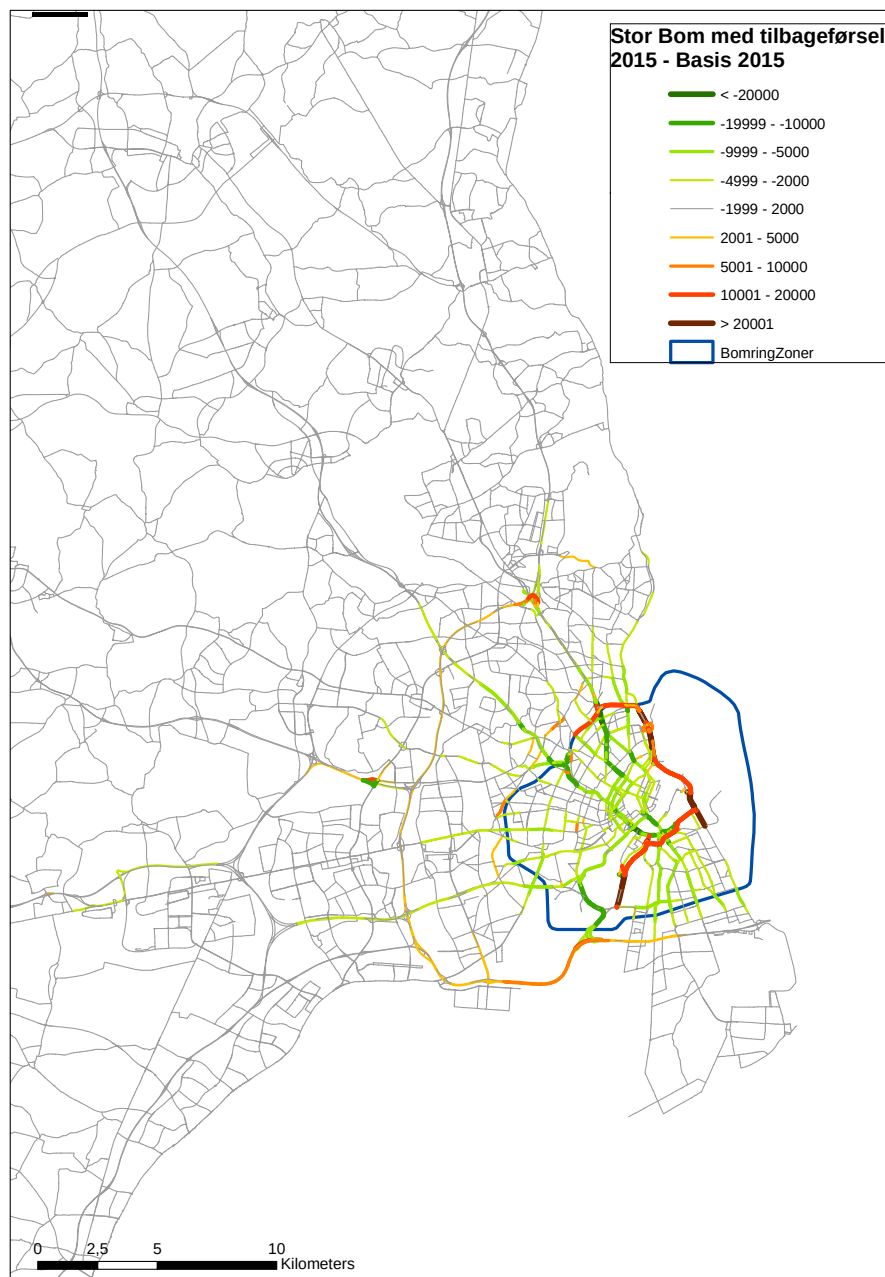
Figur 11: Differenskort mellem kilometertakstscenariet med tilbageførsel og basis 2015.

Figur 12 viser tilsvarende effekten af tilbageførselsscenarioet for stor bom. Det væsentligste vejprojekt her er Havnetunnelprojektet. Dette medfører en stor vækst ad den nye vej, og tilsvarende en yderligere aflastning af vejnettet i centrum af København.

En mere markant effekt er, at der sker en mindre vækst ad MotorRing 3 end ellers, idet en betydelig del af trafikken overføres herfra til ruten gennem byen, dog således at det primært er Lyngbymotorvejen, der oplever et mindre fald i trafikken.

I begge scenarier har Havnetunnellen den primære effekt, at der sker en vis – om end meget spredt – yderligere aflastning af vejnettet i centrum, en formentligt stor fremkommelighedsgevinst for bilisterne, samt en overflytning af trafik fra MotorRing 3 til

ruten gennem byen. Sammenlignes disse benefits og disbenefits med projektets store investeringsbehov, er det næppe et samfundsøkonomisk rentabelt projekt og i særdeleshed ikke i en situation hvor biltrafikken i forvejen er dæmpet som følge af vejafgifter. Da projektet i kilometerafgiftscenariet med tilbageførsel er lagt i pulje med en række andre vejprojekter, der hver har mere klare fordele (store fremkommelighedsmæssige, sikkerhedsmæssige og miljømæssige fordele relativt set i forhold til investeringsbehovet), kan dette ene projekt rykke konklusionerne vedrørende tilbageførselsscenarierne.

Figur 12: Differenskort mellem stor bom med tilbageførsel og basis 2015.

Sammenfatning

Beregningerne viste først og fremmest, at der var samme tendenser i resultaterne, som i de tidligere beregninger med OTM. Således gav lille bom også nu en stigning i trængsel og tidsforbrug i hovedstadsområdet. AKTA zonetakst gav en række u hensigtsmæssige lokale effekter. De to bedste systemer – AKTA km.-takst og stor bom – blev der derfor arbejdet videre med, herunder også beregninger i fremtidsår samt beregninger af tilbageførsel af provenu til sektoren.

AKTA høj km. takst gav det største provenu og den største reduktion af trængsel. Desværre var der også en del uhensigtsmæssig omvejskørsel uden om betalingsområdet. Et endeligt system bør derfor nok omfatte hele hovedstadsområdet. Da der også er en stor teknologirisiko ved et GPS-baseret system, bør det både planlægningsmæssigt og teknologisk bearbejdes mere. Anvendes provenuet til tilbageførsel til sektoren giver dette system dog den største forbedring af trafikken i hovedstadsområdet.

Stor bom viste sig at give bemærkelsesværdigt hensigtsmæssige trafikale effekter, både uden og med tilbageførsel af provenu til sektoren. Da systemet kan bygge på velkendt teknologi, er det nok det mest realistiske at etablere på kort og mellemlang sigt.

Perspektiver

Beregningerne kan hverken endegyldigt benyttes som argument for eller imod vejafgifter, idet der både er fordele og ulemper ved de enkelte scenarier. Selvom fordelene er overvejende for km.-takst og stor bom, skal disse også ses i forhold til investeringen. Jf. Wrang m.fl. (2006) giver dette for km.-takst en positiv samfundsøkonomi i 2015, ligesom det med inddragelse af langsigtede effekter formentligt er positivt for stor bom.

Beregningerne i nærværende projekt pegede imidlertid også på en række detaljer i de enkelte forslags design, der eventuelt kan forbedres. Dette vil alt-andet-lige forbedre disse systemer.

Km.-takst systemet led først og fremmest under, at det er gratis at køre uden for takstområdet, hvilket gav anledning til en del omvejskørsel. Det anbefales at systemet udvides med en 5. ydre zone, der f.eks. kan ligge fra Ring 4 til den planlagte ring 5 korridor. Derudover bør takstniveauerne gennemregnes/justeres, så de i højere grad svarer til en marginal trængselsafgift.

AKTA zonetakst led først og fremmest under, at det enkelte steder i vejnettet var muligt at reducerer to bom-passager til én ved at køre en bestemt rute. Disse "smutveje" kan undgås ved at justere den geografiske placering af bom-grænserne. Modsat de andre systemer er det derimod vanskeligt at udvikle en metodik, der effektivt kan benyttes til udregning af alternative prisniveauer.

Stor Bom viste sig som sådan at være ret hensigtsmæssigt udformet. Man kunne imidlertid undersøge om alternative prisniveauer giver et bedre resultat. Da der er tale om en enkelt takst, er det en relativ simpel undersøgelse at simulere et antal punkter (benefit funktion som funktion af takst).

Lille Bom viste sig at være meget uhensigtsmæssig. Hovedårsagen til dette var dog, at man via kørsel over Langebro kunne undgå betaling for at køre gennem byen. Et justeret forslag kan derfor være, at supplere systemet med en takst for at passere Langebro. Derudover kan

man justere det generelle takstniveau (dvs. for ringen hhv. Langebro – eller blot med samme takst begge steder).

Generelt viste rutevalgsberegningerne sig at være en nogenlunde proxy for brugbarheden af det samlede resultat. Derfor kunne ovenstående takstfastsættelser evt. gennemføres ved et antal rutevalgsberegninger, hvorefter der for de bedste resultater heraf kunne gennemføres en fuld efterspørgselsberegning, efterfulgt af et nyt sæt rutevalgsberegninger. Derved vil analyserne kunne gennemføres med en rimelig arbejdsindsats.

Referencer

Rich, J., Nielsen O.A. 2006, Kørselsafgifter i København – de trafikale effekter, IMV Rapport, ISBN: 87-7992-044-6.

Wrang K., Nielsen U., Kohl M. 2006, Kørselsafgifter i København – en samfundsøkonomisk analyse, IMV Rapport, ISBN: 877992-043-8.

Kørselsafgifter i København - trafikmodelberegninger og trafikale effekter

Jeppe Rich, Lektor, Ph.D.

Centre for Trafik og Transport (CTT), Danmarks Tekniske Universitet (DTU)

Bygning 115, st.tv. Bygningstorvet, 2800 Lyngby

Email: jhr@ctt.dtu.dk

Otto Anker Nielsen, Professor, Ph.D.

Centre for Trafik og Transport (CTT), Danmarks Tekniske Universitet (DTU)

Bygning 115, st.tv. Bygningstorvet, 2800 Lyngby

Email: [oan@ctt.dtu.dk](mailto: oan@ctt.dtu.dk)

Uffe Nielsen, Seniorøkonom, Ph.D

Institut for Miljøvurdering

Gl. Kongevej 5. 1. sal, 1610 København V

Email: [uni@imv.dk](mailto: uni@imv.dk)

Resumés

I artiklen gennemgås metoder og resultater fra et nyligt afsluttet projekt omhandlende indførelse af vejafgifter i København. Projektet er udarbejdet for Institut for Miljøvurdering (IMV) i samarbejde mellem IMV og Center for Trafik og Transport (CTT). For en uddybende gennemgang henvises til de to hovedrapporter, henholdsvis Wrang et al. (2006) og Rich & Nielsen (2006).

I samarbejde med – og for - Institut for Miljøvurdering, har CTT gennemført en række trafikmodelberegninger af kørselsafgifter i København. Forskellige tidligere projekter har belyst samme emne, eksempelvis har flere forskellige projekter (for Transportrådet, Trafikministeriet og Københavns Kommune) benyttet OTM (Ørestadstrafikmodellen) til belysning af konsekvenser af kørselsafgifter.

Nogle af begrænsningerne ved OTM er, at der ikke modelleres skift af rejsetidspunkt, samt at modellen er estimeret og kalibreret på tværsnit i tid og Stated Preference analyser, hvori der ikke var stor variation af omkostningsniveauet for bilture.

Det Københavnske AKTA-forsøg (Alternative Kørsels og Trængselsafgifter) målte en række bilisters adfærdsændringer som følge af kørselsafgifter ved hjælp af GPS og forskellige interviewundersøgelser. Mens OTM er baseret på interview om en enkelt tur, og stated preference analyser, hvor udgiften til turen ændres forholdsvist marginalt (f.eks. en marginal udgift på 70 øre per km +/- 50%), blev bilisterne i AKTA udsat for markante omkostningsstigninger (op til 5 kr./km) over længere tidsrum end en enkelt tur (10-12 uger). Derfor kunne man forvente en større elasticitet/prisfølsomhed, idet visse af bilisternes

budgetrestriktioner måske blev nået. Derudover var der tale om "rigtige" penge i AKTA og ikke kun hypotetiske spørgsmål. Den større effekt er blandt andet bekræftet i et tidligere indlæg ved trafikdagene af Nielsen og Vuk (2003).

Imidlertid har AKTA-data også en række begrænsninger, først og fremmest, at forsøgsgruppen var så lille, at forsøget ikke havde indflydelse på trængslen i Hovedstadsområdet, og derudover at bilernes GPS alene målte ændringen af bilture. Således kunne det ikke fastlægges, om der var tale om aflyste ture eller skift af transportmiddel.

I IMV-projektet blev der opstillet en ny trafikmodel baseret på OTM-beregnete elasticiteter og AKTA data. Herved blev styrker ved de to kilder kombineret og ulemper reduceret.

Introduktion

Hovedfokus i trafikmodeldelen af IMV-projektet var at analysere hvordan rejsende i København ændrer adfærd som følge af indførelsen af forskellige vejafgiftssystemer, samt hvilke afledte trafikale effekter det giver anledning til.

De adfærdsmæssige konsekvenser omfatter ændringer i det totale antal ture en person foretager, hvor turene går hen, hvornår på dagen de foretages, hvilket transportmiddel, der benyttes, samt hvilken rute, der følges.

De afledte trafikale effekter dækker over køretid og trængsel, netværkseffekter (omvejskørsel), uheld, støj, emissioner, lokal luftforurening samt drift- og vedligehold af trafikanlæg.

Artiklen skal ses i sammenhæng med to andre artikler ved årets Trafikdage, nemlig Nielsen, Nielsen og Rich (2006) som helt parallelt præsenterer en samfundsøkonomisk analyse af de analyserede systemer, samt Nielsen, Rich og Nielsen (2006), som præsenterer systemdesign og mulige anvendelser af provenuet fra vejafgifter. For en mere grundig gennemgang af trafikmodellen og beregningerne henvises til projektets hovedrapport, Rich & Nielsen (2006).

Baggrund og formål

I Danmark og i den vestlige verden generelt er der en tendens til at have givet op overfor trængsel. Udbygning af vejnettet kræver store investeringer og i tætte byområder er det ofte ikke muligt af økonomiske, arealmæssige og politiske grunde. Alternativet – at forbedre den kollektive transport - kræver voldsomme investeringer, og erfaringsvist flytter det selv da kun få bilister. Det er derfor svært at investere sig ud af trængselsproblemerne. En anden tilgang kan være at introducere større afgifter på privattransport for at reducere antallet af biler på vejene. Ingen af delene er indbydende for beslutningstagerne. Omvendt er der et voksende ønske blandt befolkningen om mere moderne offentlig transport, mindre trafik i byerne og bedre fremkommelighed.

For på den baggrund bedre at kunne analysere mulighederne for vejafgifter i Københavnsområdet blev der i projektet opstillet en trafikmodel, som sammen med modeller for eksterne effekter, kunne give både direkte trafikale effekter (trængsel og transport arbejde) samt indirekte effekter (luftforurening, uheld og støj). Modellen var delvist nyudviklet for at kunne inddrage effekter, der ikke beskrives af eksisterende modeller (f.eks. Ørestadstrafikmodellen) – herunder i særlig grad ændring af turtidspunkt – samt for at modellen kunne bygge på elasticiteter og rutevalgsparmetre fra AKTA kørselsafgifter forsøget (Nielsen, 2004), og trængselsdata fra trængselsprojektet (Nielsen m.fl., 2004a & b).

Trafikmodellen er implementeret for 2004, 2015 samt 2015 med tilbageførsel af provenu til trafiksektoren. Tilbageførslen er både til kollektive trafik og vejtrafik. I det følgende ses udelukkende på førstnævnte modelkørsel og der henvises til Rich et. al. (2006) for en præsentation af sidstnævnte modelkørsel og Wrang & Nielsen (2006) for en mere detaljeret gennemgang af tilbageførselsproblematikken.

De analyserede systemer

I 2005 pågik parallelt med IMV-projektet et analysearbejde for Københavns kommune (KK-projektet). Kommissoriet for denne arbejdsgruppe (under deltagelse af CTT og Tetraplan) var at iværksætte en førstehåndsscreening af mulige løsninger for vejafgifter i Københavnsområdet. IMV projektet, som blev afsluttet primo april, 2006 ligger således i naturlig forlængelse heraf.

I KK-projektet blev OTM-modellen anvendt til at regne på 12 scenarier. Disse er vist nedenfor i Tabel 1. De mørkegrå rækker indikerer de modeller der er regnet på i projektet for IMV og beskrives i denne artikel.

Tabel 1: Afprøvede systemer i KK projektet. Mørke rækker angiver IMV-projektets systemer.

	Ringe	Taksering	Betalings Teknologi	Myldretids- afgift	Køretøjs- differen- tiering
1. H	Lille	Bomring	DSRC	Nej	Nej
2. H+M	Lille	Bomring	DSRC	Ja, morgen	Nej
	Lille	Bomring	DSRC	Ja	Ja
3. H + K	Lille	Bomring	DSRC	Nej	Ja
4. H+ høj	Lille	Bomring	DSRC	Ja	Nej
5. H+lav	Lille	Bomring	DSRC	Nej	Nej
6. Område	Lille	Område	Selv-rapportering	Nej	Ja
7. km-takst	Lille	Km-takst	Speedometer/ GSM	Ja	Nej
8. Stor ring	Stor	Bomring	DSRC	Nej	Nej
	Stor	Bomring	DSRC	Ja	Ja
9. 2 ringe	Lille + stor	Bomringe	DSRC	Nej	Nej
10. 3 ringe	Lille + stor + M3	Bomringe	DSRC	Nej	Nej
11. AKTA høj km afgift	11 zoner	Km-takst	GPS/GSM	Ja	Ja
12. AKTA zoneafgift	11 zoner	bomringe	GPS/GSM	Ja	Ja

DSRC = Digital Short Range Communication og GPS = General Positioning System.

Som det ses, er de to bompengesystemer i IMV-projektet ganske tæt på scenario "2.H+M" og "8. Stor ring" i KK-projektet, med den undtagelse at der er indført myldretidsdifferentiering og køretøjsdifferentiering. Argumenterne herfor er, at det i så vidt omfang blev ønsket at taksere efter de marginale eksterne omkostninger, som trafikanterne påfører samfundet.¹ Disse er for alle biler højest i myldretiden på grund af trængsel. For lastbiler skyldes den højere betaling, at der var en ønske om at internalisere de beviselige ekstra eksterne omkostninger, som disse påfører i kraft af emissioner, uheld, drift- og vedligehold m.m. (Trafikministeriet, 2003).

Beregningerne for disse 12 afgiftssystemer blev i KK projektet gennemført med OTM modellen og blev anvendt til en indledende vurdering af de enkelte scenariers performance i forhold til forskellige målsætninger, herunder specielt trængsel, provenu og miljømæssige aspekter. Der har været klare synergier mellem dette projekt og nærværende IMV projekt. Eksempelvis har man i KK-projektet kunne eliminere scenarier, som ellers var planlagt i IMV-projektet. Dette drejer sig blandt andet om den kombinerede løsning af en lille og stor bompengering, som viste sig at skabe uhensigtsmæssig omvejskørsel. Den anden synergi er, at hvor KK-projektet havde fokus på den overordnede screening, så har IMV-projektet haft fokus på en mere omfattende beregning af de enkelte scenarier. Dette omfatter såvel modellering af flere trafikale effekter som hele den samfundsøkonomiske analyse, der ikke har været gennemført i de tidligere projekter.

I projektet blev der regnet på en km.-takst model, en zonetakst model, en lille bompengering samt en stor bompengering (se Nielsen, Rich & Nielsen 2006).

Trafikmodel

I det følgende afsnit skitseres hvorledes de forskellige scenarieforløb er gennemregnet. De primære værktøjer til scenarieberegningen er dels OTM kørsler, dels bearbejdede AKTA data og dels rutevalgsmødel, herunder både for kollektiv trafik og biler.

Hovedmodelstruktur

De fem hovedkomponenter i det, der kan kaldes en "modelstruktur", er nævnt nedenfor;

1. Basismatricer (OTM 2004 og OTM 2015).
2. En elasticitetstabel (2004) der definerer relationen mellem vejafgifter og efterspørgsel uden trængsel. Dvs. en model der for hvert af de udvalgte takstscenarier bestemmer efterspørgselsændringer på OD matriceniveau, herunder både direkte effekter og substitution mellem transportmidler og tidsperioder, samt destinationer. Størrelsen af

¹ Selvom IMV-projektet grundlæggende har anvendt fire af de samme scenarier som i KK-projektet, er der dog anvendt ændrede takster for passage af bomgrænse, netop for i højere grad at tilnærme taksterne de marginale eksterne omkostninger.

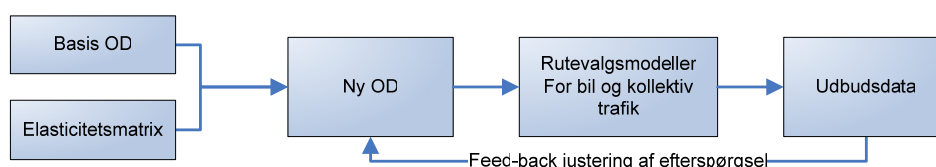
effekterne er forskellige for forskellige turformål. Disse antages at være uafhængige af hinanden, da det ikke er oplagt at udskifte en fritidstur med en erhvervstur.

3. Et modul som justerer efterspørgsel i forhold til den ændrede trængsel (reduceret rejsetid) som resultat af indførelsen af vejafgifter (transportmiddel, tidspunkt på dagen, destinationsvalg).
4. Et efterspørgselsmodul, som på basis af nye udbudsdata for kollektiv trafik (anvendes i forbindelse med tilbageførselsscenerierne) bestemmer ændringerne i efterspørgslen, herunder både direkte effekter og substitution mellem transportmidler. Vi anvender her substitutionsmønstret fra OTM og udbudsdata som produceret af rutevalgsmodellerne.
5. Rutevalgsmodeller som fordeler trafik på vejnettet og på kollektiv trafik.

Scenarieberegninger

I et scenarium uden tilbageførsel gennemføres beregningen i 3 trin, som illustreret i Figur 1 nedenfor. Først beregnes en ny OD matrix som produktet af en basis OD matrix og en fuld elasticitetstabel (inklusive alle substitutioner). Herefter køres rutevalgsmodellen, som genererer nye udbudsdata. De nye udbudsdata, sammenholdes med udbudsdata for en basiskørsel. Ved at gange tidselasticiteter på differensen (sker i feedback justeringen) fås en efterspørgselsjustering.

Figur 1: Dataflow i trafikmodellen.



I feedback justeringen tages der således højde for at faldende efterspørgsel giver anledning til mindre trængsel og dermed hurtigere rejsetid. Dette virker ind på efterspørgslen som justeres med elasticiteter for rejsetidsforbedringerne. I feedback justeringen sammenlignes således en udbudsmatrix for basis-situationen og efter indførelse af vejafgifter. Justeringen er relativ lille, og der køres kun én iteration.

For en modelkørsel med tilbageførsler til den kollektive trafik eller til forbedringer i vejnettet er der udover effekten fra vejafgifterne en direkte effekt fra disse forbedringer. Dette gøres ved at køre tre trin.

1. Figur 1 ovenfor.
2. Herved fås et ligevægtsudbud for hver situation. Differensen i udbuddet for de to situationer giver nu anledning til en efterspørgselsændring ved at sammenholde forskellen i udbuddet med en elasticitetsmatrix for rejsetid.
3. For den nye OD matrix køres nu et nyt udbud uden feedback.

Langt det vigtigste element i modelprocessen i forhold til provenu, fordeling, og trængsel er det første trin hvor basisefterspørgslen fastlægges for de forskellige scenarier. Det skyldes primært, at feedback effekterne er relativt beskedne og i gennemsnit ændres kun ca. 2 % af basisefterspørgslen i det andet trin.

I modellen er basis 2004 og 2015 taget fra OTM. Den umiddelbare fordel er, at beregningerne bliver sammenlignelige med hvad der tidligere er præsenteret.

Fordeling af efterspørgsel på vejnettet

Fordelingen på vejnettet sker ved at køre en rutevalgsmodel. Modellen, som er udviklet på CTT, er sat op til at køre efterspørgselsmatricer med strukturen fra OTM (618 zoner) med de afgifter, de enkelte eksperimenter påfører. Rejsetider tilbageføres til efterspørgselsmodellen, som afleder en ny efterspørgsel, der igen giver nye udbudsdata.

Oprindeligt indeholdt projektet en re-estimation af rutevalgsmodellen ved at anvende observeret rutevalgsadfærd fra AKTA. Dette krævede som et vigtigt element at rutealternativer for de enkelte individer blev samlet i valgsæt som kunne anvendes i en diskret valgmodel. Der blev dog konstateret fejl i den software som udfører samplingen, hvorfor denne del af projektet måtte udskydes til efter IMV projektets deadline. Som alternativ blev følgende fremgangsmåde;

1. Estimation af fordelte tidskomponenter baseret på et mindre AKTA sample bestående af 84 observerede bilisters adfærd. Hver bilist havde kørt mellem 150 og 1000 ture. Individuelle tidsværdier blev fundet ved at midle over turene. Dette klarlagde fordelingstype af tidsværdierne (logaritmisk normalfordeling), varians heraf i forhold til middelværdi (og heraf afledt parametrisering), trængselstidsværdi (logaritmiske normalfordelt), samt korrelation mellem tidsværdier for fri køretid og trængsel.
2. Skalering af niveauet af middelværdier for tidsværdier i forhold til kendte undersøgelser Nielsen & Vuk (2003). Dette var nødvendigt for at kunne skelne mellem fritidsture og pendling. Derudover blev samme fordelingstyper antaget at gælde for erhvervsture, varebiler og lastbiler, Nielsen m.fl. (2002).
3. Implementering af ny nyttefunktion i rutevalgssoftware (Rapidis og CTT har i fællesskab forestået dette).
4. Kalibrering af rutevalg mod observerede AKTA hastigheder fra trængselsprojektet (primært kalibrering af speed-flow parametre).

Fordelen ved den nye model er, at den afspejler målt adfærd fra AKTA data, og derfor bedre beskriver bilisters præferencer og heterogenitet heraf. Derudover afspejler modellen målte hastigheder og trængsel, og har derfor en mindre undervurdering af trængsel end OTM. Ulempen ved modellen er, at den ikke eksplicit modellerer krydsforsinkelser, idet en validering af krydsforsinkelsesmodeller var uden for projektets økonomiske rammer.

Vejvalgsmodellen blev oprindeligt udviklet af Nielsen og Frederiksen (1998) som en ny flerklasse vejvalgsmodel, til forbedring af Ørestadstrafikmodellen (OTM). Som en del af Havnetunnelprojektet i København for Trafikministeriet blev denne model videreudviklet både teoretisk og i praksis. Derudover blev den estimeret ud fra grundige RP- og SP-analyser, hvor den før kun var kalibreret mod tællinger (Nielsen m.fl. 2002).

Vejvalgsmodellen beskriver flere klasser af biler (forskellige turformål), varebiler og lastbiler, der hver for sig har forskellige nyttefunktioner. Derudover lægges busser ud på vejnettet efter køreplanen vha. en såkaldt pre-load. De forskellige klasser og typer af køretøjer påvirker alle hastigheden på strækningerne, se Nielsen & Frederiksen (1998).

Samplede rutealternativer på basis af AKTA

I et eksamensprojekt ved CTT, Menegazzo (2003) blev der samlet en række rutealternativer for hver bilists tur. Disse kunne benyttes til at finde et muligt interval for tidsværdier for fri køretid og trængsel for den pågældende tur. De enkelte værdier blev da vægtet efter sandsynlighed. For hver bil blev samme procedure fulgt for alle ture, hvilket i princippet gav en empirisk statistisk tidsværdifordeling for den pågældende bilist.

Ved at sammenligne middelværdier over biler kunne der tilsvarende findes en tidsværdifordeling over biler.

Resultatet af dette arbejde var, at de empiriske tidsværdier for fri køretid og trængsel tilnærmelsesvist kunne tilnærmes med en logaritmisk normalfordeling. Værdien for trængsel var altid højere end fri køretid, og korreleret hermed. Forholdet mellem de to var også logaritmisk normalfordelt. Modellerne og resultaterne beskrives nærmere i Nielsen og Vuk (2003), samt Nielsen (2004).

Problemet med AKTA-modellerne var imidlertid, at bilerne dels ikke nødvendigvis var repræsentative for befolkningen, dels at turene primært dækkede pendling og fritid med en fordeling, der kun delvist kunne fastlægges. Derudover dækkede data ikke erhvervsture, samt vare- og lastbiler. Endelig var det biler der blev observeret ikke personer – men den enkelte bil kan i princippet have forskellige førere med forskellige præferencer, f.eks. mand og kone.

Benyttede nyttefunktion

Rutevalgsmodellen i nærværende projekt bygger på en stokastisk nytteteoretisk model. Den implementerede nyttefunktion ser ud som følger

$$(1) \quad U = \beta_l \cdot k \cdot l + \beta_c \cdot \beta_l \cdot c + \beta_{road} \cdot \beta_{free} \cdot (t_{free} + \beta_{con} \cdot t_{con}) + \varepsilon$$

β_l er en parameter for de normale kørselsomkostninger såsom benzin og slitage m.m. β_l antages at være proportional til rejselængden l med en faktor k . I det følgende antages k at være 0,7 DKK/km. β_l antages at være deterministisk, da tidsværdien, så kan udledes på simple vis som forholdet mellem parameters for tid sammenholdt med parameteren for omkostninger. Ydermere antages $\beta_l = 1$. Funktionen er således direkte i monetære værdier, det såkaldte VTTS (Value of Travel Time Savings).

β_c er en parameteren for den ekstra rejseomkostning relativt til β_l , som folk med bil betaler gennem vejafgifter c . Vi antager at $\beta_c = 1$. Dette valg er delvist begrundet med resultater fra Nielsen og Vuk (2003). Det vil sige, at det antages, at værdien af penge er den samme, hvad enten der er tale om, at der betales til sædvanlige variable kørselsomkostninger (benzin, mv.) eller kørselsafgifter.

β_{free} er parameteren for den frie køretid, t_{free} . Fordelingen heraf er estimeret ud fra AKTA data og er logaritmisk normalfordelt.

β_{con} er den ekstra tidsværdi som skyldes trængsel relativt til β_{free} . Denne parameter er baseret på AKTA og antaget at være logaritmisk normal fordelt. β_{con} er beregnet ud fra $(1 + \ln(\mu, \sigma^2))$ i.e. $\log(\beta_{con} - 1) = N(\mu, \sigma^2)$. Ideen med denne formulering er, at produktet af β_{free} og β_{con} også er logaritmisk. Herved følger den samlede tidsværdi denne fordeling, og det var samtidigt muligt at specificere korrelation mellem tidsværdi for fri køretid og trængsel på en simpel måde, der let kunne implementeres i den benyttede software.

β_{road} er en vejtype specifik korrektion som er normeret til 1 for motorveje og som antager en værdi større end 1 for andre vejtyper. Parameteren kan opfattes som en adfærdsparameter for bløde faktorer som kendskab til vejnettet, komfort, etc., som ikke er beskrevet af hastighed alene. β_{road} antages at være fast i det følgende (altså ikke at følge en statistisk fordeling).

Skalering af nyttefunktioner til brug for modelberegninger

I projektet skelnes mellem 5 segmenter: bolig-arbejde, erhverv, andre ture samt erhvervsture for lastbiler og varebiler.

Til etablering af tidsværdierne er følgende fremgangsmåde anvendt. I første omgang kendes den gennemsnitlige tidsværdi for formål bolig-arbejde og andre tilsammen (skaleret i forhold til hinanden med det relative forhold fra Havnetunnelprojektet). Fra AKTA beregnedes forholdet mellem tidsværdi for fri køretid for bolig-arbejde og andre til 1,55. Sammen med viden om at ca. 30 % af turene er bolig-arbejde, kan tidsværdien for formålene for bolig-arbejde og andre beregnes ved en proportionalitetsbetragtning.

Ud fra forholdene fra Havnetunnelprojektet beregnes dernæst de resterende turformål segmenter, og forhold mellem fri køretid og trængsel for hvert segment.

Disse benyttes som middelværdier, mens fordelingstype, varians af hver, samt korrelation mellem fordelinger af tidsværdi for fri køretid og trængsel antages at være de empiriske fra AKTA. Men som sagt skaleret relativt i forhold til turformål som i Havnetunnelprojektet.

Kalibrering af vejvalgsmodellen

Vejvalgsmodellen lægger trafikken ud på et vejnet, der af CTT er etableret ud fra KRAKS' geodatabase kombineret med attributdata herfra, OTM og tidligere modeller fra CTT. Dette definerer vejtyper, skilte hastigheder, kapacitet og antal kørespor for de enkelte veje. I trængselsprojektet, Nielsen et.al (2004) blev der målt frie hastigheder samt trængselshastigheder i forskellige tidsperioder for den enkelte vejstrækning. Disse blev dels benyttet til validering af modellens data, dels til estimation af matematiske funktioner for sammenhængen mellem rejsetid og trafikmængde.

Relationen mellem rejsetid og trafikmængde er i modellen beskrevet ved følgende funktion;

$$(2) \quad t = \begin{cases} t_{free} \left(1 + \alpha \left(\frac{T + \gamma T_{opposite}}{T_{Cap}} \right)^{\beta} \right) & , (T + \gamma T_{opposite}) < T_{Cap} \\ t_{queue} & , (T + \gamma T_{opposite}) \geq T_{Cap} \end{cases}$$

I forhold til standardformen i mange modeller – den såkaldte BPR-formel² - er der to primære ændringer. Dels opereres der med en køhastighed, som træder i kraft, når kapacitetsgrænsen overskrides, dvs. når $\frac{T + \gamma T_{opposite}}{T_{Cap}} > 1$. Dernæst er det antaget det, at modkørende trafik har indflydelse på trafikafviklingen for 2-sporede veje. Dette kan observeres empirisk.

α , β og γ parametrene blev kalibreret i en iterativ proces, hvor AKTA hastighedsmålinger blev anvendt til at estimere funktionen for hver vejtype med et tilstrækkeligt empirisk datagrundlag, hvorefter rutevalget, hastigheder og trafikmængder blev valideret på netniveau. Grunden til denne tilgang er dels, at der ikke var tilstrækkeligt med observationer til en statistisk estimation for alle vejtyper, dels at der ved kørsler med rutevalgsmodellen blev fundet diverse fejl i datagrundlaget (data vedrørende strækninger, digitalisering, zoneophæng, etc.). Omkring 20 iterationer i arbejdsprocessen blev gennemført.

Det er værd at bemærke at denne parametrisering er noget forskellig fra den tidligere anvendte i OTM. En af konsekvenserne af at indføre en køhastighed er, at meget af den trængselseffekt, man tidligere observerede, flyttes "til højre" på speed-flow kurven. Vi

² US Bureau of Public Roads.

kommer således aldrig ud i det eksponentielt voksende trængselsregime hvilket gør en forskel i forhold til α og β parameteriseringen.

Et meget positivt resultat af re-estimeringen af speed-flow sammenhængen efter de observerede hastigheder fra trængselsprojektet var, at de vejtypeafhængige adfærdskorrektioner i CTT-modellen ikke mere var signifikante. Med andre ord er forklaringen flyttet ind i BBR relationen, hvilket er en stor styrke i forhold til tidligere, hvor dårlige beskrivelser af speed-flow afhængigheden kompenseredes af vejtypeafhængige korrektionsfaktorer, der fejlagtigt kunne fortolkes adfærdsmæssigt.

I forhold til OTM giver ovennævnte værdier større trængsel på vejnettet. Dog giver modellen stadig mindre trængsel end målt i trængselsprojektet, hvilket skyldes at der er tale om en statisk model, der ikke modellerer kødannelse og tilbagestuvning af trafik i forbindelse hermed. Egentlig modellering af krydsforsinkelser indgår ikke, om end de implicit beskrives via de målte frie hastigheder i kryds jf. ovenstående formel.

I trængselsprojektet, Nielsen og Landex (2004), blev det konstateret, at OTM kraftigt undervurderede trængsel i vejnettet. Dette problem er således delvist – om end bestemt ikke fuldt ud - løst med den anvendte model ovenfor.

Alt i alt lykkedes det således at kalibrere modellen, således at den bortset fra tilfældig statistisk variation passede godt med de målte trafikmængder på vejnettet, samtidigt med at den på en tilfredsstillende måde beskriver trængsel i nettet.

Rutevalgsmodel for kollektiv trafik

Den kollektive trafik blev fordelt på nettet ved hjælp af en ny rutevalgsmodel. Formålet med dette var primært at kunne opnå en mere detaljeret beregning af tilbageførselsscenerierne, hvor en del af provenuet benyttes til nye projekter for kollektiv trafik. De væsentligste karakteristika for den kollektive rutevalgsmodel er;

1. Modellen er køreplansbaseret, hvorved de eksakte køreplaner og korrespondancer indgår.
2. Der beregnes en række forskellige alternative ruter (proportionalt med antal iterationer). Dette er en fordel i forhold til f.eks. OTM, der alene beregner to ruter. Modellen fordeler dernæst trafikken, således at der tages hensyn til evt. korrelation (overlap) mellem ruter.
3. Modellen er nyttebaseret og bygger på de nyttefunktioner for forskellige turformål, der blev estimeret i Nielsen (2000).
4. Modellen er optimeret mht. regnetid som beskrevet i Nielsen og Frederiksen (2006).

Baggrund

I 1997 gennemgik Camilla Riff Brems ved Trafikdagene resultater fra rutevalgsmødeler i en række ofte brugte softwarepakker, herunder TRIPS og EMME/2. Konklusionen af denne gennemgang var dels, at mødelkerne gav foruroligende forskellige resultater, dels at resultaterne skyldte adfærdsmæssige antagelser, der implicit er indbygget i algoritmerne. Nielsen (1998) præsenterede en mødel, der i langt højere grad kunne estimeres ud fra rejsevaneundersøgelser, og dermed imødegå ovennævnte problemer. Imidlertid var der på daværende tidspunkt ikke empiriske undersøgelser, ud fra hvilke mødelen kunne estimeres.

I forbindelse med København-Ringsted Baneprojektet blev der i sommeren 1998 iværksat et større trafikmødelarbejde (Nielsen, et.al., 1999). Metodegrundlaget fra denne mødel er benyttet i nærværende projekt, om end selve løsningsalgoritmen er ny (Nielsen og Frederiksen (2006). Dette sikrer hurtigere regnetid og bedre konvergens. Softwaren er ligeledes nyprogrammeret

Mødelen er probit-baseret som beskrevet i Nielsen (2000), hvorved overlap mellem ruter beskrives. Passagerers manglende viden om trafiknettet beskrives ligeledes af probitmødelen. Herunder benytter mødelen den samlede køreplan benyttes i stedet for det tidligere frekvens-baserede princip. I nærværende projekt skete det ud fra data fra "www.rejseplanen.dk".

Rutevalgsmødelen har forskellige tidsværdier for forskellige turformål og del-transportmidler (togtyper og busser), adgangs tider, frekvens (skjult ventetid), samt vente-, skifte- og forsinkelsestider. Derudover rummer den koefficienter for siddeplads, antal skift samt omkostning. Forskelle i passagerers forskellige præferencer beskrives med fordelinger af koefficienterne i nyttefunktionerne, i modsætning til traditionelle mødeler, der forudsætter samme præferencer for alle passagerer på nær tilfældige variationer.

Tidligere estimation af nyttefunktion

Mødelen bygger på et omfattende empirisk grundlag bestående af trafiktællinger, turmatricer, samt en række RP- og SP-analyser af passagerers og beboeres rejsevaner foretaget i forskellige transportmidler samt ved hjemmeinterview.

Mødelen svarer til vejvalgsmødelen for bil hvad angår grundlæggende tilgang, idet den også er nyttebaseret, den har et fejldet der håndterer overlappende ruter, samt tillader fordelte tidskoefficienterne i mødelen. Disse blev for den kollektive trafik estimeret ved en sekventiel estimationsprocedure (se Nielsen og Jovicic, 1999). Dette skete ved at benytte estimaterne fra omkostningsmødelen i et nyt estimationstrin, hvor nyttefunktionen blev estimeret som følger:

$$(3) \quad V_i = \beta_c \cdot c_i + (\beta_t + \gamma_t \cdot \xi) \cdot t_{gen}$$

Hvor β_t er en generaliseret tidskoefficient, γ_t variation relateret hertil (standard afvigelse af β_t), og den generaliserede tid t_{gen} blev fundet ved:

$$\begin{aligned}
 t_{gen} = & \beta_{bus} \cdot t_{bus} + \beta_{Stog} \cdot t_{Stog} + \beta_{Re\ to\ g} \cdot t_{Re\ to\ g} + \\
 (4) \quad & \beta_{IC\ to\ g} \cdot t_{IC\ to\ g} + \beta_{adgang} \cdot t_{adgang} + \\
 & \beta_{skjult\ vente} \cdot t_{skjult\ vente} + \beta_{vente / skifte} \cdot t_{vente / skifte} + \beta_{forsinkelse} \cdot t_{forsinkelse}
 \end{aligned}$$

Hvor de første 4 elementer er køretider. Tog til Sverige kan såvel være regional- som IC/Lyntog. Adgangstid er den tid, det tager at komme til og fra det kollektive trafiksystem, mens den skjulte ventetid beskriver forskellen med det tidspunkt, en passager ønskede at ankomme, og den tid vedkommende faktisk ankom jvf. køreplanen.

Tidsværdierne blev først splittet mellem pendlere, studerende, erhvervs- og fritidsture. Men studerende og fritidsture blev samlet i ét segment, idet de stort set havde samme koefficienter. Såvel β_t som γ_t blev estimeret med høj signifikans for alle segmenter. Studerende og fritidsture viste sig imidlertid at have en ret høje tidsværdi samt vise lav signifikans. Fordelte omkostninger blev derfor foretrukket herfor. Tidsværdierne for pendlere og erhvervsture blev estimeret efter følgende fremgangsmåde:

- Koefficienten β_c for omkostninger blev estimeret i den generaliserede tidsmodel.
- Tidsværdien (jævnfør til den generaliserede definition i omkostningsmodellen) blev multipliceret med β_t koefficienten og skaleret (reduceret) til omkostningskoefficienten estimeret i den sidste model.
- Variationskoefficienten for tidsværdien blev udregnet ved at skalere γ_t til β_t koefficienten.

Praktisk etablering af modellen

I praksis blev modellen i nærværende etableret ved følgende fremgangsmåde;

1. Køreplaner for den kollektive trafik i Hovedstadsområdet blev importeret fra ”www.rejseplanen.dk”, idet der blev opnået aftale om kopiering af den bagvedliggende database. Koblingen til banenettet skete via stationsnumre. Linket til busnettet skete via stoppestedsgrupper, og deres koordinater (modtaget fra HUR).
2. Data blev georefereret via. links til KRAKS geodatabase, der blev autogenereret i ArcGIS. Ligeledes blev der her genereret skiftekanter mellem stoppestedsgrupper, så det i modellen f.eks. er muligt at skifte ved at gå fra Hovedbanegården til Rådhuspladsen.

3. Zonestrukturen (efterspørgslen) blev forbundet til det kollektive net via autogenererede zoneophæng, der efterfølgende blev valideret manuelt. Det blev her antaget at passagerer er villige til at gå længere til tog end til bus.
4. Modellen blev valideret mod tællinger i tognettet (DSB's østtælling) og HUR's tællebusdatabase. Sidstnævnte blev stillet til rådighed af HUR og linket til databasen via stoppestedsnumrene.
5. Modellen blev derefter valideret ved sammenligning af modelkørsler med tælledata, samt ved at se på, om rutebundter i nettet virkede rimelige.

Eksterne modeller

Dette afsnit gennemgår de forskellige effektmodeller. Gennem effektmodellerne analyseres hvordan eksterne effekter så som støj, uheld, klima, lokal luft forurening samt drift- og vedligeholdelseskostninger påvirkes i de enkelte scenarier.

Effekterne inddeles overordnet i fem typer.

- Drift og vedligehold
- CO₂ emissioner
- Luftforurening
- Uheld
- Støj

Uheld regnes på linkniveau med en underopdeling i kryds og strækningssuheld. Yderligere opdeles uheld i personskadeuheld og uheld med materiel skade. Da prissætningen imidlertid er meget forskellig for graden af personskade har vi efterfølgende estimeret fordelingen på personskadesgrader ved at anvende en regional fordelingsnøgle der er baseret på dagens situation. Dette er nødvendigt for at tage højde for at der i København sker flere personskadesuheld, men mindre alvorlige.

Støj er beregnet i et traditionel GIS-baseret støjmodel (i ArcGIS). Der opereres med 5 decibel støjbuffer startende fra 55 decibel og sluttende ved 75 og derover. For hver støjbuffer laves en overlay analyse med bygningsmassen således at antal bygninger der eksponeres med en vis grad af støj kan beregnes. Herudfra kan der beregnes antal eksponerede personer.

Trafikale effekter

Sammenligning af afgiftsniveauet for de forskellige systemer

De forskellige afgiftssystemer adskiller sig primært på afgiftsniveauet, de geografiske områder de dækker, samt om der er tale om kilometerbaseret betaling eller betaling ved krydsning af grænser (bom-systemer). For basis 2004 er der i Tabel 3 nedenfor opgjort de gennemsnitlige kørselsomkostninger for bilister i systemet. Med andre ord har vi indregnet bilisternes "ageren" efter indførsel af vejafgifter og set på de deraf afledte gennemsnitlige kilometeromkostninger.

Tabel 3: Gennemsnits kilometerafgift fordelt på formål og system (vægtet i forhold til de samlede antal ture i Hovedstadsområdet), kroner pr. km.

Formål	Myldretid	Km.-takst 2004	Zonetakst	Stor bomring 2004	Lille bomring 2004
Bolig-Arbejde	ja	0,55	0,29	0,27	0,11
	nej	0,30	0,16	0,18	0,08
Erhverv	ja	0,75	0,38	0,36	0,19
	nej	0,37	0,19	0,22	0,13
Lastbil	ja	1,89	0,96	0,83	0,36
	nej	1,07	0,56	0,63	0,36
Varebil	ja	0,70	0,38	0,32	0,16
	nej	0,39	0,22	0,24	0,14
Ærinde-fritid	ja	0,30	0,16	0,14	0,07
	nej	0,25	0,13	0,14	0,07

Som det ses, er der betydelig prisdifferentiering mellem systemerne, med kilometertakst-scenariet som det dyreste system for bilisterne og den lille bomring som det billigste. Man kan sige at sammenligningen mellem så forskellige systemer – bomring og GPS – på basis af en gennemsnitsomkostning er uretfærdig fordi forskellen mellem omkostningen for husstande alt afhængigt efter placeringen af bopæl kan være ganske stor. Omvendt giver det et godt overordnet indtryk af størrelsesordenen.

Da tabellen viser gennemsnitsomkostninger vægtet med trafikarbejde som beregnet i rutevalgsmodellen (og baseret på OD-mønstret for det pågældende scenario) afspejler differencer i priser til en vis grad adfærdsmæssige elementer. Det er eksempelvis interessant at se variationen over formål, hvilket delvist indikerer at trafikanter med forskellige turformål reagerer forskelligt på vejafgifter. Dette skyldes bl.a., at de forskellige turformål som udgangspunkt har forskellige rumlige fordelinger. Eksempelvis er gennemsnitsprisen for bolig-arbejde-ture og erhvervsture omtrent dobbelt op i myldretiden. For disse er der ikke den store frihed til at substituere, idet arbejdspladser lokaliseres fast (i hvert fald på mellemlangt sigt), ligesom pendlerture typisk er længere og ofte går ind til København. Ærinde-fritids-ture har en relativt mindre stigning i gennemsnitsomkostningerne i myldretiden. Dette kan henføres til substitutionseffekter på tidsperiode, destinationsvalg og andet transportmiddel, samt at få af disse ture som udgangspunkt foregår i myldretiden.

Overordnede effekter og provenu

Nedenfor opsummeres i Tabel 4 de overordnede trafikale effekter samt provenuet for de forskellige systemer i 2004. Hvis indtægterne fra et vejafgiftssystem skal bruges til tilbageførsel til trafikprojekter, er størrelsesordenen af disse indtægter, målt på 2004 trafik, afgørende for hvilke projekter der kan implementeres og derfor interessant som input til de efterfølgende tilbageførselsscenarier.

Tabel 4: Overordnede trafikale effekter 2004.

System (2004)	Ture(hverdags) (x1000)	Trafikarbejde (x1000)	Bruttoprovenu (mio kr.)
Basis	3.723	37.094	0
Kilometer takst	3.490	34.506	4.535
Zonetakst	3.444	34.678	2.418
Stor bom	3.627	36.027	2.493
Lille bom	3.663	37.164	1.321

Det største bruttoprovenu, på 4,5 mia. kr. opnås ved kilometertakstscenariet, mens den lille bomring genererer et bruttoprovenu på ca. 1,3 mia. kr. Trafikarbejdet reduceres tilsvarende mest i kilometertakstscenariet, mens antal ture reduceres mest i zonetakst. Målt på overordnede efterspørgselseffekter er zonetakst det mest "effektive" scenarium i den forstand at man får den største trafikale ændring per provenukrone.

Vi kan også se, at der er stor forskel på, om bompengesystemet er finmasket, som det er tilfældet med zonetakst, eller om det er et ringsystem. Dels er der forskel på provenuet, men også på effekterne. Tabel 5 viser de relative ændringer i forhold til basis. Som det fremgår, er lille bom uheldig, idet der sker en lille vækst i trafikarbejdet. Årsagen til dette forklares nærmere, når de enkelte beregningers resultater analyseres nærmere.

Tabel 5: Overordnede trafikale effekter 2004, relativt i % i forhold til basis

Effekt	Km .takst	Zone takst	Stor bomring	Lille bom
Antal ture	-6,3%	-7,5%	-2,6%	-1,6%
Trafikarbejde	-7,0%	-6,5%	-2,9%	0,2%
Fri rejsetid	-5,8%	-6,7%	-3,1%	0,6%
Køtid	-13,1%	-14,1%	-8,1%	2,0%

Tabel 5 viser også at systemerne har forskellig effekt på trængsel og den frie køretid.

Umiddelbart reduceres trængslen for de to mest ekstreme scenarier med ca. 13-14%, mens den frie køretid reduceres med 6-7%. Inkluderet i de ovenstående tal er den generelle trafikreduktion på ca. 7% for de to ekstreme scenarier, hvilket betyder at den frie køretid nogenlunde følger trafikreduktionen (at den faktisk er en smule større skyldes reduceret omvejskørsel), mens at trængselsreduktionen reduceres mere end reduktionen i trafikarbejdet hvilket skyldes ikke-linearitet i speed-flow kurver (tæt på kapacitetsgrænsen giver selv en lille reduktion i trafikken en stor reduktion af trængslen, jf. Nielsen et.al. (2004).

Overordnet set kan det konstateres, at systemerne i forhold til internationale sammenligninger er relativt moderat påvirket af trængsel. I London havde man før indførelsen af toldringen gennemsnitlige trængselstider på omkring 2.5 min/km om dagen mod nattetider (er en proxy for

”free-flow” tid) på 1,8 min/km. Udenfor ringen var trængslen i samme niveau eller værre. Med andre ord, har man i ret store dele af London by og på indfalds- og ringveje haft trængselsprocenter på op mod 35-40%. For København som helhed er det tilsvarende tal i 2004 ca. 13%.

For de to Københavnske bompengesystemer kan det konstateres, at trængslen for den lille bomring stiger i forhold til basissituationen. Dette skyldes massiv omvejskørsel i brokvartererne ad eksempelvis Jagtvej og på Fasanvejen. Faktisk breder trængslen sig som ringe i vandet og ender helt ude på ring 3 (dette diskuteres nærmere i det følgende). Det kan også konstateres, at den store bomring faktisk er ganske effektiv i forhold til at reducere trængsel. Hvor det samlede trafikarbejde kun reduceres med 2,8% reduceres trængslen med godt 8%.

Tabel 6: Relative ændringer i forhold til basis-situationen (i %), 2004

Navn	Km.takst 2004	Zonetakst 2004	Stor bom 2004	Lille bom 2004
Frederiksberg	-17,3	-5,4	-3,7	10,1
Frederiksborg Amt	4,3	-2,4	0,6	1,7
København	-16,2	-12,4	-9,4	-5,7
Københavns Amt	-6,7	-4,7	-0,4	2,9
Roskilde Amt	-0,1	-4,1	0,5	1,4
Total	-7,0	-6,5	-2,9	0,2

Klart de største ændringer findes i Københavns og Frederiksberg kommune, hvor der for kilometertakstscenariet er tale om en reduktion på godt 16 %. Som afgiftsstrukturen er anlagt falder den relative afgiftsbetaling med afstanden til centrum, og det kan aflæses på effekterne i yderregionerne, som er betydeligt mindre. Det er interessant at se, at den lille bomring giver vækst i trafikarbejdet i centrum, fordi man vælger omveje selv indenfor ringen for at slippe for at krydse bomringen.

Transportmiddelvalg

Som det ses nedenfor i Tabel 7, er scenariet med kilometertakst det scenarium, der overflytter flest ture til henholdsvis kollektiv trafik, cykel og gang. Alle scenarier medfører dog positiv overflytning på alle andre transportmidler end bil.

Tabel 7: Effekter på transportmiddelvalg 2004 – relative ændringer i forhold til basis (i %)

Scenario	Biler	Kollektiv	Cykel	Gang
Km.takst	-6,3	7,9	7,1	4,1
Zonetakst	-7,5	4,5	4,3	2,5
Stor bom	-2,6	3,6	3,0	1,6
Lille bom	-1,6	3,4	3,0	1,7

I kilometertakstscenariet stiger den kollektive trafik overordnet med knap 8% og henholdsvis cykel og gang med 7% og 1,5%. Den relative ændring i kollektiv trafik følger således omtrent

den generelle trafikreduktion. Nogenlunde det samme mønster har man kunne konstatere i London, mens overflytningen i Sverige har været lavere.

Hvis man ser på, hvordan transportmiddelvalget fordeler sig på formål og tidsperioder, sker den største relative overflytning til kollektiv trafik for bolig-arbejdsture og i myldretiden. For indkøb/ærinde-ture flyttes der en lille smule mindre til kollektiv trafik. Overflytninger til cykel er imidlertid endnu større, specielt for bolig-arbejde-ture.

Eksterne effekter

Nedenfor gennemgås resultaterne af de eksterne effekter.

Tabel 8: Drift- og vedligeholdelseskostninger på vejnettet angivet i årlige antal mio. kr. (baseret på 261 hverdagsdøgn).

	Basis	Km. takst	Zonetakst	Stor Bom	Lille Bom
Omkostninger udregnet i 1985 priser	271	263	262	268	268
Omkostninger opskrevet til 2005 priser	432	420	421	428	431

Som det ses er der en "besparelse" på højest 12 mio. kr. årligt for kilometertakstscenariet. Med andre ord er selve drifts- og vedligeholdelseskostningerne på vejnettet en mindre del af de samlede eksterne effekter. De relative ændringer i drift- og vedligeholdelseskostninger ligger under den generelle trafikreduktion. Dette skyldes primært at en ganske stor del af omkostningerne er faste og dermed uafhængige af trafikniveauet.

Det overordnede resultat af uheldsberegningen er vist i tabel 9 nedenfor.

Tabel 9: Antal årlige uheld (baseret på 261 hverdagsdøgn).

	Basis	Km. takst	Zonetakst	Stor Bom	Lille Bom
Beregnet antal personskadeuheld i kryds	715	636	645	678	686
Beregnet antal andre rapporterede uheld i kryds	1.425	1.273	1.294	1.355	1.377
Beregnet antal personskadeuheld på strækninger	676	645	644	659	668
Beregnet antal andre rapporterede uheld på strækninger	1.412	1.344	1.347	1.381	1.397

Antal sparede uheld er for kilometertakstscenariet estimeret til 110 uheld med personskade og 220 andre rapporterede uheld. For lille bom er der en tilsvarende reduktion på 37 uheld med personskade og 63. Altså en betydelig lavere reduktion. Det bemærkes dog, at selvom trafikarbejdet stiger i den lille bomring, så er der faktisk en reduktion i antal uheld. Dette kan dels skyldes, at hastighederne reduceres og dels, at takststrukturen dirigerer en del omvejstrafik ud på mindre uheldsbelastede veje såsom ring 3.

Tabel 10: Reduktion i dræbte, alvorligt og lettere tilskadekomne samt uheld med materiel skade i København (Kilde: VD).

	Km. takst	Zone takst	Stor Bom	Lille Bom
Færre dræbte	2,41	2,23	1,18	0,81
Færre alvorligt tilskadekomne	62,70	58,19	30,67	21,20
Færre lettere tilskadekomne	60,37	56,03	29,54	20,41
Materiel skade	219	197	101	64

I det ovenstående er både kryds- og strækningssuheld lagt sammen.

I London, hvor man oplevede en reduktion i trafikken i afgiftszonen på omkring 33%, har man en tilsvarende reduktion i antal personskadeuheld (der er ikke opdelt på kryds- og strækningssuheld) på 30%. Det svarer altså til en nogenlunde lineær sammenhæng mellem reduceret trafik og det reducerede antal uheld. Til sammenligning har vi i vores beregninger (for kilometertakst) et fald i trafikken på 8% og et fald i antal uheld på 7,9%, men med stor variation mellem krydsuheld og strækningssuheld. Der er altså tale om sammenlignelige størrelsesordner.

Klima- og lufteffekterne er en direkte ”mark-up” på trafikarbejdet med differentiering på biltyper og skal derfor ikke omtales videre.

Støj opgøres i støjbelastningstal som vist i tabel 11 nedenfor og som er værdisat af finansministeriet.

Tabel 11: Det årlige antal støjbelastningstal (1000 SBT) omregnet til 261 hverdagsdøgn.

	Basis	Km. takst	Zonetakst	Stor Bom	Lille Bom
SBT	59,4	56,7	56,7	58,2	59,2

Igen er de væsentligste reduktioner estimeret for kilometertakst- og Zonetakst scenariet, mens ændringerne for den lille bomring er relativt marginale. Vi kan umiddelbart konstatere, at støj falder mindre end trafikreduktionen, hvilket er at forvente, fordi støj både afhænger af trafik og hastighed. I London findes der relativt dårlige støjopgørelser, men tallene indikerer dog, at der ikke er målbare støjreduktioner. At vi dog får ret pæne støjreduktioner skyldes, at en del trafik dirigeres ud på motorveje og store omfartsveje, som har en høj andel af støjskærme. Hertil kommer, at basistrængslen og bystrukturen som helhed kan bidrage til væsentligt forskellige resultater.

International sammenligning

De to mest interessante systemer er i den sammenhæng London og Stockholm.

I London (Transport for London, 2005) er takststrukturen således, at man i 2004 betalte 5 £ per dag svarende til 60 kr. for at køre og holde i takstområdet mellem 6.00-20.00. Generelt

har man ved at sammenholde før- og efter-situationen observeret en ændring i mængden af trafik ind og ud af zonen på mellem 33-35%.

For varebiler og andre biler er reduktionerne mere moderate, og ligger i omegnen af 5%. Omfanget af trafik med cykel, knallert, busser og taxier er alle steget med henholdsvis 28%, 6%, 21% og 22%. For busser har man kunne konstatere massiv vækst. Passagerantallet for trafik der ender og udgår fra takstzonen steget med henholdsvis 38% og 37%.

I Stockholm har eksperimentet kørt i kortere tid. Takseringen er mindre end i London. Man betaler mellem 6.30-18.30 mellem 12 og 24 SEK. for at krydse en ring. Man kan dog maksimalt betale 60 SEK. per dag. Man har konstateret en reduktion i trafikarbejdet ind og ud af zonen på ca. 20%.

I forhold til erfaringen fra disse to systemer er reduktionen i trafikarbejdet i de analyserede modeller for 2004 lavere end hvad man faktisk har observeret andetsteds. Vi vurderer, at dette primært skyldes, at den beregnede model er kortsigtet og derfor ikke tager højde for de strategiske effekter som indfinder sig når løsningen bliver permanent. Derudover er de grundlæggende afgifter på køb og ejerskab meget højere i Danmark end i de to andre lande, og dette kan meget vel betyde en mindre priselasticitet for det (rigere) markedssegment, der i Danmark har bil.

For Londons tilfælde er det også væsentligt at det kollektive system er væsentligt bedre. Dette vurderes specielt at være tilfældet i forhold til radialtrafik og trafik til og fra London centrum. Endelig dækker tallene for reduktion i trafikarbejdet i København præsenteret i denne artikel over det samlede trafikarbejde i Hovedstadsregionen, hvor tallene for Stockholm og London dækker over reduktionen i trafikarbejdet ind og ud af den afgiftsbelagte zone. Disse må forventes at være højere end reduktionen i det samlede trafikarbejde.

Kigger vi mere detaljeret på de relative effekter er der flere lighedspunkter med vores beregninger.

I London, hvor man oplevede en reduktion i trafikken i afgiftszonen på omkring 33%, har man en tilsvarende reduktion i antal personskadeuheld (der er ikke opdelt på kryds- og strækningsuheld) på 30%. Det svarer altså til en nogenlunde lineær sammenhæng mellem reduceret trafik og det reducerede antal uheld. Tilsvarende har vi i vores beregninger (for kilometertakstscenariet 2004) et fald i trafikken på 8 % og et fald i antal uheld på 7,9%, men dog med stor variation mellem krydsuheld og strækningsuheld.

For støj er målingerne i London relativt usikre, men for de stationer, hvor man måler støj, har man ikke kunne konstatere betydelige reduktioner i støjgenerne. Vi finder større støjeffekter, hvilket kan skyldes flere ting. Dels fordeles der i de fleste af vores scenarier en del trafik på ring 3 som er udstyret med støjskærme på hele strækningen. Dels kan de to situationer være vanskelige at sammenligne, fordi basistrængslen og bebyggelses-strukturen er anderledes.

Emissioner (primært NO_x og PM₁₀) er i London faldet med omkring 12% indenfor betalingsringen. Sammenholdes dette med vores reduktion på 3,5% for et trafikarbejde der reduceret omkring 1/3 af reduktionen i London ligger disse tal på linie med vores beregninger.

For London er der i 2004 tendenser til mindre omvejskørsel omkring betalingsringen, men i mindre udstrækning end hvad vores rutevalg indikerer.

Reduktionen af trafikarbejdet i betalingszonen for vare- og lastbiler i London har fra 2002-2003 været på omkring 5-7%, med en tendens til yderligere fald i 2004. I forhold til den generelle trafikreduktion på 34% er der tale om en 17% reduktion i forhold til personbilerne. Set i forhold til vores initiale antagelse, om at vare- og lastbiler var henholdsvis 20% og 10% mindre følsomme, er der god overensstemmelse. Det skal imidlertid noteres, at man faktisk for London har oplevet en marginalt større reduktion i lastbiler, hvilket peger lidt modsat af vores antagelser.

Sammenfatning

I alt fire forskellige afgiftssystemer blev undersøgt i basisåret, 2004. Et GPS baseret kilometertakstsystem, et detaljeret bompengesystem samt to ringsystemer refereret til som henholdsvis lille og stor bomring. Den lille bomring omkranser den indre by, mens stor bomring omtrent ligger langs ringbane-snittet. De fire afprøvede takstsystemer giver anledning til relativt forskellige resultater, både hvad angår samfundsøkonomiske konsekvenser og trafikale effekter. Hvad angår de trafikale effekter, herunder også eksterne effekter, er de vigtigste resultater sammenfattet nedenfor.

- Introduktionen af de fire afgiftssystemer giver anledning til en reduktion i trafikarbejdet (kørte km.) i størrelsesordenen -7% for kilometertakstscenariet 2004, -6,5% for Zonetakst, -3% for stor bom, og en vækst for lille bom 2004 på +0,2%. Væksten skyldes uhensigtsmæssig omvejskørsel i dette system. For Københavns og Frederiksberg kommune er reduktionerne godt og vel dobbelt så høje.

- I forhold til de anførte reduktioner i trafikken sker der en relativt større reduktion i trængslen. For de to dyreste scenarier, kilometer takst og Zonetakst, sker der en ca. 14 % reduktion i trængslen. Dette skyldes at vi befinder os på den ikke-lineære del af trængselskurven, hvor trængslen øges mere end lineært som funktion af trafikken.

- Bompengescenarierne generelt, og i særdeleshed den lille bomring, giver anledning til en del uhensigtsmæssig omvejskørsel. For såvel stor som lille bomring giver det anledning til trængselseffekter på ring 3. Der er med andre ord tendens til at trængslen breder sig som ringe i vandet fra centrum og ud.

- Varebiler og lastbiler er simuleret med lave efterspørgselselasticiteter og deres adfærdsændringer er derfor relativt små.

- Af de eksterne effekter er uheld og støj de vigtigste, mens drift- og vedligehold af vejnettet, klima- samt lokale luftforurenings-effekter er sekundære. Det reducerede antal uheld med personskade for de 4 scenarier (i 2004) er henholdsvis 110 for kilometertakst, 102 for Zonetakst, 54 for stor bomring og 37 for lille bomring. Reduktionen i uheld følger reduktionen i trafikarbejdet. For støj observeres ligeledes signifikante reduktioner som følge af takstscenarierne.

- Der vindes relativt få passagerer over til den kollektive trafik fra bil som resultat af de infrastrukturforbedringer der er afprøvet i tilbageførelsesscenarierne. Der vindes omtrent det samme antal cykel- og gangture som bilture. Dette resultat er i tråd med tidligere undersøgelser. For kilometertakstscenariet, som genererer det største provenu, indføres der mange kollektive projekter i et i forvejen ganske udbygget kollektivt system. Den marginale effekt af de sidst tilkomne projekter er derfor mindre og derfor fås små overflytningsprocenter.

Resultaterne for København er i nogen grad sammenlignelige med London og Stockholm. Niveauet for efterspørgselsændringerne er lavere, men det hænger sammen med at London er en permanent ordning og dermed indbygget i bilisternes langsigtede strategi. Graden af omvejskørsel er større i København. Dette hænger sammen to ting. Dels lider København af få tværgående alternativer til biltrafikken hvilket betyder lavere substitution til andre transportmidler på disse ture. Dels at København ikke, som i Stockholm er afgrænset af naturlige forhindringer som gør omvejskørsel besværlig.

Referencer

- Brems, C. R. (1997): Behandling af kollektiv trafik i trafikmodeller. *Trafikdage på AUC*. Konferencerapport 2, s. 403-414.
- Menegazzo, P. (2003): Estimation of route choice models on GPS-data. Eksamensprojekt, CTT, DTU.
- Nielsen, O. A. (1998): En ny model for passagerers rutevalg i kollektiv trafik. *Trafikdage på AUC*. Konferencerapport 1, s. 137-156.
- Nielsen, O. A., Frederiksen, R. D. (1998): En vejvalgsmode for flere trafikantklasser. *Trafikdage på AUC*. Supplementsrapport, pp. 159-174.
- Nielsen, O.A. og Jovicic, G. (1999): A large-scale stochastic timetable based transit assignment model for route and sub-mode choices. Publiceres ved *European Transport Forum (PTRC)*. Cambridge.
- Nielsen, O. A. (2000): A Stochastic Traffic Assignment Model Considering Differences in Passengers Utility Functions. *Transportation Research Part B Methodological*. Vol. 34B, No. 5, pp. 337-402. Elsevier Science Ltd.

Nielsen, O. A. , Frederiksen, R. D. og Daly, A. (2002): A stochastic multi-class road assignment model with distributed time and cost coefficients. *Networks and spatial economics*. No 2. pp. 327-346. Kluwer.

Nielsen, O. A. og Vuk, G. (2003): The AKTA vejafgifter experiment in Copenhagen. 10th International Conference on Travel Behaviour Research. Proceedings, session 3.2 Valuation/Pricing. Lucerne, Switzerland, August.

Nielsen, O. A. (2004): Behavioural responses to pricing schemes: Description of the Danish AKTA experiment. *Journal of Intelligent Transportation Systems*. Vol. 8(4). Pp. 233-251. Taylor og Francis

Nielsen, O. A. og Landex, A. (2004a): Trængselsprojektet – modellering af trængsel. Rapport 2004-3. Tilgængelig på www.ctt.dtu.dk

Nielsen, O. A., Hansen, C. O., Landex, A., og Würtz, C. (2004b): Trængselsprojektet – overblik og evaluering af AKTA hastighedsmålinger. Rapport 2004-4. CTT/DTU. Tilgængelig på www.ctt.dtu.dk

Nielsen, O. A. og Frederiksen, R. D. (2006): Optimisation of timetable-based, stochastic transit assignment models based on MSA. Paper accepted for *Annals of Operations Research*. Springer.

Nielsen, U., Nielsen O.A., Rich, J., 2006a, Kørselsafgifter i København – samfundsøkonomisk metode og resultater, papir præsenteret på Trafikdage 2006

Nielsen O.A., Rich, J., Nielsen, U 2006b, Kørselsafgifter i København – systemdesign og anvendelse af provenu, papir præsenteret på Trafikdage, 2006

Rich, J., Nielsen O.A. 2006, Kørselsafgifter i København – de trafikale effekter, IMV Rapport, ISBN: 87-7992-044-6.

Wrang K., Nielsen U., Kohl M. 2006, Kørselsafgifter i København – en samfundsøkonomisk analyse, IMV Rapport, ISBN: 877992-043-8.

Trafikministeriet, 2003, Nøgletalskatalog – til brug for samfundsøkonomiske analyser på transportområdet. Trafikministeriet.

Transport for London (2005): Congestion Charging: Third Annual Monitoring Report, www.tfl.gov.uk

Real estate ownership and the demand for cars in Denmark

- A pseudo-panel analysis

Jens Erik Nielsen, Danish Transport Research Institute

Abstract

This paper examines how real estate ownership, increasing real estate values and the falling interest rates affect car demand. It uses data from the Danish Transport Diary Survey together with data from Statistics Denmark to estimate a simple partial adjustment model for car availability in Danish households. We find that car availability differs among households owning real estate and households not owning real estate. Furthermore we show that both households groups have increased their demand for cars due to the falling interest rate.

1. Introduction

The modeling and forecasting of car availability is often based on cross section data in a discrete model setting (e.g. logit or probit) where it is assumed that the parameters estimated remain constant over time. There are two underlying assumptions behind this. The first is that the economy is in equilibrium. The other is that observed differences in consumption between, e.g., a high income person and a low income person is a valid description of what would happen if a low income person suddenly received the same income as the high income person, all other things being equal. Both these assumptions are probably not valid. What is needed is a dynamic model which explicitly takes account of this and recent models (e.g. Dargay and Vythoulkas (1999) and Fosgerau et al. (2004)) use this kind of specification.

Ideally, time series data should be used but since these are rarely available in the transport sector and since many cross section data exist the simpler approach of cross-section modeling is often adopted. The use of pseudo-panel data is an attempt to circumvent some of the shortcomings of the cross-sectional data and use the strength of the time series analysis. Deaton (1985) shows that it is possible to create panel data from repeated cross-section data named pseudo-panel data. He show that by using a characteristic that is invariant over time for given household types (e.g. year of birth) it is possible to create a pseudo panel describing average behavior for the household type in question. The pseudo panel approach also allows for the inclusion of macro variables which might affect both the transport behavior (e.g. number of kilometers traveled) and the demand for transport vehicles (e.g. cars).

The approach suggested by Deaton has since been utilized in a number of papers. The estimation of dynamic car ownership models is undertaken in Dargay and Vythoulkas (1999) where the UK Family Expenditure Survey was used. They demonstrate that the method can be applied giving satisfactory results when it comes to describe the dynamics of transport

behavior. They also show that there are large differences between short and long run elasticities with the latter being three times bigger than the former. Birkeland et al. (2000) use the Danish Transport Diary Survey data in a pseudo panel analysis of personal transport in Denmark. They identify cohort effects and life-cycle effects and they compare income elasticities estimated by simple cross-section analysis with those found by the use of pseudo panel data concluding that the two approaches yield very different results. They conclude that pseudo panel methods are preferable when predicting future demand for transport. In Dargay (2001) the approach is used to show that hysteresis effects are present for car ownership. She shows that the elasticities with regard to rising income were higher than the elasticities for falling income. This hysteresis shows that a car after it is purchased becomes a necessity which is not easily disposed of. The approach was later used in Dargay (2002) to show that there are important differences in the elasticities between rural and urban households.

In Denmark the real estate values have increased steadily and at very high rates since 1993 and at the same time the long term interest rate has dropped from around 10% to around 5%. This is shown in figure 1 and figure 2.

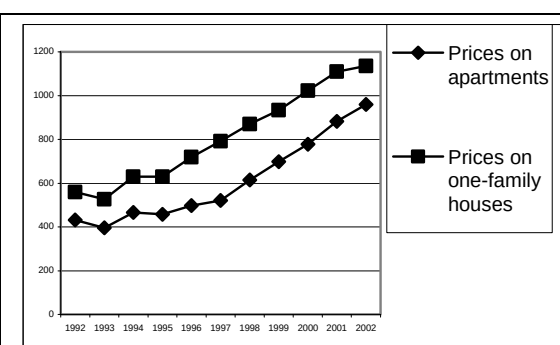


Figure 1: Real estate prices (1.000 DKr.)

Source: Statistics Denmark

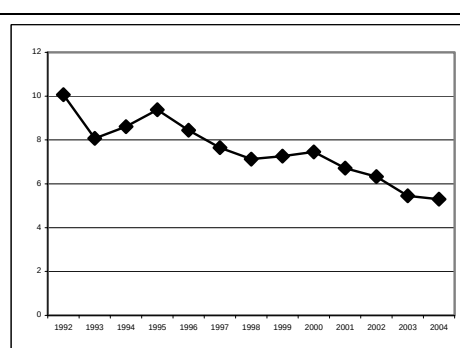


Figure 2: Interest on 30-years bonds

Source: Statistics Denmark

Households already owning real estate could (after a few years) capitalize wealth without increasing monthly mortgage payments due to the fall in the long term interest rate. Such an increase in wealth could increase the number of cars in households. For households entering the real estate market the effect is less clear. The fact that the real estate value increases will make it more expensive to purchase a house or an apartment and the mortgage payments will go up. The decreasing interest rate will counter this by reducing the mortgage payments. If the first effect dominates the households will have less income available for consumption which will reduce the number of cars. If the latter effect dominates the mortgage payments will go down and the household will have more income available for consumption which could increase the number of cars in the households.

Since the interest rate is the same for all households in the country we examine real estate owners and non-real estate owners separately. This enables us to see if the changing real estate prices and the changing interest rate has affected the two groups differently. Our expectation is that the falling interest rate could affect both groups but the increasing real estate values only affect the real estate owners. One problem is that the interest rate and the housing prices are correlated and that non-real estate owners may be more capital restricted than real estate owners. If this capital restriction is strong we expect that the interest rate has affected the real estate owners more and may even have had no effect on non real estate owners.

This paper utilizes the Danish Transport Diary Survey together with data from Statistics Denmark to create a pseudo-panel data set for the Danish population based on the year of birth for the interviewee. It examines how real estate ownership and a falling interest rate affect cars available in Danish households and to what extends these households differ with regards to income elasticities. The paper extends the findings in previous studies by looking at the differences between real estate owners and non-real estate owners thus providing more insight into the behavior of different household groups.

The paper proceeds as follows. Section 2 discusses the data and the construction of the pseudo-panel. Section 3 sets up the model and section 4 contains estimates and discussions as well as elasticities. Section 5 concludes.

2. The pseudo-panel data

The data utilized in the present paper come from two sources, the Danish Transport Diary Survey (DTDS) and Statistics Denmark (SD). The people participating in the DTDS are selected by random draw from the Danish Central Personal Registry (CPR). Data concerning the individual as well as the household is collected and the travel pattern for a single day for the interviewee is recorded. In the years 1992 to 1997 a monthly sample of 1800 was drawn for people between the age of 16 and 74. In 1998 this was extended to 2100 and the age group was extended to 10 to 84. The response rate in the survey is about 65-70%. The variables included in the present analysis are after-tax income, number of adult household members, degree of urbanization (living in a major Danish city or not), car availability (how many cars the household has access to), and information about whether the household owns real estate. Due to data limitations on certain variables the sample used here is restricted to the years 1996 to 2002.

Car availability includes both ownership of cars and other cars which the household can use for personal transport. Car availability is calculated as the total number of cars available to the households divided by the number of households for every cohort year. These are shown in figure 3 and figure 4 where the car availability for different cohorts over time according to age is shown. Figure 3 shows the cohorts for households living in owner-occupied houses and figure 4 shows the cohorts for households renting their home. It is clear from these figures

that there is a huge difference not only between households living in cities and on the countryside but also between real estate owning households and others.

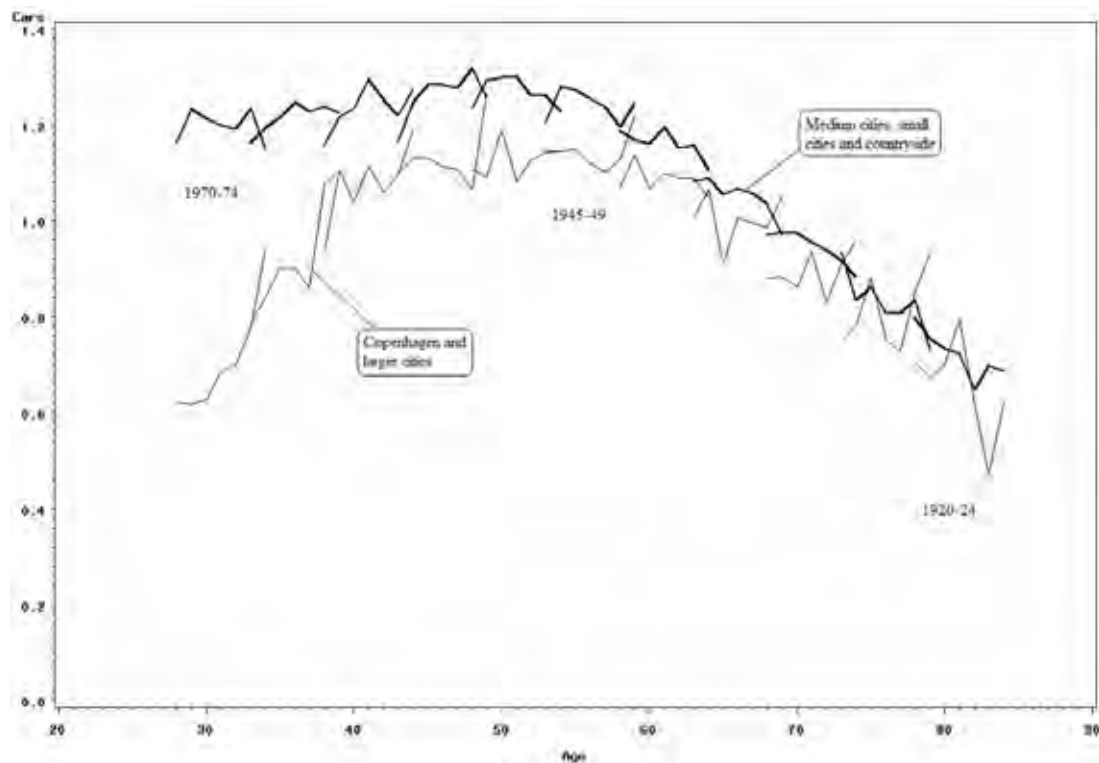


Figure 3: Car availability by cohort for real estate owners

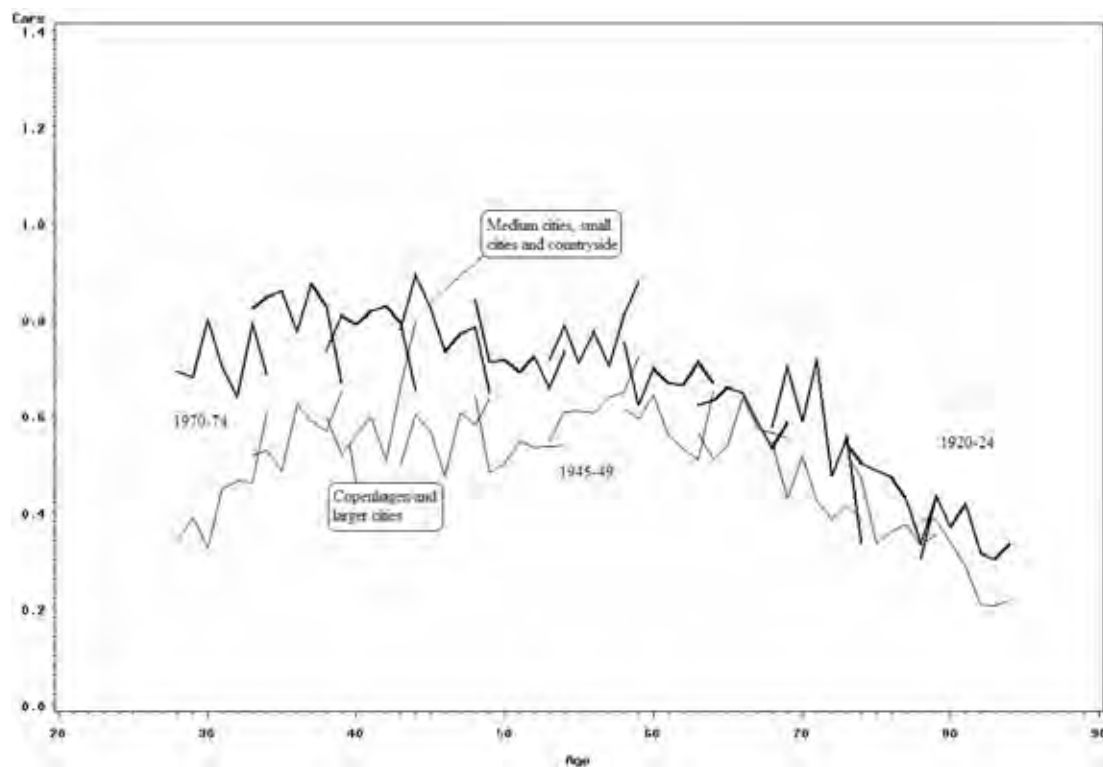


Figure 4: Car availability by cohort for non-real estate owners

The figures show that the life-cycle effect is larger for households living in owner-occupied houses. It is also clear that households living in less urbanized areas have higher car availability than households living in large cities or in Copenhagen. One explanation for this is the fact that the public transport network is better and distances are smaller in cities thus reducing the need for a car.

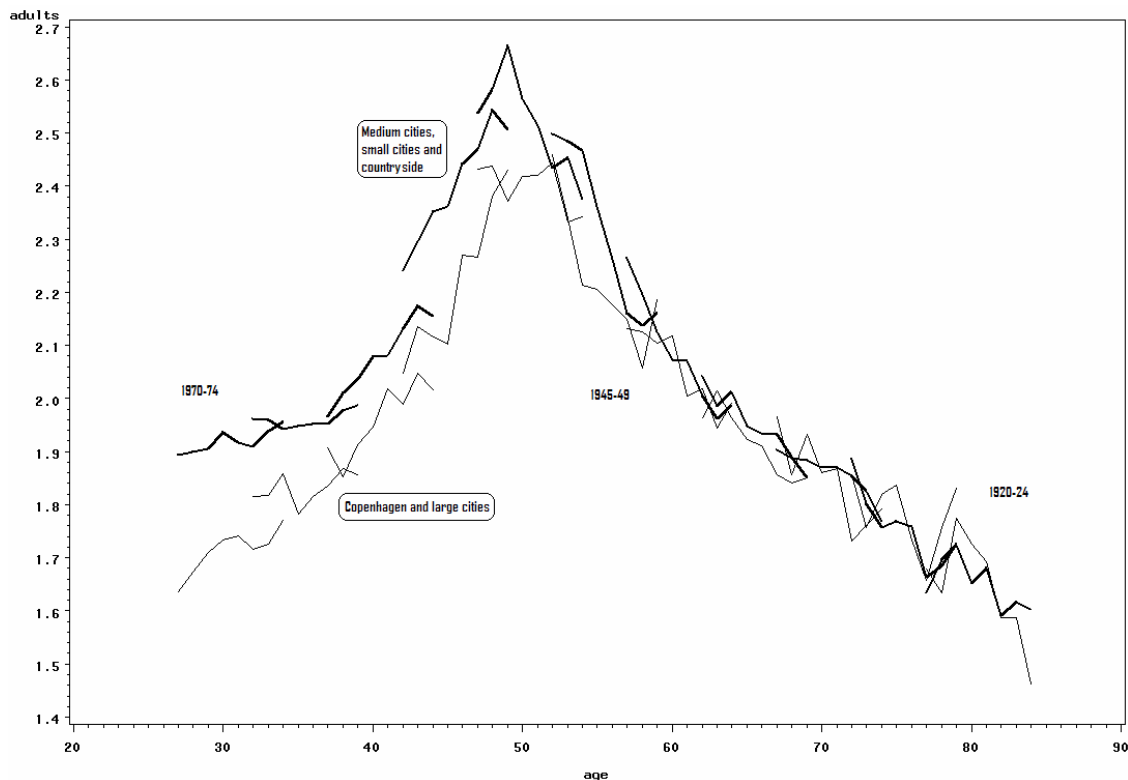


Figure 5: Number of adults in the household by cohort

Figure 5 gives another picture of a life cycle effect. It depicts the number of adults living in a household. As the age of the interviewee increases, the number of adults also increases. This is due to the fact that people get married and have children. We are not able to see if households move when these changes happen but it is likely that more adults and more children will increase the demand for cars. When the children reach a certain age they also count as adults¹. This goes on until the interviewee reaches the age of 50 where the children start to move away from their parents thus reducing the size of the households. The size of the households also decreases as a result of divorce and death.

Unfortunately the DTDS does not hold information concerning the value of real estate owned by the households. It is well known that the development in housing prices have differed significantly between different regions in Denmark. Data for the average housing prices in the

separate municipalities can be obtained from SD and these data can be linked to the information in the DTDS for each household living in a given municipality and we thus assume that these average values are the same for each household in a given municipality. The interest rate is also obtained from SD on an annual basis. Since this is a general macro variable all households in the economy face the same interest rate. Some households might have limited access to the financial market but we ignore this and assume that all household have the same opportunities for borrowing money and that they all face the same long term interest rate.

The pseudo panel was constructed by dividing the data into cohorts. Following Deaton (1985) the cohorts have to be based on some characteristic that remain invariant in the period analyzed. In the present study we have used the year of birth of the interviewee as the determining factor. For each of the cohorts' averages for all the variables included are then calculated resulting in a 'representative' observation for the given cohort. This means that for a representative person born in e.g. 1945 or in 1960 we have a series of observations from 1996 to 2002 describing the behavior of the person each year. This data can then be linked to the macro data for development in housing prices and interest rate obtained from SD giving us the panel used in the paper.

3. The car availability model

With the examination of the real estate ownership and the interest rate as the objective we specify a simple partial adjustment model inspired by Dargay & Vythoulkas (1999). The data we use were described in section 2 and due to the aggregation each variable has the form of an average for the cohort it comes from. The average at the cohort levels is thus given by

$\sum_i \frac{A_i^c}{n_t^c} = \bar{A}_t^c$ where n_t^c is the number of households in cohort c and A is the variable. In Dargay

(2001) different specifications² are tested and compared. She conclude that the semi-log specification dominate and also argues that this specification makes most sense economically. Based on her result we use a semi-log specification. For each cohort-representative household we let $\bar{C}_t^i$ represent the number of cars at time t for cohort i, $\bar{I}_t^i$ the number of adults in the household, $\bar{G}^i$ the generation parameter (or cohort number), $\bar{R}_t$ the long term interest rate (which is identical for all cohorts), $\bar{Y}_t^i$ the yearly after tax income and $\bar{W}_t^i$ is the increase in real estate values experienced during the last year. This gives the functional form

$$\bar{C}_t^i = \alpha + \beta_Y \log(\bar{Y}_t^i) + \beta_W \log(\bar{W}_t^i) + \beta_R \bar{R}_t + \beta_I \bar{I}_t^i + \beta_G \bar{G}^i + \beta_C \bar{C}_{t-1}^i$$

where $\bar{C}_{t-1}^i$ is the number of cars in the previous period. We note that the increase in real estate value experienced by one cohort does not have to be identical to the increase experienced by other cohorts since we have been able to distinguish between the housing

¹ A problem with the classification of 'adults' in the DTDS is that people over the age of 16 are counted as adults but a driving license can not be acquired before the age of 18.

² Linear, Double-log and Semi-log.

prices in different municipalities. This means that if the households being part of a cohort primarily living in municipalities with high growth in real estate values the cohort will have experienced a high growth. To capture saturation effects in both income and increases in real estate values we take the logarithm of both $\bar{Y}_t^i$ and $\bar{W}_t^i$. As argued by Dargay & Vythoulkas this type of model can be estimated using standard techniques.

4. Estimates and discussion

A list of the variables included in the model can be seen in table 1 together with their sources. The hypothesis put forward in the introduction is modeled by the variables ‘value increase’ and ‘interest rate’.

Variable	Source	Description
Cars	DTDS	Number of cars available to the household
Income (log)	DTDS	Household yearly after-tax income
Adults	DTDS	Number of adults in the household
Generation	DTDS	Generation effect (cohort number)
Value increase (log)	SD	Increase in housing prices during last year
Interest rate	SD	Average 30 years interest rate
Urbanization	DTDS	Living in urban area (Copenhagen or large city)
Real estate ownership	DTDS	Dummy for households owning real estate

Table 1: Variables used in the model

The number of observations used to construct each of the cohorts can be seen in table 2 divided into groups coming from urban areas (Copenhagen and suburbs together with the 3 largest cities) or rural areas (medium and small cities or the countryside) and owning or not owning real estate. It should be noted that especially for the rural non-owners the number of observations for some cohort is quite low. The number could be increased by reducing the number of cohorts and increasing the number of observations within each of these.

Cohort number	Cohort date of birth	Urban owner	Rural owner	Urban non-owner	Rural non-owner
1	1920-24	479	1323	688	482
2	1925-29	713	2079	767	617
3	1930-34	906	2565	720	519
4	1935-39	1079	3214	715	475
5	1940-44	1463	4254	714	510
6	1945-49	1772	5184	800	604
7	1950-54	1530	4818	702	584
8	1955-59	1592	4567	834	610
9	1960-64	1593	4458	1093	749
10	1965-69	1543	3831	1608	1030
11	1970-74	1125	2104	2162	1299
Average		1254	3491	982	680

Table 2: Number of observations

Since we have a lagged dependent variable in the specification we use the Durbin-h statistics to test for the presence of autocorrelation. The test confirms that autocorrelation is present in all the models. Furthermore we know that since the number of households in each cohort is not the same we face the problem of heteroscedasticity. To avoid this problem we weight all observations by the square root of the number of households in the given cohort. The error structure we specify as a simple AR(1). The estimation results are shown in table 3 together with test statistics. The models for non-real estate owners include the variable for the increasing real estate values. This we do to see if it is significant. If so we should be skeptical about our hypothesis since we do not expect non-real estate owners to benefit from increasing real estate values. The problem with the variable for wealth is that households who have lived in their house for a longer period of time have accumulated higher wealth than indicated by this variable. The dynamic model specification is capable of handling this since past increases in real estate values are included but moving patterns are still left out.

Variable	All	Real-estate owners	Non-real estate owners
Intercept	-0.1065 (-0.74)	-0.1013 (-0.29)	-0.0870 (-0.28)
Real estate owner	0.0736 (6.69)		
Urbanization	-0.0534 (-5.09)	-0.0835 (-3.97)	-0.0541 (-3.18)
Interest rate	-0.0572 (-5.38)	-0.0780 (-4.64)	-0.0600 (-3.73)
Value increase (log)	0.0187 (2.24)	0.0479 (3.01)	-0.0109 (-1.05)
Income (log)	0.0772 (4.06)	0.1056 (4.09)	0.1207 (3.19)
Generation (cohort)	0.0043 (3.49)	0.0040 (2.40)	0.0022 (0.81)
Adults	0.0691 (4.55)	0.0685 (3.62)	0.0489 (1.27)
Cars (t-1)	0.7158 (21.28)	0.6757 (13.45)	0.6591 (11.53)
AR1	0.2788 (4.73)	0.1973 (2.23)	0.3913 (4.85)
R^2	0.9941	0.9933	0.9112
SSE	139.1771	77.9114	53.7066
MSE	0.4686	0.5373	0.3730

Table 3: Estimates, t-values and summary statistics

All parameters have the expected sign and from the R^2 values we see that the models fit the data well. In the model for all households we have included a variable for real estate ownership. We see that this variable is positive and highly significant indicating that real estate owners have higher car ownership levels than non-real estate owners. In the model for all households the effect of the increase in real estate values is also positive. To determine if real estate owners and non-real estate owners are affected differently we split the sample and estimate the model on these two. A high degree of urbanization reduces the number of cars which we also saw in figure 3 and 4. This is not surprising since urban households generally have access to better public transport facilities, they have access to fewer parking spaces and in general have to travel shorter distances to reach their destination. Higher income affects car availability positively. Again this is expected since cars are assumed to be normal goods. Generation effects are found to be present for real estate owners. Younger generations have a higher tendency to purchase cars. For non-real estate owners the generation effect is also

positive but statistically insignificant. This is in line with findings of generation effects in Dargay (2001) and Dargay (2002) where less significant generational effects were found which could be seen as a confirmation of the findings here that the generation effects are not present in all household groups. We also have that the number of adults affect the demand for cars positively but the effects are only statistically significant for real estate owners. Turning to the interest rate we see that both real estate owners and non-real estate owners experience an increase in their demand for cars when the interest rate decreases. Looking at the effect of the increasing real estate values we get the expected result that only real estate owners are affected and as expected the households have increased their demand for cars as a consequence of the increasing wealth. Letting $\theta = (1 - \beta_c)$ we have $\theta = 0.28$ for real estate owners and $\theta = 0.32$ for non-real estate owners. We thus see that 28% and 32% of the adjustment in car availability for the two household groups happen within the first year. The high degree of significance for the adjustment parameter tells us that the dynamic specification is needed since households in general do not adjust to changes instantaneously.

4.1 Elasticities

Short run elasticities can be calculated directly from the estimated parameters, since we know that the short term elasticity, ε_i^{sr} , with regard to variable i is given by $\varepsilon_i^{sr} = \frac{\partial C}{\partial x_i} \frac{x_i}{C} = \beta_i \frac{x_i}{C}$. The long term elasticity, ε_i^{lr} , is given by $\varepsilon_i^{lr} = \frac{\varepsilon_i^{sq}}{\theta}$. For the different models estimated the elasticities are shown in table 5.

	Real estate owners	Non-real estate owners
Assuming car availability at group average ³	(0.096) – (0.296)	(0.228) – (0.668)
Assuming car availability equal to 1	(0.106) – (0.326)	(0.121) – (0.354)

Table 5: Income elasticities for car availability (short run – long run).

What can be seen from table 5 is that real estate owning households in general have lower income elasticity than non-real estate owning households both in the short run and in the long run. One explanation for this could be that real estate owning households have higher car ownership and thus are closer to some kind of natural saturation point for car ownership. The value for the elasticities are lower than those found in other studies for Denmark (Dargay and Gately (1999), Christens and Fosgerau (2004)) and perhaps more in line with the findings in Bjørner (1999) and Birkeland et. al. (2000) but still below the values reported in these papers.

The influence of the interest rate on car availability can be seen directly from its parameter and the long run elasticity is calculated. The same goes for the elasticity of real estate values. The results are shown in table 6 below.

³ For real estate owners and non-real estate owners the average car availability is 1.10 and 0.53.

All	Real estate owners	Non-real estate owners
Assuming car availability at group average	(-0.071) – (-0.219)	(-0.113) – (-0.332)
Assuming car availability equal to 1	(-0.078) – (-0.241)	(-0.060) – (-0.176)

Table 6: Elasticities for interest rates on car ownership (short run - long run)

From the models we know that the interest rate affects both owners and non owners of real estate and we see from table 6 that both short run elasticities and long run elasticities are lower for real estate owners.

5. Conclusion

We have shown that differences between real estate owners and non-real estate owners exist when it comes to car availability. We found indications of a wealth effect for real estate owners due to the increasing housing prices. The effect should be examined in more detail using real panel data but the findings here suggest that real estate owners have increased their car availability due to the increasing real estate values. Examining the effect of the falling interest rate we found that both real estate owners and non-real estate owners have increased their car availability due to the decreasing interest rate.

Bibliography

- Birkeland , M. E., Brems, C. R. and Kabelmann, T. (2000) Analyse af personers transportarbejde, 1975-1998, Trafikdage på Aalborg Universitet 2000, Conference paper (www.trafikdage.dk)
- Christens, P. F. and Fosgerau, M. (2004) Rådighed over bil - en beskrivelse af sammenhængen mellem husstandsindkomst, bilrådighed og geografi, DTF Notat 3:2004, Note, Danish Transport Research Institute, www.dtf.dk.
- Dargay, J. M. and Gately, D. (1999) Income's effect on car and vehicle ownership, worldwide: 1960-2015, Transportation Research Part A, 33, 101-138.
- Dargay, J. M and Vythoulkas, P. C. (1999) Estimation of a Dynamic Car Ownership Model: A Pseudo-panel Approach, Journal of Transport Economics and Policy 33:3, 287-302.
- Dargay, J. M. (2001) The effect of income on car ownership: evidence of asymmetry, Transportation Research Part A 35, 807-821.
- Dargay, J. M. (2002) Determinants of car ownership in rural and urban areas: a pseudo-panel analysis, Transportation Research Part E, 38, 351-366.
- Deaton, A. (1985) Panel Data from Time Series of Cross Sections, Journal of Econometrics 30, 109-126.
- Fosgerau, M., Holmblad, M. and Pilegaard, N. (2004) ART – En aggregeret prognosemodel for dansk vejtrafik, Notat 5:2004, Danish Transport Research Institute.

Before and after analysis of the bridge to Askøy

By Trude Tørset, SINTEF Dpt. of Road and transport planning

Askøy is an island near the city centre of Bergen, consisting of about 20 000 residents. Bergen is the second largest city of Norway consisting of about 250 000 inhabitants including the commuting area. Until the bridge “Askøybroen” was opened in December 1992, the only transport option between Askøy and Bergen was a ferry.

Three travel surveys are used in this study, the first was carried out just before and the second just after the opening of the bridge. The third was carried out a few years later, giving the travel habits time to settle. The three travel surveys give us a rare opportunity to check out how the bridge influenced the travel patterns in real life, compared to how the changes were calculated in a typical four-step transport model.

This paper describes problems in the transport model regarding several issues, among them how ferries are described and the relation between car-availability and car-density used in the model.

Before and after studies

A main objective for carrying out ex-post evaluation of projects are, according to the road departement (The Directorate of Public, 2006), to improve the basis for decisions and calculation-tools. Transport models are examples of the latter.

For transport models, ex-post evaluation of projects are parts of a validation process, interlinked to, or following, a calibration phase in model development. The validation phase in the process of making new transport models are however carried out with a lot less effort, often consisting only of comparing traffic counts or transit boardings to corresponding model values, too often according to an American model validation manual (TMIP, 1997, page 4).

Deviations between calculated results from a transport model and measured numbers can come from (at least) two sources. One main source is the input data: the zonal data, the transportation network data, or other corresponding input. The other is the predictive capability of the transport models, what kind of input it is based on, and how the model is defined and estimated. In addition there are always some measuring errors, making the “set answers” uncertain as well.

Model validation with survey data before and after gives us a chance to weed out (most of) the errors in input data, since we didn't have to make prognosis for them but could use

historical, registered data, and merely check the predictive capability of the model. Of course - measuring errors could still cause problems.

Activities in before and after studies are:

- Decide indicators
- Collect before-and after data
- ? Build a transport model or other tool ?
- Run the transport model
- Compare output
- Improve the transport model

The grey dots are activities interlinked to, but not parts of, before and after analysis.

These activities are successive and this often cause problems in before and after analysis as illustrated in the Askøy-bridge example: The transport model in question had input data that were not collected or available at the time when the before- and after analysis took place. This can partly be solved by all along collecting and storing all kinds of data that might be useful.

A successful before and after study should indicate the strenghts and weeknesses of the transport model including which presumptions made in the transport model are adequate and which are erroneous. This should little by little leed to increased knowledge about peoples decisions, leeding to changes in the transport models, giving better transport models, thereby giving better tools for decision-making and hopefully better descisions.

The transport system before and after the bridge

Until the bridge "Askøybroen" was opened in December 1992, the only transport option between Askøy and Bergen was a ferry (Figure 1). The new bridge is financed by tolling. The public transport system consists of buses driving across the bridge and a fast boat link in operation on workdays and Saturdays.

The ferry between Askøy and Bergen took 17 minutes according to the time table. The ticket costed Nkr 32 (≈ 4 E) for adult passengers, Nkr 18 ($\approx 2,25$ E) for children and Nkr 93 ($\approx 11,5$ E) for a private car (with the driver), but only one way. Ticketing took place only from Bergen to Askøy. A car-ride from Askøy to the centre of Bergen crossing the new bridge takes about 15-20 minutes, and costed Nkr 100 ($\approx 12,5$ E) in 1993 from Bergen to Askøy, or Nkr 60 ($\approx 7,5$ E) with a discount coupon. The fast boat uses 10 minutes on the crossing, has a frequency of two or three departures an hour, regarding whether the trip takes place during rushhours or not. A fast boat link ticket costed Nkr 23 (≈ 3 E) in 1993 and Nkr 32 (≈ 4 E) in 2000.

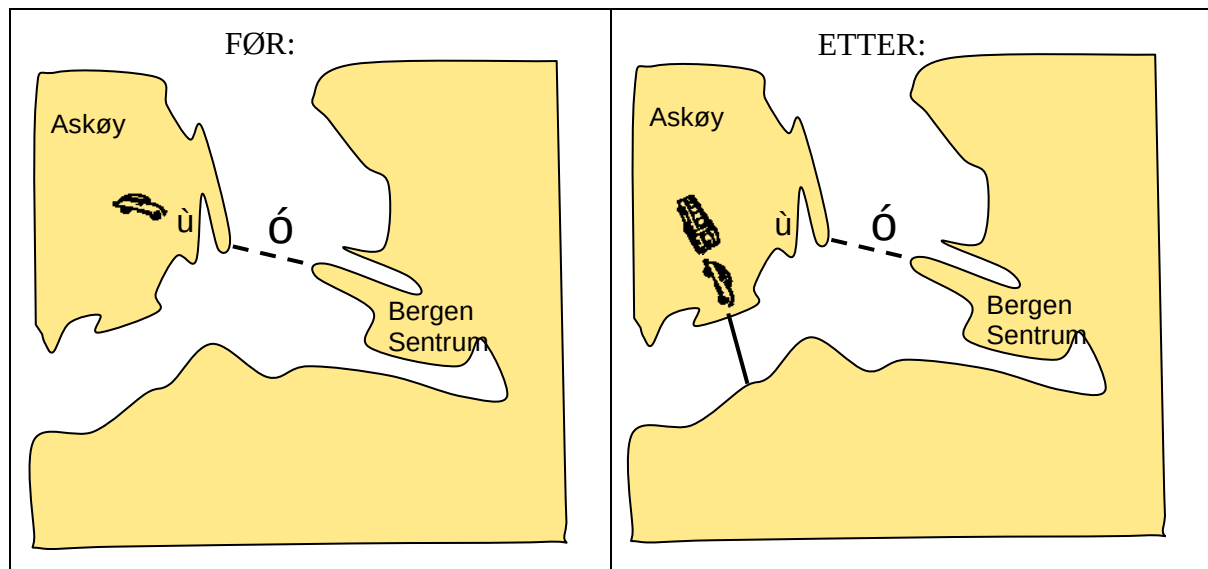


Figure 1: The transportation system between Askøy and Bergen city centre before (to the left) and after (to the right) the opening of the Askøy bridge.

The transport model

This study was carried out in 2004 and 2005, when a new transport model for the Bergen area had just been finished. The new model is called TASS version 5 (TASS5). It is a traditional four-step model with the following qualities:

Area-internal travel purposes made by private individuals are:

1. Residence – work
2. Residence – elementary school
3. Residence – college and universities
4. Residence – shopping/service
5. Residence – Other
6. Other (= the non-home based parts of trip chains)

In addition there are external traffic (one or more trip-end outside the model boundary area) and commercial traffic (trips carried out while working).

The TASS5 model gives transport results for an average work day. The day is divided into four time-periods, two low-traffic-periods, evening/night and mid-day, and morning and evening rushhours. This helps recreate the varying traffic situation and toll pricing meeting the road-users during the day. Network assignment is carried out for each hour in the rushhours.

Zonal data for 1992 and 1993 was not available, but zonal data for 1990 was used in scenarios for 1992 and 1993. The zonal division was higher for 2000 than for 1990, so the zonal data for 2000 was aggregated according to the 1990 zonal data. The geographical boundaries for the 2000-model was also adjusted according to the earlier models.

Two travel purposes, *Residence – shopping/service* and *Residence – Other*, was designed and estimated as hierarchical logit models in TASS5, but the zonal data connected to the destination choice variables was not available for 1992 and 1993 (or 1990). Therefore older choice models from the previous TASS-model (TASS version 3) was used instead.

The mode specific constants in the mode choice models were adjusted to match the mode choice observed in the travel survey from 2000.

All prices in the three scenarios were given in 2000 price-level.

The three surveys

Three phonebased travel surveys from the Bergen area are used in this study, from 1992, 1993 and 2000. The three travel surveys correspond well to the project – the new bridge opened dec. 1992. We have thus a description of the travel pattern before and after the bridge opened and a few years later, giving the the travel pattern enough time to settle. The travel surveys from 1992 and 2000 included people from several municipalities around Bergen, while the travel survey from 1993 only included people residing in Askøy. About 500 people from Askøy reported details about their trips the previous day in each of the travel surveys. The two first surveys included trips carried out on saturday, but the survey from 2000 did not include saturday-trips. Thus the study only includes trips carried out monday to friday. Only people 13 years or older were asked to participate in the survey.

Table 1: Number of trips and interviewees resided in Askøy and included in the study

Travel survey year	Number of interviewees (monday-friday)	Number of trips (monday-friday)
1992	493	1674
1993	473	1680
2000	523	1916

Results

Changes in the presumptions for the transport model calculations

Looking into the input data, there have been some changes on Askøy that could affect the travel pattern.

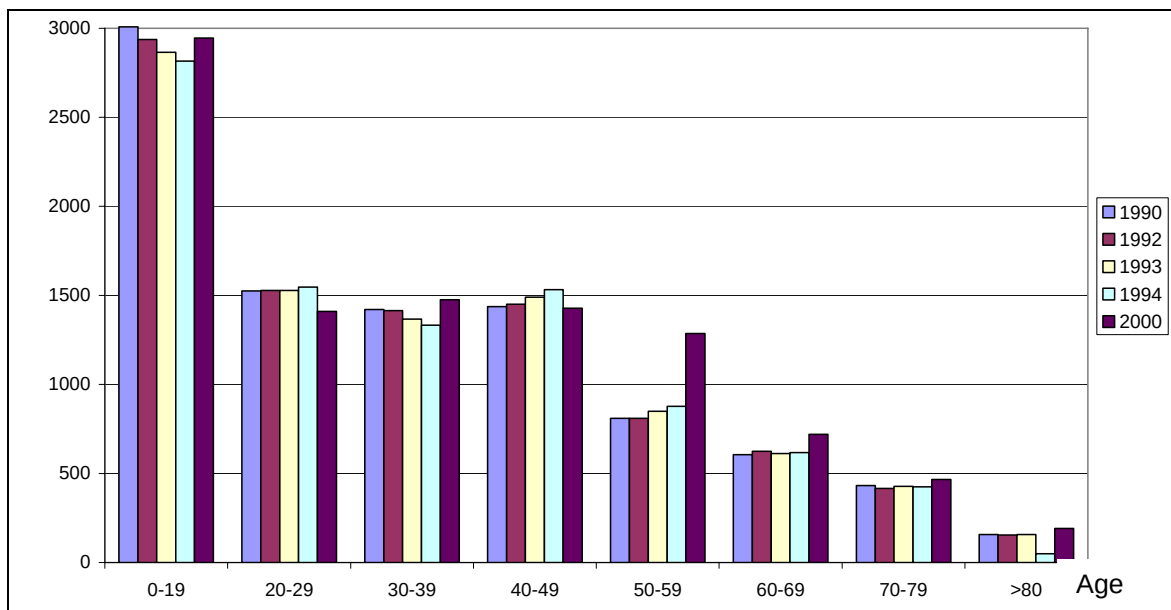


Figure 2: Number of men in age categories on Askø for given years

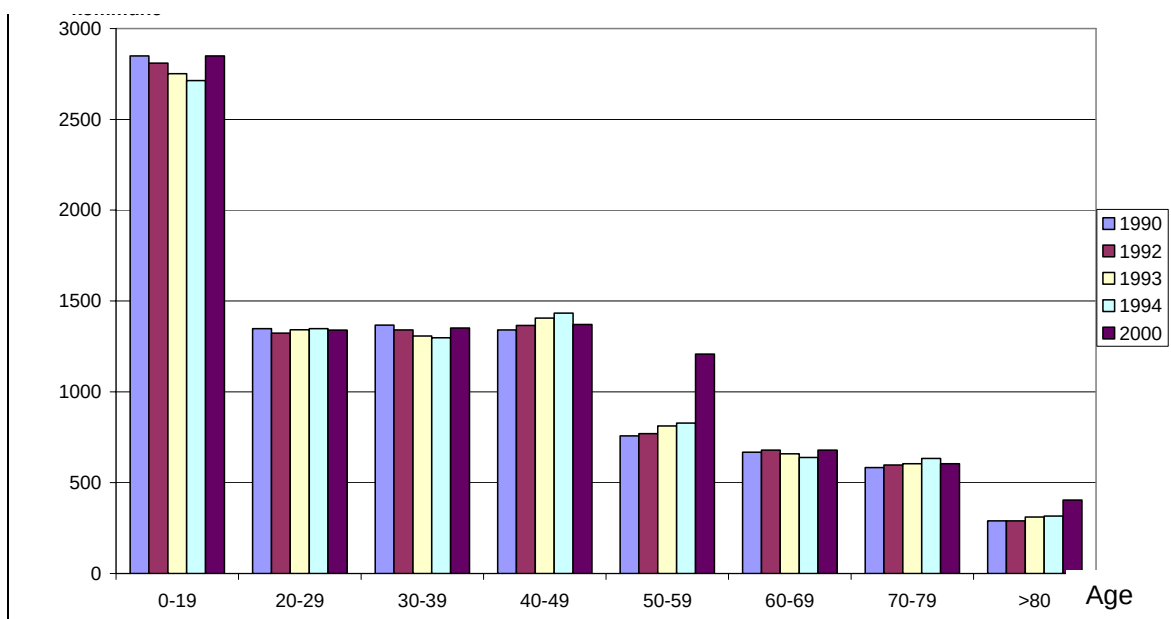


Figure 3: Number of women in age categories on Askø for given years

The number of people in their fifties has increased in Askø indicating that they have moved to Askø.

The transport model has the following input data:

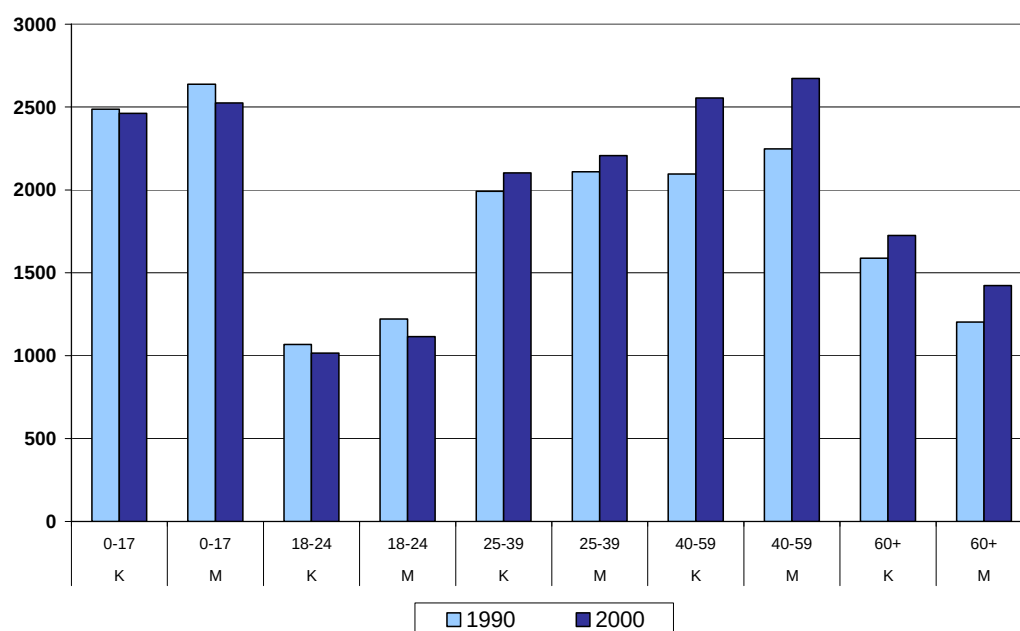


Figure 4: Number of people living i Askø in age categories from the zonal data in the transport model.

The same change is viewed in the transport model (Figure 4).

The employment situation has also changed. A higher share of the people are employed (Figure 5) and they work more (Figure 6) according to the travel surveys.

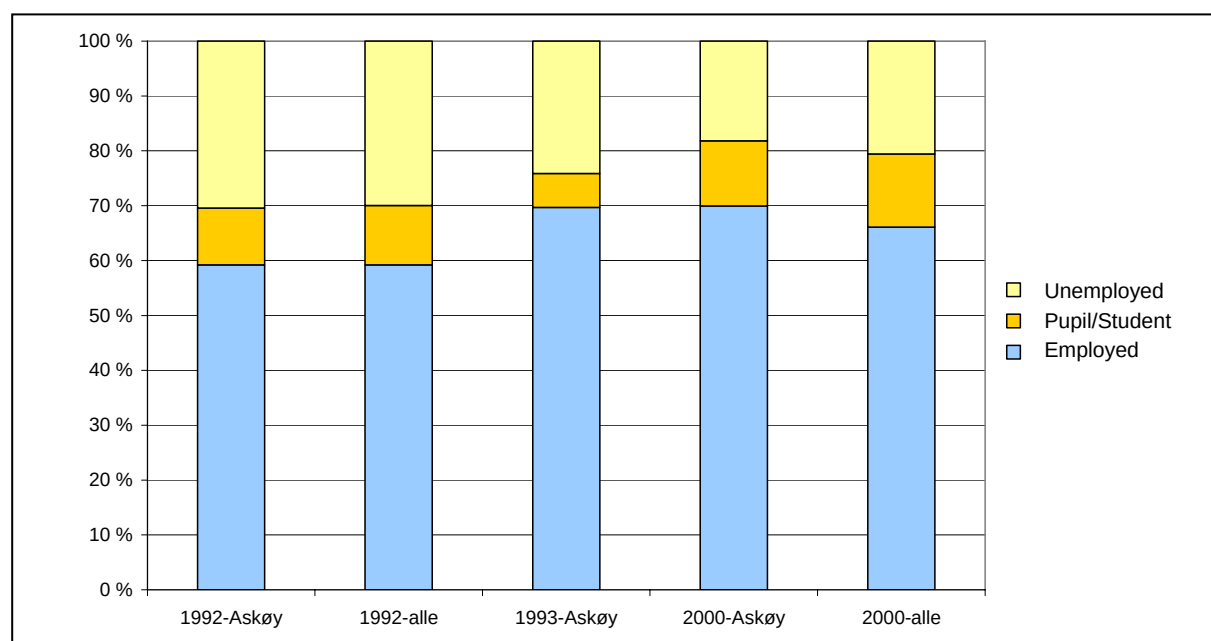


Figure 5: Distribution of employment from the travel surveys

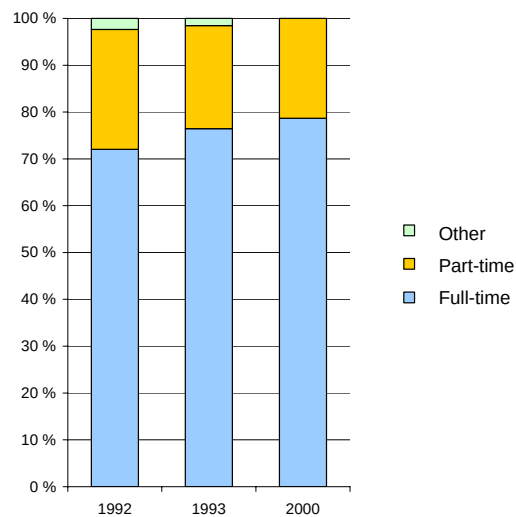


Figure 6: Employment structure on Askø from the travel surveys. Shares of the workers working full or part time.

This is also mirrored by the zonal data in the transport model:

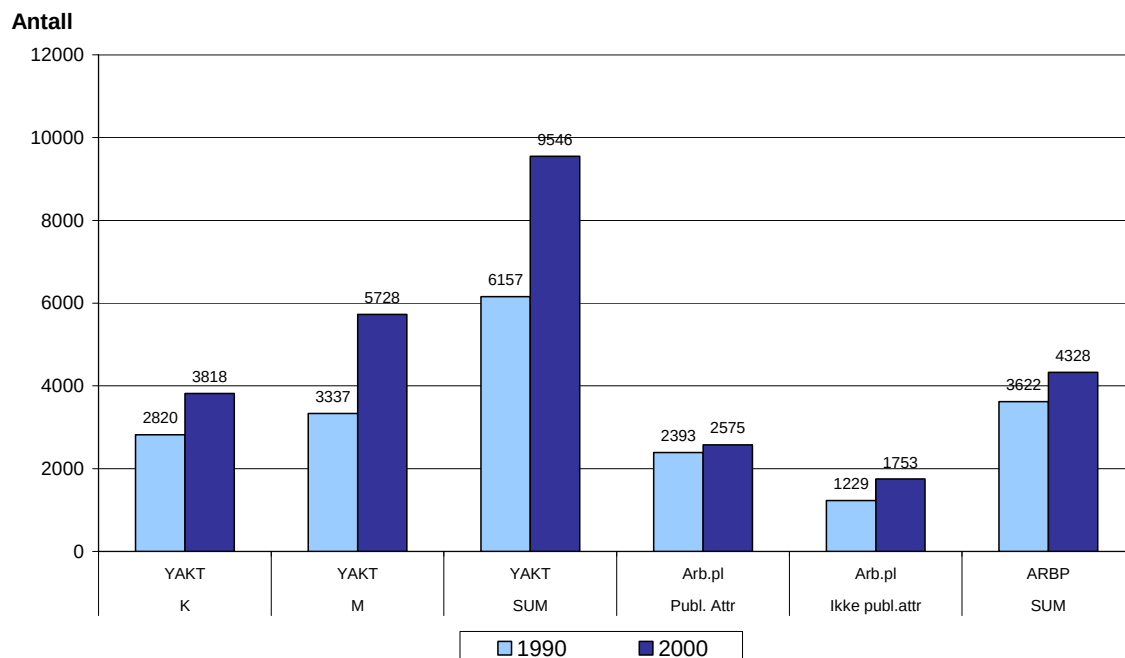


Figure 7: Number of working women, men and total, number of visited work places (have customers, typically shops or public offices), number of not visited work-places (for instance industry) and total number of work places in Askø.

The number of workers has increased by 50 % (!) in Askø according to the zonal data from 1990 to 2000.

The car ownership has changed in the Bergen aerea. Fewer people live in a household without a car, and it is more common to have two or more cars in a household. The same tendency can be observed in Askø, but stronger (Figure 8).

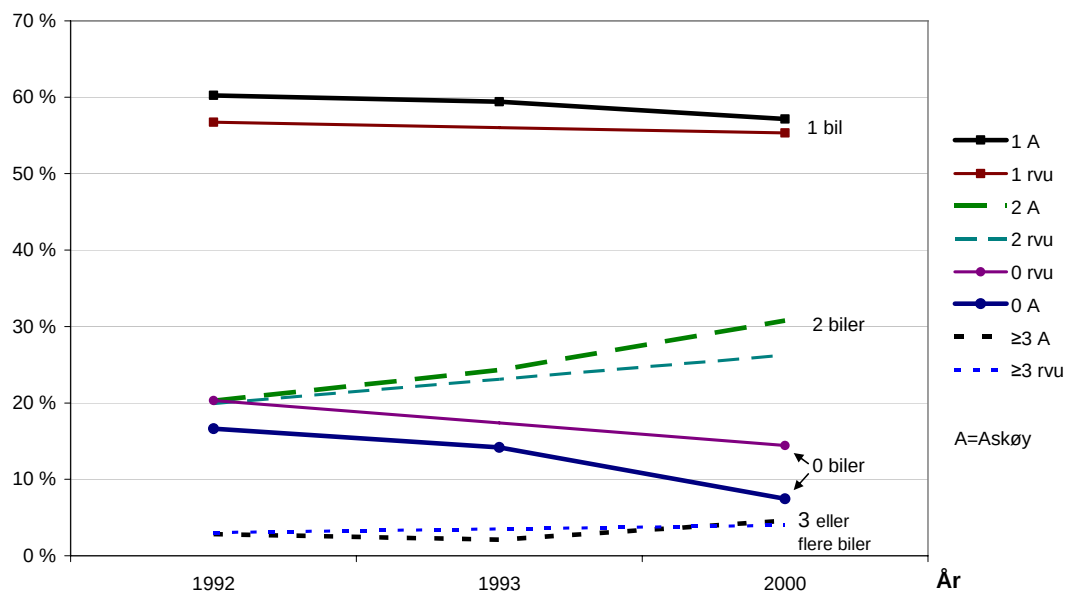


Figure 8: Development in car ownership from the travel surveys (A=Askø, rvu=travel survey numbers, only those from municipalities participating in travel surveys both in 1992 and in 2000.

The car ownership development indicates a higher car availability among the Askø residents. They were also asked about their car availability, and the results can be viewed in Figure 9.

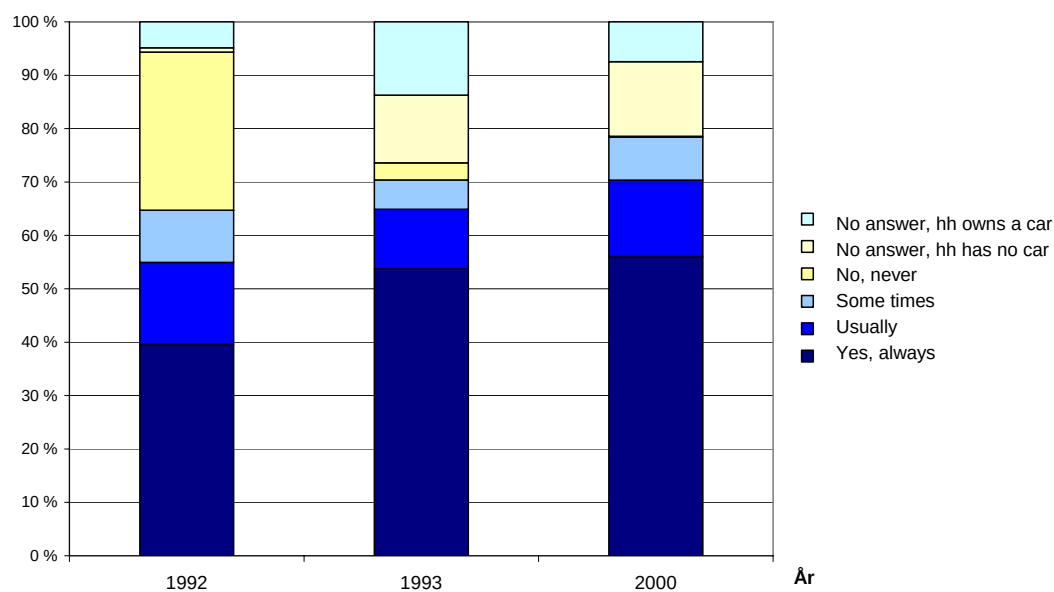


Figure 9: Access to car for people living on Askø

The yellow area has diminished from 1992 to 1993. In 1992 nearly 30 % answered that they never had access to a car. In 1993 this share was only about 3 %. If we add those without a car in the household the share with no access to a car was about 15 % in 1993 and was almost at the same level in 2000. It is clear that the bridge affected the car ownership and thereby the car availability.

Car ownership in the model:

Car density in the population is a variable that goes in to the model. The trips (in the trip production, step 1 in the model) are distributed in three groups – carownership groups: households without a car, with one car in the households and with two or more cars in the households. The relation in the transport model between car density and the distribution in car-ownership groups is shown in Figure 10 (long lines). The figure also shows some shorter lines which are the car ownership from the travel survey hold together with the car density for those municipalities.

The figure indicate that the relation between car density and distribution in car ownership groups is erroneous in the transport model.

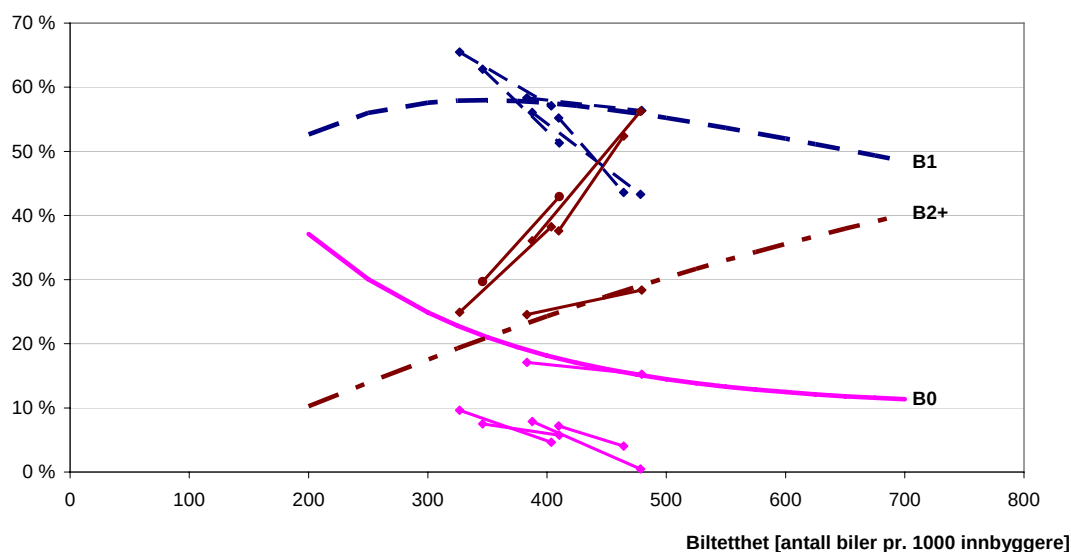


Figure 10: Sammenhengen mellom biltetthet og fordeling på bilholdsgrupper fra RVU (korte linjer) og forutsatt utvikling i transportmodellen

In the transport model there are too many *without* access to a car, and living in a household with *one* car at their disposal, and the transport model gives too few living in a household with *two or more* cars available. This means that the car availability is worse in the transport model in general compared to the real world, especially for the 2000 scenario. For the Askøy municipality the difference is even worse.

Trip production

Table 2: Trip frequency in the travel surveys compared to the transport modell

Årstall	Reisevane-undersøkelser	Transportmodell-scenarier
1992	3,23	3,19
1993	3,43	3,19
2000	3,58	3,63

The trip production calculation are almost correct. This conclusion is valid even for the age and sex segmentation in the model and for different trip purposes. There is one exeption and that is the caused by the growth in employment that took place from 1992 to 1993, and since

the transport model used identical zonal data for the two situations there was no difference while the travel surveys showed increased working activity.

It seems like the transport model is able to recreate the trip production from the travel surveys. The requirement is that the input data in the transport model are updated (which was not done for the two situations before and after the bridge opened). This is a problem when, as in Askøy, some of the effects of the project affects the input data (work activity, where people live, how many cars they have, where the work places are located).

Trip distribution

The share of trips between Askøy and Bergen city centre increased when the bridge opened. In the model the trip distribution cost function was based only on distance, and this resulted in a decrease in trips in the transport model from 1992 to 1993. Changes in zonal data to the 2000-scenario in the model led to an increase again.

The travel surveys showed that the share of trips between Askøy and the city centre was reduced from 1993 to 2000, possibly as a consequence of impaired attraction due to new shopping centres and work places located south of the city centre. The southern areas of Bergen also increased its attraction because the connection to the main land came there.

What we could learn from this is that a cost function should always consist of generalized cost. Travel time and monetary cost should always affect where the trips go in the model.

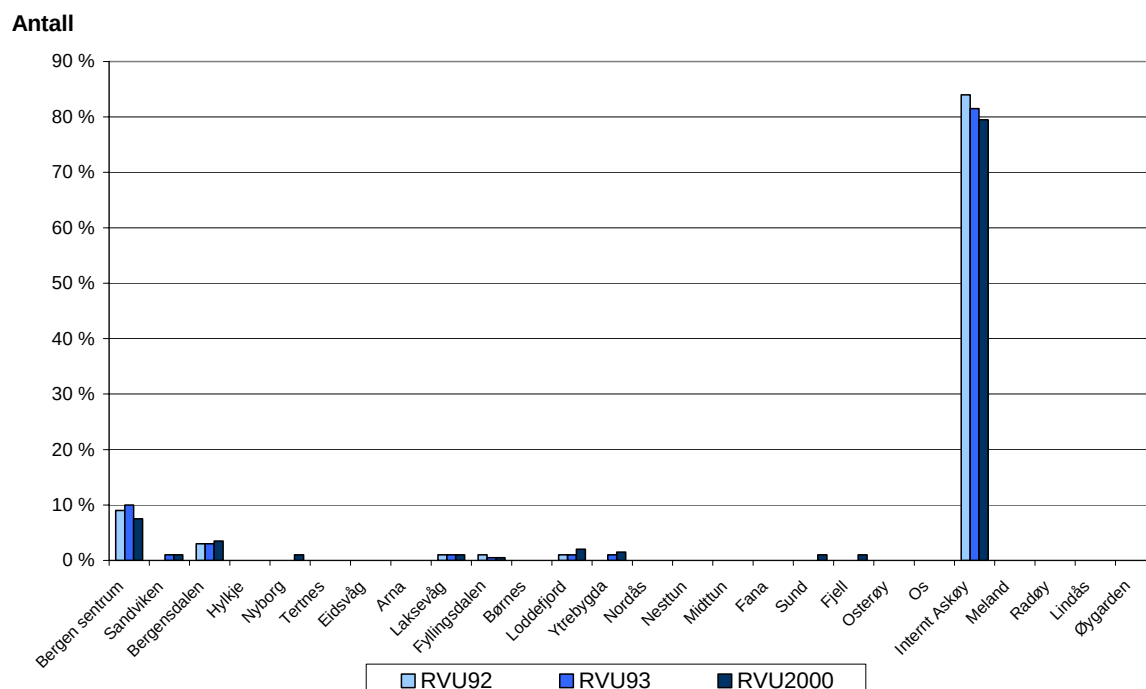


Figure 11: Trip end shares to/from districts/municipalities from the travel surveys. Trips carried out by people living in Askøy

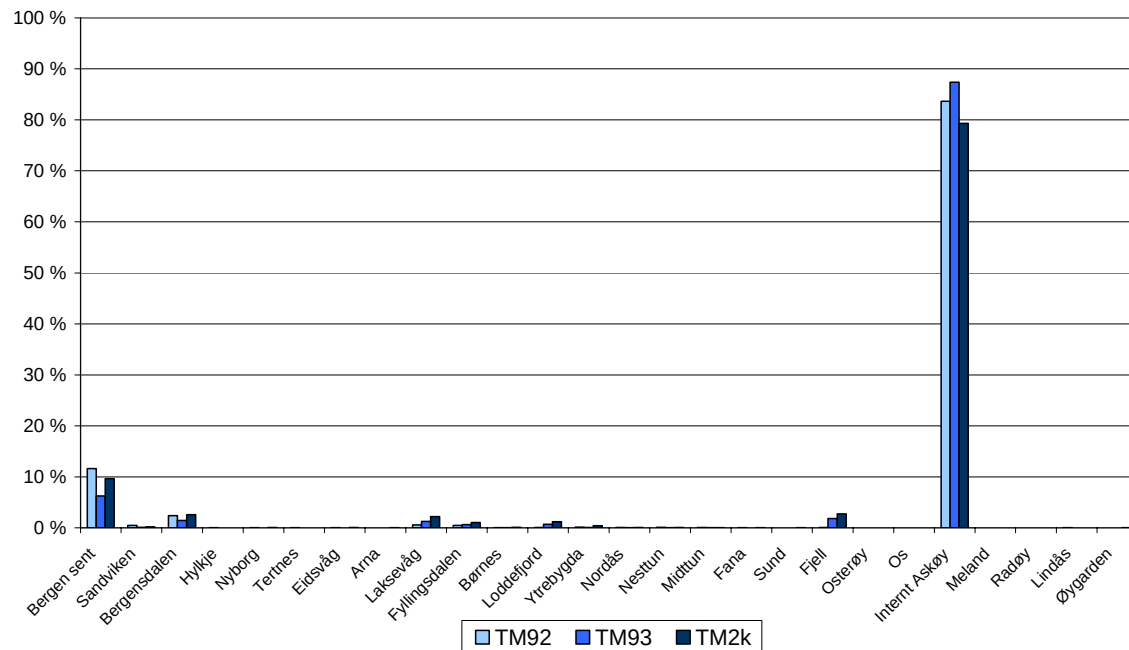


Figure 12: Trip end shares to/from districts/municipalities from the transport model.

Mode shares

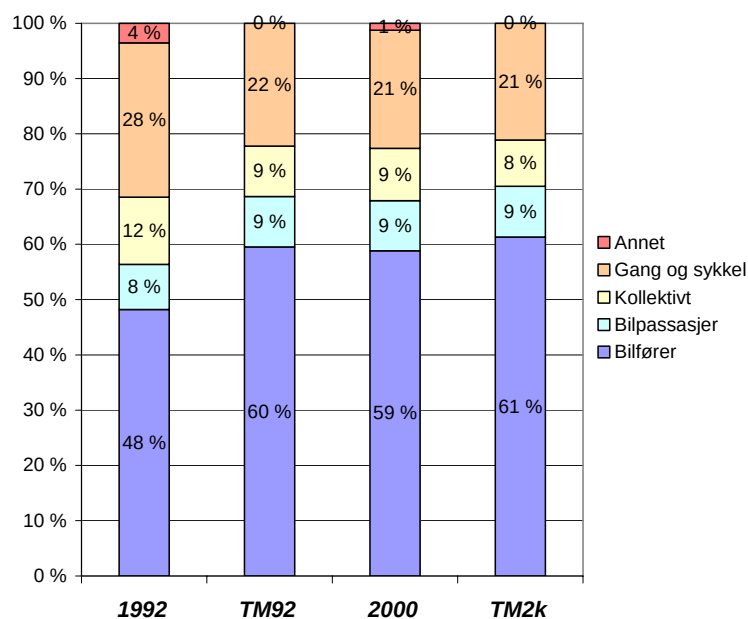


Figure 13: Reisemiddelfordeling for summen av reisehensikter unntatt Bo-skoleturer og tjenestereiser fra RVUer fra 1992 og 2000 sammenlignet med reisemiddelfordeling fra modellscenariene TM92 og TM2K

In general the mode changes from 1992 to 2000 are too small in the model. The observed change in the car driver mode is 10 percentage points, while only 1 percentage point in the model.

For traffic to and from the island:

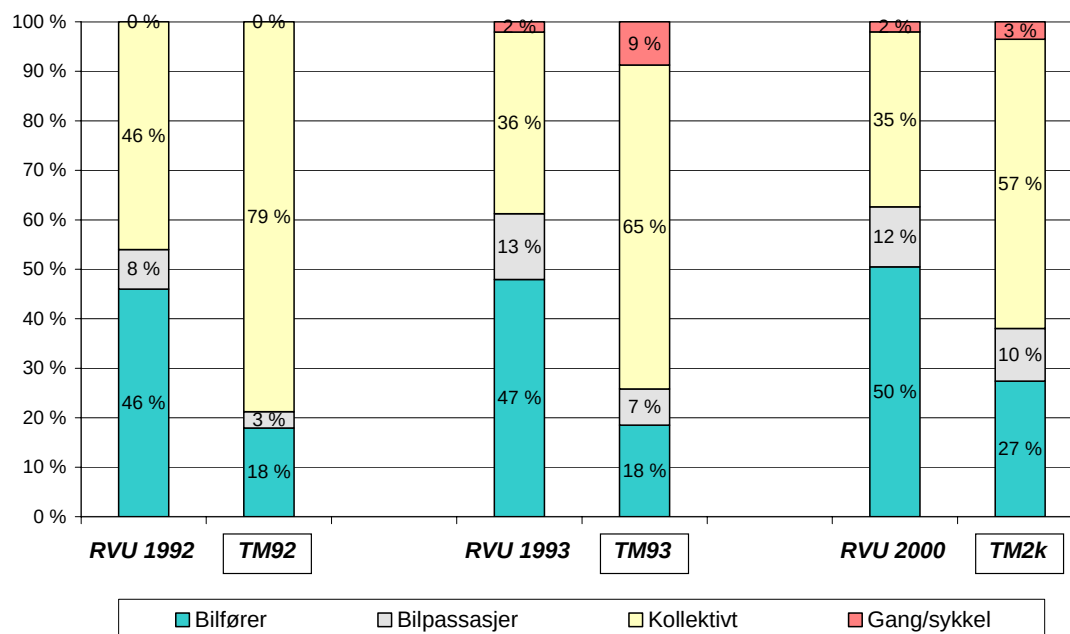


Figure 14: Mode shares for trips with one of the trip ends (O or D) in Askøy from the travel surveys and from the transport model. (Travel purposes left out are R-school, Commercial trips and external traffic)

The reason for the low car driver share for trips to and from Askøy is connected to how the ferry is represented in the transport model. The ferry is modeled as a regular road link with tolling and low capacity (corresponding to the ferry capacity). It has a volume-delay curve which gives very low speed and higher travel times as demand exceeds the capacity. This is to represent that you risk being left behind sometimes, and must wait to the next turn. The waiting time for cars made the total time for some of the passengers up to several hours.

Also there was a parking place at the ferry landing making it propitious to drive the car there, park the car and go by the ferry to Bergen city centre. Combined modes are not represented in the model whereas these trips would be counted as car trips in the travel survey (as we have defined it). The combined alternative (car/ferry) amounts to 41 % points of the 46 % in 1992, but we don't have any information of whether they took the car on the ferry or if they parked near the ferry quay.

Net assignment

The number of passengers with a car was registered on the Askøy ferry. Traffic counts on the bridge were also carried out in 1993 and 2000.

Table 3: Link results from the transport model (WDT) compared to counts on the ferry (1992) and on the bridge (1993 og 2000).

Year	Transport model	Counts
1992	5 700	2 500
1993	4 500	4 000
2000	8 600	7 000

There is an apparent antagonism between the results from 1992 in Figure 14 (too few cardrivers) and the results from Table 4 (too many cardrivers). There are two reasons. One is the combined modes, where car+ferry are counted as car in the travel survey while this is not an available choice in the transport model. The other are the composition of travel purposes within the numbers. We took out some travel purposes, *residence- elementary school* (not likely to use the ferry, they have closer schools) commercial traffic (the count indicated that the commercial traffic were around 500-1000 vehicles on the ferry while the transport model gave 2 800) and external traffic (likely to be small, 100 in the transport model on the ferry). The results now are shown in Table 4.

Table 4: Link results from the transport model (Travel purposes left out are R-elementary school, Comercial trips and external traffic) (WDT) compared to counts on the ferry and on the bridge.

Year	Transport model	Counts
1992	2 000	2 500
1993	1 600	4 000
2000	5100	7 000

Changing the carownership distribution calculation and the ferry representation in the transport model would improve these results.

Conclusion

The objective of the study was to test the forecasting ability of a transport model. The situation before and after the opening of the bridge were compared. An existing transport model was adapted for this purpose, and the situations before, just after, and seven years after the bridge opened were recreated in the transport model. The years of the scenarios correspond to those of three travel surveys. Results from the model were compared to changes obtained from the travel surveys.

The computation of trip production from the transport model corresponds well to the development shown in the travel surveys. The trip production is stable for trips having leisure and shopping as their purpose. The level of leisure and shopping trips in the transport model just depend on the number of people in different age and sex categories. Trips with the purpose of working and Non-home-based trips are more closely linked to business development and are well reflected in the model.

According to the travel surveys, the number of trips increased between Askøy and the centre of Bergen when the bridge opened. Results from the transport model show the opposite development. This is a consequence of the variables influencing trip distribution, and follows from the fact that time used is not one of these variables. Only distance travelled and monetary expenses connected to a potential trip is evaluated in this particular transport model. The transport model is not able to compute changes in mode choice correctly. A better description of the relationship between car density and car-availability groups would probably

improve the transport model. This would influence the results of trip distribution and mode choice.

Even if the transport model has weaknesses in some of the steps of the computation process, the network assignment results ended up at about the right level. The transport model also gives the number of ferry passengers correctly, when compared to the survey from 1992. The computations illustrate the necessity of looking more closely at the representation of cargo- and business-trips in the transport models.

REFERENCES:

The Directorate of Public Roads (2006): *Guide for ex-post tests of evaluated effects of big road projects*. Oslo.

TMIP (1997): *Model validation and Reasonableness Checking Manual*.

Tørset, Trude (2005): *Askøybroens ringvirkninger. Gir transportmodellene riktige effekter av endret transporttilbud?* SINTEF-report STF50 A05105. SINTEF. Trondheim.

Arbeidspendlere først!

En teoretisk og empirisk analyse av konsekvenser ved at pendlere får fortrinnsrett på frekvensbaserte transportmidler med kapasitetsproblemer

av

Gisle Solvoll
Forskningsleder
Handelshøgskolen i Bodø

Terje Mathisen
Doktorgradsstipendiat
Handelshøgskolen i Bodø

Sammendrag

Formålet med denne artikkelen er å drøfte samfunnsøkonomiske og fordelingsmessige konsekvenser av å gi enkelte trafikantgrupper fortrinnsrett på transportmidler med periodevis kapasitetsproblemer og relativt lav frekvens. De prinsipielle drøftingene belyses empirisk med erfaringer fra et pågående forsøk med forkjørsrett for fastboende arbeidspendlere på ferjesambandet til turist- og feriestedet Kjerringøy i Nord-Norge.

Nytte- kostnadsanalysen viser at forkjørsretten på det aktuelle ferjesambandet er samfunnsøkonomisk lønnsom med god margin. Netto nytte er svært høy, noe som delvis skyldes at investeringskostnadene er små, men også at nytten til vinnerne (pendlerne) er over tre ganger så store som ulempene til taperne (fritidsreisende). Forkjørsretten har gitt pendlerne en bedre og lettere hverdag og er et interessant distriktspolitisk virkemiddel. Tryggheten ved å alltid komme med ønsket ferjeavgang verdsettes høyt og det er stor enighet blant pendlerne om at forkjørsrett er bedre enn lavere ferjetakster.

Innledning

Det norske Samferdselsdepartementet startet i 2005 en toårig prøveordning med forkjøringsrett for pendlerne på ferjesambandet til øysamfunnet Kjerringøy i Nordland fylke i Norge. Bakgrunnen er at det relativt lavt trafikkerte ferjesambandet til turistattraksjonen Kjerringøy er belastet med høy turisttrafikk og fritidsreisetrafikk ved høytider og i sommerhalvåret, noe som periodevis medfører køproblemer for de fastboende som arbeider på fastlandet. Prøveordningen er i ettertid evaluert og resultatene er dokumentert i Solvoll og Mathisen (2005, 2006).

Formålet med denne artikkelen er, på prinsipielt grunnlag, å drøfte samfunnsøkonomiske og fordelingsmessige konsekvenser av å gi enkelte trafikantgrupper fortrinnsrett på transportmidler med periodevis kapasitetsproblemer og relativt lav frekvens. De prinsipielle drøftingene vil i tillegg belyses empirisk gjennom erfaringene fra det pågående forsøket med forkjøringsrett for arbeidspendlere på ferjesambandet Festvåg-Misten.

Prioritering av enkelte brukergrupper

Det er naturlig at enkelte brukergrupper bør gis fortrinnsrett¹ på et transportmiddel dersom samfunnet som helhet har fordel av dette. Det er allment akseptert at uttrykningskjøretøyer, som ambulanse og politi, bør ha en slik forkjøringsrett og dermed kunne fortrenge vanlige reisende ved kapasitetsbegrensninger på vegnettet. Det er også vanlig at buss- og drosjetrafikk i byene prioriteres gjennom egne kollektivfelt. Likeledes har vi også de senere årene sett at privatbiler får benytte kollektivfeltene, eksempelvis dersom kjøretøyene er elbiler eller at det sitter 2 eller flere personer i bilene (Aas, 2001). Dette er tiltak som enten er begrunnet ut fra miljøhensyn eller et ønske om å gjøre det mer attraktivt å reise kollektivt.

Man kan diskutere hvorvidt bekvemmelighet skal være avgjørende for om en gruppe skal gis fortrinnsrett. Det er imidlertid klart at hvis kollektive transportmidler skal kunne være et alternativ for daglige reiser til og fra arbeid så vil brukerne være nødt til å kunne stole på at man når frem i tide. På det studerte ferjesambandet til Kjerringøy vil en fortrinnsrett gjøre hverdagen enklere for arbeidspendlere på bekostning av turister og fritidsreisende som bare reiser av og til. Man kan begrunne en slik fortrinnsrett, både faglig og empirisk, med at reisende til og fra arbeid verdsetter reisetiden høyere enn de fritidsreisende slik at man i samfunnsøkonomisk forstand vil oppnå økt samlet brukernytte ved å innføre ordningen. Om en slik ordning vil være samfunnsøkonomisk lønnsom avhenger av trafikkmengde og hvor store kostnader ordningen vil generere.

Virkninger av fortrinnsrett for arbeidspendlere på kollektive transportmidler med lav frekvens – en prinsipiell drøfting

Innføring av fortrinnsrett for arbeidspendlere ved bruk av et kollektivt transportmiddel vil medføre ulike konsekvenser. I den kortfattende drøftingen nedenfor har vi tatt utgangspunkt i

¹ Vi benytter det generelle begrepet fortrinnsrett om personer som har en rettighet til å komme med en ønsket avgang på et kollektivt transportmiddel. I tilknytning til ferjetransport snakker vi om forkjøringsrett, da det her er snakk om bruk av bil og *kjøring* om bord på ferjen.

transportmidler med det vi vil omtale som *lav* frekvens. Som en tommelfingerregel vil 6 frekvenser eller mer pr. time (10 min eller mindre mellom avgangene) medføre at passasjerene møter opp "tilfeldig" på holdeplass, da forventet ventetid kun er 5 min. Når vi snakker om *lav* frekvens, tenker vi på frekvenser på 3 eller færre avganger pr. time. I Norge er ferjer, som denne artikkelen omhandler, et godt eksempel, men også regionale tog- og bussruter vil ofte ha de samme "egenskapene"; lav frekvens og i enkelte tilfeller – kapasitetsproblemer. Således vil fortrinnsrett for arbeidspendlere på kollektivtransportsystemer i byområder, være lite aktuelt, både pga. at disse normalt sett har høy frekvens og svært mange brukere der en betydelig del av reisene er til/fra arbeid.

Praktiske forhold

I forbindelse med innføring av fortrinnsrett må det først klart defineres *hvem* fortrinnsretten skal gjelde for samt hvilke kriterier som skal legges til grunn for brukergodkjenningen. Skal det gjelde alle arbeidspendlere på en gitt rute, eller kun pendlere fra et nærmere definert geografisk område. Det må også defineres hvor omfattende fortrinnsretten skal være. Skal den gjelde på *alle* avganger hele året eller skal det legges tidsmessige restriksjoner på bruken? Det må også lages fysiske bevis som godkjente brukere skal benytte for å kunne anvende sin fortrinnsrett. Videre må det lages et opplegg på terminal/holdeplass for en praktisk og effektiv atskillelse av godkjente brukere og andre. Trafikkselskapet må også "lære opp" sine sjåfører i håndhevelsen av forkjørretten. Til slutt må ordningen markedsføres overfor aktuelle målgrupper. Alt dette vil normalt være arbeidsoppgaver som tillegges tilskuddsmyndigheten. I driftsfasen må det også foregå en kontroll for å unngå at ordningen misbrukes. Hvordan dette rent praktisk skal gjennomføres må avtales mellom tilskuddsmyndighet og transportselskap.

Kostnader og nytte

Den praktiske tilretteleggingen for at en ordning med fortrinnsrett for definerte brukergrupper skal fungere, vil medføre kostnader. Mange av kostnadene vil være oppstartkostnader (godkjenning av brukere, kostnader til godkjenningsbevis, kostnader til fysiske endringer på holdeplass/terminal, skilting etc.), mens det også vil påløpe en del løpende driftsutgifter (administrering av "pendlerkø", informasjonsarbeid, ajourføring av brukerregister etc.). Kostnadene vil kunne bli spesielt store der en innfører fortrinnsrett på transportmidler med mye trafikk og der store brukergrupper gis fortrinnsrett.

For transportbrukerne må en skille mellom de som blir godkjente brukere (får fortrinnsrett) og "de andre". Nyten for brukerne (arbeidspendlerne) vil være knyttet til verdien av redusert ventetid samt verdsettingen av tryggheten av å vite at man får plass på ønsket avgang. Nyten for godkjente brukere vil således øke jo større kapasitetsproblemene er, og desto lavere frekvensen på transportmidlet er. Videre vil nyten øke desto høyere tidskostnader brukerne har. Når det gjelder konsekvensene for "de andre", så vil disse oppleve et nyttetap i de tilfeller der en kollektivbruker mister ønsket avgang pga. at brukeren blir fortrent av en bruker med fortrinnsrett. Nyttetapet vil øke ved lavere frekvens på transportmidlet og ved høyere tidskostnader for den aktuelle brukeren.

En normal antagelse er at $t_f < t_a < t_r$, der t_f , t_a , t_r er tidskostnadene pr. tidsenhet for henholdsvis fritidsreiser, arbeidsreiser (reiser til/fra arbeidsplass) og tjenestereiser (reiser i arbeid) jf.

for eksempel Bruzelius (1979). Nyttetapet av en mistet avgang vil være størst for en person som er på tjenestereise. Følgelig vil nyttetapet til en arbeidspendler være større enn nyttetapet til en fritidsreisende ved en mistet avgang, alt annet likt.

Andre virkninger

Når det gjelder andre mer langsiktige virkninger av fortrinnsrett for arbeidspendlere, er det ikke urimelig å anta at slike ordninger vil gjøre det mer attraktivt å bosette seg i områder uten arbeidsplasser, der en vil være avhengig av å pendle til/fra jobb. Således kan en prioritering av arbeidspendlere være et virkemiddel i den generelle distriktspolitikken.

Når en skal utarbeide et samfunnsøkonomisk regnskap må en forsøke å anslå de ulike kostnadene forbundet med et konkret prosjekt samt kvantifisere de nyttevirksomheter som prosjektet gir. Ikke minst vil det være viktig å få klarhet i hvilke fordelingsmessige virkninger et gitt tiltak vil ha. De økonomiske og velferdsmessige virkningene av fortrinnsrett for arbeidspendlere er punktvis oppsummert i Tabell 1. For informasjon om hvordan Statens vegvesen i Norge gjennomfører konsekvensanalyser viser vi til Håndbok 140 (2006).

Tabell 1: Konsekvenser for ulike grupper ved innføring av fortrinnsrett ved kollektivreiser.

<i>"Aktor"</i>	<i>Planlegging/oppstart</i>	<i>Driftsfase</i>
Tilskuddsmyndighet	– Utgifter til brukergodkjenning – Utgifter til fysisk tilrettelegging – Utgifter til markedsføring/ informasjon	– Kontrollkostnader – Løpende ajourføring av brukerregister – Klagebehandling
Trafikkselskap	– "Opplæring" av frontpersonell	– Administrering av kø – Håndtering av konflikter
Godkjente brukere	– Skrive søknad – Sette seg inn i regelverk	– Reduserte tidskostnader – Økt trygghet
Andre brukere	– Usikkerhet	– Økte tidskostnader ved fortrenning – Misunnelse/følelse av urettferdighet
"Samfunnet"	– Miljø- og estetiske konsekvenser ved fysisk tilrettelegging	– Positivt for bosetting i distriktene – Samfunnsøkonomisk gevinst dersom nytten > kostnadene

Erfaringer med forkjørsrett for ferjependlere

Ferjetilbudet i Norge er en sentral del av transportnettet i kyststrøkene og således viktig for å sikre bosetting og næringsutvikling langs kysten. I tiltredelseserklæringen til den nye norske regjeringen fra november 2005, er det lagt opp til å redusere kostnadene for ferjebrukerne. Ett av tiltakene som blir vurdert er å gjøre enkelte ferjesamband gratis for alle reisende. Jf. Jørgensen, Solvoll og Welde (2006).

I 2005 er det i Norge om lag 175 ferjer som betjener til sammen 132 ferjesamband. Flere av disse sambandene benyttes av en ikke ubetydelig andel arbeidspendlere. Et slikt samband er strekningen mellom Festvåg og Misten i Nordland fylke, som knytter øysamfunnet Kjerringøy, ei bygd med ca. 350 fastboende personer 40 km nord for regionhovedstaden Bodø, til fastlandet.

Lokalbefolkningen på Kjerringøy har lenge arbeidet for å få forkjørsrett for arbeidspendlere på ferjen til fastlandet. Årsaken til dette er køproblemene på ferjesambandet Festvåg-Misten, spesielt knyttet til stor turist- og fritidsreisetrafikk om sommeren. I august 2004



lovte daværende statssekretær i Samferdselsdepartementet Arnfinn Ellingsen at det skulle startes opp en toårig prøveordning med forkjørsrett for pendlerne i bygda. Forsøksordningen startet opp 29. mars 2005.

Ferjesambandet Festvåg-Misten trafikkeres av ferjen MS Kjerringøy som har en kapasitet på 30 PBE (personbilenheter) og 250 passasjerer. Overfartstiden er 10 minutter. Frekvensen er 16 daglige avganger hver vei (i perioden 1. juni til 31. august er det 17 avganger). Reelt sett er det noen flere avganger enn dette, da ferjen returnerer for å hente gjenstående

kjøretøy dersom det er tid til en rundtur før neste avgang i henhold til rutetabellen. I 2005 fraktet ferjen 72 500 kjøretøy, herav nesten 69 000 personbiler og dermed en andel tunge kjøretøy på om lag 5 %. Dette året var det 1 010 gjenstående kjøretøy (biler som ikke kom med ferja pga. kapasitetsproblemer). Kapasitetsproblemene er størst om sommeren.

En fullprisbillett i 2006 for en personbil (m/ fører) er 51 NOK² en vei. Høyeste rabatt er 45 % ved kjøp av klippekort med 50 klipp. Vi må anta at pendlerne reiser til rabatterte takster og de betaler således 28,05 NOK (51*0,55) en vei. Hver ekstra voksen passasjer ut over fører må betale 21 NOK en vei. Personrabatten er maksimalt 17 %, slik at en rabattert persontakst vil være 17,43 NOK.

I august 2006 har 48 personer pendlerstatus. Av disse er det om lag 40 som reiser regelmessig med ferja. I gjennomsnitt foretar hver pendler 204 arbeidsreiser (t/r) årlig eller 4,6 reiser i en normal arbeidsuke. I gjennomsnitt er hver femte personbil en "pendlerbil", men det er stort sett aldri mer enn 5 pendlerbiler på en avgang. En typisk pendler på Kjerringøy er en person som har fulltidsjobb i Bodø sentrum og som reiser med ferja kl. 07.15 fra Misten på Kjerringøy og returnerer med ferja kl. 16.15 fra Festvåg på fastlandet.

Metodisk opplegg

Datamaterialet som er benyttet til evalueringen er i hovedsak framskaffet fra følgende kilder:

- To postale spørreundersøkelser sendt til registrerte pendlere.
- Registreringer av antall pendlerbiler i 4 perioder (uker).
- Intervju med "forsøksansvarlig" i Statens vegvesen region nord (SVVN).
- Intervju med skipper og ferjemannskap på ferjen MS Kjerringøy.
- Ferjestatistikk 1995-2005.

Spørreundersøkelsene ble delt opp i en førundersøkelse og en etterundersøkelse. Førundersøkelsen ble gjennomført i mars 2005, dvs. før forsøksordningen trådte i kraft. Etterundersøkelsen ble gjennomført i oktober/november 2005, altså nesten 7 måneder etter at forsøket startet opp. I begge spørreundersøkelsene ble det lagt ved en frankert svarkonvolutt slik at respondentene ikke skulle ha noen utgifter på å delta i undersøkelsen. Oppslutningen om spørreundersøkelsene ble gode. Av 41 utsendte spørreskjema i førundersøkelsen fikk vi 38 tilbake i utfylt stand. Disse fikk da tilsendt spørreskjemaet ved etterundersøkelsen, og da fikk vi 35 skjema i retur. Svarprosenten er således over 85.

Praktisering av forkjørsretten

For å få forkjørsrett må pendleren ha bostedsadresse Kjerringøy samt arbeidssted utenfor bygda. Godkjente pendlere mottar et godkjenningsbrev fra SVVN der betingelsene for bruken



av forkjørsretten framgår. Sammen med brevet mottar pendleren et pendlerbevis (pendlerkort) som skal plasseres i vinduet foran sjåføren. Se bilde. Godkjenningsbrevet, der pendlerens navn er påført, skal også alltid ligge i bilen. Pendlerkortet gjelder kun for reiser til/fra arbeid og kan benyttes hele året på 2 daglige avganger fra Misten og 5 daglige avganger fra Festvåg. Pendlerne skal møte opp senest 10 minutter før avgang, og stille seg i en egen kjørefil. I Festvåg

er denne fila skiltet. I Misten er det ikke skiltet for pendlerne. Her skal de stille seg ved siden av den ordinære køen. Dersom en pendler kommer mindre enn 10 minutter før avgang, skal han eller hun stille seg i den ordinære ferjekøen. Da gjelder *ikke* forkjørsretten.

Pendlernes tilpasning

Når pendlerne ut fra erfaring vet at det kan være problemer med å komme med ønsket avgang, er det vanlig at de kjører tidligere hjemmefra og fra arbeid, slik at sannsynligheten for å komme med ønsket avgang øker. Ved retur er det også mulig å dra senere fra jobb for å unngå de mest belastede avgangene. Omtrent 70 % av respondentene oppgir at de drar tidligere hjemmefra når de forventer kø, mens de resterende 30 % ikke foretar noen spesielle tilpasninger. Når det gjelder returreisen (fra arbeid til bosted) oppgir kun 18 % at de reiser tidligere fra jobb for å øke sannsynligheten for å komme med ønsket ferjeavgang fra Festvåg. Her oppgir 8 % (3 personer) at de drar senere fra jobb for å unngå kø. De resterende 74 % gjør ingen spesielle tilpasninger i forhold til når de forlater arbeidsplassen. Det at mange reiser tidligere hjemmefra mens få reiser tidligere fra jobb for å komme langt frem i ferjekøen, henger naturlig sammen med at 76 % av pendlerne oppgir at de har fast oppmøtetid på jobb (og sannsynligvis også en fast sluttid).

Når det gjelder de som oppgir at de reiser tidligere hjemmefra eller fra jobb for å øke sine sjanser til å komme med ønsket ferjeavgang, så framskynder disse sine reiser i gjennomsnitt 24 minutter. Allikevel mistet en gjennomsnittspendler 13 avganger i 2004, de aller fleste fra Festvåg (på vei hjem).

² Valutakurser 2. april 2007: 1 € ≈ 8,12 NOK

Etter innføringen av forkjørsretten, oppgir 1/3 av pendlerne at de reiser noe senere hjemmefra og fra jobb enn det de tidligere gjorde. I gjennomsnitt reiser pendlerne 6 minutter senere hjemmefra og 2 minutter senere fra jobb enn det de gjorde før de fikk pendlerkortet. Dette kan synes som en svært liten atferdsendring, men må sees i lys av kravet om oppmøte 10 minutter før avgang for at forkjørsretten skal kunne benyttes. Dette gjør nok at en del legger inn en "ekstra" tidsbuffer for å unngå å komme for sent og dermed måtte stille seg i den ordinære køen.

Pendlernes nytte av forkjørsretten

Som nevnt gjør pendlerkortet at pendlerne er sikret å komme med ønsket avgang dersom de møter opp på ferjeleiet senest 10 minutter før avgang. En mistet avgang innebærer ca. 25-30 minutter ekstra ventetid. I tillegg har pendlerne nytte av "first in first out" prinsippet. De første som kjører om bord på ferja, vil også være de første som får kjøre i land. Det vil alltid være en fordel å komme først i land slik at en unngår køkjøring. Veien på begge sider av ferjesambandet er relativt smal og svingete, så det er opplagt en fordel å komme først av sted, spesielt i perioder med saktegående turisttrafikk.

Betalingsvillighet for forkjørsrett

I spørreskjemaet til etterundersøkelsen, spurte vi pendlerne om hvor mye de *maksimalt* var villige til å betale for å få beholde pendlerkortet dersom de i framtiden må betale for å få beholde forkjørsretten. 69 % svarte at de *ikke* var villige til å betale for å få beholde pendlerkortet mens den personen som hadde størst betalingsvillighet var villig til å betale 1 500 NOK pr. år. Gjennomsnittlig betalingsvillighet var 153 NOK pr. år.³ Samlet årlig betalingsvillighet for *alle* pendlerne er 4 900 NOK. Dersom vi baserer oss på pendlernes oppgitte nytte av pendlerkortet, har de en betalingsvillighet på ca. 8 NOK for å slippe å stå over en avgang.

Ut fra antall ganger pendlerne hadde måttet stå over en avgang hvis de ikke hadde hatt forkjørsrett samt redusert ventetid pga. at forkjørsretten medfører et noe senere avreisetidspunkt, kan vi på bakgrunn av pendlernes betalingsvillighet for forkjørsretten utlede at en "gjennomsnittspendler" har ventetidskostnader pr. time på vel 10 NOK.

En "gjennomsnittspendlers" ventetidskostnad pr. time på kun 10 NOK er betydelig lavere enn det som anbefales brukt i Håndbok 140 fra Statens vegvesen (2006). Satsene for ventetid knyttet til reiser til/fra arbeid settes her til anbefalt tidsverdi pr. persontime i kjøretøyet på 57 NOK vektet med en ventetidsfaktor på 1,2 som gir vel 68 NOK pr. persontime. En mulig årsak til den lave betalingsvilligheten er at pendlerne betrakter forkjørsretten som en form for "rettighet" eller "selvfølgelighet", som det ikke skal betales noe ekstra for å ha. Dette framgår av en del kommentarer på spørreskjemaene. Dersom vi kun tar med de som oppgav en positiv

³ De som hadde en betalingsvillighet større enn null (10 personer), var i gjennomsnitt villige til å betale 455 NOK pr. år for å få beholde forkjørsretten. Om pendlerne svarer taktisk på dette spørsmålet er ikke godt å vite. Dersom de tror at det de svarer er viktig for om forkjørsordningen blir permanent eller ikke, vil de nok oppgi en høy betalingsvillighet for å synliggjøre at ordningen har stor nytte for dem. Hvis de derimot tror at det er sannsynlig at de i framtiden vil være nødt til å betale for forkjørsretten og at det beløpet de da oppgir vil ha betydning for hvor mye de må betale for et pendlerkort, vil de ha motiv for å oppgi et lavt beløp. Alt i alt trekker vel dette i retning av at de har oppgitt et beløp som er rimelig i samsvar med hvordan de verdsetter det å komme først i køen.

betalingsvillighet for pendlerkortet, får vi en ventetidskostnad på 31 NOK pr. persontime. Denne verdsettingen ligger noe nærmere Vegdirektoratets anbefalinger. I den følgende nytte-kostnadsanalysen har vi valgt å benytte standard tidskostnad som anbefales brukt ved gjennomføring av samfunnsøkonomiske analyser i samferdselssektoren.

Ulempen til "de andre"

For "de andre", som ikke har pendlerkort, vil pendlernes forkjørsrett medføre en ulempe i de tilfeller en pendler fortrenger en annen trafikant. Hvor ofte dette skjer, avhenger av hvor i køen pendlerne ville ha vært i en situasjon uten forkjørsrett. I og med at pendlerne kjørte tidligere hjemmefra og fra jobb for å komme med ønsket avgang før de fikk forkjørsrett, er det nok ikke så ofte at en slik fortrenghet skjer som en følge av ordningen. Siden andelen næringstrafikk er liten og forkjørsretten bare gjelder på avganger før og etter normal arbeidstid, er det rimelig å fortutsette at næringstrafikk bare unntaksvis blir rammet av ordningen. Alle som eventuelt blir fortrent anses derfor i beregningen som fritidsreisende og gis en ventetidskostnad pr time på 64 NOK.

Anta at det på avgangen fra Festvåg kl. 16.15 er 4 kjøretøy med forkjørsrett. Når disse og de som står i den ordinære køen har kjørt om bord, står det fremdeles 6 biler igjen som ikke kommer med ferja. Dersom pendlerne ikke hadde hatt forkjørsrett ville da maksimalt 4 av de gjenstående bilene ha fått plass på ferja. Hvor mange av de som ikke har pendlerkort som ville ha kommet med, avhenger av hvilken plass i den ordinære køen "pendlerbilene" ville hatt dersom de ikke hadde hatt forkjørsrett. Dersom alle "pendlerbilene" i en situasjon uten forkjørsrett hadde vært lenger frem i køen enn den sjette siste bilen, ville de 6 gjenstående kjøretøyene vært de samme også i en situasjon uten forkjørsrett. Det er derfor ganske usannsynlig at de 4 fremste gjenstående kjøretøyene ville kommet med ferja dersom pendlerne ikke hadde kunnet kjøre først om bord.

I nytte- kostnadsanalysen har vi gått ut fra at det på avganger med både pendlerbiler og gjenstående kjøretøy vil x pendlerbiler fortrenge $x/2$ andre kjøretøy. Dvs. i en situasjon med 4 pendlerbiler og 4 gjenstående kjøretøy, antar vi at 2 av de gjenstående kjøretøyene fortrenses av pendlerbilene. Ut fra kunnskapen om at pendlerne i en situasjon uten forkjørsrett tilpasser seg ved å ankomme ferjeleiet ekstra tidlig, er det rimelig å anta at flere av de gjenstående kjøretøyene også ville blitt stående igjen selv om pendlerne hadde måttet stille seg i den ordinære køen.

Annet

Slik forsøksordningen praktiseres, har ikke ferjemannskapet noe merarbeid knyttet til ombordkjøringen på ferja. Når ombordkjøring skal starte gir de bare klarsignal til kjøretøyene som står i pendlerfila først, og så går resten stort sett av seg selv. Det er derfor rimelig å si at ordningen ikke medfører noen videre konsekvenser for rederi og ferjemannskap.

Når det gjelder SVVN, så har forsøksordningen medført noe merarbeid i tilknytning til brukergodkjenningen. Dette er oppstartkostnader, og i "driftsfasen" er det stort sett ikke noe arbeid med ordningen. Av direkte kostnader har det påløpt utgifter til skilting på ferjeleiet i

Festvåg og kostnader til opptrykk av pendlerkort samt saksbehandling i tilknytning til brukergodkjenningen.

Det er ikke utført vesentlige endringer i infrastrukturen i forbindelse med dette prosjektet og konsekvenser for ulykkesfrekvens og støv/støy er dermed uendret. Også det estetiske ved landskapsbildet, som er et eksempel på konsekvenser som er vanskeligere å prissette, er uendret.

Vi ser ingen grunn til at fortrinnsretten vil ha noen negativ effekt for turistene som besøker øysamfunnet. Det er svært sjelden turister blir fortrengt av pendlerne fordi de normalt reiser motsatt vei av den prioriterte pendlertrafikken. Turistene som kommer langveis fra ønsker å reise til øya på morgenen og tilbake til fastlandet på kvelden. Problemet er i større grad de lokale fritidsreisende fra fastlandet som ønsker å dra til Kjerringøy etter arbeidstid samtidig som arbeidspendlerne er på vei hjem. Disse har private feriehus og er ikke viktige "kunder" til turistnæringen på Kjerringøy.

Samfunnsøkonomisk lønnsomhet

Ved beregning av pendlerordningens samfunnsøkonomisk lønnsomhet har vi anslått nytten til pendlerne som verdien av redusert ventetid (både ved senere ankomst til ferjeleie samt ved å slippe å miste avganger). Nyttetapet til "de andre" er ulempen disse påføres når de fortrenses av pendlerne. Dette tapet kan ikke observeres direkte, men forekommer i de tilfeller der en pendler uten pendlerkort, ville ha fortrenget en annen bilist. Alle tidsverdier er beregnet med satser fra Statens vegvesen (2006).

Pendlerordningens samfunnsøkonomiske lønnsomhet (netto nytte) er differansen mellom pendlerne nytte og ulempen til "de andre" fratrukket kostnadene ved ordningen. Det påløper ingen årlige driftskostnader, og oppstartkostnadene (kostnader til brukergodkjenning, trykking av pendlerkort og skilting på ferjekai) er av SVVN anslått til 8 000 NOK. En grundig beskrivelse av alle beregningsforutsetningene er gitt i Solvoll og Mathisen (2005). Ved en kalkulasjonsrente på 4,5 % p.a., "standard" ventetidskostnader iht. Håndbok 140, en "levetid" på 25 år og ulike forutsetninger om årlig trafikkvekst, blir "regnskapet" som vist i tabell 2.

Tabell 2: Nyttene av pendlerordningen ved ulike forutsetninger om trafikkvekst. 2005-NOK.

	Årlig trafikkvekst		
	0 %	2 %	5 %
Nytte for pendlerne	595 000	750 000	1 100 000
Nyttetap for "de andre"	186 000	239 000	366 000
Netto nåverdi (NN)	401 000	503 000	726 000

I tabell 2 er det forutsatt at den årlige netto nytte av pendlerordningen øker proporsjonalt med årlig trafikkvekst. Under forutsetning om uendret trafikk, er netto nåverdi av prosjektet vel 400 000 NOK. Ved en årlig trafikkvekt på henholdsvis 2 % og 5 %, øker netto nåverdi til henholdsvis 503 000 NOK, og 726 000 NOK. Ellers ser vi at nytten for pendlerne er vel 3 ganger større enn nyttetapet for "de andre".

Avsluttende bemerkninger

I følge ferjemannskapet på MS Kjerringøy har organiseringen av ferjekøen gått greit. I starten var det et par episoder der forkjørsretten ble misbrukt ved at noen stilte seg i pendlerfila i forbindelse med fritidsreiser, men etter dette har ordningen fungert svært bra. Dette er et lokalsamband hvor stort sett alle kjenner hverandre, slik at selvjustisen er høy.

Tilbakemeldingen fra pendlerne er svært entydig. Forkjørsretten har gitt dem en bedre og lettere hverdag. Tryggheten ved å alltid komme med ønsket avgang verdsettes, ut fra verbale uttalelser, høyt. Det er også stor enighet blant pendlerne om at forkjørsrett er bedre enn lavere takster. Det er imidlertid få som er villige til å betale ekstra for å få beholde pendlerkortet. Den lave betalingsvilligheten tror vi må tolkes mer som et taktisk uttrykk for at ordningen oppfattes som en rettighet (uten egenandel) snarere enn et signal om at forkjørsretten ikke verdsettes spesielt høyt.

Som et distriktpolitisk virkemiddel er en forkjørsordning for pendlere interessant. Ordningen gjør det opplagt mer attraktivt å bosette seg i en bygd der en er avhengig av et frekvensbasert transportmiddel med periodevis kapasitetsproblemer for å komme seg til og fra arbeidsplassen. Det er imidlertid langt fra sikkert at regnestykket for en generell forkjørsrett for pendlere på andre transportmidler og andre ferjesamband blir like positiv som i det pågående forsøket. Det er i det undersøkte sambandet lite administrativt krevende å håndtere vel 40 pendlere. Utfordringene knyttet til brukergodkjenning samt til organisering av ferjekøen og logistikken ved ombordkjøring vil bli betydelig større på en del andre samband. Det må derfor gjennomføres langt grundigere analyser dersom forkjørsrett for pendlere eventuelt skal rettighetsfestes i riksregulativet for ferjetakster.

Litteratur

Aas, H (2001). Sambruksfelt gir bedre flyt for kollektivtrafikken. Samferdsel nr. 8 2001

Bruzelius, N (1979). The value of travel time: theory and measurement. Croom Helm, London.

Jørgensen, F, Solvoll, G og Welde, M (2006). Gratis ferjer – stor og omstridt transportreform i Norge. Paper presentert på Trafikdage Aalborg universitet 28. – 29. august 2006.

Solvoll, G og Mathisen, T (2005). Pendlerne først! Konsekvenser av forkjørsrett på ferjesambandet Festvåg-Misten. HHB-Working Paper No. 18/2005. Handelshøgskolen i Bodø.

Solvoll, G og Mathisen, T (2006). Slipp pendlerne frem! Samferdsel nr. 3 2006.

Statens vegvesen (2006). Håndbok 140 Konsekvensanalyser. Veiledning.

Gratis ferger – stor og omstridt transportreform i Norge

av

Finn Jørgensen, Gisle Solvoll og Morten Welde*

Sammendrag

Fergene har en viktig rolle innenfor norsk samferdsel. De rundt 175 fergene som var i drift i 2004, betjente til sammen 131 samband. De fraktet ca. 14 mill. personbiler, 3 mill. andre typer kjøretøy og 20 mill. personer (eksklusive sjåfør). Totale kostnader ved fergedriften var ca. 2 900 mill. norske kroner (NOK) mens inntektene var rundt 1 600 mill. NOK. At Senterpartiet - som er et av de nåværende regjeringspartiene, kom med forslag om gratis ferger foran stortingsvalget i 2005, ble således sett på som en stor transportreform. I dette notatet drøftes først de trafikale virkningene på ulike typer samband ved at fergene blir gratis. En må regne med størst trafikkøkning på lange samband med mye lokaltrafikk, med en stor andel fritidsreisende og med gode alternative transportmuligheter til fergen. Hvis trafikkøkningen på landsbasis blir mellom 10 % og 20 % samtidig med at denne trafikkøkningen møtes med økt fergekapasitet slik at fergebrukerens samlede tidskostnader ikke øker, er det anslått at de årlige positive virkningene for fergebrukerne blir omkring 1700 mill. NOK mens økt årlig tilskudd til fergedriften blir på rundt 1900 mill. NOK på grunn av bortfall av billettinntekter og økte fergekostnader. Tar en med skattekostnadene ved å finansiere økt tilskudd, er det samfunnsøkonomiske tapet ved å innføre gratis ferger anslått til rundt 500 mill. NOK per år. Selv om innføring av gratis ferger ser ut til å være samfunnsøkonomisk ulønnsomt, kan det allikevel være et fornuftig tiltak. Gratis ferger er en fordel for fergebrukerne og distriktsvennlig slik at valget til syvende og sist avhenger av hvordan en vektlegger fergebrukernes velferd kontra velferden til den øvrige befolkningen. I følge våre beregninger bør gratis ferger innføres hvis velferden til fergebrukerne vektlegges ca. 30 % høyere enn velferden til befolkningen for øvrig.

* Finn Jørgensen og Gisle Solvoll er henholdsvis professor og forskningsleder ved Handelshøgskolen i Bodø, Morten Welde er rådgiver i Vegdirektoratet.

Innledning

Under valgkampen foran stortingsvalget i Norge høsten 2005, kom Senterpartiet med forslag om gratis ferger i Norge. Ettersom partiet nå er i regjering og i tillegg har samferdselsstatsråden, bør således gratis ferger fremdeles sees på som et mulig scenario. I Soria Moria – erklæringen (tiltredelseserklæringen til den nye norske regjeringen fra november 2005) er senterpartiets lovnader delvis fulgt opp i den forstand at en har uttalt at en vil redusere kostnadene for fergebrukerne. Ett av tiltakene som blir vurdert er å gjøre enkelte fergesamband gratis for alle reisende.

Argumentet for at fergene bør være gratis virker unektelig besnærende: Fergene er viktige for å sikre bosetting og næringsutvikling langs kysten. De kan sees på som en del av vegnettet – og de fleste veger er gratis å bruke for bilistene. Samferdselsdepartementet (SD) har nå satt i gang en utredning om konsekvensene av gratis ferger hvor de ønsker å få belyst så vel de samfunnsøkonomiske, miljømessige og distriktspoliske virkningene av dette tiltaket. Det er imidlertid viktig å merke seg at SD ikke bare ønsker å få belyst virkningene av at alle fergesamband blir gratis, men også mulige mellomløsninger; dvs. virkningene av at noen samband blir gratis hele året eller deler av året. En utfordring i så henseende er å komme med kriterier for utvelgelse av samband som skal bli gratis. Et nærliggende kriterium kan være å velge ut samband med lav kapasitetsutnyttelse slik at provenyvirkningene for staten ikke blir så store. Andre kriterium kan også være aktuelle; for eksempel å velge ut samband med mye næringstransport. Her vil det nok uansett komme mer eller mindre godt begrunnede forslag fra lokal hold; ingen lokalsamfunn vil naturlig nok gå glipp av mulighetene til gratis fergetransport.

Fergene har en viktig rolle innenfor norsk samferdsel. De rundt 175 fergene som var i drift i 2004, betjente til sammen 131 samband. De fraktet ca. 14 mill. personbiler, 3 mill. andre typer kjøretøy og 20 mill. personer (eksklusive sjåfør). Totale kostnader ved fergedriften var ca. 2 900 mill. NOK mens inntektene var rundt 1 600 mill. NOK. Tilskuddet var dermed om lag 1 300 mill. NOK. Innføring av gratis fergetransport vil derfor være et omfattende tiltak som vil ha stor betydning både for befolkningen og næringslivet langs kysten. Tiltaket vil imidlertid også føre til betydelige økte tilskudd til fergesektoren.

Formålet med dette arbeidet er å drøfte virkningene av gratis ferger og å gi en grov tallfesting av de mest sentrale av dem.

Etterspørselsvirkninger av gratis ferger

Et av de mest sentrale spørsmål angående virkningene av gratis ferger er hvor stor økning en vil få i trafikken for ulike kategorier kjøretøy over ulike samband. Dette vil vi først drøfte ut fra en mer prinsipiell tilnærming. Deretter vil vi gi en kort oversikt over norske og internasjonale erfaringer med bortfall av billettpris og bompenger. Til slutt vil vi koble det til takster, sambandslengder og reisemønster på norsk fergedrift.

Prinsipiell drøfting

Anta at G_{ij} er de gjennomsnittlige generaliserte reisekostnader fra dør til dør for kjøretøygruppe i over samband j. G_{ij} er altså summen av betalbare kostnader og tidskostnader. Etterspørselen etter fergetransport fra kjøretøygruppe i over samband j, E_{ij} , kan dermed skrives som:

$$(1) E_{ij} = E_{ij}(G_{ij}) \text{ hvor } \frac{dE_{ij}}{dG_{ij}} < 0$$

La P_{ij} videre betegne billettprisen på fergene for kjøretøygruppe i over samband j. Fergetakstens andel (A_{ij}) av de generaliserte reisekostnader blir da:

$$(2) A_{ij} = \frac{P_{ij}}{G_{ij}}$$

Hvis eksempelvis $G_{ij} = 500$ NOK mens $P_{ij} = 100$ NOK, vil $A_{ij} = 0,20$. Fergebilletten utgjør da 20 % av de generaliserte reisekostnadene, og bortfall av fergebilletten vil da redusere disse kostnadene med 20 %.

Ut fra regnereglene for elastisiteter av sammensatte funksjoner følger (se for eksempel Sydsaeter og Hammond, 1995):

$$(3) (ELE_{ij})_{P_{ij}} = (ELE_{ij})_{G_{ij}} \cdot (ELG_{ij})_{P_{ij}} = (ELE_{ij})_{G_{ij}} \cdot A_{ij}$$

hvor $(ELE_{ij})_{P_{ij}}$, $(ELE_{ij})_{G_{ij}}$ og $(ELG_{ij})_{P_{ij}}$ angir henholdsvis fergetaktselastisitet, generalisert reisekostnadselastisitet og elastisiteten av de generaliserte reisekostnader med hensyn på fergetaksten. Den sistnevnte elastisiteten er igjen lik fergetakstens andel av de generaliserte reisekostnadene, A_{ij} . Hvis $(ELE_{ij})_{G_{ij}} = -0,6$ mens G_{ij} og P_{ij} som før antas henholdsvis lik 500 NOK og 100 NOK, blir $(ELE_{ij})_{P_{ij}}$ ut fra (3) lik -0,12 (-0,6 · 0,2). Bortfall av fergebilletten vil altså i dette tilfelle øke trafikken med 12 %.

Ut fra (3) kan en således si at følgende fire forhold påvirker hvor stor økning en får i etterspørselen fra ulike typer kjøretøy over ulike samband når fergene blir gratis: For det første vil $(ELE_{ij})_{G_{ij}}$ - og dermed etterspørselsøkningen, bli større på samband hvor det er gode alternative transportmuligheter enn på samband hvor det ikke er det¹. I Norge varierer nok alternative transportmuligheter til ferger en del utover landet. Det tilsier igjen at generalisert reisekostnadselastisitet varierer mellom norske fergesamband. For det andre betyr sammensetningen av trafikken en del. Det er rimelig å anta at etterspørselen etter fritidsreiser er mer følsom overfor endringer i G_{ij} enn etterspørselen fra forretningsreisende, reisende til/fra arbeid og næringstransporter. Det indikerer at samband med mye ferie/fritidsreiser gjennomgående har høy $(ELE_{ij})_{G_{ij}}$ og vil således oppleve størst etterspørselsøkning ved gratis

¹ I det følgende antar vi at økninger i elastisitetene betyr at tallverdiene på dem øker slik at etterspørselen blir mer elastisk.

ferger - i alle fall på kort sikt. Ut fra Bråthen m.fl. (1996) ser det imidlertid ikke ut til at etterspørselen etter lastebiltransport på fergene er noe vesentlig mer priselastisk enn etterspørselen etter privatbiltransport i sin alminnelighet. Andelen av lastebiler på fergene sier dermed lite om forventet økning i trafikken ved gratis ferger.

For det tredje er sambandets lengde av betydning. Ettersom takstene øker betydelig med lengden på sambandet (se tabell 1), vil A_{ij} gjennomgående være større på lengre samband enn på korte samband slik at gratis ferger fører til relativt større reduksjon i generaliserte reisekostnader (G_{ij}) for dem som reiser over lange samband enn for dem som reiser over korte samband. Det trekker i retning av at trafikkøkningen blir størst på lange samband. For det fjerde vil økningen i trafikken blir større på samband med mye nærtrafikk enn på samband med mye fjerntrafikk fordi fergetaksten utgjør en større andel av de generaliserte reisekostnadene fra dør til dør for den førstnevnte gruppen.

Ut fra generelle betraktninger kan en altså konkludere med at lange samband med mye lokaltrafikk, med en stor andel fritidsreisende og med gode alternative transportmuligheter til fergen, vil oppleve større økning i etterspørselen enn korte samband med mye fjerntrafikk, lite fritidsreisende og hvor fergene har liten konkurranse fra alternative transportmidler.

Et annet forhold som er viktig å huske på, er at virkningene på etterspørselen etter fergetransport hvis fergene blir gratis, vil være vesentlig høyere på lang sikt enn på kort sikt. Det skyldes at fergebrukerne (husholdninger og næringsliv) trenger tid til å tilpasse seg en situasjon med gratis ferger. På kort sikt har fergebrukerne begrensede muligheter til å endre bosted og bedriftslokalisering, men på lang sikt kan de i større grad gjøre det. I en oversiktsartikkel om kortsiktige - og langsiktige priselastisiteter for vegtransport, konkluderer Goodwin med fler (2004) med at de langsiktige virkningene (mellom 4-6 år) på total antall utkjørte km på veg av en økning i bensinprisen, er ca 3 ganger større enn på kort sikt (under 1 år). Selv om det nok vil være variasjoner mellom de ulike fergesambandene i den forstand at fergebrukerne ved noen samband tilpasser seg raskere til gratis ferger enn ved andre samband, er det ingen grunn til å tro at ikke det samme gjelder ved bortfall av fergebilletten; dvs at det gjennomgående vil ta over 4 år før virkningene av gratis ferger er fullførte og at bare ca 1/3 av etterspørselsøkningene er gjort etter 1 år.

Erfaringer med bortfall av betalbare kostnader

Å gjøre fergene helt gratis vil være et radikalt tiltak med få paralleller i transportsektoren for øvrig. Trenden ellers i Europa går i større grad i retning marginalkostnadsprising blant annet med økende priser etter hvert som kapasitetspresset øker. I den sammenheng er det verdt å merke seg at fergetrafikken i juli målt på landsbasis er vel 50 % høyere enn gjennomsnittet for de øvrige månedene.

Selv om innføring av gratis kollektivtransport er et uvanlig tiltak, finnes det enkelte eksempler på byer og land hvor dette tiltaket har fått en viss oppslutning. I USA kan studenter ved mer enn 50 universiteter reise gratis med kollektivtransport og liknende eksempler finnes i Canada og i Tyskland. Den belgiske byen Hasselt var blant de første byer hvor kollektivtransporten ble gjort gratis for hele befolkningen. Også i andre belgiske byer har lokale myndigheter etter hvert gått med på å dekke billett-kostnadene for spesielle grupper. Senest ute var Brussel hvor studenter ved enkelte universiteter nå kan reise kollektivt uten å betale (De Witte med flere, 2006).

De tiltakene som er nevnt ovenfor har typisk hatt en mer sosial begrunnelse enn en økonomisk begrunnelse. Nettopp sosiale grunner er årsaken til at britiske myndigheter nå er i ferd med å gjøre busstransport gratis for pensjonister over 60 år. I London har man også valgt å la ungdom under 16 år reise gratis, mens også 16 og 17 åringer vil kunne nyte godt av ordningen fra neste år (TfL, 2006). Kritikerne hevder at som sosialt tiltak er dette lite målrettet og en økning i antall reiser (med lav betalingsvillighet) vil kunne føre til et ineffektivt kapasitetspress (Thomas, 2006).

En nærliggende parallell til innføring av gratis ferger er opphør av bompengeneinnkreving. Norge har lang tradisjon med bompengefinansiering av nye veger. Ordningen fungerer på den måten at et bompengeselskap tar opp et lån til finansiering av en ny veg hvorpå det kreves inn bompenger inntil lånet er nedbetalt. Dette har gitt oss verdifull informasjon om trafikantenes følsomhet for prisendringer. Blant 13 bompengeprosjekt hvor innkrevingen ble avsluttet i årene 1987 til 2002 har Odeck og Bråthen (2004) funnet en gjennomsnittlig kortsiktig elastisitet på -0,65 med variasjoner mellom -0,03 og -2,26. Det vil si at med en reduksjon i de totale generaliserte reisekostnadene på 10 % på grunn av bortfall av bompenger, vil trafikken i gjennomsnitt øke med 6,5 % på kort sikt. Deres studie og tilsvarende studier i andre land, viser også at elastisitetene er høyest der hvor bompengetakstene har vært høye og der hvor det har eksistert alternative kjøreruter.

På lang sikt vil – som påpekt tidligere, endringene sannsynligvis bli større, men Odeck og Bråthen har ikke sammenlignbare tall i så henseende.

Takster, strekningslengder og kapasitetsutnyttelse

I tabell 1 vises fergetakstene i 2005 for personbiler (kjøretøy under 6 m) og vogntog (kjøretøy over 19 m). Ved kjøp av klippekort oppnås 45 % rabatt på fullpris.

Av tabellen ser vi for eksempel at taksten for en personbil på en fergestrekning på 10 km var 81 NOK (44,50 NOK med rabatt) i 2005. Tilsvarende takst for et vogntog var 607 NOK (334 NOK med rabatt). Tallene i tabell 1 viser også klart at takstene øker sterkt med lengden på fergestrekningen; en strekning på mellom 11 og 20 km har over dobbelt så høy takst som en strekning mellom 1 og 5 km. Det betyr igjen at de som er avhengige av de lengste fergestrekningene vil tjene klart mest på gratis ferger. For 60 strekninger eller for 15 % av strekningene, vil besparelsene pr. reise være over 132 kr for personbiler og over 839 kr for vogntog.

Tabell 1: Fergetakster for kjøretøy m/ fører (fullpris) etter strekningslengde. 2005-NOK.*

Strekningslengde	Antall strekninger	Takst (NOK)	
		Personbil	Vogntog
1-5 km	115	39 - 58	419 - 507
6-10 km	117	63 - 81	526 - 607
11-20 km	119	85 - 127	632 - 820
21-30 km	31	132 - 172	839 - 1 026
> 30 km	29	177 - 552	1 045 - 2 760

* Et samband kan bestå av flere strekninger.

I tabell 2 er gjennomsnittlig kapasitetsutnyttelse på fergene når de seiler vist. Tabellen viser at gjennomsnittlig kapasitetsutnyttelse varierer betydelig mellom samband. Om lag $\frac{1}{4}$ av sambandene har en utnyttelse på under 20 % mens gjennomsnittlig kapasitetsutnyttelse for alle samband er ca. 25 %.

Tabell 2: Gjennomsnittlig kapasitetsutnyttelse på fergene og gjennomsnittlig andel gjenstående kjøretøy.*

<i>Kapasitetsutnyttelse</i>	<i>Andel samband</i>	<i>Gjennomsnittlig andel gjenstående kjøretøy</i>
Mindre enn 20 %	25 %	0,9 %
Mellom 20 % og 30 %	48 %	1,4 %
Mellom 30 % og 40 %	21 %	2,0 %
Mellom 40 % og 50 %	5 %	2,8 %
Over 50 %	1 %	10,4 %

*Basert på 147 samband med to anløpssteder. Tall fra 2003 – 2005.

Tabellen viser også en klar positiv sammenheng mellom utnyttelsen av fergene og andel gjenstående kjøretøy. Om lag 27 % av sambandene har 2 % eller mer gjenstående kjøretøy. For at andelen gjenstående kjøretøy skal passere 2 %, må stort sett gjennomsnittlig kapasitetsutnyttelse være over 35 %.

Faktisk reiseaktivitet

Drøftingene ovenfor tar ikke hensyn til hvordan gratis ferger med påfølgende økt etterspørsel vil påvirke andre kvalitetsaspekt ved fergetilbudet og dermed den faktiske reisaktiviteten for ulike trafikantgrupper. Her vil responsen på økt etterspørsel være avgjørende. Dersom økt etterspørsel møtes med forbedret tilbud i form av større og raskere ferger, kan samlet reisetid bli redusert slik at reduksjonen i generaliserte reisekostnader (G_{ij}) for trafikantene blir større enn bare bortfallet av fergebilletten. Hvis tilbudet bedres ytterligere i form av økt frekvens på fergene, vil det i tillegg redusere så vel skjult ventetid som generaliserte reisekostnader. Frekvens oppfattes som en meget viktig serviceparameter, og økt frekvens verdsettes således høyst av fergebrukerne, særlig når frekvensen er lav i utgangspunktet.²

Hvis fergetilbudet ikke endres, vil større etterspørsel føre til lengre reisetid som følge av økt tid til ombord- og ilandkjøring samt økt ventetid på fergeleiene. Det sistnevnte skyldes at trafikantene vil møte tidligere opp for å være sikre på å få plass på ferga. Andelen gjenstående kjøretøy er i dag i gjennomsnitt 2,5 % og økende på tross av en kapasitetsøkning de seneste årene. Om lag 27 % av fergesambandene har i 2006 mer enn 2 % gjenstående kjøretøy på årsbasis. En økning i etterspørselen, spesielt i høytrafikkperioder, vil således kunne medføre en økning i antall gjenstående biler. Selv om en vinner noe i effektivitet på grunn av at en

² Det er en konkav avtagende sammenheng mellom skjult ventetid og frekvens. Kostnader i form av skjult ventetid inngår ikke i G_{ij} , men G_{ij} antas å reduseres med frekvensen på grunn av mindre ventetid på fergeleiene.

slipper billettinnkreving, så vil nok fordelene for trafikantene nå bli mindre enn sparte fergebilletter skulle tilsi. De trafikantgruppene med høyest tidskostnader (forretningsreisende, næringstransporter) vil da spare minst eller endog tape på gratis ferger dersom de ikke har forkjørsrett.

Hva som vil skje i praksis vil variere fra samband til samband. Der hvor det i utgangspunktet er ledig kapasitet på fergene når de seiler, vil fergetilbudet rimeligvis forbli noenlunde uendret. I samband hvor kapasiteten før takstendringene finner sted er godt utnyttet, vil nok en økning i etterspørselen av noe betydning tvinge fram økt kapasitet. Selv om kapasitetsutnyttelsen når fergene er i sjøen varierer betydelig for samme samband over døgnet, så vil sannsynligheten for behov for mer fergekapasitet være størst på samband der fergene i dag er godt utnyttet når de er i sjøen og hvor etterspørselen forventes å øke mye. Av tabell 2 ser vi at det er kun 6 % av sambandene som har en kapasitetsutnyttelse på over 40 %. I og med at det er en så pass stor andel samband som har mye ledig kapasitet, er det sannsynlig at en i flere samband ikke trenger å øke kapasiteten dersom fergene blir gratis, men det avhenger selvfølgelig av hva en kan godta når det gjelder andel kjøretøy som ikke skal få komme med ønsket avgang..

Som tidligere nevnt, tar det imidlertid lang tid, kanskje opp til 5 år, før etterspørselsvirkningene av gratis ferger er helt gjennomført. Den tregheten som ligger på etterspørselsiden gjør at selskapene har bra tid på seg til å tilpasse seg det langsiktige behovet for økt fergekapasitet som følge av gratis ferger.

Virkninger på rederienes kostnader

Dersom fergetilbudet ikke endres, vil økningen i kostnadene til fergedriften kun skyldes kostnadsøkninger på grunn av økt kapasitetsutnyttelse av fergene når de seiler. Disse kostnadsøkningene kan anslås ved å ta utgangspunkt i de kortidsmarginale kostnadene (KMK) innenfor norsk ferge drift. Hvis derimot økt etterspørsel ikke bare fører til økt utnyttelse av fergene når de seiler men også til et bedre tilbud i form av flere utseilte km eller større ferger, vil kostnadsøkningen for rederiene bli betydelig høyere enn i førstnevnte tilfelle.

Kostnadsvirkningene på lang sikt av økt etterspørsel; dvs. når kapasiteten tilpasses økt etterspørsel, kan finnes ved hjelp av de langtidsmarginale kostnadene (LMK) ved fergetransport. Jørgensen m.fl. (2004) viser at når fergetrafikken øker med 1 % vil fergekostnadene på lang sikt øke med ca. 0,6 %.

Det finnes ingen pålitelige anslag over KMK for norsk ferge drift. Ved Handelshøgskolen i Bodø (HHB) arbeider imidlertid nå en doktorgradsstudent med dette problemet: Ved hjelp av tverrsnittsdata over kostnader og produksjon i ulike fergesamband i Norge, forsøkes det på å estimere KMK og LMK simultant. Foreløpige - og hittil upubliserte resultat, antyder at KMK er ca 40 % av LMK for norsk ferge drift. Ut fra dette kan en dermed forvente at en økning i fergetrafikken på 1 % over samband med ledig kapasitet og hvor kapasiteten ikke endres, vil øke fergekostnadene med 0,24 % (0,6·0,4). Om etterspørselsøkningen som følge av gratis ferger nødvendiggjør økt fergekapasitet i et samband er således svært viktig for hvor stor kostnadsøkningen for ferge driften i sambandet blir.³

³ Tilsvarende analyse er gjort for norsk bussdrift, se Jørgensen og Preston (2003). De fant at KMK var ca 25 % av LMK. KMK ser således ut til å utgjøre en større andel av LMK for norsk ferge drift enn for norsk bussdrift.

Ved å ta utgangspunkt i KMK, får en dermed et minimumsanslag på kostnadsøkningen av økt trafikk over et fergesamband, mens en ved å ta utgangspunkt beregninger av LMK i Jørgensen m.fl. (2004), får et anslag på forventet kostnadsøkning for et representativt samband. Vi vil derfor bruke disse anslagene på LMK i de videre beregningene. Et forhold som trekker i retning av en noe lavere kostnadsøkning ved gratis ferger enn antydnet ovenfor, er at rederiene kan redusere bemanningen ettersom de slipper billettering. Dette vil for enkelte rederi bety en reduksjon i billetteringskostnadene, gjennom at det ikke blir behov for billetteringsmaskiner og håndtering av kontanter samt at bemanningen sannsynligvis kan reduseres noe i toppbelastningsperiodene om sommeren.⁴ Kravet om sikkerhetsbemanning gjør imidlertid at bemanningsreduksjonene neppe blir store.

Skal en kutte ut billetteringen forsvinner imidlertid også trafikkstatistikken – og den er viktig for beregningen av riktig fergekapasitet i sambandene. Dermed vanskeliggjøres planleggingen av et rasjonelt fergetilbud.

Samfunnsøkonomiske og fordelingsmessige virkninger

I tabell 3 er virkningene anslått for myndighetene og for trafikantene på bakgrunn av kostnads- og trafikktall for norsk fergedrift i 2004, de beregnede verdiene på de langtidsmarginale kostnadene som er gjort ovenfor og for tre ulike forutsetninger om trafikkøkningen som følge av gratis ferger. En annen sentral forutsetning vi har gjort nedenfor er at reisetiden for fergebrukerne forblir noenlunde konstant, slik at bortfall av billettutgifter er lik reduksjonen i generaliserte reisekostnader. De samlede positive virkningene for fergebrukerne blir dermed summen av sparte billettutgifter for de nåværende reisende pluss verdien av nygenerert trafikk som følge av at fergene blir gratis. Som påpekt tidligere vil virkningene på fergebrukernes tidskostnader over et samband av gratis ferger, avhenge av hvorvidt rederiene møter den økte etterspørselen med økt fergekapasitet eller ikke. Gjør de det ikke, vil rimeligvis brukernes tidskostnader øke mens disse kostnadene vil være noenlunde konstant eller endog reduseres hvis fergetilbudet bedres. Det betyr igjen at generaliserte kostnader vil reduseres mindre enn bortfallet av fergebilletten skulle tilsi på noen samband, mens det motsatte vil gjelde for andre samband. For alle fergesamband sett under ett, kan det således være rimelig å anta at fergebrukernes samlede tidskostnader forblir tilnærmet uendret.

Av tabell 3 ser vi at de positive virkningene for brukerne av gratis ferger øker fra 1 680 mill. NOK til 1 760 mill. NOK når antatt trafikkvekst øker fra 10 % til 20 %. Det er verdt å merke seg at tallene gjelder *alle* fergebrukerne. En kan grovt anslå at næringstransportenes fordeler vil være ca 20 % av fergebrukernes samlede fordeler - altså mellom mellom 336 mill. NOK og 352 mill. NOK.

Totale fergekostnader vil anslagsvis øke med 174 mill. NOK, 261 mill. NOK og 348 mill. NOK når antatt trafikkvekst er henholdsvis 10 %, 15 % og 20 %. De anslåtte kostnadsøkningene må tolkes som virkninger etter at fergetilbudet er tilpasset den nye

Det er rimelig ettersom kostnadene pr utseilt(kjørt) km er mer avhengig av kapasitetsutnyttelsen for ferger enn for buss.

⁴ Når det gjelder håndtering av kontanter, så vil ikke dette falle bort selv om en slutter å billettere. Det blir mindre kontanter men betalte aktiviteter om bord, for eksempel restaurasjon, vil fortsatt være der. I noen tilfeller er dette en rederiaktivitet og i andre tilfeller ikke. Penger vil således fortsatt måtte bæres i land, og de samme sikkerhetsrutiner vil gjelde.

trafikken; dvs. de *langsiktige* kostnadsvirkningene. Økt tilskudd er lik summen av tapte billettinntekter og kostnadsøkninger som følge av økt trafikk. Vi ser at tilskuddet vil øke med mellom 1 774 mill. NOK og 1 948 mill. NOK avhengig av forutsetningene om trafikkvekst. Økte skattekostnader er et mål på samfunnets effektivitetstap ved å skaffe til veie (gjennom skatter og avgifter) det økte tilskuddet. For Norge er de anslått til 20 % av innkrevd beløp.

Tabell 3. Regneeksempel på årlige virkninger av gratis ferger. Mill. 2005-NOK*.

	Forutsetninger om økt trafikk		
	10 %	15 %	20 %
Positive virkninger for fergebrukerne (1)	1 680	1 720	1 760
Økte fergekostnader (2)	174	261	348
Økt tilskudd (stat og fylkeskommune) (3)	1 774	1 861	1 948
Økte skattekostnader (4)	355	372	389
Totale samfunnsøkonomiske virkninger (1 – 3 – 4)	- 449	- 513	- 577

*Basert på trafikk tall fra 2004.

Summeres virkningene, ser vi som ventet at gratis ferger vil føre til et samfunnsmessig tap på rundt 500 mill. NOK, og tapet øker jo høyere trafikkveksten blir. Det skyldes delvis økte skattekostnader på grunn av økt tilskudd og delvis at takster lik null avviker langt mer fra de langtidsmarginale kostnadene ved fergetransport enn de nåværende takstene gjør, se Jørgensen m.fl. (2004).

Avsluttende merknader

Regneeksemplet viser den klassiske konflikten en ofte har mellom effektivitet og fordeling. Gratis ferger vil samlet sett være en fordel for privatpersoner, for lastebilnæringen og dermed for næringslivet - i alle fall for de bedriftene som ikke selger på det lokale markedet. Nyere analyser i Bråthen m.fl. (2006), viser at ¼ av nytten ved gratis ferger, tilfaller fergebrukerne i og rundt de største kystbyene. Nyten per capita er imidlertid størst i de befolkningsmessig mindre kommunene, der deler av befolkningen er daglig avhengig av fergetransport, og hvor en også har de lengste fergesambandene. Således kan gratis ferger sier å være et distriktsvennlig tiltak – særlig for kystdistriktene.

Om gratis ferger bør innføres er derfor til syvende og sist et politisk spørsmål og avhenger av hvordan en vektlegger gevinsten til fergebrukerne opp mot tapet for den øvrige befolkningen. Av tabell 1 kan en lett regne ut at hvis en vektlegger 1 krone tjent for fergebrukerne mellom 27 % og 33 % mer enn 1 kr tapt for samfunnet for øvrig, bør gratis ferger innføres. Om politikerne verdsetter fergebrukerne så mye høyere enn andre, vet vi ikke. Hvis de gjør det, er innføring av gratis ferger fornuftig.

Det er vedtatt at alle norske fergesamband skal konkurranseutsettes innen utgangen av 2009. Gratis bruk av ferger innebærer at allerede inngåtte anbudskontrakter må reforhandles. Pr. 2006 gjelder dette 13 samband. Tapte trafikkinntekter må kompenseres der en benytter nettokontrakter. I samband med bruttokontrakter kan også reforhandlinger bli aktuelt i de samband der trafikkøkningen blir stor slik at kapasiteten må økes. Dette er også et aspekt ved saken.

Dersom gratis ferger skal innføres i Norge, ligger det i kortene at en først gjennomfører forsøk i noen utvalgte samband. Dersom en velger trafikksvake samband med dårlig utnyttelse av fergekapasiteten og lave trafikkinntekter, vil myndighetene stå ovenfor en relativt begrenset økonomisk risiko, med mindre gratis ferjer skulle bety en uventet stor økning i etterspørselen, slik at fergekapasiteten må økes. Ulempen ved kun å velge slike samband, er at læringseffekten blir vesentlig mindre enn om mer trafikksterke samband også inngår i en prøveordning.

Til slutt bør det nevnes to mer uønskede virkninger av gratis ferger. For det første umuliggjør gratis ferger bruk av prismekanismen for å utjevne trafikktopper og dermed bedre utnyttelsen av fergemateriellet. For det andre vil gratis fergereiser gi vegtransport en betydelig konkurransemessig fordel overfor sjøtransport. Overføring av gods fra vei til sjø er en målsetting i St.meld. nr. 24 (2003-2004). Målsettingene om gratis ferger og overføring gods fra veg til sjø, gjør således denne "overføringsmålsettingen" betydelig vanskeligere å oppfylle.

Litteratur

Bråthen, S, Hervik, A og Nettet, E (1996): Gir infrastrukturinvesteringer næringsøkonomisk vekst? Rapport nr. 9. Møreforsking, Molde.

Bråthen, S, Husdal, J og Rekdal, J (2006): Gratis bruk av ferger. Noen mulige varianter. Rapport 0614. Møreforsking, Molde.

De Witte, A, Macharis, C, Lannoy, P, Polain, C, Steenberghen, T og Van de Walle, S (2006): The impact of "free" public transport: The case of Brussels. Transportation Research part A 40, side 671-689.

Goodwin, P.B, Darglay, D and Hanly, M (2004): Elasticities of road traffic and fuel consumption with respect to price and income: A review. Transport Reviews, Vol. 24, No 3, side 275-292.

Jørgensen, F, Pedersen, H og Solvoll, G (2004): Ramsey pricing in practice: the case of the Norwegian ferries. Transport Policy 11, side 205-214.

Jørgensen, F og Preston, J (2003): Estimating bus operators' short-run, medium-term and long-run marginal costs. International Journal of Transport Economics, Vol. XXX, No 1, side 3-24.

Odeck, J og Bråthen, S (2004) Travel demand elasticities and user attitudes. A case study of Norwegian toll projects. Working paper 2004:2. Høgskolen i Molde.

St.meld. nr. 24 (2003-2004): Nasjonal transportplan 2006-2015. Samferdselsdepartementet.

Sydsaeter, K and Hammond, P.J (1995): Mathematics for economic analysis. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

Thomas, R (2006): A concessionary fare scheme set to end before it has even begun? Local Transport Today 439, side 12-13.

Transport for London (2006): Forty per cent of 14 and 15-year olds report using cars less due to free buss and tram travel. Pressemelding. Transport for London, 20. juni 2006.

Adfærd og mobilitet

Bedre tilgængelighed – Flere passagerer

- Oplandets betydning og muligheden for at bruge det bedre

Kristoffer Kejser, DSB S-tog



Èt er en køreplan at forstå – Et andet at nå frem til toget

I DSB S-tog arbejdes der meget på at gøre rejsen med S-tog bedre. Selve togrejsen er kerneproduktet for DSB, men for kunden kan rejsen til og fra stationen let vise sig at være den vanskeligste del af rejsen.

Tidligere undersøgelser viser, at rejsen i S-toget kun udgør knap 40 % af den samlede rejsetid¹. Og at netop rejsen til og fra stationen fylder meget for kunderne bekræftes af en stor norsk undersøgelse af både norske og internationale forhold². Her konkluderes det, at *”Trafikantene er villige til å betale omtrent dobbelt så mye for å redusere gangtiden til/fra holdeplassen som for å redusere reisetiden på transportmidlet.”*

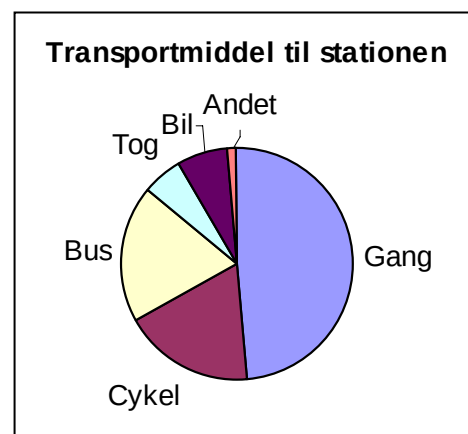
Der er ikke noget nyt i, at det for kunden er rejsen fra A til B, der er central. Og der er også i mange år blevet arbejdet på forskellige tiltag, der skal gøre det lettere at komme til stationen og toget.

Det nye er, at der nu arbejdes mere strategisk og systematisk på at satse på tilbringertrafikken som en mulighed for passagervækst.

Hvordan kommer passagererne til toget?

DSB S-tog spørger løbende passagererne om, hvordan de kommer til toget. På Figur 1 ses fordelingen på transportmidler til stationen fra DSB S-togs faste kundetilfredshedsanalyse.

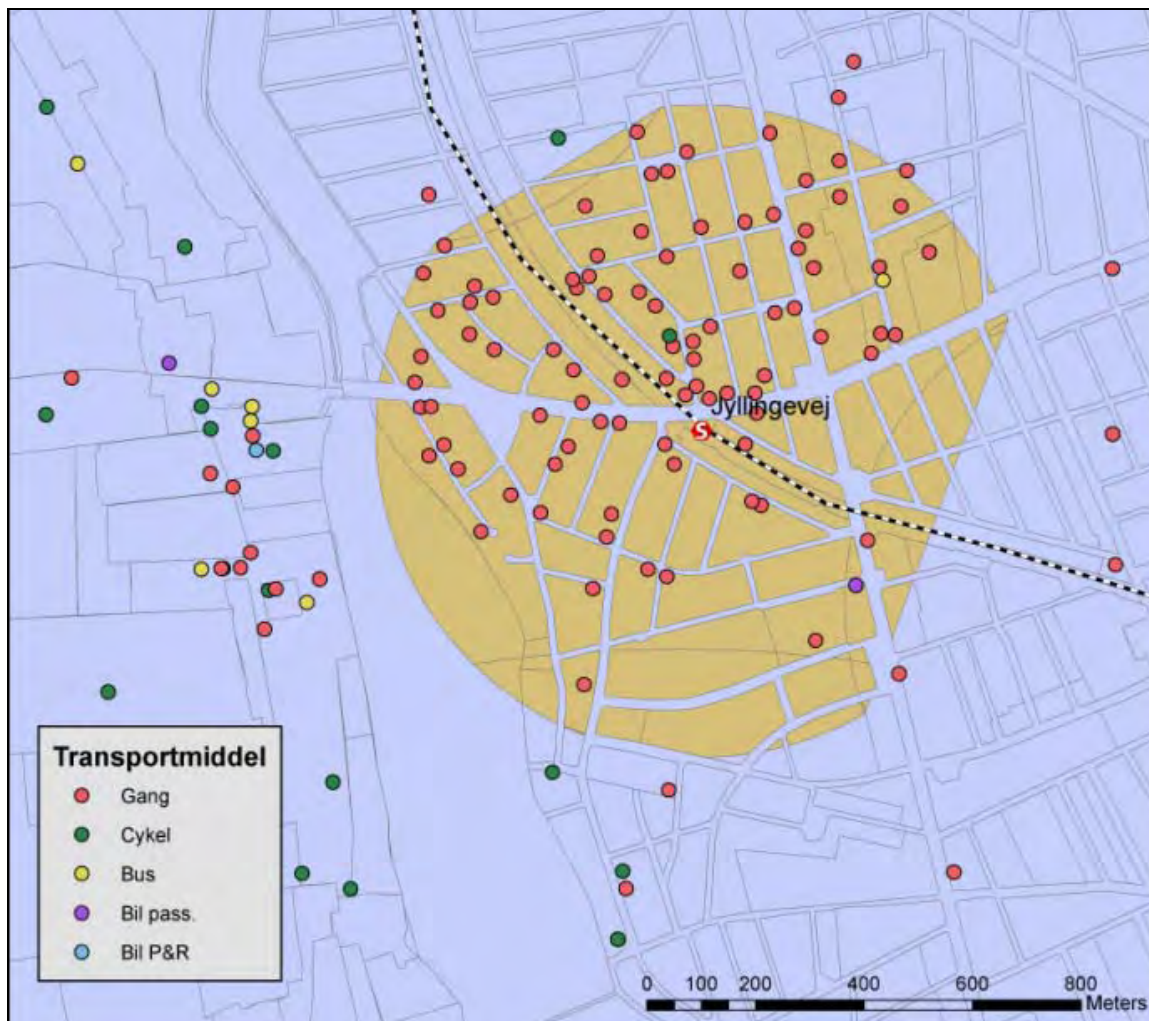
For at få større viden om dynamikken i transportmiddelvalget i tilbringertrafikken, er der også foretaget undersøgelser af, hvor langt passagererne har til stationen og hvilket transportmiddel de benytter til denne tilbringerrejse. En netop afsluttet undersøgelse omfattede 14 stationer, hvor der blev uddelt spørgeskort til en del af passagererne, hvor de blandt andet blev bedt om at oplyse den adresse, de kom fra, samt transportmidlet til stationen. Et eksempel fra denne undersøgelse er vist på Figur 2



Figur 1: Fordeling på transportmiddel ved ankomst til stationen (Kilder: DSB S-togs kundeundersøgelse EPSI, 2006)

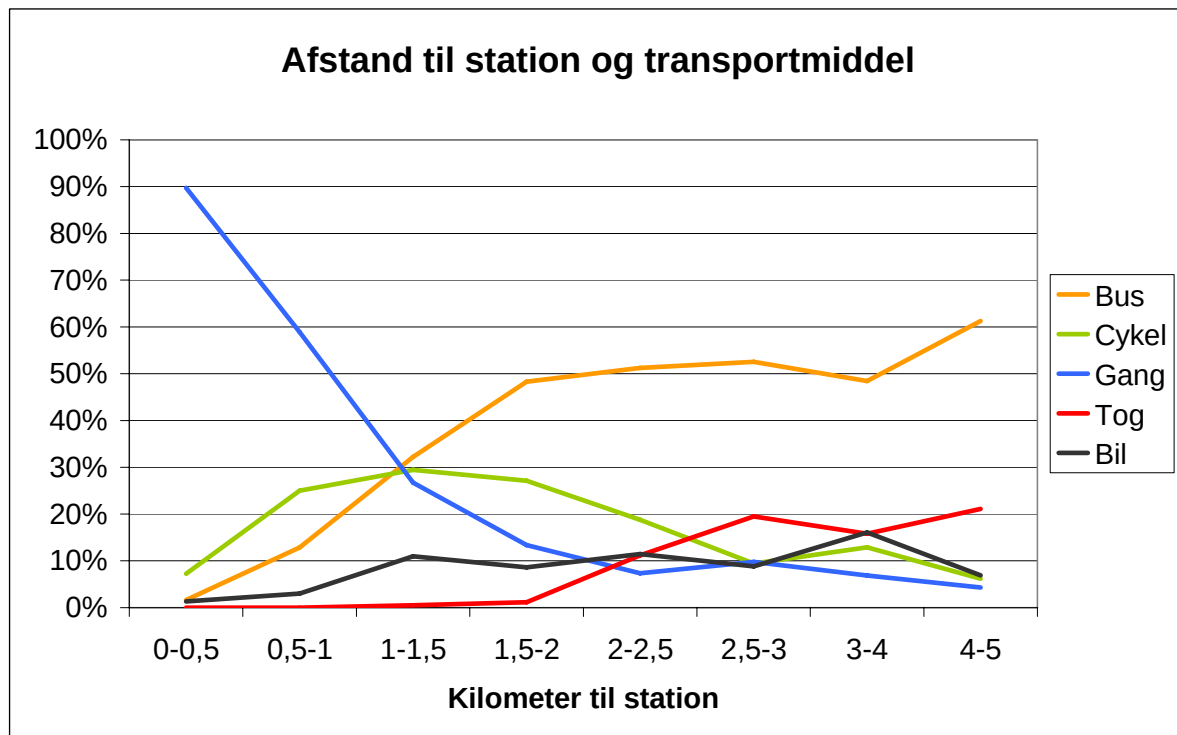
¹ Se f.eks. Anne Pilegaard (1997): "Cykel/tog - den ideelle kombination til pendlertrafik", DSB S-tog, Paper til Trafikdage i Aalborg 1997.

² Ingunn Stangeby, Kjell Jansson (2001): "Målrettet kollektivtransport. Delrapport 2: Trafikantenes preferanser", Transportøkonomisk Institut, TØI, Oslo.



Figur 2: Resultat af spørgeskortanalyse på Jyllingevej Station. Hver prik repræsenterer udgangspunktet for én passagers rejse til stationen. (Den gule zone udgør stationens næropland med maks. 600 meters afstand)

Ses på det samlede billede af tilbringertransporten på de 14 undersøgte stationer, fremgår det, at det transportmiddel passageren vælger at benytte til stationen i høj grad afhænger af afstanden. Således er ture til stationen på under 500 meter domineret af gang, mens bus er det foretrukne tilbringertransport-middel på afstande over 1,5 kilometer. Se Figur 3.



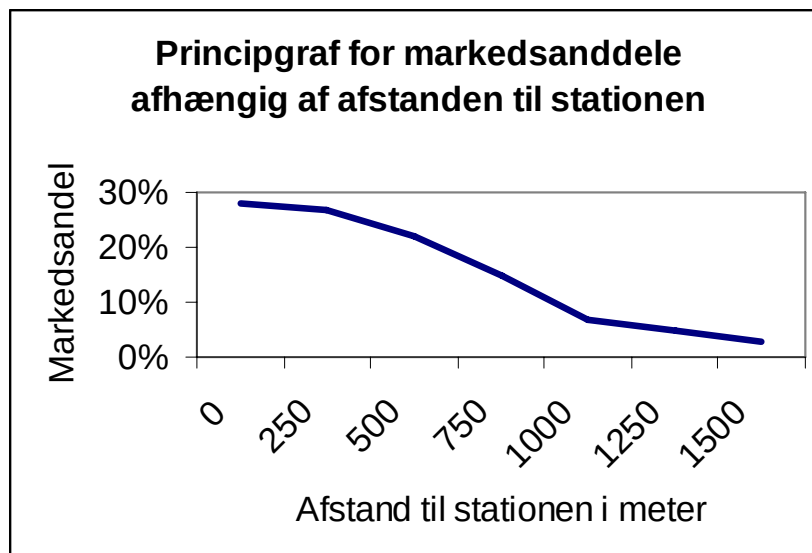
Figur 3: Fordeling på transportmidler til Stationen

Som det ses af Figur 3 har forskellige tilbringertransportmidler hver deres dominerende rolle indenfor ganske små afstandsintervaller. Ændres afstanden med blot få hundrede meter er det pludselig andre transportmidler, der benyttes. Heraf ses at passagererne er meget følsomme overfor afstanden til stationen – I hvert fald indenfor de 2 til 2½ kilometer, hvor langt størstedelen af passagererne kommer fra.

Kort afstand giver flere passagerer

Afstanden har således betydning for hvilket transportmiddel, der benyttes til stationen. Men det har også betydning for hvilket transportmiddel, der vælges til hele rejsen, og dermed om S-tog overhovedet indgår i denne.

For at få kendskab til denne dynamik er der lavet analyser, som undersøger hvor stor en andel af bosiddende og beskæftigede i stationsoplandet, der rent faktisk benytter toget. Dette er vist på Figur 4.



Figur 4: Markedsandel i forhold til afstand fra stationen. Markedsandelen opgøres som antal afrejste passagerer divideret med summen af antal bosatte og antal arbejdspladser i oplandet. Der er en vis usikkerhed tilknyttet den aktuelle opgørelsesmetode, hvorfor værdierne skal tages med et vist forbehold.

Som det ses af figuren, så bruger op mod 30 %³ af de personer, der bor eller arbejder indenfor få hundrede meter fra en station, S-tog dagligt. Kommer man blot 7-800 meter væk fra stationen, falder denne markedsandel med omkring 1/3. Dermed er kort afstand, også kaldet stationsnær lokalisering, en meget vigtig parameter for at tiltrække kunder til S-tog.

Netop effekten af stationsnær lokalisering har været grundigt studeret, blandt andre af Peter Hartoft-Nielsen, som konkluderer at på virksomheder i hovedstadsområdet, der er lokaliseret ikke-stationsnært, benytter 75-85 % af medarbejderne bil til og fra arbejde, men hvis samme virksomhed ligger stationsnært benytter kun 40-60 % bil. Samtidig vil andelen af ansatte, der benytter kollektiv transport, være dobbelt så høj på den stationsnære virksomhed.^{4 5}

Hvad kan vi bruge denne viden til?

For passagererne vejer transporten til og fra stationen altså tungt i det samlede transportregnskab. Derfor er passagererne gode til at optimere deres tilbringertransport ved at vælge transportmidler, der netop er velegnet til den afstand, de skal tilbagelægge for at komme frem til stationen. Dette er selvfølgelig under forudsætning af, at de har adgang til det aktuelle transportmiddel til rejsen og at de kan parkere det ved stationen. Især adgangen til transportmidler er for mange begrænset på stationen i arbejdsenden af rejsen – altså den station, der ikke ligger tæt på boligen. Dette omtales senere. Men samtidig kan afstanden også

³ Denne procentsats varierer noget fra station til station.

⁴ Peter Hartoft-Nielsen, Forskningscentret for Skov & Landskab (2001): "Hvad betyder nye boligers og arbejdspladser lokaliseret i bystrukturen for persontransporten?", Paper til Aalborg trafikdage 2001.

⁵ Peter Hartoft-Nielsen, Forskningscentret for Skov & Landskab (2002): "Stationsnærhedspolitikken i hovedstadsområdet - baggrund, implementering og effekter", Paper til Aalborg trafikdage 2002.

betyde, at andre transportmidler end S-tog hurtigt kommer i spil, allerede når gangtiden til stationen passerer de første 5 minutter.

Med denne store følsomhed for afstanden til stationen er der god grund til at DSB S-tog skal interessere sig for, hvordan kundernes vej til stationen gøres kortere og hurtigere. Meget tyder på, at der kan ligge ikke ubetydelige passagergevinster gemt her.

Hvad kan DSB S-tog gøre i praksis?

I arbejdet med at identificere på hvilke områder, det giver størst udbytte at satse på tilbringertransporten, er der identificeret 9 forskellige indsatsområder, som der kan arbejdes med. Disse er vist herunder. I det følgende belyses 4 af disse områder markeret med **fed skrift** i tabellen.

Nr.	Aktivitetsområde	Indhold / beskrivelse
1	Supplerende stationsadgange	Tidsbesparelse og højere tilgængelighed
2	Eksterne adgangsveje	Sikkerhed, tryghed, overskuelighed
3	Cykelparkering og -service	Kapacitet, overskuelighed, funktionalitet, komfort, tryghed
4	Pendlercykler	Flere pendlercykelordninger i firmaer
5	Cykelmedtagning	Formidling, adgangsforhold / slisker / barrierer mv.
6	Bilparkering / Parkér & Rejs	Udbygning, forbedring, formidling af ledige pladser
7	Skift mellem bus og tog	Afstand, overskuelighed, ventefaciliteter,
8	Stationernes synlighed	Skiltning, adgangsveje, optræden på bykort mv.
9	Byfortætning ved stationer	Øget markedsandel

Supplerende adgange

For at mindske afstanden fra de omliggende bolig- og arbejdspladsområder til stationens perroner kan der etableres såkaldte supplerende adgange. Herved kan S-toget blive en mere naturlig transportform for mange, der ellers har haft for lang vej til stationen. Samtidig vil en supplerende adgang afkorte vejen og dermed tidsforbruget for mange af de nuværende kunder, hvilket vil kunne fastholde disse som brugere fremover. En supplerende adgang kan reducere afstanden til toget med op til 200 meter.

Der er ikke udført selvstændige evalueringer af de projekter, hvor der er opført supplerende adgange. I stedet er det muligt at sammenligne S-togsstationer, hvor der kun er én perronadgang med stationer, der har flere perronadgange. I denne sammenligning fremviser stationerne med flere adgange en gennemsnitlig markedsandel⁶ på 20%, mens stationerne med

⁶ Antal afrejste passagerer i procent af stationsoplandets passagerpotential (bosatte + beskæftigede).

kun én adgang har en markedsandel på 16%. Opgørelsen omfatter i alt 30 stationer med flere perronadgange og 41 stationer med én adgang. Se Figur 5.

	Stationer antal	Potentiale 1998 (Bosatte + beskæftigede)	Afrejste 1998	Markedsan- del
Med flere perronadgange	30	562.986	115.391	20%
Med 1 perronadgang	41	591.441	95.025	16%

Figur 5: Stationer både i og udenfor centralkommunerne

Hvis det antages, at den 4% højere markedsandel skyldes de supplerende adgangsveje, så er disse ansvarlige for 22.000 flere dagligt afrejste ud af et potentiale på i alt ca. 560.000 bosatte og beskæftigede i de pågældende stationers oplande.⁷

Også hvis stationerne opdeles efter beliggenhed i regionen (i og udenfor centralkommunerne) eller frekvens (antal S-togslinjer), så viser stationerne med flere adgangsveje stadig en klart højere markedsandel.

Der synes derfor at være en klar tendens til, at stationer med flere adgange har en større markedsandel af beboere og arbejdstagere i stationsoplandet hvorfor anlæggelse af supplerende adgange også må forventes at give anledning til nye passagerer.

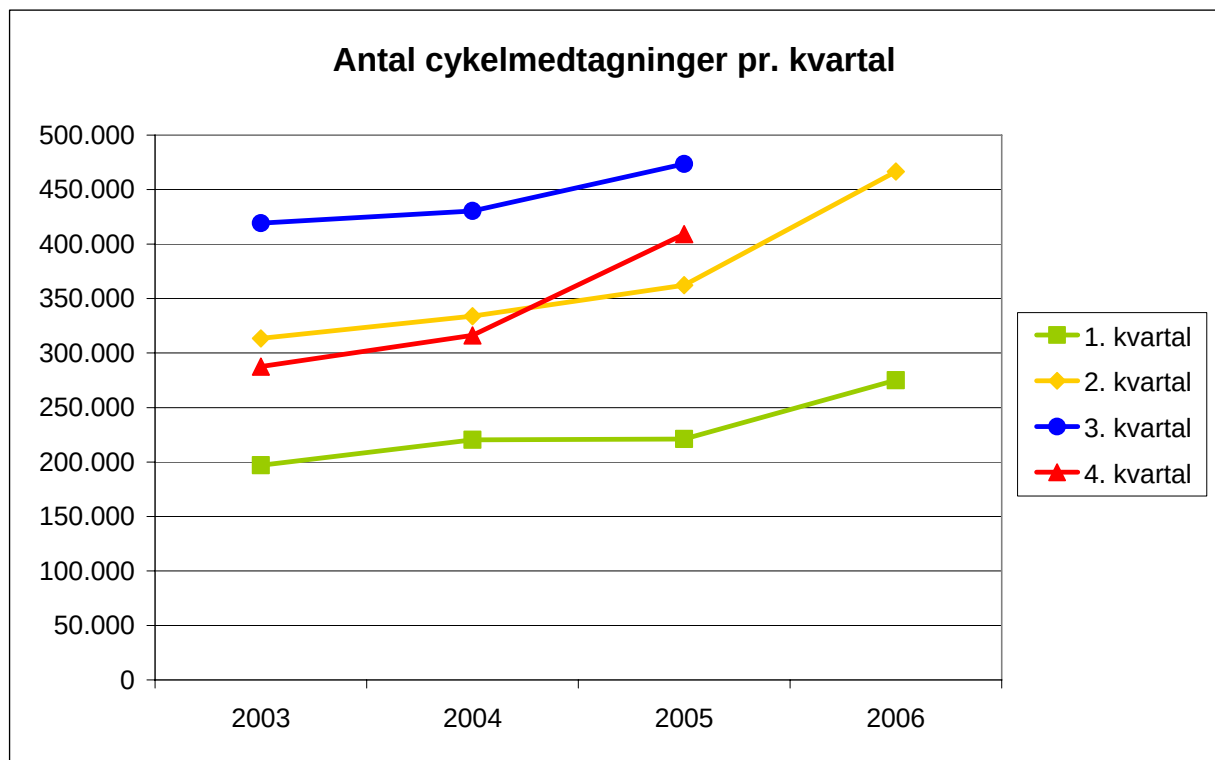
Cykelmedtagning

Som tidligere nævnt er passagerne gode til at vælge det transportmiddel, der passer netop til den afstand, de skal transportere sig til toget. Når de skal transportere sig fra toget f.eks. i arbejdsenden af rejsen er det til gengæld ikke altid, at alle transportmidler er til rådighed. Bilen er kun en mulighed for de færreste, men også cyklen, som er en stor tilbringer fra bolig til station, er det kun få, der har adgang til her.

For at råde bod på dette, blev det i januar 2006 besluttet at ophæve den spærretid for cykelmedtagning, som tidligere forbød cykelmedtagning i morgen- og eftermiddagsmyldretiden i "aktuel retning" (mod city om morgenen – fra city om eftermiddagen).

Ophævelsen af spærretiden kørte i 2005 som forsøgsordning fra maj, og det har betydet en pæn stigning i antal cykler i toget, som det ses herunder.

⁷ 4% af 562.986. Data er fra 1998.



For at finde ud af hvor disse cykler kom fra, blev passager, der rejste med cykler i myldretiden, spurgt om hvordan de ville have rejst, hvis de ikke måtte medbringe deres cykel.

Besvarelserne på dette spørgsmål var følgende (299 respondenter):

Svar	Procent
Uoplyst	5 %
Ville rejse uden cykel	53 %
Ville rejse på andet tidspunkt med cykel	10 %
Ville cykle hele vejen	21 %
Ville køre bil hele vejen	7 %
Ville ikke rejser	2 %
Ved ikke	2 %

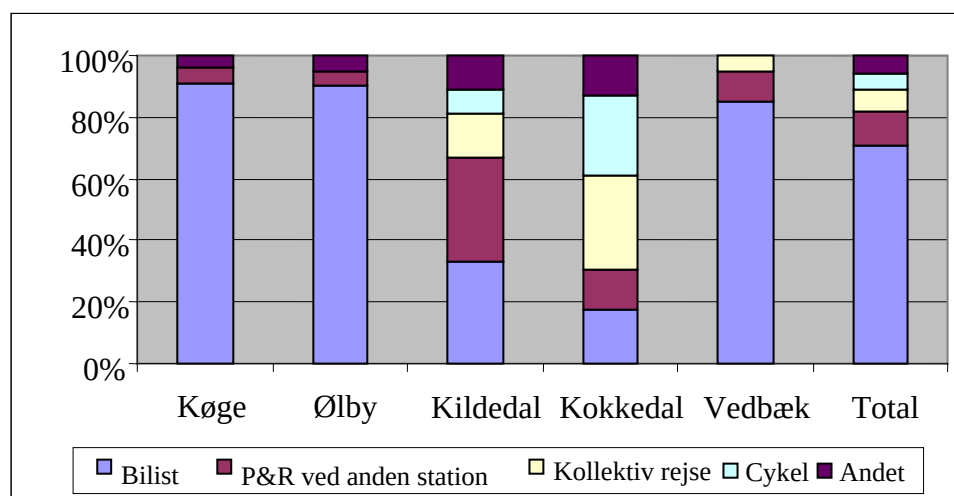
Omsat til passagerer betyder dette, at ophævelsen af spærretiden har givet godt 200.000 nye passagerer årligt, som ellers ville have fravalgt S-toget på den pågældende rejse.

Parker & Rejs-projekter

Parker & Rejs-projekter sigter mod at gøre det lettere at kombinere bil og S-tog.

Først og fremmest drejer dette sig om at anlægge P-pladser de rette steder, men også skiltning, markedsføring, og øvrige faciliteter på parkeringspladserne/stationerne kan indgå i projekterne.

Efter anlæg af en række nye P&R-anlæg i samarbejde med HUR, Vejdirektoratet, Banedanmark og diverse kommuner, viser evalueringer, at P&R-anlæg har mulighed for at fungere som reelt alternativ til at køre i bil på hele rejsen og derved overflytte bilister til kollektiv transport. Der er dog, som det fremgår af nedenstående figur, store forskelle projekterne imellem.



Figur 6: Oversigt over hvilken transportform nye P&R brugere tidligere benyttede.

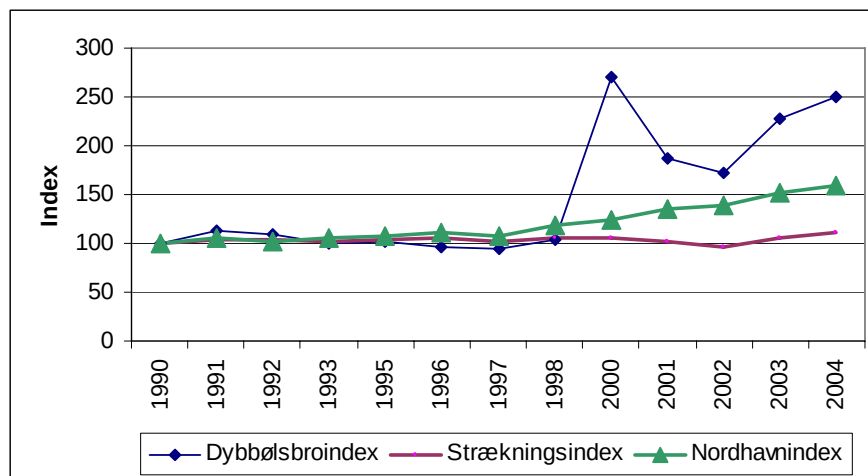
De nye brugere i Køge, Ølby og Vedbæk er overvejende tidligere bilister, der førhen benyttede bil til hele turen. På alle tre stationer er der desuden nogle få brugere, der også tidligere har benyttet Parkér og Rejs ved en anden station.

Samlet set er antallet af brugere af Parkér og Rejs ved de fire evaluerede projekter, der tilsammen har bidraget med 800 nye P-pladser, i løbet af 1-2 år steget med omkring 300. Heraf kørte ca. 250 tidligere i bil på hele deres rejse.

Der er dog mange stationer med ledige Parkér og Rejs pladser i dag, hvorfor en udbygning af kapaciteten kun bør ske dér, hvor efterspørgslen er tilstrækkelig stor.

Byfortætning ved stationer

En anden måde at mindske afstanden til stationen på er, at skabe flere rejsemål i stationens nærområde gennem byfortætning. På S-banen sker der byfortætninger ved en del stationer, og når der er tale om tilstrækkelig store byudviklinger viser det sig også på passagerudviklingen, som det ses herunder.



Figur 7: Passagerudviklingen på Dybbølsbro og Nordhavn, samt det centrale afsnit.

Effekten af Fisketorvet (og de øvrige kontorbyggerier langs kalvebod brygge) er meget tydelig. For Nordhavn stations vedkommende er det især udviklingen i havneområdet mellem Århusgade og Svanemølleværket, samt bebyggelsen af den gamle Kryolitgrund (bl.a. Told og skat).

Der er således begge tale om en vækst, der skyldes erhvervsmæssigt byggeri med mange arbejdspladser. Én af årsagerne til dette er, at den stationsnære lokalisering har større betydning for valg af transportmiddel når der er tale om arbejdspladser end hvis det er boliger.

Dermed er det mere hensigtsmæssigt at placere arbejdspladser stationsnært frem for boliger, i forhold til at styrke benyttelsen af den kollektive transport i byen.

Og hvad så nu?

Der er således perspektiver i, at satse på at forbedre adgangen til og fra stationerne gennem en bred række af tiltag. Meget tyder på at der her ligger store kundepotentialer, som i en del tilfælde kan indfris ved relativt små investeringer.

For øjeblikket arbejdes der i DSB S-tog på at estimere udgifter og passagereffekter for en del af de konkrete forslag, der ligger til, hvordan adgangen til stationerne kan forbedres. Derefter skal de mest lovende projekter realiseres, effekterne af disse skal analyseres grundigt. Disse erfaringer vil herefter danne grundlag for DSB S-togs videre arbejde med en tilbringerstrategi.

Examination of catchment areas for public transport

Alex Landex, Research Assistant, M.Sc., al@ctt.dtu.dk

Stephen Hansen, Research Assistant, M.Sc., sha@ctt.dtu.dk

Jonas L.E. Andersen, Research Assistant, M.Sc., ja@ctt.dtu.dk

Centre for Traffic and Transport (CTT), Technical University of Denmark (DTU)

Bygning 115, st.tv. Bygningstorvet, 2800 Kgs. Lyngby

1. Abstract

The paper presents an approach to examine catchment areas for stops in high quality public transport systems based on the street network in the examined area. This is achieved by implementing the Service Area function from the ArcGIS extension Network Analyst. The approach is compared to a more simple approach using only the Euclidean distance from the examined stop and the paper describes the differences in detail-level of the results. Furthermore, the paper describes how the Service Area approach can be used to examine increments in the catchment areas by adding extra entrances to stations or by making changes in the street network around the station. The paper also discusses the degree of realism in used GIS networks and how it can affect the size of the catchment areas. It is concluded that the Service Area approach improves the detail-level and accuracy in catchment area analyses. These improvements are well suited for examinations of changes in station entrances and/or street network.

Keywords: Catchment area, Service area, Detour factor, Street network, Accessibility, Station, Public transport

2. Introduction

High quality public transport systems like rail and light rail have fewer stops than public transport systems of lower quality e.g. bus. Because of the fewer stops it is important that the stops are located as good as possible. This means that the stops should be located in areas with a high potential of travellers in order to offer the best possible service for the public. Furthermore, this will secure that as many passengers as possible will use the public transport system. Areas with a high potential of travellers are areas with dense housing and many workplaces but also shopping areas, sport facilities and areas with entertainment (e.g. cinemas and amusement parks) can have a high potential of travellers.

Public transport systems mostly attract travellers from areas just around the stops [3] – not many passengers are willing to travel a long distance by foot, bike or car to get to the public

transport system [4]. Therefore, the amount of travellers in the public transport system is more or less proportional to the amount of people living and working just around the stops in the so-called catchment area.

The potential of travellers in the catchment area can be examined using simple GIS overlay analyses based on circular buffers around the stops (cf. section 3). However, this approach does not take into account that it is rarely possible to travel as the crow flies in urbanized area with many physical obstacles and barriers. By using a method that searches a street network (referred to as the Service Area approach) it is possible to calculate travel routes to and from stops and thereby improve the accuracy compared to the simple buffers (cf. section 4). The two approaches to determine catchment areas are then compared (cf. section 5).

As the stops are the passenger's gateway to the public transport system it is important that it is easy to get to and from the stop. For some transport systems such as railways, the stop can have a certain geographical extent (e.g. most of the stations of the Copenhagen suburban railway are about 200 meters long). By adding entrances in both ends of the platform, the accessibility to the station can be improved and the catchment area thereby increased (cf. section 6).

It is not only the number of entrances to a given station which determines the size of the catchment area; also the streets surrounding the stop are an important aspect. By using Service Areas instead of simple circular buffers around the stops it is possible to analyze how the layout of the streets influences on the size of the catchment area. Furthermore, it is possible to analyze how changes in the layout of the streets can improve accessibilities to stops (cf. section 6)

Making catchment areas by searching a street network requires a high degree of realism meaning a high level of detail in the used GIS network in order to get reasonable catchment areas. Furthermore, some features in networks can have a rather inappropriate influence on network search e.g. double digitized roads. Generally it is important that the GIS network used in the Service Area calculation represent the routes of the feeder traffic to and from stops as well as possible (cf. section 7).

3. *Circular buffer approach*

The simplest way to analyze the potential number of travellers for a stop is to consider the Euclidean distance from the stop. Given a stop's location and detailed information on the stops neighbourhood, like a land-use map or a map with buildings, it is possible to examine the area within a certain distance of the stop. When using GIS this can be achieved in two simple (geoprocessing) steps:

1. Making a circular buffer around the station
2. Intersecting the buffer with the maps describing the neighbourhood

Afterwards different land-use areas or buildings within the buffer can be examined and if data on e.g. population and workplace density is available it is possible to calculate a measure for the potential number of travellers¹.

At Centre for Traffic and Transport (CTT) at the Technical University of Denmark (DTU) this simple approach has been used the last couple of years to examine and optimize stop locations along new railway and light rail lines (e.g. [1]). Often the level of detail in the method has been increased by dividing the catchment area into different rings depending on distance to the station (e.g. [1]). By applying weights for each ring it is possible to take into account that the expected share of potential travellers will drop when the distance to the stop is increased.

Figure 1 shows the calculated catchment area for Noerrebro Station in Copenhagen. The catchment area is divided into an inner and outer ring, often characterized as primary and secondary catchment area and the distances are (in this case) set to 500 and 1,000 meters (as [5] suggest).

¹ Population and workplaces can be used to determine the potential number of travellers as they are a large and regular cause for transportation e.g. [7]. But also other relevant causes for transportation can be used in analyses of potential travellers [8]. Information can be obtained through sources like the Danish HSK, CVR, BBR or CPR.

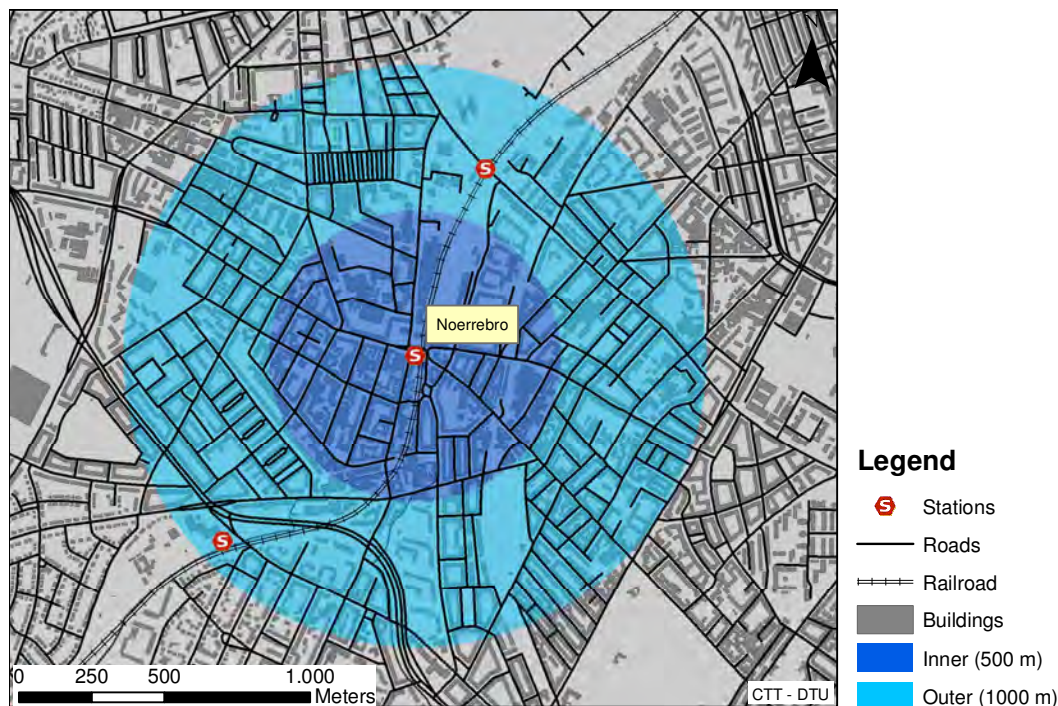


Figure 1 – Catchment area determined by circular buffer approach for Noerrebro Station in Copenhagen

The number of rings and the distances for each ring varies on the type of project and the accepted detail level for the results. Overall the catchment area should cover the distance, it seems reasonable to walk or cycle to get access to the public transport system. This distance depends on the type of transport system. A high quality transport system like regional trains will normally have larger catchment areas than lower quality systems like light rail. The expected shares of potential travellers in each ring can then be determined based on market share investigations.

3.1. Weakness of the circular buffer approach

Even though the circular buffer approach is a fairly good way of examining the catchment areas for stops it has a weakness. The method does not take the stops geographical surroundings into account. In most cases the actual walking distance from a certain location to a stop is somewhat longer than the direct Euclidean distance. The reasons for this can be found in both natural barriers like rivers, but also manmade obstacles like buildings, canals and rail tracks. This disadvantage in the approach is often handled by applying a detour factor that reduces the buffer distance and in this way compensates for the fact that people have to walk longer in the actual street network. However, in cases where the length of the detours varies a lot within the stop surroundings, this solution is not very precise. Furthermore areas which are separated completely from the stop by e.g. rivers can still be considered as part of the stops catchment area.

Figure 2 shows the catchment area for Christianshavn Metro Station in Copenhagen examined by the circular buffer approach. Some parts of the catchment area are partly isolated from the station by the harbour, the canals and the lakes in the district. The actual distance from these parts to the metro station is longer than the assumed distance that people are willing to travel. Hence, these parts should not be regarded as part of the catchment area.

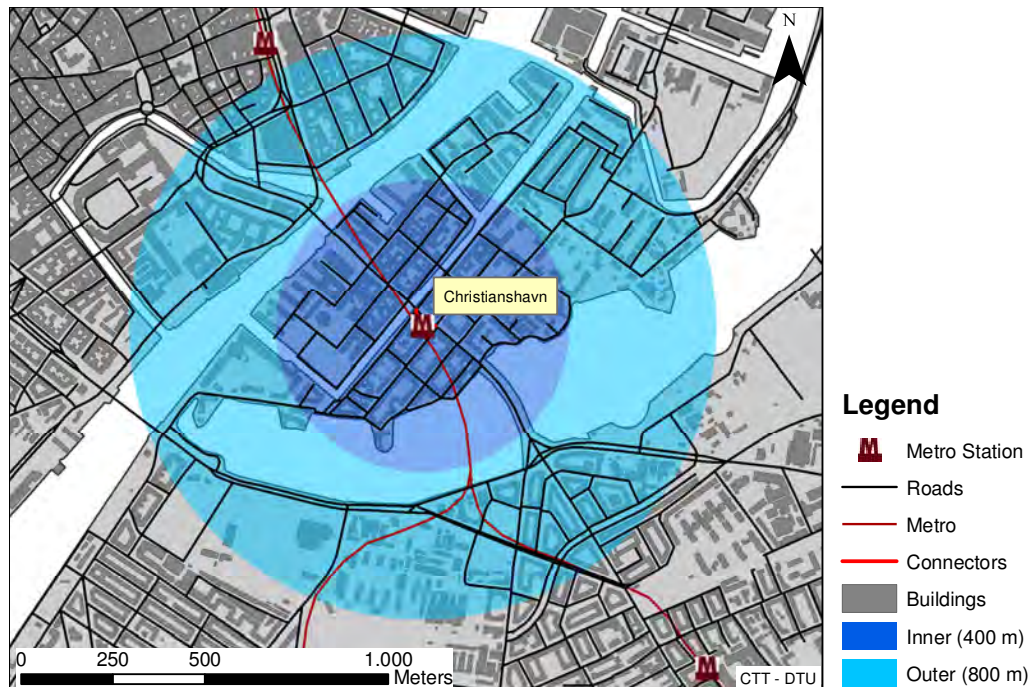


Figure 2 – Catchment area determined by circular buffer approach for Christianshavn Metro Station in Copenhagen

4. Service Area approach

Using Network Analyst Service Area function for ArcGIS² it is possible to apply a more accurate method to determine the catchment areas for stops than with the circular buffer approach (cf. section 3). In most cases, the road and path network in a city will give a good approximation of the actual walking distance between two locations. The Service Area approach makes it possible to create buffers (or service areas) based on the street network. The Service Area function calculates buffers by determining a point in each branch of the network based on the impedance of each link and interpolating these branch points.

The Service Area approach requires a network dataset. This dataset must be based on a detailed road map describing the streets and paths around the stop. Furthermore, it is necessary to connect the stops to the street network (if the stops are not located directly in the network nodes). This is done by creating connector links between the stop and the surrounding road network. Figure 3 shows how the suburban train station Oesterport in

² Other GIS software have similar functions

Copenhagen is connected to the surrounding road network in the calculations. To make the results as accurate as possible the connectors should resemble the actual station entrances. This is achieved by digitizing the connectors to the points in the road network where actual entrances are. Finally it is necessary to specify the impedance in the network dataset. In this paper the length on each road link is used but in other cases this could be the walking time instead. For the connectors the impedance is set to 0. In this way the buffers are calculated as the chosen distance from each entrance.

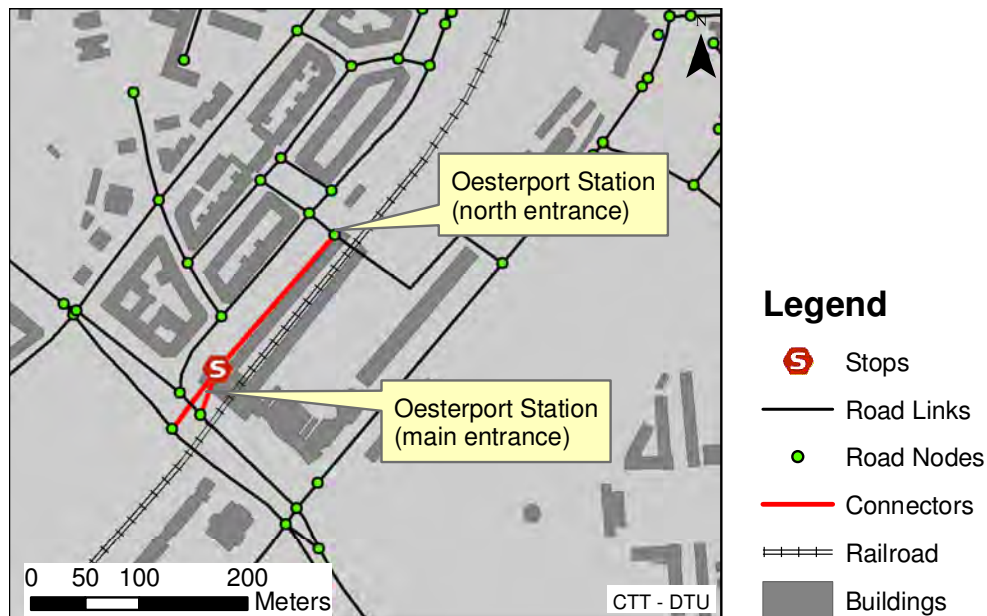


Figure 3 – The digitalizing of entrances for Oesterport Station in Copenhagen

When the network dataset is build the catchment area can be calculated. In figure 4 is illustrated how a simple ArcGIS geoprocessing model can be set up to perform the calculations.

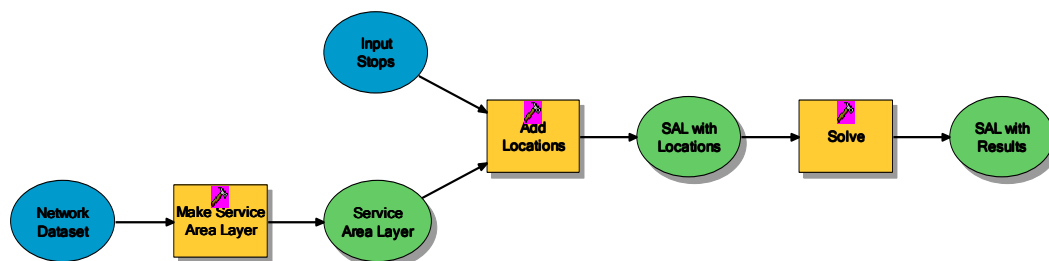


Figure 4 – ArcGIS Service Area Geoprocessing model to calculate catchment areas around stops

Figure 5 shows the catchment area for Christianshavn Metro Station calculated with the Service Area approach. Like for the circular buffers shown in figure 2 it is chosen to divide the catchment area into an inner and outer buffer. The shape of the calculated buffers now corresponds to the road network around them. Furthermore, it can be seen that some of the

areas which in the circular buffer approach was considered within the catchment area are excluded in the Service Area approach. This is due to the limited possibilities for crossing the lakes and canals and corresponds with the fact that people in these excluded areas do not have good access to Christianshavn station.

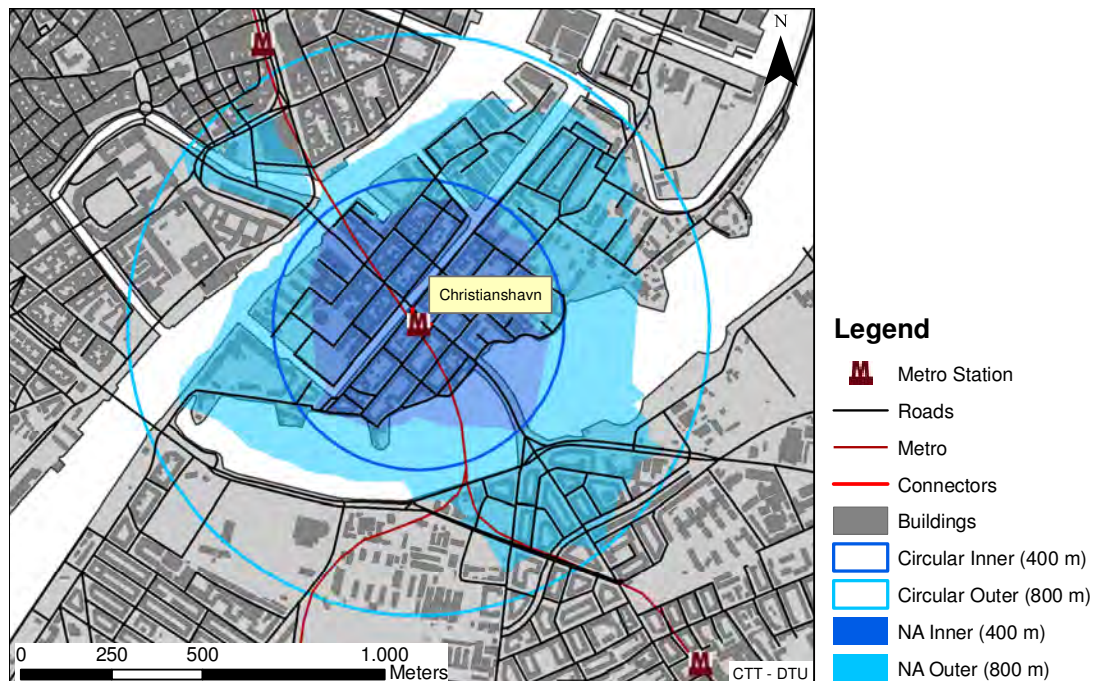


Figure 5 – Catchment area determined by Service Area approach for Christianshavn Metro Station in Copenhagen

5. Comparison of the two approaches

As described above the results of the two approaches differs somewhat. The circular buffer approach (cf. section 3) considers all locations within the chosen distance from the stop to be within the catchment area. The Service Area approach (cf. section 4) will exclude some of these locations due to the geographical surroundings and the detours people have to walk in the actual street network. This means that the circular buffer approach consistently overestimates the size of catchment area and thereby often also the potential number of travellers. When using the circular buffer approach this is sometimes handled by applying a detour factor on the buffer distance. The detour factor is depending on the layout of the streets and geographical barriers in the stops surroundings. Since this can vary a lot from stop to stop and from city to city it is very doubtful that one detour factor can be applied to improve the accuracy of the circular buffer approach in general.

To examine the variation of the detour factor, table 1 shows catchment areas calculated for some selected stations in the Copenhagen area with both the circular buffer approach and the Service Area approach. The proportion between the size of the catchment area calculated by the circular buffer approach and the Service Area approach is also shown in table 1.

Station	Area (600m Circular Buffer)	Area (600m Service Area Buffer)	Proportion
Bispebjerg (S-tog)	1,130,970 m ²	419,879 m ²	0.37
Charlottenlund (S-tog)	1,130,970 m ²	728,505 m ²	0.64
Christianshavn (Metro)	1,130,970 m ²	663,117 m ²	0.59
Dybboelsbro(S-tog)	1,130,970 m ²	596,301 m ²	0.53
Hellerup (S-tog)	1,130,970 m ²	855,473 m ²	0.76
Jaegersborg (S-tog)	1,130,970 m ²	652,961 m ²	0.58
Nordhavn (S-tog)*	1,226,513 m ²	671,198 m ²	0.53
Noerrebro (S-tog)	1,130,970 m ²	842,050 m ²	0.74
Oesterport (S-tog)*	1,327,989 m ²	709,205 m ²	0.54
Sjæloer (S-tog)	1,130,970 m ²	715,351 m ²	0.63
Svanemoellen (S-tog)	1,130,970 m ²	703,817 m ²	0.62
Sydhavn (S-tog)	1,130,970 m ²	654,828 m ²	0.58

(*) Station has more than one entrance

Table 1 – Proportions between the sizes of the catchment area calculated with the circular buffer approach and Service Area approach for a number of stations in the Copenhagen area.

Table 1 show that the proportion between the circular buffer approach and the Service Area approach vary a lot from 0.37 to 0.75. This variation indicates that it is not possible to apply one general detour factor to improve the circular buffer approach (also [6] shows this tendency). Instead a method like the Service Area approach where the actual geographical surroundings are included in the calculations is preferable.

6. Increasing the catchment area

As the catchment area is the area from where (most of) the passengers have origin or destination, it is important for the bus or train operators to have as large a catchment area as possible. The Copenhagen suburban rail operator (DSB S-tog) has found out that the primary catchment area is a 600 meter circular buffer from the stations entrance [2] ([9] works with a catchment area between 400 and 800 meters).

6.1. Additional entrances to stations

Many of the stations at the Copenhagen suburban rail network only have one entrance to the station (in one end of the platform). By establishing an extra entrance in the other end of the platform – about 200 meters away – an additional 20% is added to the primary catchment area if using a 600 meter circular buffer approach [2], cf. figure 6.

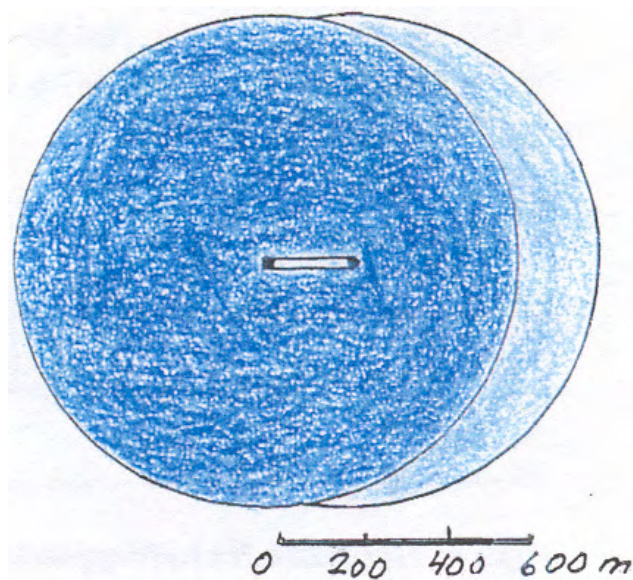


Figure 6 – Catchment area of one versus two entrances to the station [2]

Additional entrances to stations can extend the calculated catchment area for both circular buffers and buffers calculated by the Service Area approach. Figure 7 shows the extension of the catchment area for Herlev Station when adding an extra entrance. The catchment area is calculated for both circular buffers and Service Areas.

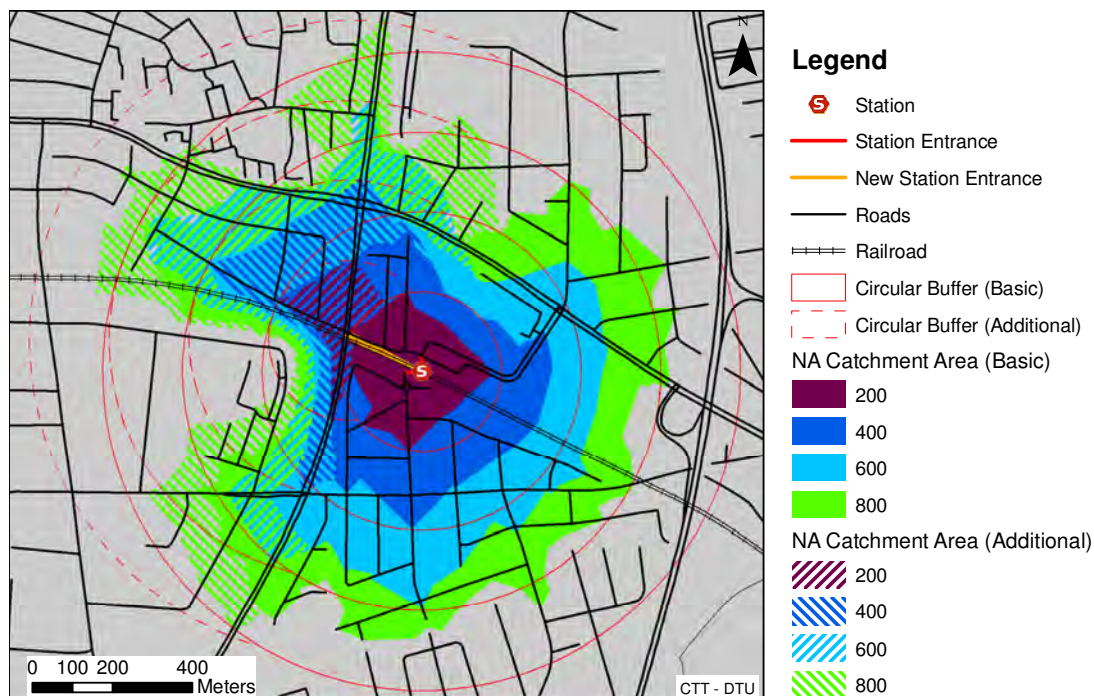


Figure 7 – Change in catchment area when an additional entrance is established at Herlev Station

Figure 7 shows that the catchment area at Herlev Station is extended when an additional entrance is established. In this case the catchment area at Herlev Station is extended by 25% when calculating the catchment area as a 600 meter distance by the Service Area approach.

The 25% extension of the 600 meter catchment area is larger than the 20% extension as the circular buffer situation described (cf. figure 6). The larger extension (in this case) is due to the layout of the street network but in other situations the extension might be smaller than 20% due to another layout of the street network. Increments in catchment areas when establishing an extra entrance to a station are always fixed using the circular buffer approach, while it varies depending on the layout of the streets in the stations surroundings when using the Service Area approach.

The difference of the Service Area buffers when adding an extra entrance to Herlev station is illustrated in figure 8.

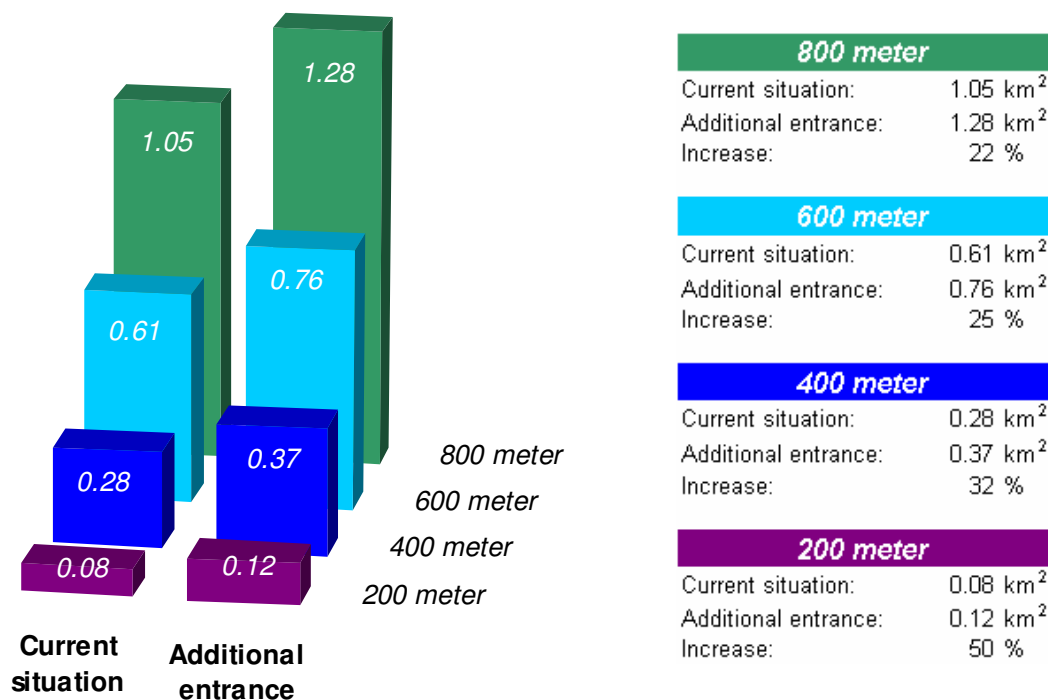


Figure 8 – Change in size of the catchment area when an additional entrance is established at Herlev Station. Calculated by the Service Area approach

6.2. Improving the general accessibility to stops

The catchment area can not only be extended by establishing extra entrances to the stops – it is also possible to extend the catchment area by improving the general accessibility to the stop. This can be achieved by changes in the layout of the streets surrounding the stop. Improving the actual street network can result in shorter and thereby faster access to the stop if e.g. a bridge or a tunnel is established to cross a barrier like a railway or a river/stream.

Figure 9 shows the effect of the catchment area calculated with the Service Area approach with and without the combined bridge and tunnel across the railway at Nordhavn Station³.

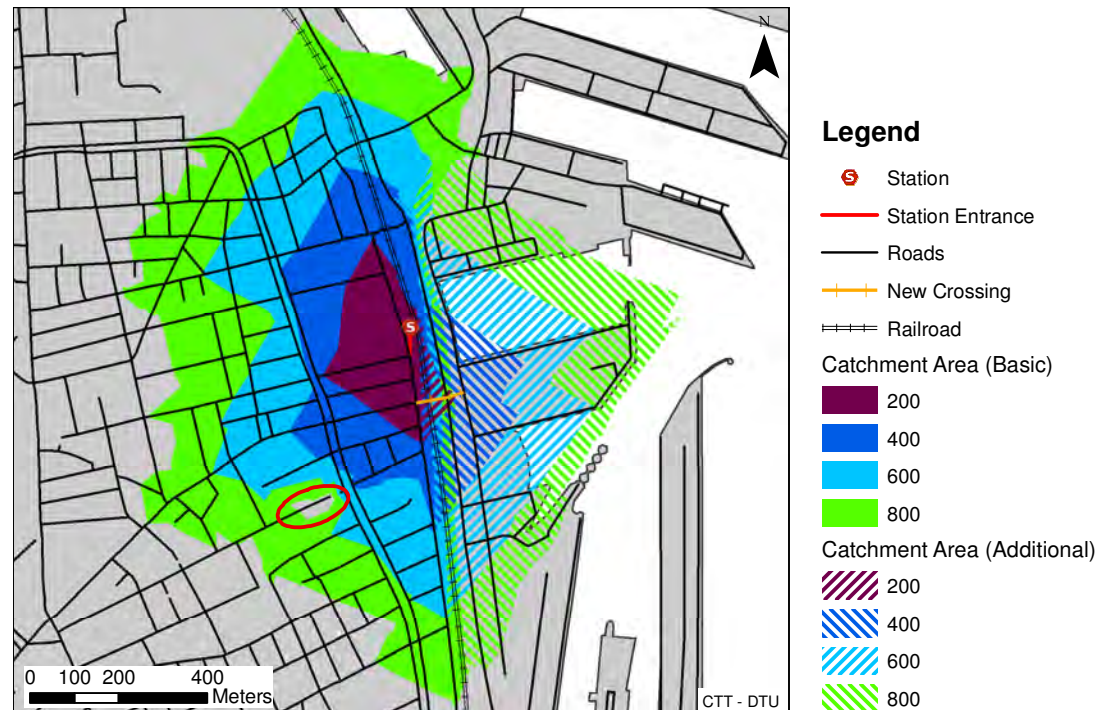


Figure 9 – Catchment area calculated by the Service Area approach with and without a tunnel/bridge to cross the tracks at Nordhavn Station

Figure 9 shows that the catchment area at Nordhavn Station is much larger with the combined tunnel and bridge across the railway at Nordhavn Station⁴. Besides the catchment area extension it is also shown that there might be gaps inside the catchment area which are not included in the catchment area hence the layout of the street network results in a long way to the station; perhaps due to missing links in the network cf. the red circle on figure 9.

Increments of catchment areas by improvements of the street network in a stops surroundings are possible to examine through the Service Area approach while the circular buffer approach will not show any changes in the catchment area.

7. Street Network

Giving that the Service Area is calculated by route searches in the implemented street network, the realism of the result is dependent on the quality of the used GIS network and how well the network represents the actual routes of the feeder traffic to and from the station.

³ This combined tunnel and bridge exists today but it has been temporarily removed in the past due to reconstructions of tracks and roads in the area

⁴ Impedance of stairs is left out of consideration

7.1. Degree of detail

GIS networks can have limitations. For example are minor local streets often excluded in traffic model networks because they are not needed for regional modeling. Furthermore, walk and bicycling are usually the predominantly mode of transportation between the station and the catchment area (e.g. [2] and [9]) and the feeder traffic is, therefore, not only limited to the street network as the motorized traffic. Walking and cycling paths can be used for the feeder purpose as well as the traditional street network. This means that the result of the Service Area network search is very much dependent on the degree of detail in the network and it is recommended that all local streets, walking and cycling paths are included in the used network⁵.

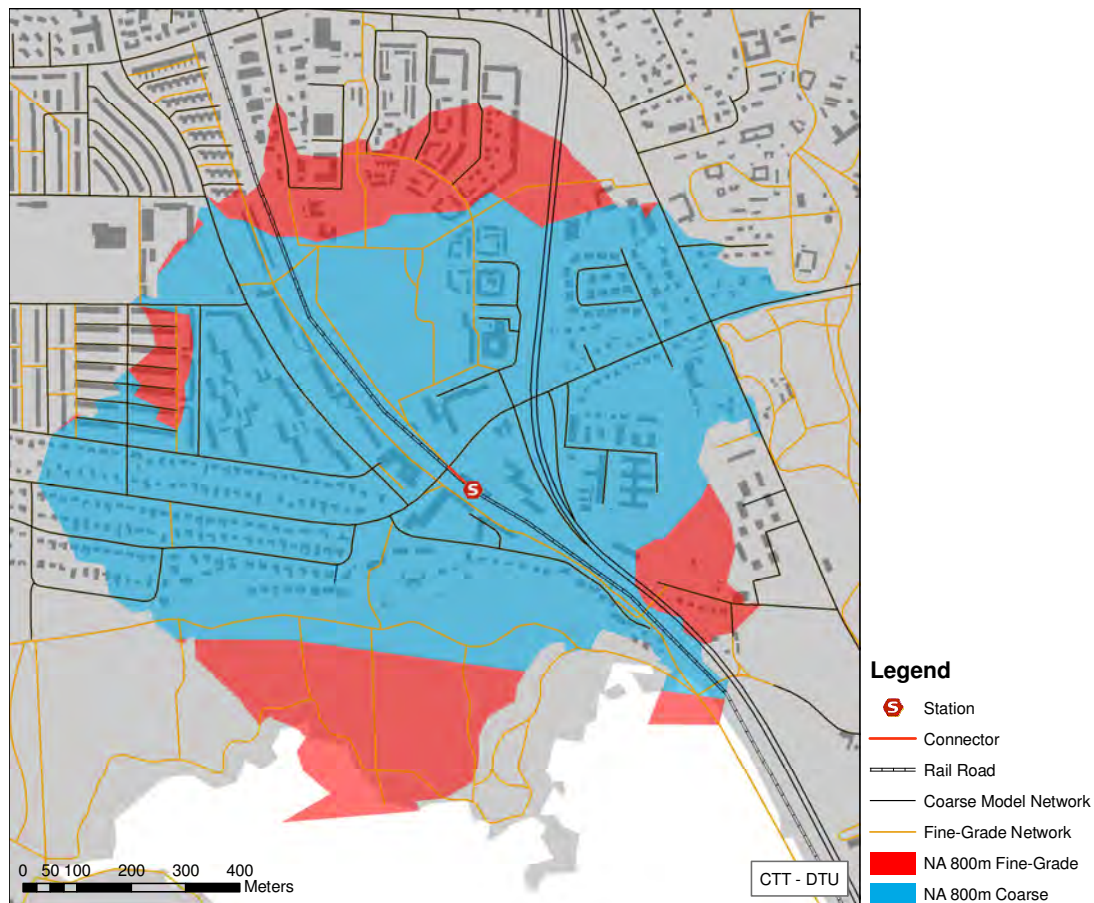


Figure 10 – A more detailed network increases the catchment area at Sorgenfri station

A more detailed network is not only more realistic it can also increase the catchment area as seen in figure 10 at Sorgenfri station. Here local streets and larger paths are implemented in the network⁶ and the catchment area calculated by the Service Area approach increases when using this fine-grade network compared to the catchment area when using a traditional model

⁵ This also means that major roads such as motorways should be excluded in the network search because they do not support conditions for soft road users

⁶ The detailed network is based on the Krak KDV-map of Denmark

street network. In the northern part, the catchment area increases because minor local streets are implemented and in the southern part it increases because paths are included in the network. When calculating potential travellers the increase in the southern part of Sorgenfri station catchment area will have a very little influence (if any) because the increased area is a forest with very few regular potential travellers; thus increments of catchment areas are most relevant in urban areas as in the northern part of the catchment area at Sorgenfri station. However, the case could be that there was an urban area behind the forest and in such a case the additional catchment area could be relevant.

Detailed networks have high importance for the size and the realism of the Service Area calculated catchment area. But one should keep in mind that networks generally are not fully covering the actual routes of the feeder traffic. Travellers often avoid detours by creating their own small paths and sometimes such short cuts can make important connections that do not exist in even very detailed networks. Those connections can have a significant influence on the realism and size of the catchment area. As in many other aspects the best way to obtain the needed information of the network is by observations. Observing the catchment area can reveal those small short cut paths and it is then afterwards possible to implement them in the used GIS network.

7.2. Double digitized roads

Another issue by using Service Area street network search is the double digitized roads. In GIS networks, roads can be double digitized with a link for each direction of traffic. It is rarely used on ordinary two-lane roads because the lanes are not separated and modeling links can be bi-directional. However, in street networks double digitized roads are often used for roads with four lanes or more. Primarily when the directional lanes are physically separated; for example by a central grass verge which is the case on many four-lane roads. This can be a problem in the Service Area street network search. If a four-lane street has a central grass verge it can be used as an island for crossing pedestrians or cyclist. This means that soft road users can cross the street in a straight line. When using the Service Area approach, the searched route has to follow the network. Therefore, the crossing of double digitized streets has to be done through crossing links; possibly forcing the search route on a practical detour as sketch in figure 11.

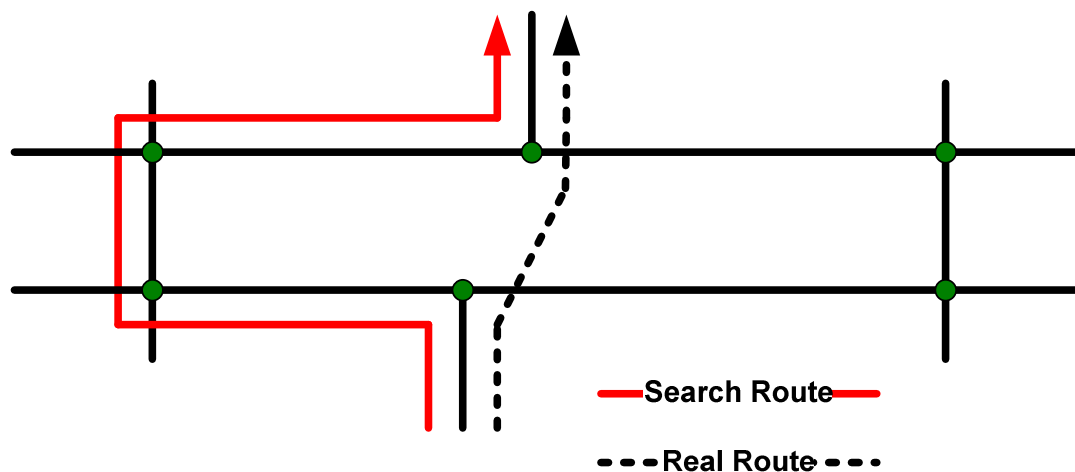


Figure 11 – Service Area network search dilemma on double digitized roads

In such cases the outcome will be a smaller catchment area than the actual catchment area.

However, it is important with knowledge of the implemented double digitized roads. Many four-lane streets are indeed separated by a central grass verge offering good crossing possibilities for the soft road users. For example this is the case on Strandboulevarden close to Nordhavn station. But some four-lane roads actually have the directional lanes separated by a central fence or crash barrier making soft road user crossing almost impossible⁷.

If the network is connected so that crossing of double digitized roads is possible; the catchment area calculated by the Service Area approach might increase as seen on figure 12. Strandboulevarden near Nordhavn station has a central grass verge and is relatively easy to cross for soft road users.

⁷ Note also that on some double digitized roads traffic can be so massive that soft road user crossings are preferable at signalized intersections or pedestrian crosswalks; hence it might be realistic that the network search is forced through existing road links for crossing

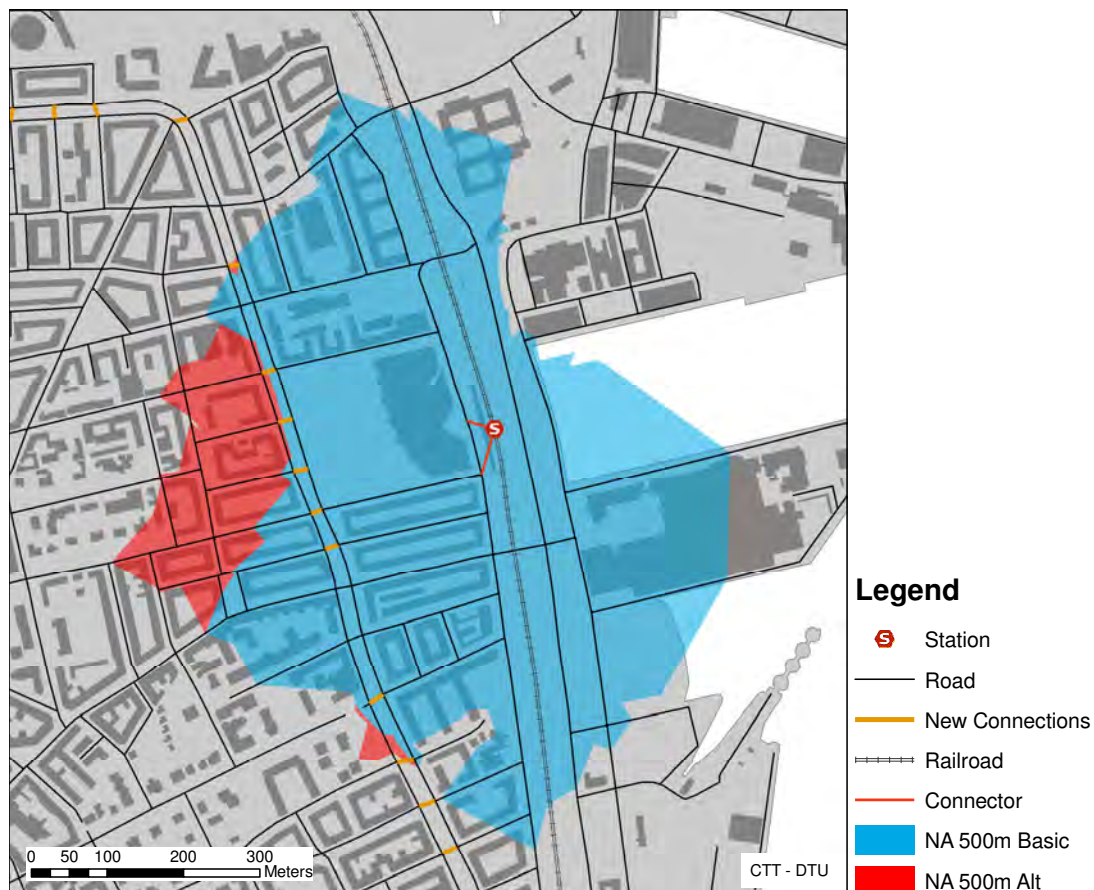


Figure 12 – Crossings of a double digitized road increases the catchment area at Nordhavn station

8. Conclusions

For some years GIS-analyses have been used in the planning process when new stops on e.g. railway lines had to be placed. Using GIS-analyses to place new stops made it possible to place the stops near as many households and workplaces as possible. However, the catchment area of households and workplaces has been calculated as the direct Euclidean buffer distance. Since travel in urbanized areas often is obstructed by physical obstacles and barriers, using a direct Euclidean distance will over estimate the size of the catchment area and thereby the number of potential travellers. This has traditionally been corrected (if at all) by a detour factor reducing the radius of the circular catchment area (catchment areas are sometimes also corrected manually if some kind of barrier has an influence that can not be ignored).

The paper has shown that the detour factor can vary significantly from stop to stop in Copenhagen. Therefore, the traditional circular buffer approach is inaccurate. Fortunately the Service Area approach can calculate the catchment area by travel distance in a street network instead of the Euclidean distance. Using the Service Area approach can improve the accuracy in catchment area calculation if a detailed network is available.

Just like the circular buffer approach the Service Area approach can also calculate the extension of the catchment area by adding an additional entrance to a station. However, the extension in percent using the circular buffer approach and the Service Area approach is not necessarily the same. This is because the layout of the street network is included in the calculations. If it is difficult to get to and from the new station entrance, the catchment area will only be slightly extended using the Service Area approach. On the other hand, if the accessibility to the station is much better at the new station entrance than the old entrance, the proportion of the extension of the catchment area might be larger using the Service Area approach than using the circular buffer approach.

As the Service Area approach uses the street network to calculate the catchment area, it is possible to analyse the improved/worsened accessibility to the stop when changes in the street network is made. The paper has shown that it is possible to extend the catchment area (using the Service Area approach) by making it easier to cross barriers.

The paper has shown that using detailed GIS networks can have an increasing influence on the catchment areas when using the Service Area network search. The more the used network represents the actual routes of the feeder traffic to and from the station the more realistic is the method and when using the Service Area approach for catchment areas it is, therefore, important with a detailed GIS network.

The overall conclusion of this paper is that the accuracy of calculating catchment areas can be improved by using the Service Area approach instead of circular buffers. Furthermore, the Service Area approach makes it possible to examine changes in size of the catchment area when changing the street network – an analysis which was not possible using the circular buffer approach.

9. References

- [1] Andersen, J.L.E., Landex, A. & Nielsen, O.A., Light rail project in Copenhagen – the Ring 2½ corridor, Annual Transport Conference at Aalborg University, 2006
- [2] DSB S-tog, 7 topics of planning for suburban rail traffic, 1995 (in Danish).
- [3] Kejser, K., Better accessibility – more passengers, Transport Conference at Aalborg University, 2006 (in Danish)
- [4] Litman, A.S., Accessibility to the public transport in Copenhagen, Master thesis at Centre for Traffic and Transport at the Technical University of Denmark, 2005 (in Danish)
- [5] Municipality of Copenhagen, Municipality Master Plan for Copenhagen – Urban development strategy, 2005 (in Danish)
- [6] O’Sullivan, S. & Morral, J., Walking Distances to and from Light-Rail Transit Stations, Transport Research record 1538, pp. 19-26.
- [7] Jacobsen, B. & Larsen, F., Catchment areas and traffic model calculations, Annual Transport Conference at Aalborg University, 1999 (in Danish)

- [8] Warburg, V. & Rue, I., Overlapping catchment areas: Determination of passenger potential, Annual Transport Conference at Aalborg University, 2006 (in Danish)
- [9] Wibowo, S.S. & Olszewski, P, Modeling walking accessibility to public transport terminals: Case study of Singapore mass rapid transit, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, volume 6, pp. 147-156, 2005.

Overlappende stationsoplande: Bestemmelse af passagerpotentialer

Valdemar Warburg, stud.polyt., valde@post.com

Iben Rue, stud.polyt., ibenrue@hotmail.com

Center for Trafik og Transport (CTT), Danmarks Tekniske Universitet (DTU)

Bygning 115, Bygningstorvet, 2800 Kgs. Lyngby

Resumé

Ved planlægning af kollektive trafikanlæg indgår bestemmelse af passagergrundlaget som en vigtig del. Passagergrundlaget defineres ved hjælp af passagerpotentialet, som antallet af potentielle passagerer i stationernes oplande. Når flere stationers oplande overlapper, kompliceres situationen, idet der nu opstår konkurrence mellem linierne. Formålet med denne artikel er derfor at opstille nogle generelle formler til beregning af potentialet af overlappende oplande. Disse formler skal bygge på en række antagelser om, hvad der sker i forbindelse med overlap.

Der gøres to vigtige antagelser i den forbindelse. Den første er, at der vil ske en forøgelse af antallet af rejser i områder, som ligger i oplandet for mere en én linie (station). Den anden er, at stationer, hvis oplande overlapper, konkurrerer om kunderne, og at forøgelsen dermed ikke kan overstige 100 %. Forøgelsesprocenten præsenteres herefter som en eksponentielt aftagende funktion af antallet af overlap med den begrundelse, at den skal gå mod 0, når antallet af overlap stiger, men samtidig ikke må blive negativ. For at bestemme de forskellige liniers andele af potentialekoefficienten er der udviklet en funktion, som fastsætter andelen ud fra liniernes attraktivitetsgrader og de overlappende zonekoefficienter.

Potentialet har hidtil, som i Jacobsen og Larsen (1999), været defineret på baggrund af antal arbejdspladser og boliger. I denne artikel foreslås det, at udtrykket udvides med et såkaldt kundeattraktionsled, for at tage hensyn til den andel af rejser, som ikke er bolig-arbejdsstedsrejser. Der kan dog være en del datavanskeligheder forbundet derved.

De udledte formler for potentialerne anvendes i en case med en letbanestrækning i det indre København, hvor der opstilles fem scenarier med forskellige stationsplaceringer. Forskellen mellem den traditionelle oplandsinddeling i nær- og fjernopland, og en mere detaljeret oplandsinddeling med 10 oplandszoner undersøges, og der bliver desuden taget hensyn til overlap i den detaljerede inddeling. Resultaterne viser tydelige forskelle på scenariernes rangorden samt deres indbyrdes afvigelser i potentiale. Dette hænger dog i høj grad sammen med, i hvor høj grad stationsoplandene på en given linie overlapper.

Keywords: Stationsoplande, overlap, passagerpotentialer, potentialekoefficient, kundeattraktion, tilbringergeografi, letbaner, linieføring, attraktivitetsgrad, oplandszone, kollektiv trafik.

1 Indledning

I forbindelse med planlægning af den kollektive trafik er undersøgelser af passagergrundlaget til en given linieføring en vigtig del. Passagergrundlaget er afgørende for bl.a. forventede bil-

letindtægter, og ved valg mellem flere forskellige linier eller linieføringer kan passagergrundlaget vise hvilken løsning, der vil give flest passagerer for pengene. Ofte bruges betegnelsen *stationspotentiale* som mål for passagergrundlaget, og det er beregning af dette potentiale som er hovedformålet med denne artikel.

Den eksisterende litteratur er forholdsvis sparsom på teori om stationsoplande. Der er dog gjort en del betragtninger, navnlig når det gælder spørgsmålet om, hvor langt passagerer er villige til at gå til en station. Ege (1995) har undersøgt tilbringergeografien for 15 forskellige S-togsstationer, og er kommet frem til, at godt 40 % af passagererne går til stationen. Han konkluderer endvidere at gang er dominerende for afstande indtil 600 m fra stationen, og stadig størst indtil 900 m, hvorefter cykel overtager. O'Sullivan og Morrall (1996) beregner en gennemsnitlig gåafstand til stationen på 649 m for byen Calgary som helhed, og på 326 m for dens centrale letbanestationer. Christiansen (2000) får tilsvarende værdier i sin undersøgelse af busstoppesteder. Københavns Kommune (2005) benytter et stationsopland på 600 m i deres planredegørelse for metroringen, mens HUR (2000) definerer en radius på 1000 m fra stationerne i deres stationsnærhedsprincip.

Et relateret emne, som næsten ikke er blevet undersøgt, er, hvordan overlappende stationsoplande bør behandles, både for stationer på den samme linie samt for forskellige linier. Dette har stor betydning når det samlede potentiale for en linie beregnes, idet oplandene ellers vil tælle dobbelt. Schittenhelm og da Silva (2002) bruger en fordelingsnøgle med vurderede vægtninger, som bygger på attraktivitetsgrader for henholdsvis en letbane og et S-tog, samt på to forskellige oplandsafstande. Der regnes dog ikke med en generel potentialeforøgelse pga. bedre tilgængelighed. Rue og Warburg (2004), Johansen (2005) og Andersen (2006) regner også med to oplandszoner (nær- og fjernopland) og indfører en generel (men dog vurderet) potentialeforøgelse for overlap, og Rue og Warburg (2004) lader endvidere de forskellige liniers egenandele blive en funktion af attraktivitetsgrad og oplandsafstand.

Formålet med denne artikel er at forsøge at opstille nogle generelle formler, der kan bruges til at bestemme passagerpotentialer i områder med overlappende stationsoplande, uden brug af på forhånd fastsatte antagelser om for eksempel afstande. Således søges antagelserne ovenfor udvidet til at indeholde et vilkårligt antal overlap, et vilkårligt antal oplandszoner med vilkårlig radius, og ydermere bliver potentialeforøgelsen en funktion af de overlappende oplande. Da udtrykkene udelukkende skal bruges som beslutningsgrundlag for sammenligningen af forskellige linieføringer, er det dog underordnet om det er potentialer eller faktiske passagertal som benyttes, da det vil være differenser, der arbejdes med. Fokus ligger desuden på det samlede potentiale for hvert givent scenarium, dvs. passagergrundlaget for hele linien og ikke fordelt på de enkelte stationer.

Artiklen er opbygget i fire dele. I afsnit 2 defineres begreberne opland og potentiale, som de anvendes i artiklen og det diskuteres, hvilke faktorer der genererer og attraherer passagerer; arbejdspladser, befolkning og den såkaldte kundeattraktionsfaktor. I afsnit 3 gennemgås selve problemstillingen med overlappende stationsoplande, og der udledes matematiske udtryk for den potentialeforøgelse der forekommer ved overlap mellem et vilkårligt antal oplande. I afsnit 4 gennemgås en case fra København, som har til formål at afprøve de formler, der blev udledt i afsnit 3. Afsnit 5 konkluderer på resultaterne.

2 Oplande og potentialer

Et *opland* (eller *stationsopland*) er et areal rundt om en station, hvorfra den kollektive trafiklinie kan forventes at hente sine lokale passagerer. Der ses i denne forbindelse bort fra passa-

gerer der skifter transportmiddel på den pågældende station. Oplandet afgrænses enten ved en cirkel med en given radius, eller en "amøbeform" fremkommet ved beregning af tidsafstand til stationen ved gang (Landex et al., 2006). Oplandet afgrænses sædvanligvis af antagelser om, hvor langt de potentielle passagerer er villige til at gå for at komme til stationen, alternativt hvor meget tid de er villige til at bruge på at komme til stationen. Desuden inddeles oplandet ofte i et nær- og et fjernopland som det ses i for eksempel Landex (2003), Rue og Warburg (2004) og Andersen (2006), men det kan principielt set inddeles i vilkårligt mange zoner, dvs. ringe rundt om stationen (se eventuelt principskitset på Figur 1). Da det desuden antages, at andelen af passagerer i en zone, som er villige til at gå (eller evt. cykle) til stationen, er mindre jo længere væk fra stationen zonen ligger, knyttes der til hver zone en såkaldt *zonekoefficient*, for at tage højde for dette. Zonekoefficienten er en konstant mellem 0 og 1, hvor den nærmeste zone sædvanligvis vil have koefficienten 1. Dette svarer til en antagelse om at 100 % af potentialet bliver udnyttet, når området ligger lige ved siden af stationen.

Potentialet (eller *passagerpotentialet*) angiver et mål for hvor mange potentielle passagerer der er i et givent område. Som det fremgår af nedenstående afsnit, udregnes potentialet som en vægtet sum af antallet af boliger og arbejdspladser i området.

2.1 Befolkning og arbejdspladser

Potentialet skal afspejle de forskellige turformål, passagererne har. I traditionelle trafikmodeller indgår bolig-arbejdsstedsrejser ofte som den væsentligste bidragsyder til den totale trafikmængde (Foller, 1999). De to væsentlige faktorer i potentialet er derfor befolkningsantal og arbejdspladser. Beboede områder genererer ture, og arbejdspladser attraherer ture. Arbejdspladser genererer dog også ture (for eksempel rene erhvervsture), ligesom befolkede områder attraherer ture (for eksempel i form af sociale ture). Arbejdspladser attraherer ydermere passagerer, som ikke er ansatte, men som for eksempel er kunder i butikker. Således synes arbejdspladser at attrahere flere passagerer end befolkningen genererer. Med denne antagelse som baggrund har Jacobsen & Larsen (1999) defineret følgende formel til beregning af potentialet:

$$\text{Potentiale} = \text{Befolkning} + 1,75 \cdot \text{Arbejdspladser} \quad (1)$$

2.2 Kundeattraktion

Den førnævnte tiltrækning af ikke-ansatte til arbejdspladser, kan kaldes for en kundeattraktion. I (1) tages der dog ikke højde for, at rekreative områder også attraherer passagerer. Eksempler på dette er parker, strande og idrætsfaciliteter. Disse områder har ingen eller meget få arbejdspladser, men tiltrækker alligevel passagerer. Derudover antager (1) også at kundeattraktionen er proportional med antallet af arbejdspladser. Dette er måske en realistisk antagelse, når det gælder butikker, hvor der ofte vil være et tilnærmelsesvis konstant antal medarbejdere per kunde. Men ved fx. stadions, teatre, museer og lignende vil der oftest være et andet forhold mellem antal arbejdspladser og antal brugere (kunder). Der kan derfor argumenteres for, at indsætte et ekstra led i (1) som korrigerer for kundeattraktion, der er uafhængigt af antal arbejdspladser. Dermed bliver udtrykket for potentialet:

$$\text{Potentiale} = c_1 \cdot \text{Befolkning} + c_2 \cdot \text{Arbejdspladser} + c_3 \cdot \text{Kundeattraktion} \quad (2)$$

Alternativt kan arbejdspladserne deles op i typer alt efter hvor mange kunder, der attraheres til arbejdspladsen. Dermed kan rekreative arealer anses for at være arbejdspladser med meget få medarbejdere men til gengæld mange "kunder". Dermed ville arbejdspladsleddet se ud som

følger: $c_k \cdot \text{Arbejdsplads}_{\text{type } k}$. Her skal arbejdspladser forstås i en meget bred betydning, således at fx parker og strande også anses for arbejdspladser.

Et andet problem med nogle rekreative områder er, at de oplever en spidsbelastning i en enkelt periode og næsten ingen passagerer i andre perioder. Eksempler på sådanne steder er Parken på Østerbro, Roskilde Festivalplads og Fælledparken på 1. maj. For befolkningsområder gælder det især sommerhusområder, som kun sæsonmæssigt er beboet. Her skal det vurderes hvorvidt spidsbelastningen er stor nok til, at der skal regnes med ekstra passagerer.

Der er således en del usikkerheder forbundet med udtrykket for potentiale, og konstanterne, c_1 , c_2 og c_3 , bør vurderes for hvert enkelt projekt, og hver enkelt by. Problemet med kundeattraktionsleddet er dog, at det ofte vil være svært at finde data. En mulig datakilde for danske projekter er CVR-registret, hvor hver eneste virksomhed er registreret sammen med antallet af medarbejdere. Her kunne virksomhederne opdeles efter type og antal arbejdspladser, og dermed tildeles kundeattraktionsfaktorer. CVR-registret skal dog så overføres til GIS, hvilket er en omfangsrig opgave. Dette taler for at sætte c_3 til 0 og dermed udelukke leddet. Sættes $c_1 = 1$, $c_2 = 1,75$ og $c_3 = 0$ vi ligning (2), fås ligning (1).

3 Potentialekoefficienten for overlappende stationsoplande

Når to eller flere stationers oplande dækker det samme område, kaldes det som nævnt overlappende oplande. Her kan de førnævnte zonekoefficienter ikke bruges, idet der jo er to eller flere zonekoefficienter i det samme område. Der må derfor være en vægtning af zonekoefficienterne, kaldet potentialekoefficienten P_n , hvor n er antallet af stationer, der ligger på forskellige linier, og hvis oplande overlapper.

3.1 Grundlæggende antagelser

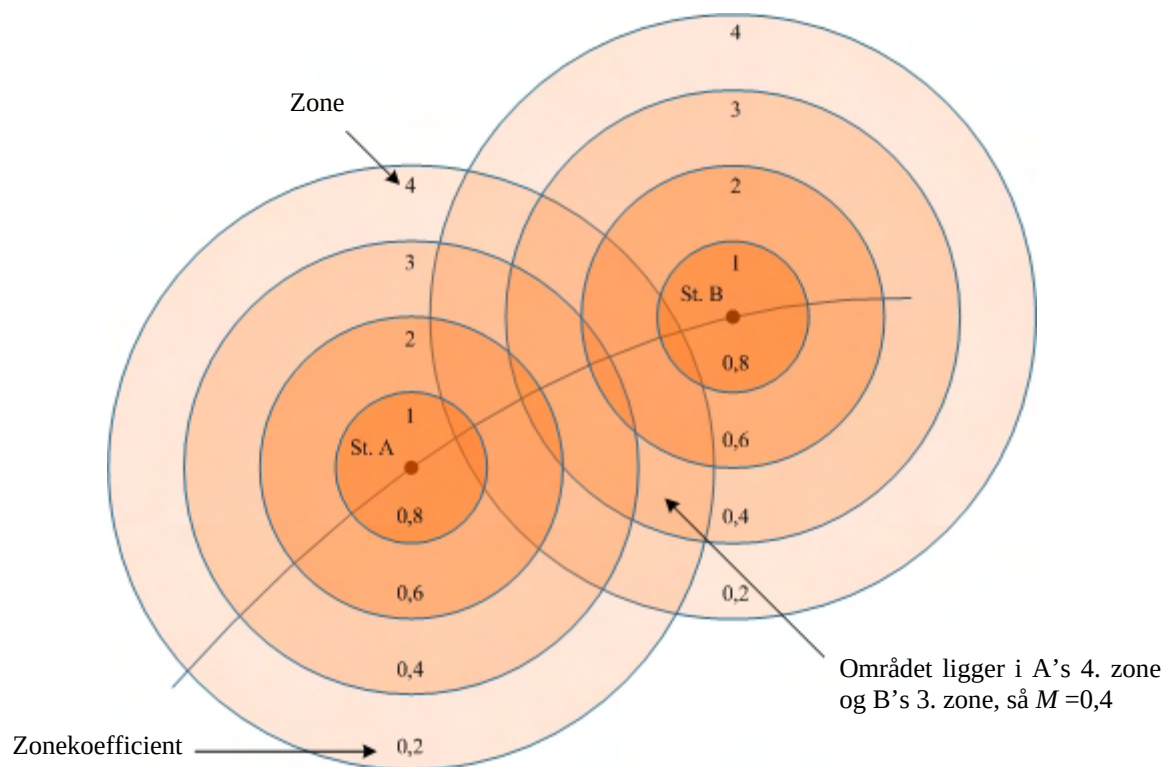
Modellen, som er beskrevet i denne artikel, er opstillet på baggrund af følgende grundlæggende antagelser:

- A. Et overlap mellem to eller flere stationers oplande, hvor stationerne ikke ligger på samme linie, vil skabe en forøgelse i antallet af rejser. For et overlap mellem n stationer fra forskellige linier betyder det, at potentialekoefficienten altid vil være større eller lig den potentialekoefficient, der ville fremkomme, hvis der var en station mindre, dvs.:

$$P_n \geq P_{n-1}$$

- B. Et overlap mellem stationer på samme linie vil ikke skabe en forøgelse. I stedet antages det at passagererne vil vælge den station, som ligger nærmest, og dermed vil den station, der har den zone, der ligger nærmest stationen, og dermed den højeste zonekoefficient, så at sige "vinde" passagerne. Dette er illustreret i Figur 1. Det defineres således at:

M_i = den højeste zonekoefficient i de zoner på samme linie i som overlapper et givent område.



Figur 1 Principskitse af overlap mellem to stationer på samme linie.

- C. Passagererne har aftagende marginal nytte af ekstra stationer (nye linier), hvilket betyder, at forøgelsen omtalt ovenfor vil være aftagende jo flere stationer, der har opland i området. Dvs. at der gælder:

$$P_{n+1} - P_n \rightarrow 0 \text{ for } n \rightarrow \infty$$

- D. Forøgelsen ved overlap, f_i , er ikke konstant pga. antagelse C, men derimod en eksponentielt aftagende funktion af antallet af overlap. Forøgelsen for det i 'te overlap, f_i , er givet ved:

$$f_i = f_2 \cdot e^{-c(i-2)}$$

hvor c er en konstant, der bestemmer hvor hurtigt f_i skal gå mod nul. Jo større c er, desto hurtigere går f_i mod nul. Og når f_i går mod nul, går $P_n \rightarrow P_{n-1}$, jævnfør antagelse C ovenfor. f_2 er defineret som den procentvise forøgelse af potentialet, der antages at ske ved overlap af to stationers oplande, og den kan vælges arbitrært. At funktionen er eksponentiel skyldes at den ikke må blive negativ, da dette ville stride mod antagelse A.

Det kan argumenteres for, at det ikke er antallet af kollektive linier men derimod antallet af "daglige" rejsemål, som afgør hvornår den marginale nytte af en ekstra kollektiv linie bliver nul. Det sker ud fra antagelsen om, at de fleste mennesker kun har et vist antal rejsemål i det daglige som kan betjenes kollektivt, og når alle disse bliver besørget af kollektive linier, vil ankomsten af en ny linie ikke forbedre nytten for den pågældende. Forudsætningen for en potentialeforøgelse er således, at folk kan bruge den nye linie til forholdsvis hyppige rejser. Konstanten c skal fastsættes på baggrund af dette.

- E. Potentialekoefficienten for et område med overlap kan aldrig blive mindre end den højeste af zonekoefficienterne for de enkelte oplade, da det strider mod A, dvs.:

$$P_n \geq \text{Max}(M_1, \dots, M_n)$$

- F. Stationer, hvis oplade overlapper, konkurrerer om bestemte områder, og det betyder at P_n i disse områder aldrig kan blive større end summen af zonekoefficienterne, som er repræsenteret i området, dvs.:

$$P_n \leq \sum_{i=1}^n M_i$$

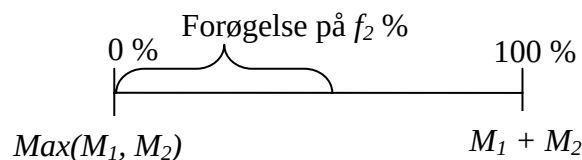
3.2 Bestemmelse af potentialekoefficienter

I det følgende beskrives funktionerne for udregning af potentialekoefficienter i områder, hvor der er overlap mellem to eller flere forskellige liniers oplade.

For et område, hvori kun ét oplad indgår, eller for områder med overlap mellem stationer på samme linie, gælder det ifølge antagelse B, at områdets potentialekoefficient er lig den maksimale zonekoefficient i området:

$$P_1 = M_1$$

For et område, der indeholder oplade fra to forskellige linier, gælder ifølge antagelserne E og F, at potentialekoefficienten, $P_2(M_1, M_2)$, er mindst lig med den maksimale zonekoefficient og højst lig med summen af de to zonekoefficienter. Forøgelsen vil således ligge på et interval mellem disse to værdier, jævnfør Figur 2.



Figur 2 Principtegning af det interval, overlapsforøgelsen ligger i

Den præcise beliggenhed bestemmes hermed af forøgelsesprocenten f_2 , hvilket vil sige at:

$$P_2(M_1, M_2) = \text{Max}(M_1, M_2) + f_2[M_1 + M_2 - \text{Max}(M_1, M_2)]$$

I det følgende antages at $M_1 \geq M_2$, og da fås:

$$P_2(M_1, M_2) = M_1 + f_2 \cdot M_2 \quad , \quad M_1 \geq M_2$$

Ved tre overlappende oplade bliver forøgelsen dermed:

$$P_3(M_1, M_2, M_3) = P_2(M_1, M_2) + f_3 \cdot M_3 = M_1 + f_2 \cdot M_2 + f_3 \cdot M_3 \quad , \quad M_1 \geq M_2 \geq M_3$$

For fire stationer gælder, ved brug af samme antagelser som ovenfor, at:

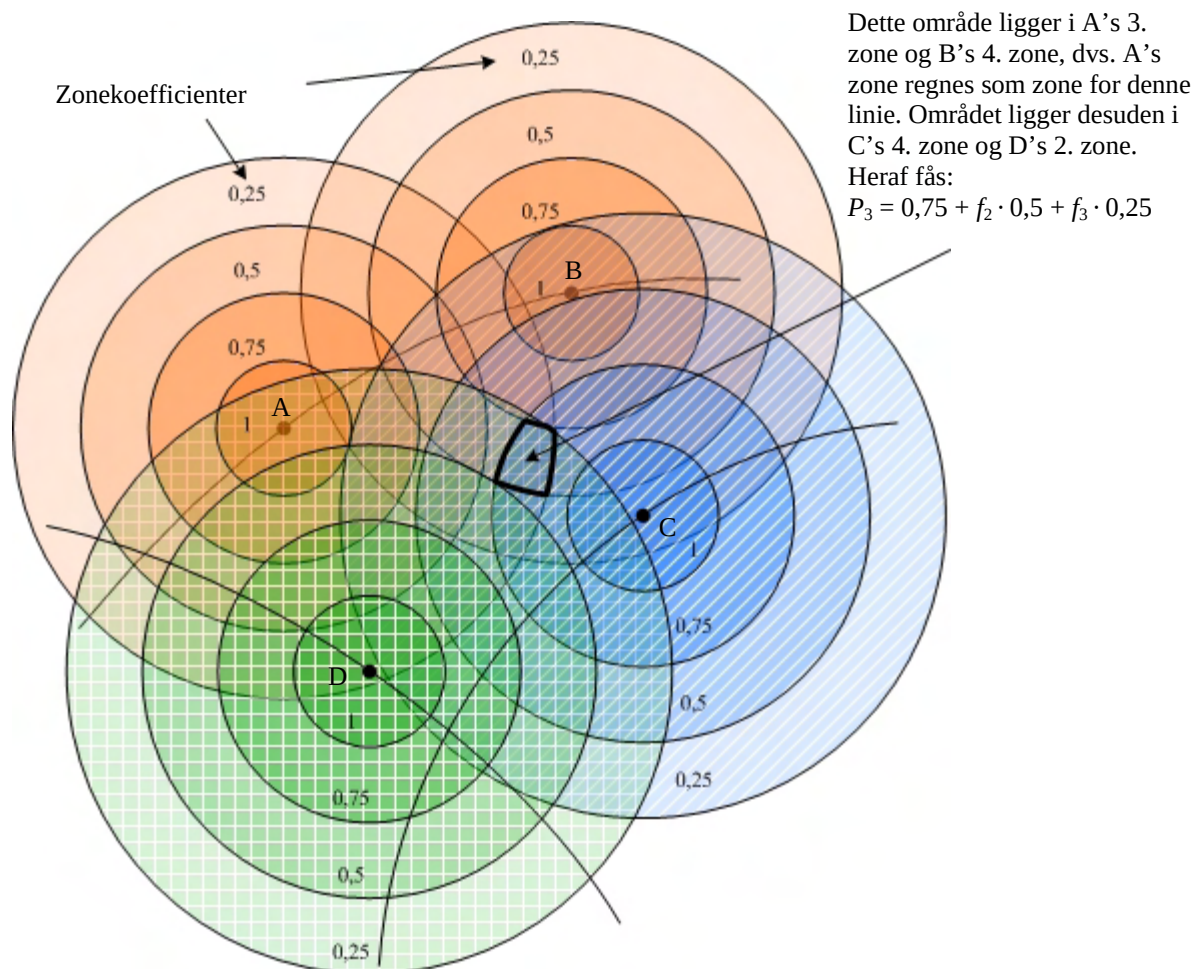
$$\begin{aligned} P_4(M_1, M_2, M_3, M_4) &= P_3(M_1, M_2, M_3) + f_4 M_4 = M_1 + f_2 M_2 + f_3 M_3 + f_4 M_4 \\ &= M_1 + \sum_{i=2}^4 f_i M_i \quad , \quad M_1 \geq M_2 \geq M_3 \geq M_4 \end{aligned}$$

Tilsvarende formler kan udledes for flere oplande, og en generaliseret formel for n overlappende oplande kan da opstilles som:

$$P_n(M_1, \dots, M_n) = M_1 + \sum_{i=2}^n f_i M_i \quad , \quad M_1 \geq M_2 \geq \dots \geq M_{n-1} \geq M_n \quad (3)$$

Grunden til at M 'erne rangordnes er, at antagelse A siger, at den samlede potentialekoefficient altid skal være mindst lige så stor som potentialekoefficienten for alle de overlappende oplande, undtagen den "sidste" tilkommende opland. Derfor bliver det mindste opland nødvendigvis defineret som det "sidste", det næstmindste som det næstsidste osv.¹

Figur 3 viser et eksempel på udregning af potentialekoefficienten i et overlapsområde, hvor der er tre forskellige linier (orange, blå og grøn), dvs. $n = 3$, fordi station A og B ligger på den samme linie.



Figur 3 Eksempel på udregning af potentialekoefficienten for tre overlappende oplande

¹ Bemærk at det egentlig ikke giver mening at tale om det "sidst tilkommende" opland, idet alle oplande antages at være "til stede" fra start af.

3.3 Bestemmelse af liniernes andele af potentialekoefficienten

Den samlede potentialekoefficient for det overlappende område, som blev bestemt i afsnit 3.2 kan deles mellem de konkurrerende linier, for derved at kunne bestemme de enkelte liniers potentiale. Hvordan disse andele bestemmes, udredes i dette afsnit. Der gælder at potentialekoefficienten P_n er lig summen af de enkelte stationers potentialekoefficienters andele, p_i , det vil sige:

$$P_n = p_1 + p_2 + \dots + p_i + \dots + p_n = \sum_{i=1}^n p_i \quad (4)$$

Fra (4) kan det udledes at en vilkårlig potentialekoefficientandel p_i har værdien:

$$p_i = P_n - p_n - p_{n-1} - \dots - p_2 - p_1 = P_n - \sum_{j \neq i}^n p_j \quad (5)$$

Der gælder to antagelser om de forskellige andeles vægtning i forhold til hinanden:

- G. Transportmidlet, som andelen hører til, har en attraktivitetsgrad, som er kendetegnet ved afstanden A_i fra stationen til den yderste oplandszone (dvs. den maksimale afstand passagererne er villige til at gå). Der gælder derfor at linie i 's andel er A_i/A_j så stor som linie j 's andel. Alternativt kan A_i vælges som en arbitrær konstant for hver linie.
- H. De zoner for henholdsvis linie i og linie j , med zonekoefficienterne M_i og M_j , som det overlappende område indeholder, afgør et yderligere attraktivitetsforhold. Der gælder derfor at linie i 's andel er M_i/M_j så stor som linie j 's andel (udover antagelse G).

Fra de to antagelser fås, at potentialekoefficientandelen for linie i er:

$$p_i = \frac{A_i}{A_j} \cdot \frac{M_i}{M_j} p_j \quad \forall \quad i, j \in \{1, \dots, n\} \quad (6)$$

Af (5) og (6) fås:

$$p_i = \frac{P_n}{1 + \frac{\sum_{j \neq i}^n A_j M_j}{A_i M_i}} \quad (7)$$

Potentialekoefficientandelen for en vilkårlig linie kan således udregnes ved brug af den totale potentialekoefficient (P_n), attraktivitetsgraderne for de overlappende linier ($A_1 \dots A_n$) samt de overlappende zonekoefficienter ($M_1 \dots M_n$).

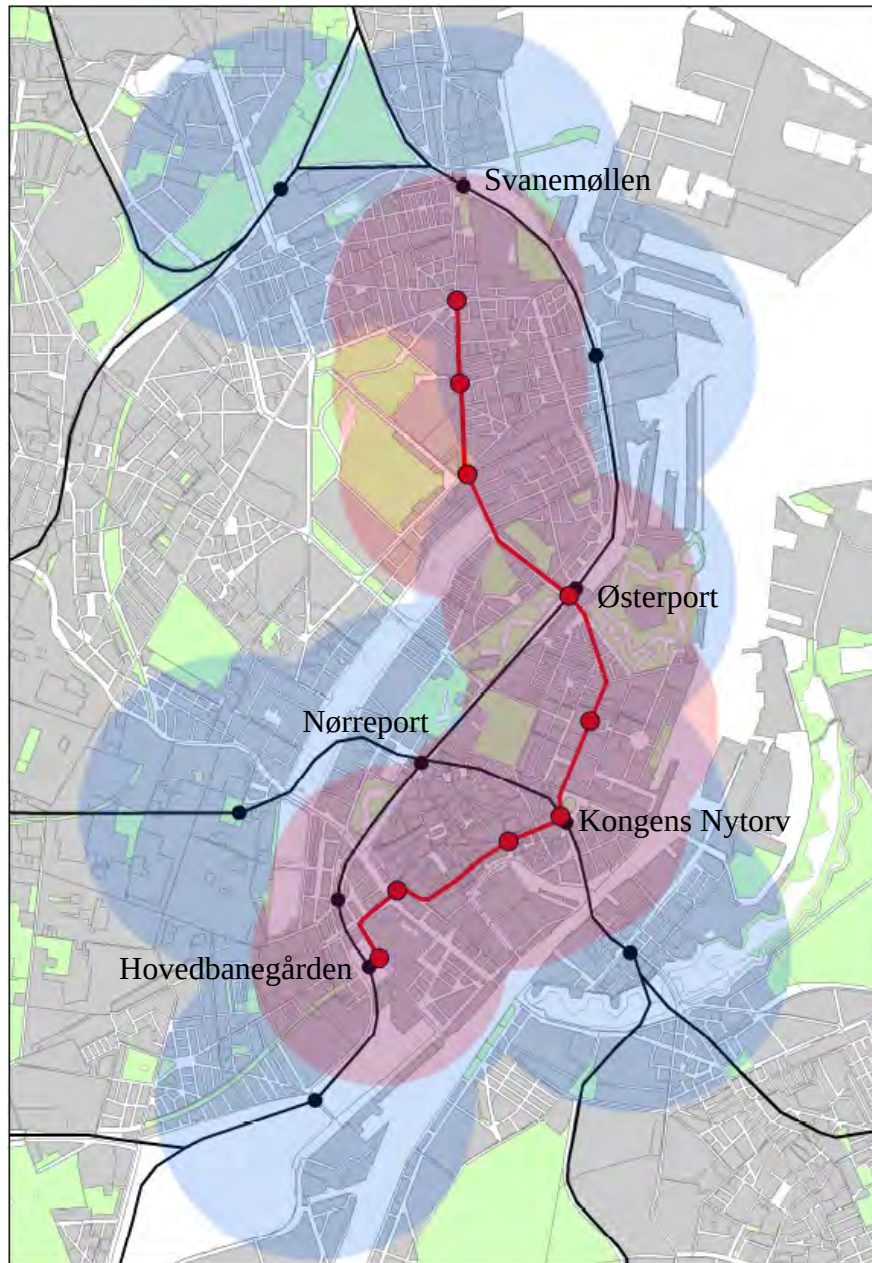
Potentialekoefficientandelen skal derefter ganges på rejsepotentialet som udtrykt i (2). Af (2) og (7) fås herved den samlede potentialeandel for linien i :

$$\text{Potentialeandel for } i = p_i(c_1 \cdot \text{Befolkning} + c_2 \cdot \text{Arbejdspladser} + c_3 \cdot \text{Kundeattraktion}) \quad (8)$$

4 Case: Kollektiv trafikløsning i det indre København

Som case er det valgt at arbejde med en højklasset skinnebåren kollektiv trafikløsning i det indre København. Linieføringen ligner på visse punkter linieføringen for den kommende me-

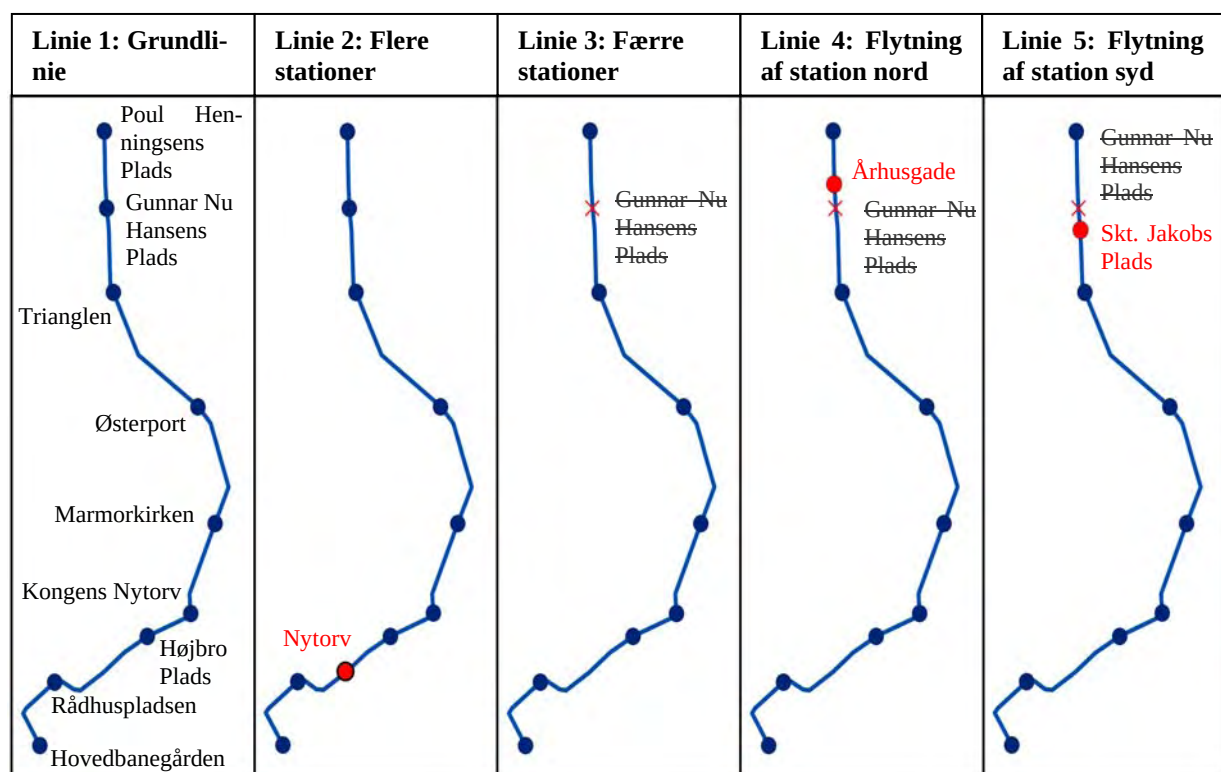
trolinie, Cityringen (Transport- og Energiministeriet *et al.*, 2005), men vil i denne artikel blive omtalt som en letbane. Da casens formål er at undersøge potentialer, er transportmidlet imidlertid underordnet. Letbanens linieføring er vist på Figur 4 sammen med S-togs- og metronettet. For de to sidstnævnte gælder, at oplandets yderste grænse ligger ved 1000 m fra stationen (som i HUR, 2000). I princippet kan denne afstand dog vælges frit, og letbanens ydre oplandsgrænse er valgt til 800 m, ud fra en antagelse om, at den ikke er så højklasset (attraktiv) som de andre (se Rue og Warburg, 2004).



Figur 4 Den valgte linieføring med afstanden til yderste oplandszone indtegnet

Letbanens linieføring er valgt således, at hovedparten af dens opland overlapper med oplandene fra S-tog og metro. Det er desuden valgt at undersøge fem scenarier for fordeling af stationerne på linien. De fem scenarier er beskrevet i Figur 5, og de består af en grundlinie samt fire alternative standsningsmønstre, kaldet alternativscenarierne. I to af alternativscenarierne er der fjernet eller tilføjet en station, og i to er en stations placering flyttet. Dette er gjort for at

tydeliggøre, hvilken effekt ændringer af en enkelt station har i forhold til det samlede potentiale.



Figur 5 Oversigt over de fem scenarier

Der er i denne case ikke regnet med et kundeattraktionsled ved udregning af potentialet. Dette skyldtes mangelfulde data, idet CVR-registret ikke er overført til GIS. I stedet er formel (1) benyttet. Det er desuden valgt at arbejde med cirkulære oplande i stedet for tidsafhængige oplande som i Landex *et al.* (2006). Casen skal nemlig tydeliggøre konsekvensen af at regne med overlappende oplande, og her er princippet det samme, uanset om der bruges cirkulære eller tidsafhængige oplande.

4.1 Grov eller fin oplandsinddeling

Der regnes på to forskellige oplandsinddelinger, en grov og en fin inddeling. Den afgrænsende afstand, vist på Figur 4, er den samme for de to inddelingsformer, hvilket gør det hensigtsmæssigt at sammenligne de to.

Den grove oplandsinddeling er kendetegnet ved at S-togs- og metrooplandene inddeles i et næropland og et fjernopland, afgrænset ved henholdsvis 500 og 1000 m. Letbaneoplandene inddeles i et næropland og fjernopland, afgrænset v. hhv. 400 og 800 m. For alle oplande gælder det at nærolandet har potentialekoefficienten 0,8 og fjernoplandet 0,3. Der regnes ikke med forøgelse af potentialet ved overlap.

For den fine oplandsinddeling gælder det, at S-togs- og metro-oplandene inddeles i ti zoner hver på 100 m. Letbaneoplandene inddeles i ti zoner hver på 80 m. For alle oplandene gælder det, at den inderste zone har potentialekoefficienten 1, den næste 0,9 osv. ud til yderste zone, som har koefficienten 0,1. Der regnes med forøgelse ved overlap som angivet i afsnit 3.1, f_2 er her sat til 40 %, hvilket giver følgende formel for f_i :

$$f_i = 0,4 \cdot e^{-\frac{1}{2}(i-2)}$$

At konstanten c er sat til $\frac{1}{2}$ medfører at f_i vil være tæt på 0 for $n = 7$, hvilket virker fornuftigt ud fra den betragtning at det syvende transportmiddel kun udgør en marginal lille ekstra nytte.

4.2 Resultater

Resultaterne af beregningerne kan for alle scenarierne udtrykkes som en samlet potentialeandel til letbanen, som udregnet i (8). Disse er vist i Tabel 1.

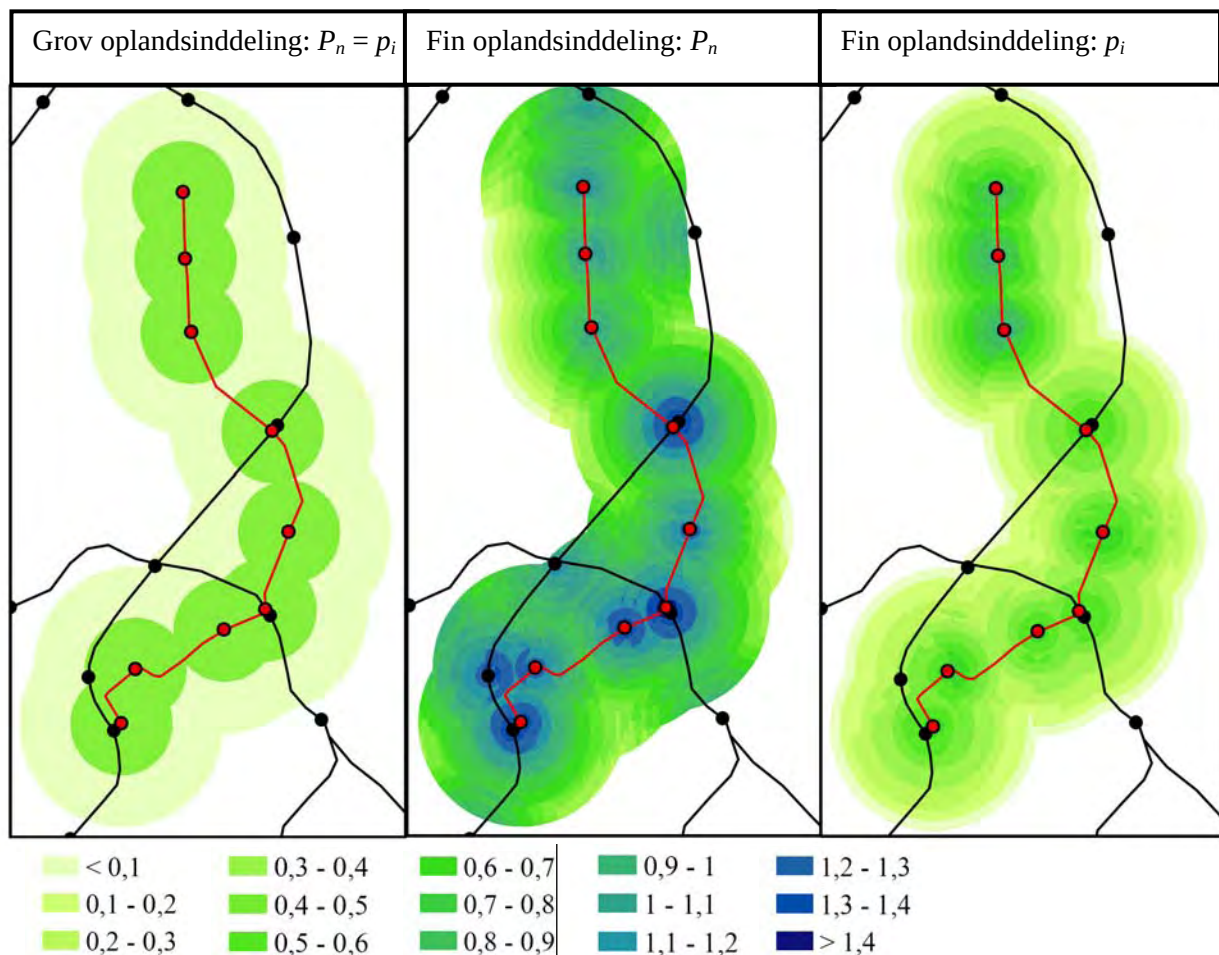
Samlet potentialeandel for letbanen samt procentvis differencer mellem scenarierne					
Oplandsinddeling	Linie 1: Grundlinie	Linie 2: Flere stationer	Linie 3: Færre stationer	Linie 4: Flytning af station nord	Linie 5: Flytning af station syd
Grov oplandsinddeling	269.573	269.717 (+0,053 %)	268.559 (-0,376 %)	269.531 (-0,015 %)	269.512 (-0,022 %)
Rangorden	2	1	5	3	4
Fin oplandsinddeling	123.457	126.667 (+2,601 %)	119.984 (-2,813 %)	123.088 (-0,299 %)	123.315 (-0,115 %)
Rangorden	2	1	5	4	3

Tabel 1 Resultatskema med samlet potentialeandel for letbanen og procentvise afvigelser fra grundlinien

Det ses af Tabel 1, at potentialeandelene er meget forskellige, alt efter om den grove eller den fine oplandsinddeling benyttes. Ved den grove oplandsinddeling er tallene omtrent dobbelt så store som ved den fine. Dette skyldes formentlig, at der ved den grove metode ikke afgives potentiale til de konkurrerende linier, og derfor bliver tallene højere. Det er dog vigtigt at nævne, at det ikke er værdierne i sig selv, der er interessante, men derimod forholdet mellem dem, som muliggør en enkel sammenligning af de forskellige scenarier.

Med hensyn til de procentvise afvigelser (angivet i parentes i Tabel 1) synes den fine oplandsinddeling også at give mere fornuftige resultater. Det er mere realistisk med en forøgelse i potentialet på ca. 2,6 % end på 0,053 % ved indføring af en ekstra station, idet der i alt er 9 stationer, og derfor måtte en intuitiv, simpel vurdering ligge nærmere $1/9 = 11$ % forøgelse (forudsat at alle stationer bidrager lige meget, og at de slet ikke overlapper, men er komplet isolerede fra hinanden). En forøgelse på en halv promille svarer til at en ekstra station blev tilføjet til en linie med 2000 stationer (igen forudsat at alle stationer bidrager lige meget til potentialet). Den store forskel i variationerne skyldes, at der i den grove oplandsinddeling ikke regnes med konkurrerende oplade, og derfor ændres den eksisterende sum af opladene for de fælles stationer næsten ikke, selvom der tilføjes eller fjernes en enkelt station. Den fine oplandsinddelings potentialekoefficienter ændres derimod ved, at der kommer en ekstra station, idet disse nu både bliver forøget, og kommer til at konkurrere. En grov oplandsinddeling kan således lede til den konklusion, at det ikke spiller en større rolle hvilket scenarium der vælges, idet de procentvise afvigelser fra grundlinien er meget små. Forskellen mellem de to metoder ville dog nok ikke være så stor, hvis letbanen var lagt i et område uden konkurrence fra andre linier, idet resultaterne vil afhænge af, dels hvor stort arealet af overlappende oplade er, og dels hvor mange oplade, som overlapper på et givent sted.

I Figur 6 vises de udregnede potentialekoefficienter (P_n) samt letbanens potentialekoefficient-andele (p_i) både for den fine og den grove oplandsinddeling for Grundlinien.



Figur 6 Oversigt over potentialekoefficienterne (P_n) samt potentialekoefficientandelene (p_i) for fin og grov oplandsinddeling for Grundlinien

Det første kort på Figur 6 viser potentialekoefficienterne for den grove oplandsinddeling. Her er de totale potentialekoefficienter, P_n (0,8 og 0,3) lig med letbanens andel, p_i , idet der ikke regnes med overlap. Det andet kort viser de totale potentialekoefficienter, P_n for den fine inddeling. Her ses det tydeligt, at der er en stor potentialeforøgelse i de områder, hvor to eller flere linier overlapper (for eksempel ved Kongens Nytorv og Østerport). Det tredje kort viser letbanens andel, p_i , for den fine oplandsinddeling. Det er således dette kort, der skal sammenlignes med det første kort, for at klarlægge forskellen mellem den grove og fine inddeling. Det ses, at de områder hvor der ikke er så stor konkurrence fra andre baner (dvs. fra Trianglen til Poul Henningsens Plads) får en højere potentialeandel, end de steder hvor den totale potentialekoefficient på kort 2 er stor, og hvor der dermed er større konkurrence, hvilket giver en mindre potentialeandel til letbanen.

I Tabel 1 er scenarierne rangordnet, og det ses at de rangerer forskelligt i forhold til hinanden alt afhængig af oplandsinddelingsformen – Linie 4 rangerer højere end Linie 5 for den grove oplandsinddeling, mens det omvendte gør sig gældende for den fine oplandsinddeling. Dette er igen et tegn på at der er en forskel mellem at bruge den grove og den fine oplandsinddeling. Konsekvensen kan i sidste ende blive at forskellige stationsplaceringer vælges, alt efter hvilken metode der benyttes.

5 Konklusion og perspektivering

Analyser af stationsoplande bliver i stigende grad brugt ved vurdering af store kollektive trafikprojekter. Ud fra det samlede oplandsareal kan passagerpotentialet beregnes, og således kan forskellige linieføringscenarier sammenlignes. Der har dog i tidligere litteratur været en udbredt grad af usikre antagelser forbundet hermed. Med denne artikel er det forsøgt at udvikle nogle generelle matematiske udtryk for beregning af potentialer i stationsoplande, navnlig med fokus på overlappende oplande.

De udledte formler har taget udgangspunkt i en række antagelser af, hvad der sker når flere stationers oplande overlapper. De grundlæggende antagelser er, at der sker en forøgelse af antallet af rejser i områder med overlap mellem stationer på forskellige linier, samt at passagererne har aftagende marginal nytte af ekstra stationer. Med hjælp fra disse og andre antagelser opstilles en generel formel for potentialekoefficienten P_n , for n overlap, givet ved:

$$P_n(M_1, \dots, M_n) = M_1 + \sum_{i=2}^n f_i M_i \quad , \quad M_1 \geq M_2 \geq \dots \geq M_{n-1} \geq M_n$$

Ved bestemmelse af de forskellige liniers andele af potentialekoefficienten, p_i , er der udviklet en funktion af liniernes attraktivitetsgrader, A , og de overlappende zonekoefficienter. p_i er givet ved:

$$p_i = \frac{P_n}{\sum_{j \neq i}^n A_j M_j + 1 + \frac{A_i M_i}{A_i M_i}}$$

For at belyse forskellen mellem den traditionelle oplandsinddeling i nær- og fjernopland og en finere oplandsinddeling samt værdien i at tage hensyn til overlap, er der gennemgået en case med en letbanestrækning i det indre København. Fem scenarier med alternative stationsplaceringer er undersøgt, og resultaterne viser, at rangordenen af scenarierne bliver forskellig, alt efter om den grove eller fine metode benyttes. Endvidere viser resultaterne, at de indbyrdes forskelle mellem potentialerne i scenarierne er urealistisk små (fra 0,02 % til 0,37 % afvigelse) ved den grove metode i forhold til den fine metode (0,12 % til 2,81 %), hvilket primært er relateret til den manglende beregning af potentialeforøgelse og konkurrence ved overlap. Det konkluderes på den baggrund, at den fine oplandsinddeling, hvor der tages højde for overlap, giver mere realistiske resultater.

Selvom det er lykkedes at opstille nogle generelle formler til bestemmelse af potentialet, er der dog stadig emner, som kan udbygges i forhold til de fundne resultater. Det drejer sig blandt andet fastsættelse af konstanten c , som angiver hvor hurtigt overlapsforøgelsen skal gå mod 0, samt empirisk bestemte værdier af selve overlapsforøgelsen, f_2 . Derudover kan det være interessant at sammenligne resultaterne fra casen med tilsvarende lavet med tidsafhængige oplande.

6 Referencer

Andersen, J. L. E. (2006). *Letbaneprojekt i København – Ring 2½-korridoren*. Eksamensprojekt ved Center for Trafik og Transport, DTU, Lyngby.

Christiansen, H. (2000). *Tilbringergeografi ved busstoppesteder*. Eksamensprojekt ved Institut for Planlægning, DTU, Lyngby.

Ege, H. (1995). *Transportmåde til station*. Seminar, DSB S-tog.

Foller, J. (1999). *TU 1996-97. Resultater fra Transportvaneundersøgelsen*. Vejdirektoratet, København.

Hovedstadens Udviklingsråd (HUR) (2000). *Trafikplan 2003*. Valby.

Jacobsen, B. og Larsen, F. (1999). Stationsoplands- og trafikmodelberegninger. Præsenteret ved Trafikdage på Aalborg Universitet, 1999, Aalborg.

Johansen, H. M. (2005). *Vurdering af Letbane Lyngby-Vedbæk/Skodsborg. Forlængelse af Ring 3*. Studenterrapport ved Center for Trafik og Transport, DTU, Lyngby.

Københavns Kommune (2005). *Planredegørelse for den kollektive trafik i København*. Københavns Kommune.

Landex, A. (2003). *To nye S-togsspor gennem København*. Præsenteret ved Trafikdage på Aalborg Universitet, 2003, Aalborg.

Landex, A., Hansen, S. og Andersen, J. L. E. (2006). Examination of catchment areas for public transport. Præsenteret ved Trafikdage på Aalborg Universitet, 2006, Aalborg.

O'Sullivan, S. og Morrall, J. (1996). Walking Distance to and from Light-Rail Transit Stations. *Transportation Research Record*, vol. 1538.

Rue, I. og Warburg, V. (2004). *Letbaneprojekt Buddinge – City – Ny Ellebjerg*. Studenterrapport ved Center for Trafik og Transport, DTU, Lyngby.

Schittenhelm, R. og da Silva, R. (2002). *Letbanering i indre København*. Præsenteret ved Trafikdage på Aalborg Universitet. Aalborg.

Transport- og Energiministeriet, Finansministeriet, Københavns Kommune, Frederiksberg Kommune, og HUR (2005). *Udredning om Cityringen – Resumérapport*. København.

Forfatterne ønsker at takke Alex Landex, phd-studerende ved Center for Trafik og Transport, DTU for inspirerende samtaler i forbindelse med projektet.

Traffic Culture: Law, Morality and Actual Behaviour

PhD student Anette Jerup Jørgensen
Institute of Sociology, Social Work and Organisation
Aalborg University, Denmark
E-mail: jerup@socsci.aau.dk

Abstract

This paper is about culture of automobility and is based on a qualitative and quantitative enquiry carried out in Northern Jutland, Denmark 2005. The paper presents information about traffic culture in Denmark, theoretical and methodological reflections on traffic safety. The purpose of the paper is to present a sociological view of the Danish traffic culture and it is constructed around three basic issues. The first is how drivers relate to legal standards and moral norms in traffic. The second the possibilities and constraints of legal standards and moral norms to regulate the behaviour of drivers and the final issue is how this influence the risk of traffic accidents among drivers. Since most accidents occur with two or more drivers it is important to bring attention to social patterns of interaction and the ability of normative practises to regulate the behaviour of drivers. It is an almost absent perspective in current research concerning traffic safety.

Pronouncements about the Danish Traffic Culture

Since the mid-nineties there has been a fierce debate in the media and in the population about Danish drivers being egoistic, ruthless, and self-opinionated when interacting in traffic. Both representatives from rescuers, road menders and traffic police describe the traffic culture as a war of everyone against everyone else, where everyone demands one's rights and if someone tries to elbow past it is perceived as an intervention against the driver's personal freedom (Allingstrup 2002, 8; Jensen 2002).

Often the alleged increasing problem with drivers being egoistic, ruthless and self-opinionated is assumed to increase the probability of severe traffic accidents (Lang 2003). There is, however, no scientific evidence of a correlation between the increase in egoistic behaviour and the number of accidents because while the drivers are supposed to have become more egoistic, ruthless, and self-opinionated, the accident rate has decreased and has not been lower since the end of the forties. The argumentation in the media can therefore be seen as counter-factual morality with the objective to denounce deviants in order to maintain social order (Tonboe 1997, 68). But the question is what values and norms are regulating driver behaviour? Studies of interaction and moral norms in the

traffic cultures are almost nonexistent and it is therefore an interesting field to investigate from a sociological point of view.

Focus

The main purpose of this study is to present a sociological view of the Danish traffic culture by elucidating in what way morality can be used to regulate driver behaviour according to other ways of regulation. In order to do that, the relation between law, morality, and actual behaviour has been examined. More specifically the study answers the following questions:

1. *What moral norms do exist about interaction among drivers and how is the relation between law and morality?*
2. *What influence does law and morality have for the drivers individual strategies in interaction?*
3. *In case of drivers' deviance, do they legitimise their actions and if so – how do they legitimise it?*

In reference to the first question, I have examined the relation between law and morality. At first sight I expected a certain consistency between law and morality. For instance the drivers can agree that one ought to be considerate when interacting with others in traffic. But the perception of consideration can vary in different situations, different periods of time and according to whom is interacting. We are all equal in compliance to the law, but morally there can be a difference between the rights drivers have, take and are given in interaction.

In the case of the second question, I have examined whether drivers actual strategies for actions commensurate with moral interaction norms. Drivers do not necessarily maintain these norms when in traffic or consider it to be in their own interest to do so. Therefore, I presumed that drivers' deviances from law and morality takes place to higher or lesser extend and that their actions are more or less normatively regulated. However, deviance from the law would not necessarily be perceived as morally unacceptable.

This leads to the third question by which I have examined the drivers' strategies for legitimising deviance. I presumed that a deviation from the law could be morally acceptable and consequently it would not be exposed to condemnation unlike deviances from moral norms that are perceived as illegitimate egoistic action. I assumed that the illegitimate actions would take place due to the fact that interaction in traffic is mostly anonymous and the risk of being subjected to social sanctions in traffic is almost nonexistent. As a consequence the drivers can act in a more egoistic manner when interacting in traffic in difference to other social relationships.

Methodology

In order to illuminate the research questions I have used a triangulation of methods including filmic observation of actual driver behaviour, quantitative questionnaires to drivers, and focus group interviews with both drivers and driving instructors. The different data sources have supplemented and validated one another, whereby the relation between laws, moral, and actual behaviour in driving culture has been elucidated to best effect.

The questionnaire contains questions about how the respondent believes one ought to behave in interaction, how he/she perceives others actions and specifications about the respondents own typical actions when interacting in traffic. The questionnaire has been send to a stratified selection of 200 drivers in the age 18-73 years selected by the central register of motor vehicles – half of the respondents, where men and half of them women. First, the questionnaire has given an impression of driver's attitudes and actions. Secondly, the questionnaire has been used as criteria for selecting participants to the two following focus group interviews with eight drivers in each group. The drivers have been selected in a way that insured that the participants were as different as possible. Beside the two focus group interviews with drivers I have had one with the driving instructors.

In order to kick-start the discussion with the groups I made a six hour-long film with different traffic situations. On the basis of the raw film I have selected three different situations involving actions that in the media are described as egoistic, ruthless and self-opinionated. The advantage of using images of concrete interaction is that it makes it easier to avoid obvious statements such as; we should all be considerate towards one another. By discussing specific actions it has been possible to capture variations in the normative praxis and the justifications drivers use for their actual behaviour.

In regards to the practical use of the methods there are some issues worth mentioning – issues that affect the validity and reliability of the study. On the one hand, the triangulation of methods has contributed to an improvement of the validity because the different kind of data sources has made it possible to correct information. In many cases it has been possible to answer the research questions using several different sources so that the likelihood of accuracy in the findings is higher. Even though the triangulation of methods has been successful there are issues in relation to the questionnaire that reduces the validity of conclusions about background variables affecting drivers' actual actions.

First, the extent of the questionnaire is too limited to uncover all questions relevant to answering the research questions adequately. Secondly, the quantitative analyses are only based on 101 questionnaires. The drop-out rate is very significant and the representativity of the questionnaire analyses can therefore be called into question. Furthermore, the stratified selection of drivers has not subsequently been weighted with reference to the actual population because that possibility was not available. This creates further uncertainty about the representativity of the questionnaire survey.

The conclusions about background variables affecting differentiated strategies of action must therefore be considered as the Achilles heel of the inquiry because the tendencies in the questionnaire can deviate from reality. For this reason I am only referring to tendencies to differentiation in strategies of action in reference to drivers' actual behaviour. As distinct from the uncertainty about the differentiation of action strategies there is a solid empirical material documenting the drivers' moral norms and the relation between legal standards and moral obligations.

Theoretical Perspectives

In order to make the research questions more clear it has been helpful to include sociological theory about the structural conditions (macro) affecting drivers' norms and actions as well as specific theory about how individuals and groups interact (micro) and how they in their interaction chooses to adhere to common norms or not. Only by including both levels of analysis the relation between norm and deviation in the traffic culture has been sufficiently illustrated.

In order to achieve an all-embracing theoretical framework that explains norm and deviance, I have employed an eclectic approach that inevitably encompasses classical sociological discussions of conflict and consensus, reproduction and change. Theories about change in the late modernity emphasise individuals' liberation from previous constraints. A liberation entailing that tradition is no longer accepted unless it makes sense to the individual. It does not mean that communities disappear. Instead norms are constantly developing on grounds of communicative action in which drivers negotiate meaning and agree on what norms should guide actions.

In contrast to the theories of change, the theories of reproduction stresses that even though late modernity is changing there is still classical structural constraints that affect individuals ability to determine what norms are legitimate and their ability to get their way when interacting with others. Both perspectives are represented in the theoretical framework, but the perspective of change is emphasised.

Late Modern Societies

Due to the fact that development trends in late modernity affect drivers' norms and actions, theories about late modernity constitute the theoretical framework of the study. According to Anthony Giddens the social actions is unlocked from earlier local constraints which include a separation of time and space. As regards to this separation of time and space, the demand for geographical mobility has increased (Juul 2002; Giddens 1994; Giddens 1996). This has also influenced the development of the modern city in terms of a range of measures to increase individual mobility (Hjorthol and Lian 2004, 1).

The creation of the automobile can be seen as an effect of the demand to increase mobility, that combined with an individualisation process in society and a technological development has established the automobile as a cultural, social and technological product. Usage of the automobile increases the speed of travel and makes it possible for humans to arrive at their destination faster than if they were walking (Beckmann 2001, 37). Hence, time is a central dimension when moving from one geographical space to another (Hjorthol and Lian 2004, 4). In addition to this, the development of an abstract, divisible and universally measurable time has become an important characteristic for industrialized capitalist societies (Urry 2000, 108).

With the introduction of time as regards to paid work, time has become a commodity which can be bought and sold (Hjorthol 2001, 39). Time is money and waste of time is a waste of money. Therefore individuals ought to be thrifty with time, not waste it, use it to the fullest and govern their own and others time with due diligence (Urry 2000, 109; Frönes 2001, 70). Furthermore, waiting time becomes a subjectively endured event in the automobile, which is an experience that primarily gives negative associations (Hjorthol 2001, 40; Hjorthol and Lian 2004, 4). Since time is both an individual and a common interest and the individual driver's use of time affect others in traffic interactions, the perception of time in late modernity play an important role influencing both norms and actions in the Danish traffic culture.

Automobility as a Risky Social Praxis

The symbolic meaning associated with the automobile also affects norm and action. Automobility as a phenomenon is usually associated with freedom; it is possible to go wherever you want, when you want (Zeitler 1998, 30). The automobile is even described as the mechanical embodiment of personal freedom (Hagman 2003, 3). However, this personal freedom is loaded with constraints. Physically – because the construction of the car limits the drivers' room for manoeuvre (Otnes 1994, 12). Morally – because almost everyone chooses individual transport, which creates a new institutionalised social praxis, where everyone is locked in a traffic jam and no one achieves the expected freedom (Beckmann 2001, 48-49, Beckmann 2002, 85). The freedom of the automobile and the promise of increased mobility can therefore be considered as an illusion. We try to obtain it, but it is unattainable.

Also the risk of road accidents constrains drivers' individual freedom of action. According to Ulrik Bech, risks in late modernity are human made and are unavoidable for all individuals no matter how much they try to avoid it – even if the responsibility is placed on individuals that challenge the moral and physical boundaries (Beck 1997). However risks can be changed, reduced, increased, dramatised or played down within the scope of the knowledge that exists about them. Besides being objectively measurable – risks are being used morally to define the boundaries for individual freedom of action as a way of maintaining an individualistic culture (Douglas 1985; Douglas 1992, 28). By the moral use of (objective) risks drivers constrain each others freedom because even though drivers pursue maximal individual freedom everyone are more or less aware that the road to

improving and securing their own conditions goes through regulating others actions, which also imply obligations towards others (Tonboe 1997, 74). The rights and obligations which exist in traffic are defined by means of law and morality.

Law and Morality

In the modern understanding of law individual rights play an important role. Within the boundaries of the law every individual has the same liberties and can use their own free will which makes the modern law well suited for social integration in differentiated societies (Habermas 1975, 95; Habermas 1996, 82-84). However the legal order is only legitimate if it does not contrast with basic moral principles (Habermas 1996, 106; Habermas 1997, 353). In consequence the legal norms depend upon gaining moral recognition among the drivers.

Additionally, individuals act on the basis of reflexivity in a modern society and thus the respect for legal and moral norms only exist, when individuals think the established norms are worthy of respect (Andersen 1998, 307). In principle, we can agree that one must play by the legal rules but in specific situations individuals act in view of reflexivity and negotiate the legal order morally (Andersen 1998, 395). Consequently, a number of moral arguments that legitimise so-called insignificant violations of legal norms are under development. On the one hand it can pose problems if drivers do not acknowledge and maintain legal order, but on the other hand it can also pose problems if drivers maintain legal order without considering moral obligations when interacting in traffic. That would be perceived as self-opinionated behaviour.

The Demarcation between Liberty of Action and Egocentrism

The fact that drivers' negotiate the law sometimes undermines the legitimacy of the law. Though in an individualised society there is a need for individual autonomy and liberty of action in order for the individual to remain capable of surviving and creating his or her own life, it does not necessarily result in the erosion of communities because it also includes cohesion and reciprocity. The modern man is trying to combine self-realization with being for others, so that individualism is not incompatible with altruism (Giddens 1994, 13; Knudsen 1999, 9). To act strategically is not necessarily incompatible with communicative action. One can strive for own purposes and interests within the boundaries of morally obligating norms and it would be considered as the individual freedom of action. As long as ones actions makes it possible for other drivers to obtain their interests and goal, the action will not be condemned. But if the individuals actions constrain the opportunity for development of others, the action will be perceived as egoistic. Hence, the line between egoistic behaviour and individual freedom of action is a delicate balance.

In order for everyone to obtain their own interests within the boundaries of moral norms, there is a set of coping strategies that gives guidance to drivers in order for their actions not to be at the expense of others. These techniques are established in order to avoid the risks associated with road traffic interaction and maintain social order. Erwin Goffman mentions several techniques such as

the first-served basis and the principle of equality (Goffman 2004, 168, 313-314). In traffic the first-served basis means that the one who arrives first has the right to pass first. The principle of equality stresses e.g. in the case of queue in traffic that one has the right to move forward right after the person in front and before the driver at the rear. In spite of principles of equality there can be exceptional circumstances, where this principle is disregarded. For example if an elderly person accidentally fails to observe that two roads narrow down to one and resultingly drives too far ahead, the other drivers can use more far-reaching strategies that involve a kind of "noblesse oblige" by which the elderly driver is let in (Goffman 2004, 318).

Communicative Action

The decision about how one ought to interact in traffic is made in the communicative action in which the boundaries for individual freedom of action are determined. Drivers make use of their reflexive approach to negotiate which whether or not actions can be considered legitimate. When drivers reach an agreement given the reflexive negotiation, the action will be considered morally acceptable. However, the reflexivity unfortunately can prove to pose problems for the communicative action because the boundary between reflexivity and anomie can be gradual. Reflexivity can lead us into slippery ground, so that it causes a sophisticated post-rationalisation and legitimising of quite cynical and egoistic behaviour without consideration for the community rather than greater responsibility (Andersen 1998, 59).

Additionally, the communicative action can not always be considered as a result of total agreement. In a complex modern society some groups or individuals can have the power to dictate the terms in shape of compromises (Habermas 1975, 116-118). According to Goffman, the will to accept a given order can be contingent upon the harsh fact about one's own position in the social structure (Goffman 2004, 292).

In traffic, the communicative action among drivers is primarily non-verbal, but it can be verbalised both in and out of the interaction in traffic. Two different perspectives exist about drivers' communication in traffic. One stresses the constrained communications options: drivers being distant from each other with few means to understand one another (Otnes 1994, 26-27; Featherstone 2004, 12; Thrift 2004, 47-48). The other one stresses that the automobile involves new ways of communicating, where the driver uses his/her own body as well as the automobile to communicate with. In that perspective the automobile establishes new ways of communicating by use of for example mirrors and windows (Featherstone 2004, 8, 12).

According to Thyra Uth Thomsen the automobile also contributes to the symbolic communication between drivers, so that the automobile does not just refer to the user of the car, but also to common meaning for the individual and the community (Thomsen 2003, 160, 240). Due to this view, it is possible to speak of communicative actions in traffic. At first sight the communicative action appears to be constructive, but unfortunately sometimes it can be a cover for systematically

distorted communication, if people give the impression of acting communicatively but in reality acts egoistically (Habermas 1997, 119, 264; Outhwaite 1997, 54). Even though it is in the individuals' interest that others maintain moral norms, it is not necessarily in their own interest to maintain all details themselves (Goffman 2004, 292). Ulli Zeitler describes this as the commuter's dilemma (Zeitler 1998).

Deviance and Legitimising Strategies

Whether an action is considered to be egoistic also depends on how the community of drivers reacts to a deviance. It is only if other persons perceive an action as problematic and condemn it that it is perceived as an egocentric behaviour (Becker 1973, 22-25).

Different kinds of deviance exist. Some of them can be defined as secret, which refers to deviance that does not result in condemnation from other drivers, either because the deviance is not discovered or because the driver uses neutralisation techniques to legitimise his or her actions. Neutralisation techniques use specific situations as a starting point and the explanation of the situation serve to contribute to the legitimatising of the act (Frönes 2001, 93). On the basis of neutralising techniques the definition of norm and deviance in traffic becomes a reflexive negotiation about what is right and wrong. In an individualised society there is a relatively large grey area, where deviance under certain conditions and in specific situations can be justified reflexively and therefore be considered legitimate. It is in the negotiations of right and wrong that the moral norms develop and changes, as the boundaries for legitimate actions in traffic convert.

Conclusion and Discussion

At a basic level the most important moral norm in traffic is maximal mobility for the community. The perception among drivers are that time is limited and therefore time must be used with due diligence, so that one's own and others time is not wasted. One shall not cause inconvenience for other drivers and restrain their mobility. In order to maximise the efficiency of traffic interactions one ought to show one's intentions to others, so that they can allow for one's action strategies in the transient interaction.

Another basic moral norm is that one should be considerate towards others. But this is a moral norm that can be disregarded if some drivers detain others in their pass-ability. In these cases the mobility of the community is more important than the consideration towards the drivers whom are less mobile than the community. The individual driver's mobility shall not cause inconvenience to the community in any way. Nor is it acceptable to try to maximise one's mobility at the expense of others.

Beside these basic norms the drivers also construct specific situational dependent moral norms that to a greater or lesser extend is tied to the highway code. It is actually difficult to conclude without ambiguity because the relation between legal and moral norms is complex. When the moral norms

are interconnected with the law, both sets of standards are regulating behaviour. This is the case when it comes to violations of traffic safety distances on the motorway. If this highway code is not followed, the drivers perceive it as being a risk to the community of drivers. In this case the highway code functions as codified morality that constrains drivers' actions in view of objective risks. The objective risks are embedded in the highway code and is used morally to legitimise constraints in the individual driver's freedom of action.

However, when there is a conflict between moral norms and legal norms because the legal norms can be used for egoistic purposes, the legal norms loses their legitimacy and do no longer serve as a guide for drivers' actions. For instance when two traffic lanes narrows down to one. In these situations drivers disregard the highway code to a greater or lesser extent because the highway code conflicts with some of the drivers coping strategies such as the principle of equality and the first-served basis. The reason why drivers disregard the highway code is that it can be used for egocentric purposes when some drivers utilise the law to jump the queue in order to achieve own mobility at the expense of others.

The situation where two traffic lanes narrows down to one is also interesting from another perspective. Qua the law all drivers have equal rights and obligations, but morally the drivers differentiate rights and obligations in traffic interaction. Some distinct drivers and drivers in distinct automobiles are in spite of the moral unacceptability not attributed egoistic attentions when jumping the queue. If emergency vehicles, police vehicles, a trainer car or elderly drivers jumps the queue, other drivers believe one ought to let them in as a kind of "noblesse oblige".

The Potential Situational Egocentrism

Even though drivers in general have high moral standards and are very conscious of how they should and ought to behave in interaction, most drivers deviate from intersubjectively recognised norms to a greater or lesser extent. Almost all drivers disregard collective norms from time to time, most often for example when driving from home to work or when picking up children from school, which in both cases take place in rush hour traffic. This is a situation that the drivers associate with stress and time pressure. Even the consideration for particular groups can be disregarded in the rush-hour traffic. The consequence is that almost every driver is potentially behaving in a situation-specifically egoistic manner, in the period of time, where most accidents occur.

The Universe of Legitimised Deviance

Beside the deviations that are characterised as egocentric there is a great part of deviations that is legitimised in the communicative action by use of legitimising techniques. The lack of condemnation is a result of reflexive negotiation with which drivers use excuses to neutralize their deviant behaviour in a way that is acceptable to the community of drivers. For instance when it comes to driving in the emergency lane; morally it is not acceptable. Even so some drivers negotiate this constraint reflexively and succeed in legitimising emergency lane driving in specific situations.

For instance if the queue occurs because of bad weather instead of a traffic accident, if another one shows the way or if there is only 50 metres to the motorway spur it is acceptable to drive in the emergency lane.

It is not only in association with emergency lanes that drivers legitimise deviations. It is a general tendency. Most of the time drivers agree on what constitute legitimate and illegitimate deviations, but in one case the participants disagree. If one drives in the fast lane on the freeway with the speed required by law, men and women have different attitudes as to whether it is acceptable or not to violate the safety distance in order to sanction the driver for keeping the others from passing at a higher speed. Among the female drivers it is perceived as unacceptable to violate the safety distances required by law, but they have difficulties getting their way with the male participants. If the driver (often a woman) will not drive faster, she should (according to the male participants) resign to the nearside lane so that the drivers who want to drive faster can proceed. If the slow driver is not resigning to the nearside lane, it can be acceptable to sanction this behaviour by violating traffic safety distances. The disagreement also reflect itself in the actual interaction, where women to a greater extend than men endures others driving to close behind them in the fast lane and men as well as women believe that it is men who practice this sanctioning. It seems that there are differentiations in power due to gender, where men have a greater success in dictating the moral standard in the traffic culture than women. Whatever the circumstances are; when the violation of safety distances required by law is legitimised, it is a safety problem in an objective sense.

Reflexivity or anomie

Positively, the reflexive orientation is a way of developing culture in an individualised society so that the moral norms adapt to modern individualistic ways of living, but on the other hand, it can also be used to legitimise true egoistic behaviour so instead of developing moral standards, it is weakening it. A good example of this is intersections controlled by traffic lights when the traffic light shifts from green to yellow. According to the highway code one must leave the intersection before it shifts to green from the crossing side. In case of a yellow light one must brake if possible unless it is associated with danger to do so. Morally, the drivers negotiate the law and agree that it is acceptable to speed up at yellow light if it is a late night with full overview of the intersection and there is no other road users nearby, if the light has just shifted from green to yellow, if the light at the pedestrian crossing has just shifted to red, if a driver from behind is too close and braking would result in a collision or if it as a herd mentality. As long as ones actions do not disregard the consideration for others mobility and safety, drivers agree that it is morally acceptable. Unfortunately, some of the legitimised deviations can be a cover for egocentric behaviour. According to the driving instructors speeding up because of a driver behind being to close is a poor excuse drivers use in order to maximise their own mobility at the expense of other road users in their presence.

Even though the reflexive negotiation tendency is prevalent, some drivers use negotiations more than others. Male drivers have a tendency to negotiate legal standards more than women, just as young people have a tendency to negotiate more than elders. The negotiation can also be affected by the drivers' education, but it is only a vague tendency. It is surprising that the effect of education is weak. One explanation could be that education has less effect in traffic. But it is also possible that the reason should be found in the uncertainty of the questionnaire survey that only contribute with conclusions on a flimsy ground. Further studies are needed in order to achieve a sufficient knowledge of the background variables affecting both moral and strategies for actions in traffic.

Even though there is a great deal of the drivers' actions which can be legitimised in the communicative action as mentioned before there are deviations impossible to legitimise. Drivers are very conscious about these deviations as proven by their concealment of own illegitimate deviations in social relationships. The concealments can be seen as an expression of a systematically distorted communication that complicates the conditions of the communicative action.

Moral Norms as a Regulator in Traffic Interactions

Moral norms ability to regulate actions in traffic depends on drivers' use of communicative action to explicate and enforce established norms. If the moral norms should be able to serve as a regulating factor in the traffic culture, the conditions of the communicative action must be favourable. At first sight I expected that the conditions for communication in traffic would be complicated by the anonymous relations and the transient interaction. There is actually a certain ambiguity in the communication in traffic due to the fact that often drivers who use legitimising techniques in reference to their own actions perceive others similar actions as motivated by egocentrism.

In spite of the fact that the communication in traffic can be ambiguous, the automobile communication of moral norms seems to be very well developed in late modernity. The drivers have achieved skills in communicating through windows and mirrors, using brakes and lights as well as their own body to communicate with. Consequently, the car has become a material communication devise. It finds its expression when drivers use their own body and the lights of the automobile to apologize for illegitimate deviations and also in the case when other drivers violate moral standards. If this happens drivers use breaks, lights or sounds one's horn slightly. The driver's own body is used as well in the communication which in the case of others attempt to jump the queue can be done by putting blinkers on and ignoring the drivers request to get ahead or even make an angry stare at the driver to tell the person concerned that his or her actions is unacceptable. These types of automobile communications are used to explicate the moral standards in the traffic culture and are a way of maintaining social order.

However, the drivers' use of automobile communication is not necessarily a benefit for traffic safety: sometimes drivers legitimise actions morally that in an objective sense increases the risk of

traffic accidents. This is the case when sanctioning others slow driving by violating the safety distances required by law is legitimised (primarily by male drivers). The violation might be legitimised morally, but it can not rescue the drivers involved from the objective risk.

What Regulates What?

As mentioned above, the relation between law and morality is quite complex and the question is: what is actually regulating drivers' behaviour – the highway traffic code or the moral norms? In 2006, a driving licence point demerit system was introduced in Denmark, and according to the Danish police it has decreased reckless driving. This system is an example of how intensified legal sanctions can be instrumental in changing drivers' behaviour. But does the intensification of legal sanctions function due to the intensification of sanctions or is it because the sanctions conform to drivers moral standards?

In order to answer that question it is necessary to distinguish between different kinds of drivers because the change in behaviour for some drivers can be a result of the fact that the driving licence point demerit system in its outermost consequence removes the driver's opportunity for mobility and even the threat of that is enough to make drivers behave. For other drivers it can also be the intense moral debate in the media and population that followed in the wake of the change in legislation that has served as a reminder of how one ought to act according to moral standards, because many of the actions that release a strike in the driver's license is also morally unacceptable among drivers. The fierce moral debate about the driving licence point demerit system can easily be as plausible a reason for drivers changing their behaviour as the intensification of legal sanctions in itself.

Surely, if the highway traffic code should be able to effect drivers' behaviour it is necessary that there is a power of cohesion with drivers' moral praxis. This is brought into focus in the light of the raise of legal speed limits on freeways in Denmark, where the drivers' moral praxis deviated too much from the legal standards. In order to accommodate the actual traffic culture the speed limits were raised. The raise resulted in a lot of criticism, because it was expected to increase the probability of accidents occurring because of higher speed. The actual result was the opposite. The average speed has decreased, car traffic glides better and the statistics show that the number of accidents has been decreased.

Another example is the legal standards related to two lanes narrowing down to one, where the legal standards conflict with basic coping strategies such as the principle of equality and the first-served basis. Because of that the law cannot regulate drivers' behaviour adequately. One conclusion could be that in order for the highway code to regulate driver behaviour, the law must be consistent with the drivers' moral norms. But allowing the traffic culture to rule in this particular case is insufficient, because the drivers disregard of legal standards result in very long queues that constrain every one's mobility. It seems that we have to choose between cholera and the plague.

The optimal solution would probably be to abolish the existing legal standard and seek out other ways of legal regulation that does not conflict with basic moral coping strategies.

The trouble is that it is not possible to conclude definitely what regulate different drivers' strategies for action. Therefore, further studies are needed so that it becomes evident what really regulates driver behaviour. This can be done by identifying more clearly what and who is determining the regulating norms in traffic and how drivers actually act in traffic interactions. The ones who determine the moral standard is not necessarily the one's capable of getting their way in the actual interaction. Maybe the illegitimate deviants are more successful in getting their way due to the fact that other drivers yield to the illegitimate deviant driver in order to avoid an accident? Further research has to provide more detailed answers to that question.

References

- Allingstrup, M. (2002, January 28): "Pæne mennesker går amok i trafikken". In: *B.T.*
- Andersen, J. G. (1998): *Borgerne og lovene*. Århus: Rockwool Foundation Research Unit and Aarhus University Press.
- Beck, U. (1997): *Risikosamfundet*. Copenhagen: Hans Reitzel Publishers.
- Becker, H. S. (1973): *Outsiders - Studies in the Sociology of Deviance*. London and New York: The Free Press.
- Beckmann, J. (2001): *Risky Mobility – The filtering of automobility's unintended consequences*. PhD thesis from the Department of Sociology, University of Copenhagen.
- Beckmann, J. (2002, March): "Jeg bevæger mig – derfor er jeg". In: P. Dines and M. Carlsen (eds.): *Samvirke*, vol. 3.
- Douglas, M. (1985): *Risk Acceptability According to the Social Sciences*. London: Routledge and Kegan Paul.
- Douglas, M. (1992): *Risk and Blame - Essays in cultural theory*. London and New York: Routledge.
- Featherstone, M. (2004, August-October): "Automobiles. An Introduction". In: *Theory, Culture and Society. Special Issue on: Automobilities*, no. 4/5.
- Frønes, L. (2001): *Handling, kultur og mening*. Oslo: Fagboksforlaget.
- Giddens, A. (1994): *Modernitetens konsekvenser*. Copenhagen: Hans Reitzel Publishers.
- Giddens, A. (1996): *Modernitet og selvidentitet*. Copenhagen: Hans Reitzel Publishers.
- Goffman, E. (2004): *Social samhandling og mikrosociologi*. Copenhagen: Hans Reitzel Publishers.
- Habermas, J. (1975): *Legitimationsproblemer i senkapitalismen*. Copenhagen: Fremad.
- Habermas, J. (1990): *Moral Consciousness and Communicative Action*. Cambridge: Polity Press.
- Habermas, J. (1996): *Between Facts and Norms*. Cambridge: Polity Press.
- Habermas, J. (1997): *Teorien om den kommunikative handlen*. Aalborg: Aalborg University Press.
- Habermas, J. (2001): *On the Pragmatics of Social Interaction*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Habermas, J. (2003): *Truth and Justification*. Cambridge: Polity Press.
- Hagman, O. (2003): *Mobilizing meanings of mobility: Car users' constructions of the goods and bads of car use*. Transportation Research Part D 8 (2003) 1-9. Göteborg: Science and Technology Studies.
- Hjorthol, R. and J. I. Lian (2004): *Sammendrag: Samfunnsmessige trender – betydning for mobilitet og transport i storbysamfunnet*. Oslo: TØI-rapport 718/2004.
- Hjorthol, R. (2001): "Gendered Aspects of Time Related to Everyday Journeys". In: *Acta Sociologica. Journal of the Scandinavian Sociological Association*, vol. 44, no. 1.
- Jensen, B. Holbek (2002, November 21): "Flyt dig". In: *Fredericia Dagblad*.
- Juul, S. (2002): *Modernitet, velfærd og solidaritet*. Hans Reitzel Publishers.
- Knudsen, M. (1999, March 12): "Frihedens børn – individualismens selvbeholdning – individualisme og egoisme er ikke det samme". In: *Højskolebladet*, vol. 124, no. 7.
- Lang, J. (2003, April): "Det lukkede rum". In: *Bilisten*.

- Otnes, P. (1994): *Can we Support ourselves by Driving to each other? Collective and Private Transportation: How the Automobile has Affected Us, What Collective Transportation Does Differently, and Why. A Chreological Suite in Eight Movements*. Report from University of Oslo.
- Outhwaite, W. (1997): *Habermas – en kritisk introduktion*. Copenhagen: Hans Reitzel Publishers.
- Thomsen, T. U. (2001): *Persontransportens betydning for individet i et identitetsperspektiv – med fokus på transportmiddelvalg*. Report from Institut for markedsøkonomi/Center for samfundsvidenskabelig miljøforskning, University of Aarhus.
- Thrift, N. (2004, August-October): "Driving in the city." In: *Theory, Culture and Society. Speciel Issue on: Automobilities*, no. 4/5.
- Tonboe, J. (1997): "Sociologisk sans, moralsk forandring og princippet om kontrafaktisk fortolkning." In: *Dansk Sociologi*, no. 2/8.
- Urry, J. (2000): *Sociology beyond societies – mobilities for the twenty-first century*. London: Routledge.
- Zeitler, U. (1998): *Mobilitet og moral – aspekter af en transportetik*. Report from Center for Samfundsvidenskabelig Miljøforskning (CeSaM), University of Aarhus.

Godstransport

En godstrafikmodel for Øresundsregionen

Mikal Holmblad

Danmarks TransportForskning
Knuth Wintherfeldts Allé, bygn. 116 Vest
DK-2800 Lyngby

1. Indledning

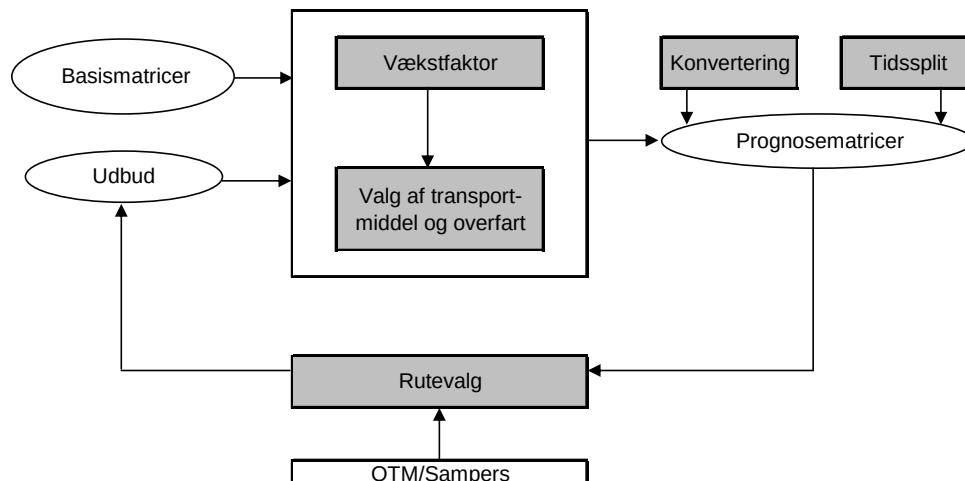
I dette papir præsenteres en lille del af det igangværende arbejde vedrørende udvikling af "En godstrafikmodel for Øresundsregionen". I papiret redegøres kortfattet for modellens opbygning og segmentering. Der fokuseres på delmodellen for konvertering af transportmængder til trafikenheder (lastbiler) og metoden for segmentering af basismatricen på modellens overfarter. Overfartsegmenteringen resulterer bl.a. i en vurdering af lastbiltransitstrømme og -trafik gennem Danmark.

Det samlede projekt [1], der medfinansieres af EU's Interreg IIIa program for Øresundsregionen, udføres i et samarbejde mellem Region Skåne og Danmarks TransportForskning med Center for Trafik og Transport på DTU m.fl. som underleverandører.

Målet med projektet er opbygning af en godstrafikmodel med fokus på Øresundsregionen, der skal kunne belyse konsekvenser af en voksende godstrafik i regionen, og dennes betydning eksempelvis for trængsel, kapacitetsforhold, konkurrenceflader mellem transportformerne, overordnet terminalstruktur, nye større infrastrukturprojekter, samt effekter af eventuelle reguleringstiltag som vejafgifter, bompenge og tvangsruiter. Der er endvidere tale om et anvendelsesorienteret projekt, hvor målet er etablering af en model, som leverer anvendelige og troværdige resultater. Der er lagt vægt på at benytte afprøvede metodiske fremgangsmåder med en modelmæssig detaljering i overensstemmelse med det ofte meget aggregerede datagrundlag og den begrænsede "viden" om godstransporter. Det er tanken, at modellens modulære opbygning og implementering omkring en GIS-modelramme vil udgøre et attraktivt brugermiljø og en bæredygtig platform for løbende implementering af eventuelt forbedrede moduler for delmodeller og udbygning med nye moduler eksempelvis for modellering af logistik.

Modellens er overordnet forholdsvis simpel i sin struktur som vist i figur 1. Basismatricerne [2] fremskrives med en simpel vækstfaktormodel, der påtænkes opbygget med udgangspunkt i modellen fra projekt "Fremtidens godsstrømme" [3]. De fremskrevne godsstrømme fordeles på transportmidler (og overfarter for lastbil og jernbane) med en model for valg af transportmiddel og overfart, og konverteres herefter til trafikenheder og tidsperioder til prognosematricer. Prognosematricerne

udlægges herefter som trafik på vejnet og transporter på jernbanenet og skibsforbindelser med rutevalgsmodellen, der ligeledes importerer faste matricer for personbilstrafik for modellering af trængsel i Hovedstadsområdet og Region Skåne. Rutevalgsmodellen beregner udbudsdata (log-summer) til brug for modellen for valg af transportmiddel og overfart, hvorfor modelsystemet afvikles i et antal iterative loops.



Figur 1: Godstrafikmodellens overordnede struktur.

2. Basismatricer og modelsegmentering

Basismatricen til godstrafikmodellen med fokus på Øresundsregionen er udviklet ved bearbejdning af transport- og udenrigshandelsstatistik for de nordiske lande, basismatricerne fra eksisterende godstrafikmodeller (SENEX, LDK og SAMGODS), data fra den svenske VFU, samt diverse data fra OTM og SAMPERS. Basismatricen er segmenteret på i alt 832 zoner, 13 varegrupper, og 5 transportmidler. Hertil kommer en ombrydning på valg af overfarter for passage af 3 geografiske snit.

2.1 Zonesystem

Zonesystemet omfatter 811 egentlige zoner og er konstrueret med udgangspunkt i zonesystemerne fra de anvendte datakilder. Zonetætheden er størst i Københavns- og Malmø-området. Endvidere omfatter zonesystemet 21 portzoner for transport til og fra 3 oversøiske områder via 7 havne.

2.2 Varegrupper

Bearbejdninger, omregninger og zonesegmentering under sammenstillingen af datakilderne opererer med en detaljeret segmentering på 52 NST/R-varegrupper under opstillingen af basismatricen. NST/R-varegrupperne aggregeres til slut til de 13 varegrupper, som godstrafikmodellen opererer med.

2.3 Transportmidler

Godstrafikmodellen omfatter transport segmenteret på 5 transportmidler:

- Lastbil
- Kombineret banetransport
- Kombineret skibstransport
- Konventionel banetransport
- Konventionel skibstransport

Transport med bane henholdsvis skib opsplittes på konventionel og kombineret transport. Ved konventionel bane- og skibstransport benyttes undervejs alene det pågældende transportmiddel eller i kombination med meget korte lastbiltransporter, og der vil typisk være tale om massegodstransporter. Kombineret banetransport foregår ved hjælp af bane og lastbil typisk med forholdsvis korte lastbiltransporter, som bringer godset til og fra banen. Kombineret søtransport er en transport, hvor hovedtransportmidlet er skib kombineret med før- og eftertransport med lastbil, bane eller en kombination af bane og lastbil. Kombinerede transporter foregår eksempelvis med containere, veksellad og trailer. RORO-trafik regnes som kombineret søtransport, mens færgetrafik (kortere og højfrekvente overfarter, se nedenfor) derimod regnes som en "flydende bro", hvilket vil sige, at lastbiler og togvogne ombord på færgeruter betragtes som lastbiltransport henholdsvis banetransport.

Varegruppe	NST/R-varegrupper	Beskrivelse
1	00, 01, 02, 03, 06	Landbrugsprodukter
2	11, 12, 13, 14, 16, 17, 18	Næringsmidler og foder
3	04, 05, 09	Træ, kork, tekstilfibre og andre råmaterialer
4	21, 22, 23	Fast brændsel
5	31, 32, 33, 34	Olieprodukter (farligt gods)
6	81, 82, 83, 89	Kemiske produkter (farligt gods)
7	41, 45, 46	Malme
8	51, 52, 53, 54, 55, 56	Metallurgiske produkter
9	84	Papirmasse
10	61, 62, 63, 64, 65, 69, 71, 72	Sten, sand og cement samt gødningsstoffer
11	91, 92, 93	Maskiner
12	94, 95, 96, 97	Forarbejdede varer
13	99	Særligt fragtgods

Tabel 1: Godstrafikmodellens 13 varegrupper og relation til NST/R-varegrupper.

[1000 Ton]		REG2								
REG1	Data	DNK	SWE	NOR	FIN	WEU	EEU	UKI	PZO	Sum
DNK	BIL		1.656	723	1	8.381	1.501	1.552	857	14.671
	BILBANE		207	0	0	292	47	133	6	685
	BILSKIB		283	0	551	0	0	46	317	1.197
	BANE		101	16	0	763	22	0	0	902
	SKIB		3.146	1.574	2.675	3.588	408	1.808	1.355	14.553
	TOTAL		5.392	2.314	3.227	13.024	1.979	3.539	2.535	32.009
SWE	BIL	2.858		2.564	1.298	5.132	1.040	0	2.043	14.935
	BILBANE	377		254	93	1.170	128	65	0	2.087
	BILSKIB	280		1.218	570	7.058	2.395	4.869	456	16.846
	BANE	190		164	133	2.921	306	196	0	3.909
	SKIB	2.278		2.035	5.417	11.759	2.332	2.576	6.982	33.379
	TOTAL	5.982		6.234	7.511	28.040	6.201	7.705	9.482	71.156
NOR	BIL	624	2.233			1.324	236	118	837	5.372
	BILBANE	0	220			45	0	0	4	269
	BILSKIB	0	1.487			136	10	89	298	2.020
	BANE	4	140			64	22	0	0	230
	SKIB	7.033	7.729			115.846	4.963	59.157	36.069	230.797
	TOTAL	7.662	11.809			117.415	5.230	59.364	37.208	238.688
FIN	BIL	1	1.874			0	0	0	1.208	3.083
	BILBANE	0	144			1	0	0	1	147
	BILSKIB	743	1.280			3.323	936	641	597	7.521
	BANE	2	214			135	50	97	0	498
	SKIB	607	2.329			9.421	3.316	3.407	3.180	22.260
	TOTAL	1.354	5.841			12.881	4.303	4.146	4.985	33.509
WEU	BIL	9.238	4.656	1.185	0					15.079
	BILBANE	349	537	86	1					973
	BILSKIB	0	5.050	262	1.670					6.983
	BANE	1.151	1.352	124	250					2.878
	SKIB	2.623	1.558	5.380	4.074					13.634
	TOTAL	13.361	13.153	7.038	5.995					39.547
EEU	BIL	2.558	2.287	466	0					5.311
	BILBANE	39	267	0	0					306
	BILSKIB	0	7.933	34	14.037					22.004
	BANE	36	230	13	901					1.180
	SKIB	4.835	6.243	4.163	19.556					34.796
	TOTAL	7.468	16.960	4.676	34.494					63.597
UKI	BIL	759	0	102	0					860
	BILBANE	91	45	0	0					136
	BILSKIB	37	1.795	100	264					2.197
	BANE	0	100	1	39					140
	SKIB	710	4.561	3.034	1.471					9.776
	TOTAL	1.596	6.502	3.237	1.775					13.110
PZO	BIL	2.311	989	1.092	259					4.652
	BILBANE	13	3	8	2					26
	BILSKIB	751	260	391	131					1.533
	BANE	0	0	0	0					0
	SKIB	7.815	7.504	5.088	3.607					24.014
	TOTAL	10.890	8.756	6.578	4.000					30.224
Sum BIL		18.348	13.694	6.133	1.559	14.837	2.777	1.671	4.945	63.963
Sum BILBANE		869	1.423	348	96	1.509	176	198	11	4.629
Sum BILSKIB		1.812	18.090	2.004	17.223	10.518	3.340	5.645	1.669	60.301
Sum BANE		1.384	2.136	318	1.323	3.882	400	293	0	9.738
Sum SKIB		25.901	33.069	21.274	36.799	140.614	11.019	66.948	47.586	383.210
Sum TOTAL		48.314	68.412	30.077	57.001	171.359	17.712	74.755	54.210	521.841

Tabel 2: Basismatricens godsstrømme (1000 ton) segmenteret efter transportmidler og regioner.

2.4 Basismatrice

Basismatricen er segmenteret til modellens 5 transportmidler ved etablering og anvendelse af forskellige transportmiddelfordelinger. Tabel 2 viser basismatricens transportstrømme segmenteret efter transportmiddel og 8 regioner. Overordnet benyttes for udenrigstransporter resultatet og transportmiddelfordelingen fra en kørsel med SENEX-modellen [4] og basismatricen for denne. For transporter til, fra og internt i Sverige benyttes en transportmiddelfordeling baseret på en bearbejdning og aggregering af data fra Varuflödesundersökningen (VFU) [5]. Basismatricen omfatter udelukkende transport med lastbil for intern transport i Danmark, idet denne her er baseret på LDK-basismatricen [6].

3. Konverteringsrutiner

Basismatricen og prognosematricen fra modellen for valg af transportmiddel og overfart angiver de overordnede transportstrømme. Transportstrømmene for transport med "Lastbil", "Kombineret banetransport" og "Kombineret skibstransport" konverteres til lastbilture inden udlægning på godstrafikmodellens vejtrafiknetværk med rutevalgsmodellen. Transport med "Konventionel skibstransport" og "Konventionel banetransport" konverteres ikke til trafikenheder (eksempel skibe henholdsvis togvogne eller -stammer), idet disse transportstrømme ikke egentlig modelleres, men zonefordeles proportionalt med zonefordelingen i basismatricen.

Lastbiltransporter fordeles på 8 lastbiltyper inddelt efter tilladt totalvægt:

1. Solovogn fra 6 til 12 ton
2. Solovogn fra 12 til 18 ton
3. Solovogn fra 18 ton
4. Vogntog under 40 ton
5. Vogntog fra 40 ton til 48 ton
6. Sættevogntog under 40 ton
7. Sættevogntog fra 40 ton til 48 ton
8. Modulvogntog (indtil xx ton)

Der er etableret en konverteringsmetode og -beregning for transporter med "Lastbil" med udgangspunkt i statistik for danske og svenske lastbilers kørsel i årene 2001-2003. Der skelnes geografisk mellem:

- Interne transporter i Danmark
- Interne transporter i Sverige
- Udenrigstransporter

3.1 Interne transporter i Danmark

Konverteringsrutinen for interne transporter i Danmark er etableret på baggrund af specialudtræk i DS's statistik for danske lastbilers nationale kørsel i årene 2001-2003 med data for ture (med og uden last) og transporterede mængder og en

segmentering på modellens lastbiltyper og 25 varegrupper mellem de danske amter. Datagrundlaget er for etablering af konverteringsberegningen aggregeret til modellens 13 varegrupper og til transporter mellem 3 områder på Sjælland og 1 for resten Jylland og Fyn. Der fastlægges med udgangspunkt i det aggregerede datagrundlag en mængdebaseret (tons) lastbiltypefordeling og gennemsnitlig last for hver varegruppe og geografisk relation. I tilfælde med manglende værdier for den gennemsnitlige last for en given kombination af varegruppe og biltype tilordnes værdierne beregnet som landsgennemsnit. Ligeledes korrigeres afvigende værdier for den gennemsnitlige last, hvis de adskiller sig mere en 50 % fra landsgennemsnittet.

3.2 Interne transporter i Sverige

Konverteringsrutinen for interne transporter i Sverige er etableret efter samme fremgangsmåde som for den interne transport i Danmark ved anvendelse af statistik fra specialudtræk i SCB's statistik for svenske lastbilers nationale kørsel i årene 2001-2003 med data for ture og transporterede mængder og en segmentering på modellens lastbiltyper og 25 varegrupper mellem de svenske län.

Statistikken aggregeres til modellens 13 varegrupper og til transporter mellem 5 områder i Sverige. Der beregnes med udgangspunkt i det aggregerede datagrundlag en mængde-baseret lastbiltypefordeling og gennemsnitlig last for hver varegruppe og geografisk relation. Manglende værdier for gennemsnitlig last tilordnes et landsgennemsnit og afvigende værdier korrigeres.

3.3 Udenrigstransporter

Konverteringsrutinen for udenrigstransporter (inkl. Danmark-Sverige) er etableret på baggrund af specialudtræk i statistik for danske og svenske lastbilers internationale kørsel i årene 2001-2003. Data for ture og transporterede mængder er segmenteret på lande og biltyper. Kun den svenske statistik omfatter yderligere en varesegmentering efter 25 varegrupper. Statistiskkerne er sammenlignet med statistikkerne for de interne transporter temmelig begrænset og udelukker en detaljeret geografisk og varegruppemæssig estimering af biltypefordeling og gennemsnitlig last. Der er derfor valgt en meget aggregeret og pragmatisk fremgangsmåde, hvor estimeringen foregår i 3 trin:

1. Der fastlægges en biltypefordeling segmenteret på geografiske relationer men uafhængigt af varegrupper.
2. Der fastlægges en gennemsnitlig last for hver lastbiltype og geografisk relation uafhængigt af varegruppen
3. Den gennemsnitlige last for hver biltype og geografisk relation justeres for varegrupper (uafhængigt af lastbiltype), således at den samlede gennemsnitlige last for den geografiske relation beregnet med udgangspunkt i basismatricen er fastholdt.

3.3.1 Biltypefordeling

Tabel 3 viser segmentering og anvendelsen af forskellige biltypefordelinger (tabellerne 4 til 7) for fordeling af transportstrømmene i ton efter lastbiltyper

Relationer	DNK	SWE	NOR/FIN	DEU	WEU	EEU	PZO
DNK		F3	F1	F1	F1	F1	F1
SWE	F3		F2	F1	F1	F1	F1
NOR/FIN	F1	F2		F4	F4	F4	F4
DEU	F1	F1	F4		F4	F4	F4
WEU	F1	F1	F4	F4			
EEU	F1	F1	F4	F4			
PZO	F1	F1	F4	F4			

Tabel 3: Anvendelsen af biltypefordelingsnøgler.

For transporter til og fra Danmarks bortset fra Sverige er der fastlagt følgende biltypefordelingsnøgle (F1) baseret på den danske lastbilstatistik, som det fremgår af tabel 1:

F1	1	2	3	4	5	6	7	8
DNK -		0,1 %	0,2 %	0,4 %	23,2 %	3,6 %	72,5 %	
DNK - DEU	0,1 %	0,4 %	0,1 %	1,0 %	13,5 %	13,5 %	71,4 %	
DNK - WEU		0,1 %	0,1 %	1,1 %	8,8 %	17,6 %	72,3 %	
DNK - EEU		0,2 %	0,5 %	0,2 %	7,4 %	8,2 %	83,5 %	
DNK - PZO					20,0 %		80,0 %	

Tabel 4: Biltypefordeling F1.

For transporter til og fra Sverige involverende Finland og Norge er følgende lastbiltypefordelingsnøgle (F2) fastlagt på baggrund af den svenske lastbilstatistik, som det fremgår nedenstående tabel 2. Sammenlignet med den til rådighed værende statistik er 2 % overført fra lastbiltype 5 til 4 og fra 7 til 6 (på baggrund af fordelingen F1 i tabel 4):

F2	1	2	3	4	5	6	7	8
SWE -			0,4 %	2,0 %	59,6 %	2,0 %	36,0 %	? %

Tabel 5: Biltypefordeling F2.

Sveriges transporter til og fra Tyskland, Vesteuropa, Østeuropa og Portzoner modelleres med samme fordelingsnøgle som Danmark. Det vurderes, at de svenske biler udfører en mindre del af disse transporter og dermed, at den svenske statistik alene ikke tilstrækkeligt afspejler disse transporter. Derfor benyttes de fastlagte "danske" fordelinger (F1), idet det bemærkes, at de samlede andele med vogntog henholdsvis sættevogntog tilnærmelse vis er ens for de danske lastbiler og de svenske lastbiler.

Fordelingen for transporter mellem Danmark og Sverige er etableret som et gennemsnit af det statistiske grundlag for fra de to datakilder for denne relation:

F3	1	2	3	4	5	6	7	8
DNK - SWE	0,1 %	0,6 %	1,0 %	1,6 %	20,7 %	5,0 %	71,0 %	

Tabel 6: Biltypefordeling F3.

Fordelingerne for transporter mellem Finland/Norge og Vest- og Østeuropa og Portzoner er ikke datamæssigt belyst og er derfor skønsmæssigt fastsat med udgangspunkt i tabel 4 som det fremgår af tabel 7:

F4	1	2	3	4	5	6	7	8
NOR / FIN - DEU					20 %		80 %	
NOR / FIN - WEU					20 %		80 %	
NOR / FIN - EEU					20 %		80 %	
NOR / FIN - PZO					20 %		80 %	

Tabel 7: Biltypefordeling F4.

3.3.2 Gennemsnitlig last

For hver geografisk relation og biltype (men uafhængigt af varegruppen) er ligeledes med udgangspunkt i de statistiske datakilder beregnet og fastlagt beregningsmæssig gennemsnitlig last. Disse fremgår af nedenstående tabel 8.

[Ton/Tur]	Biltype							
Relation	1	2	3	4	5	6	7	8
DNK - SWE	1,2	5,3	4,7	4,0	14,6	9,3	14,7	
DNK - NOR / FIN	1,2	4,5	4,6	5,3	13,7	13,5	14,6	
SWE - NOR / FIN	1,2	4,5	4,0	5,7	15,7	14,0	12,2	
DNK / SWE - DEU	1,1	3,7	2,9	7,2	12,0	11,6	12,9	
DNK / SWE - WEU / EEU / PZO	2,5	4,5	4,6	11,2	13,3	15,8	16,1	

Tabel 8: Beregningsmæssig gennemsnitlig last (ton) for biltyperne og geografiske relationer.

3.3.3 Varejustering af gennemsnitlig last

Den beregningsmæssige gennemsnitlige last segmenteres efterfølgende til en beregningsmæssig gennemsnitlig last for hver af modellens 13 varegrupper, idet disse justeres relativt med den beregnede relative gennemsnitlige last for de svenske lastbiler. Justeringsfaktorerne fremgår af tabel 9 og er estimeret uafhængigt af geografi og lastbiltype.

Varegruppe	Beskrivelse	Varejusteringsfaktor
1	Landbrugsprodukter	1,00
2	Næringsmidler og foder	1,20
3	Træ, kork, tekstilfibre og andre råmaterialer	1,17
4	Fast brændsel	1,50
5	Olieprodukter	1,50
6	Kemiske produkter	1,10
7	Malme	1,50
8	Metallurgiske produkter	1,27
9	Papirmasse	1,49
10	Sten, sand, cement samt gødningstoffer	0,97
11	Maskiner	0,79
12	Forarbejdede varer	0,77
13	Særligt fragtgods	0,93

Tabel 9: Varejusteringsfaktorer til varegruppesegmentering af den beregningsmæssige gennemsnitlige last for udenrigstransporter.

4. Model for valg af transportmiddel og overfarter

Godstrafikmodellen vil for 3 af transportmidlerne (lastbil, kombineret banetransport og bane) involvere en model for et kombineret valg af transportmiddel og et overordnet rutevalg via overfarter (færger/broer) på 3 geografiske snit:

- Snit 1: Landegrænsen-Østersøen
- Snit 2: Storebælt-Kattegat
- Snit 3: Nordsøen-Kattegat-Øresund

Modellen for valg af transportmiddel og overfarter er segmenteret på transporter mellem 5 geografiske områder (Østdanmark, Vestdanmark, Region Skåne, Øvrige Norden og Det europæiske kontinent), hvilket resulterer i 10 delmodeller for valg af transportmiddel og overfarter. Den geografiske segmentering er valgt således, at godstrafikmodellens rutevalgsmodel kan benytte forskellige rutevalgsmetoder i de fem områder mht. modellering af trængsel, kapacitet og stokastisk rutevalg. Selve opbygningen og strukturen i modellen for valg af transportmiddel og overfarter er i øjeblikket under udformning.

Til brug for estimering af modellen for valg af transportmiddel og overfarter er transportstrømmene i basismatricen med transportmidlerne: Lastbil, Kombineret banetransport og Bane er derfor ud over en segmentering på 832 zoner, 13 varegrupper og 5 transportmidler yderligere segmenteret på et overordnet rutevalg angivet ved valg af overfarter ved passage af de geografiske 3 snit.

Fordelingsmetoden for overfartssegmentering af basismatricen er geografisk segmenteret på 12 geografiske områder (Hovedstadsområdet, Øvrige Sjælland, Fyn og Jylland, Region Skåne, Midtsverige, Nordsverige, Norge, Finland, Vesteuropa, Østeuropa, De britiske øer, og Portzoner på kontinentet) (i alt 51 geografiske relationer), hvor der til hver geografisk relation (symmetrisk) er skønnet en a priori vægtning af relevante overfartskombinationer. Fordelingsberegningen foretages ved entropimaksimeringsjustering med a priori vægtene således, at basismatricens samlede godsstrømme over hvert af de geografiske snit fordeles proportionalt med de omfattede overfarters transportmængder ifølge overfartsstatistikkerne for år 2003. For de faste forbindelser er data for transportmængderne ikke tilgængelige. For disse forbindelser benyttes transportmængder vurderet på baggrund af trafiktællinger og en vurderet gennemsnitlig last. Segmenteringsmetoden implementerer specielt trafiktællinger, således at beregningen af ture med den ovenfor beskrevne konvertering giver den talte trafik på Øresundsbroen og henover Storebælt (nedjusteres for tomme ture svarende til ca. 75.000 lastbiler).

Resultatet af overfartssegmenteringen er vist i nedenstående tabel 10. Beregnede mængder og trafik angives i kolonnerne "TON", henholdsvis "TURE", mens de tilsvarende data fra statistikkerne er angivet i kolonnerne "TON(Stat)", henholdsvis "TURE(Stat)". Tal i kursiv angiver at værdien er vurderet for den pågældende overfart.

		TON	TON(Stat)	TURE	TURE(Stat)	dTON	dTURE
Snit 1	DNK-GRN	23.983	24.000	1.640	1.700	-17	-60
	KIL-OSL	453	407	27	23	46	4
	KIL-GOT	558	502	39	35	56	4
	PUT-RBY	5.152	4.632	368	279	521	89
	TRV-MLM	3.261	2.931	228	184	329	44
	TRV-TRL	4.363	3.922	305	264	441	42
	TRV-HEL	1.262	?	121	?		
	ROS-GED	1.236	1.111	85	65	125	21
	ROS-TRL	4.096	3.682	259	232	414	27
	SWI-YST	1.575	1.416	93	112	159	-19
	KSK-GDY	828	744	45	54	84	-9
Snit 2	AAR-KAL	2.678	2.738	242	156	-60	85
	STORBLT	9.782	10.000	828	925	-218	-97
	SPD-TRS	350	358	37	25	-8	12
Snit 3	NOR-JYL	1.313	1.232	83	111	81	-27
	OSL-KBH	254	239	17	14	16	3
	GOT-FRH	2.983	2.799	206	193	184	12
	HEL-HEL	4.508	4.230	322	362	278	-40
	ORESBRO	2.984	2.800	208	208	184	0

Tabel 10: Basismatriceberegningresultater og statistik for transport (1000 ton) og trafik (1000 lastbiler) på modellens overfarter.

Generelt giver overfartssegmenteringen af basismatricen knap ca. 10 % større mængder på overfarterne end angivet i statistikkerne, hvilket må siges at være god

overensstemmelse. Det samlede antal ture ind og ud af henholdsvis Danmark og Sverige, der datamæssigt i overfartsstatistikkerne vurderes at være mere sikkert, rammes endnu bedre (kun ca. 4 % over). Selve trafikken på de enkelt overfarter rammes ikke (på nær Øresundsbroen) lige så godt (typisk +/- 15-30 %), hvilket formodentlig bl.a. skyldes, at selve overfartssegmenteringsfremgangsmåden ikke skelner mellem biltyper og varegrupper. Eksempelvis beregnes for mange lastbiler på de to færger og for få ture på broforbindelsen (Storebæltsbroen) på snit 3, idet overfartsvalget ikke differentieres på biltyper og den tilhørende gennemsnitlige last, som må formodes at være større på færgerne.

Overfartssegmenteringen resulterer i en transitttransport på ca. 5.3 mio. ton eller ca. 360.000 transitture (eventuelt med en omkobling/omladning i Danmark) gennem Danmark. Antallet af transitture er noget højere end opgjort for nylig [7], hvor antallet af transiteringer i 2005 (alle transiteringer) opgjordes til 273.750. Transitttransporten er senest opgjort til ca. 3.5 mio. ton i år 2000 [8].

5. Konklusion

Der er opstillet en basismatrice for godsstrømme til En godstrafikmodel for Øresundsregionen, og fastlagt og redegjort for konverteringsrutiner for omregning af transportmængder (ton) til trafikenheder (lastbilture). Basismatricen er blevet geografisk segmenteret efter modellens overfarter bl.a. til brug for kalibrering af delmodellen for valg af transportmiddel og overfart. Overfartssegmenteringen resulterer i fin overensstemmelse med den tilgængelige statistik for de omfattede overfarter, og giver bl.a. mulighed for beregning af transitttransport og -trafik gennem Danmark (og andre områder).

6. Referencer

- [1] "En godstrafikmodel for Øresundsregionen, Uddybet og revideret arbejdsprogram". Mikal Holmblad, Notat 2006 (www.modelcenter.dk)
- [2] "Etablering af basismatricer for godstransport til En national godstrafikmodel og En godstrafikmodel for Øresundsregionen". Mikal Holmblad, Trafikdage 2005.
- [3] "Fremtidens godsstrømme". Stephanie Vincent Lyk-Jensen m.fl., DTF Rapport 1, 2005, (www.dtf.dk).
- [4] "Analyse af effekten af tyske afgifter, SENEX-modellen". TetraPlan A/S for Trafikministeriet, 2003.
- [5] "Varuflödesundersökningen 2001, Metodrapport". SIKARapport 2003:4.
- [6] "National godsmodel, Modelopstilling og kalibrering". TetraPlan A/S for Trafikministeriet, 2004.
- [7] "Opgørelse af den internationale transitttrafik gennem Danmark". Institut for Transportstudier, NUTRADA, 2005.
- [8] "Fremtidens godsstrømme, Delprojekt 1 Rapport, Kortlægning af godsstrømme og knudepunkter", TetraPlan A/S for Transport- og Energiministeriet, 2005 (www.dtf.dk).

Kollektiv transport

Civilingeniør Torben Abildgaard Knudsen, Projektleder hos HUR, Trafik- og Udviklingsafdelingen, Gl. Køge Landevej 3, 36131689, tak@hur.dk

Fremkommelighed på A-buslinjerne, status efter fire år

Abstract

Siden A-busnettet blev indført i København har HUR intensiveret arbejdet med at forbedre bussernes fremkommelighed gennem byen. I dette paper beskrives, hvorfor bussernes fremkommelighed er vigtig og hvad der kan gøres for at forbedre den. Der gives en status på, hvad der er gennem tiden er gennemført af fremkommelighedsprojekter på A-busnettet, og udvalgte projekter evalueres v.h.a. før- og eftermålinger af køretider, indsamlet v.h.a. måleudstyr i busserne. Strukturreformens ikrafttræden pr. 1. januar 2007 har betydet, at trafikselskabets mulighed for at medfinansiere halvdelen af anlægsudgiften til fremtidige fremkommelighedsprojekter er bortfaldet, og ansvaret for bussernes fremkommelighed i trafikken vil fremover være en ren kommunal opgave.

Indledning

De seks A-buslinjer i København blev indført to og to i takt med udbygningen af Metroen på følgende tidspunkter:

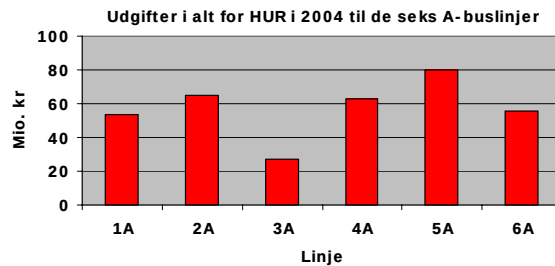
Oktober 2002:	2A Tingbjerg - Kastrup St. og 5A Husum Torv - Sundbyvester Plads
Maj 2003:	1A Hellerup St. - Avedøre St. og 6A Rødovrehallen - Emdrup Torv
December 2003:	3A Nordhavn St. - Valbyparken og 4A Svanemøllen St. - Lergravsparken

A-busserne udgør ryggraden i den Københavnske bustrafik og transporterer dagligt tilsammen ca. 200.000 passagerer, svarende til ca. 60% af passagererne i København og 30% af passagererne i hele Hovedstadsregionen. Arbejdet med at forbedre bussernes fremkommelighed startede allerede i slutningen af 1990'erne, men med indførelsen af A-busnettet blev indsatsen for alvor målrettet, og der blev sat flere penge af til formålet. I 2001 blev A-bussernes linjeføring analyseret, fremkommelighedsproblemer udpeget og løsningsforslag opstillet. Siden da har HUR arbejdet målrettet sammen med vejmyndighederne for at gennemføre flest mulige af de opstillede projektforslag til forbedring af fremkommeligheden på A-busnettet. Dette paper giver et overblik over gennemførte og igangværende fremkommelighedsprojekter på A-busnettet.

Arbejdet med at forbedre fremkommeligheden på A-buslinjerne sker i samarbejde med vejmyndighederne, primært Københavns og Frederiksberg Kommune, som lægger vejnet til størstedelen af A-busnettet. Der er dog også gennemført mange projekter med Københavns Amt, Hvidovre, Rødovre og Gentofte Kommune. De mest udbredte virkemidler er busprioritering i signalanlæg, ombygning af kryds og busbaner. Når et projekt er gennemført i marken evalueres det efterfølgende v.h.a. køretidsdata indsamlet fra busserne. Evt. opnåede køretidsgevinster dokumenteres og indpasses i køreplanen ved førstkommende køreplansskift.

Fremkommelighed er penge værd

Busfremkommelighed er i sin yderste konsekvens et spørgsmål om penge og vilje til at prioritere mellem trafikarterne. De seks A-buslinjer kostede i 2004 HUR ca. 344 mio. kr. i totale driftsudgifter at køre (billetindtægter er ikke modregnet), fordelt på linjerne på flg. måde:



Figur 1: Udgifter i alt for HUR i 2004 til de seks A-buslinjer

Disse udgifter vil efter strukturreformens ikrafttræden pr. 1.januar 2007 skulle afholdes af de kommuner, som A-buslinjerne kører igennem.

En bedre fremkommelighed for bussen betyder, at den samme busbetjening/frekvens kan opretholdes med et mindre vogntimeforbrug og et lavere antal busser, når tidsgevinsterne bliver så store, at der direkte kan pilles en bus ud af køreplanen. Herved omsættes anlægsudgiften, der er en engangsinvestering, til en årligt tilbagevendende driftsbesparelse. Samtidig viser erfaringerne, at en bedre fremkommelighed øger rejsehastigheden for passagerne i bussen og trækker flere passagerer til og dermed genererer flere passagerindtægter. Hidtil har HUR medfinansieret anlægsudgifterne med 50%, men pr. 1 januar 2007 nedlægges HUR, og muligheden for at medfinansiere fremkommelighedsprojekter bortfalder. Udgifterne hertil vil fremover skulle afholdes af vejmyndigheden alene, som til gengæld også får den fulde gevinst af projekterne i form af en billigere og bedre busdrift.

A-busserne kører stort set kun på det overordnede vejnet, har mange passagerer og høj frekvens, og har derfor i stor udstrækning været skånet for de værste fremkommelighedsforringende foranstaltninger, som vejmyndighederne ofte gennemfører med andre formål for øje. Det er typisk hensyn til trafiksikkerhed (oftest fartdæmpende foranstaltninger som bump og hævede flader), cyklister, parkeringsmuligheder og æstetik som vejer tungere end vilkårene for bustrafikken. Logikken er i princippet det samme som anført ovenfor, bare med modsat fortegn. En længere køretid, som bliver nødvendig, når hastigheden sænkes over længere strækninger (typisk fra 50 km/t til 40 km/t), udløser i sidste ende en ekstraregning i form af flere vogntimer og i særligt grelle tilfælde behovet for at indsætte en ekstrabus for at kunne opretholde frekvensen. Alternativet er at skære ned i frekvens, hvis udgiftsniveauet skal holdes i ro.

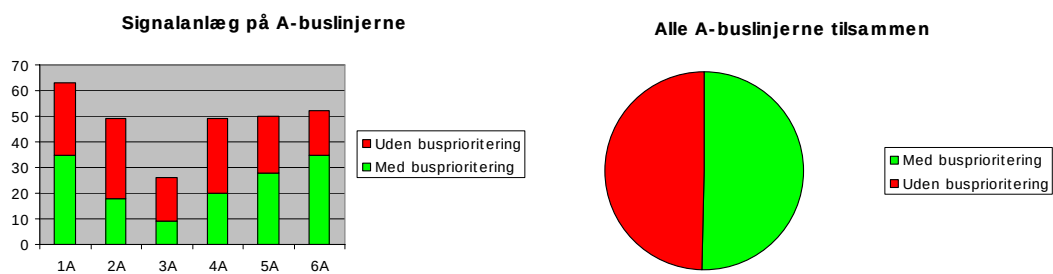
De mest udbredte faktorer, som påvirker bussernes fremkommelighed er angivet i tabel 1:

Tiltag der forbedrer fremkommeligheden	Tiltag der risikerer at forringe fremkommeligheden
Bussluser	Bump
Busveje	Hævede flader
Busbaner	Vejindsnævninger og midtervulster
Bussignaler	Trafiksaneringer
Busprioritering i signalanlæg	Hastighedsnedsættelser over længere strækninger
Dosering af trafik i signalanlæg	Øget trængsel
Parkeringsrestriktioner	Cykelstier / -baner (hvis kørebanen indsnævres)
Fremrykkede stoppesteder	Parkeringspladser
Bus-lige-ud i højresvingsbane	Nye signalanlæg uden busprioritering
Bedre placering af stoppesteder i.f.t. signalanlæg	Varelevering på smalle gader
Bedre og hurtigere billetteringssystem	Uhensigtsmæssig indretning af terminaler
Udformning og indretning af bussen	Signalstyring, der ikke tager hensyn til busserne

Tabel 1: Faktorer, der påvirker bussernes fremkommelighed

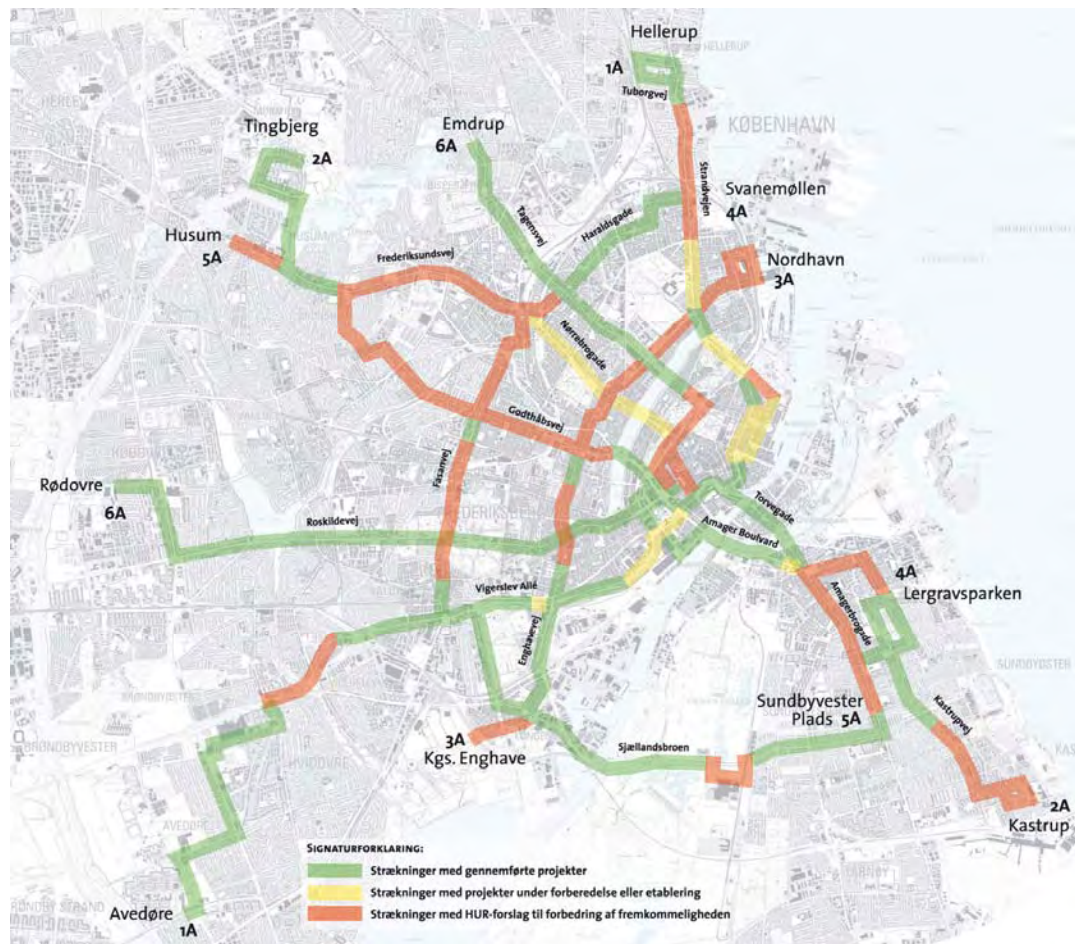
Busprioritering på A-busnettet

A-busserne kører i alt gennem ca. 290 signalanlæg. Heraf er der siden midten af 1990'erne etableret busprioritering i ca. halvdelen. Fordelingen på de seks linjer er omtrent som vist på figur 2:



Figur 2: Busprioritering i signalanlæggene på de seks A-buslinjer.

HUR gjorde i efteråret 2005 status over fremkommeligheden på A-busnettet i publikationen: "Fremkommelighed på A-busserne - status september 2005", der bl.a. kan findes på HUR's hjemmeside på Internettet. I efteråret 2005 så billedet således ud:



Figur 3: Strækninger med busprioritering på A-busnettet, kilde "Fremkommelighed på A-busnettet - status september 2005"

Siden da er nye projekter undervejs, primært på Frederiksberg, hvor HUR og Frederiksberg Kommune i 2006 samarbejder om at gennemføre mest muligt af den fælles "Busstrategi 2005 - Frederiksberg", som er opstillet for bustrafikken i kommunen. Endvidere er der et par strækningsprojekter og en håndfuld punktprojekter undervejs i Københavns Kommune.

De største projekter (gennemførte og undervejs) på hver linje er følgende:

1A Hellerup St - Avedøre St.

- Punktprojekter i Hvidovre og Gentofte Kommune og Københavns Amt (2002-)
- Adaptiv signalstyring (Motion) i Valby (2001-)
- Ombygning af krydset Vigerslev Allé / Vester Fælledvej (2005)
- Ombygning af rundkørslen ved Dybbølsbro Station til signalregulering med busprioritering (2005)
- Strækningsprojekt i Vindebrogade / Holmens Kanal fra Stormbroen til Kongens Nytorv (2002-2005)
- Kongens Nytorv - Bredgade optimering af signaler (2005)
- Busbane, fremrykkede stoppesteder og busprioritering på Dag Hammarskjølds Allé (2006)
- Krydsombygninger, parkeringsrestriktioner og signaloptimering i Store Kongensgade (2006)
- Forlængelse af busbane, busprioritering i signalanlæg og fremrykkede stoppesteder på Østerbrogade (2006)

2A Tingbjerg - Kastrup St.

- Busprioritering i signalanlæg på Kastrupvej, i indre by og på Frederikssundsvej (2002-)
- Busbaner i Torvegade og indre by (1997-)
- Punktprojekter på Godthåbsvej (2002-2006)

3A Nordhavn St. - Valbyparken

- Punktprojekter på Enghavevej (2005-)
- Fremrykkede stoppesteder på dele af H.C.Ørstedesvej (2002)
- Punktprojekter, krydsombygning og busbane på H.C.Ørstedesvej (2006)
- Forsøgsprojekt med elektronisk signalprioritering i Ndr. Frihavnsgade (2006)

4A Svanemøllen St. - Lergravsparken

- Punktprojekter jævnt fordelt over hele linjen
- Busbaner og forsignaler på dele af Nordre og Søndre Fasanvej (2002-?)
- Adaptiv signalstyring (Motion) i Valby (2001-)
- Busbaner på Sjællandsbroen og Vejlands Allé (1990-)

5A Husum Torv - Sundbyvester Plads

- Busprioritering i signalanlæg på Frederikssundsvej (2002-)
- Strækingsprojekt på Nørrebrogade (2007-)
- Busbaner og busprioritering i signalanlæg på Amager Boulevard / Langebro (2004)
- Priobus på Amagerbrogade (1998-2002)

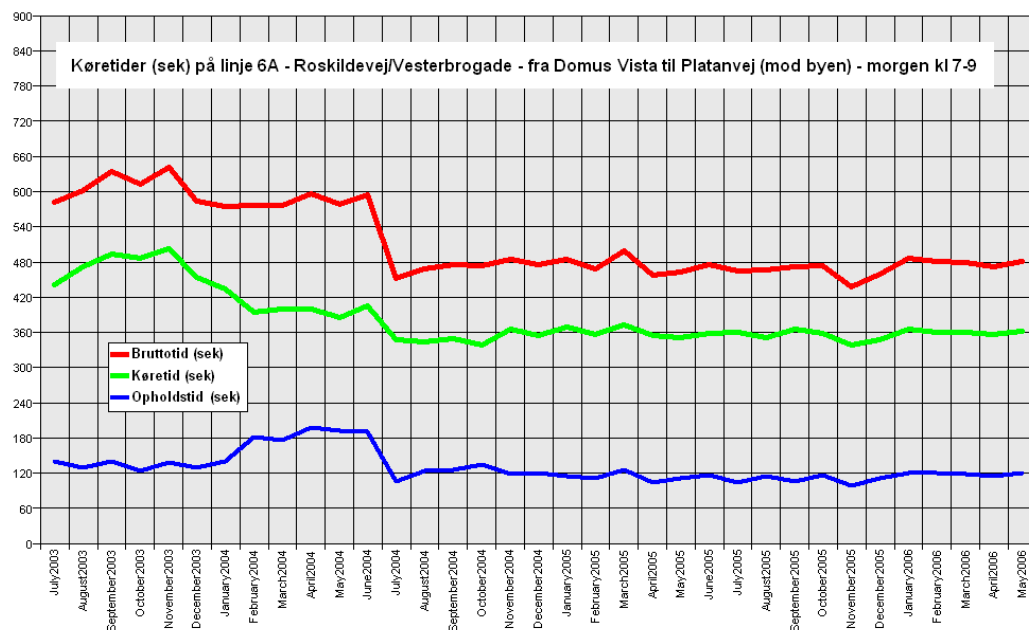
6A Rødovrehallen - Emdrup Torv

- Adaptiv signalstyring (MOTION) på Tårnvej og Roskildevej (2004-)
- Busbaner og dosering af trafik i signalanlæg på Roskildevej (2003-)
- Gadeombygning af Vesterbrogade (2003-2005)
- Signaloptimering og krydsombygninger på Tagensvej (2004)
- Krydsombygning og optimering af signalanlæg på strækningen mellem Nørreport og Blegdamsvej (2006)

I det følgende vises udvalgte eksempler fra hver linje.

Linje 6A: Roskildevej på Frederiksberg er i fokus

Busbanerne og doseringen i signalanlæggene på Roskildevej, der blev indført i slutningen af 2003, er blandt de bedste eksempler på en forbedret fremkommelighed på A-busserne. Tiltagene har over en meget kort strækning (lidt over 2 km med 8 stoppesteder i hver retning) givet store køretidsbesparelser, som blev indarbejdet i linjens køreplan i sommeren 2004. På figur 4 vises udviklingen i køretiden fra Domus Vista til Platanvej over en treårig periode. Faldet i køretiden (den grønne kurve) fremgår tydeligt. Samtidig med at køretiden faldt, steg opholdstiden ved stoppestederne (den blå kurve) i en periode, som følge af, at busserne holdt længere ved stoppestederne for ikke at komme "for tidligt" ind på den efterfølgende strækning. Først efter at der blev skåret 2 minutter i køretiden i sommeren 2004 er forholdene stabiliseret, og det ses at køretiden har været stabil lige siden.



Figur 4: Udviklingen i køretid på Roskildevej

Frederiksberg Kommune har nu besluttet, at Roskildevej i 2006 skal "begrønnes" på strækningen mellem Dalgas Boulevard og Søndre Fasanvej. Dette skal bl.a. ske ved at etablere midterheller på strækningen, der hermed indsnævres fra to til et kørespor i hver retning. Som et led i implementeringen af den fælles "Busstrategi 2005" er der derfor stor fokus på ikke igen at forringe fremkommeligheden for linje 6A, selv om dele af strækningen nu ombygges med andre formål for øje. Virkemidlerne for at opretholde den gode fremkommelighed er bl.a.:

- Forlængelse af eksisterende busbaner op mod krydsene i begge retninger
- Justering af doseringsfunktionen i signalanlæggene på Roskildevej
- Fremrykket stoppested ved Dalgas Boulevard i retning mod byen.
- Optimering af signalanlægget ved Pile Allé / Roskildevej
- Trafikstyret indkobling af sideretningen ved Vesterbrogade / Halls Allé

Først når projektet er gennemført i marken, vil den nye situation kunne evalueres og de endelige konsekvenser for bustrafikken kunne opgøres. Til den tid vil det være Frederiksberg Kommune, der skal afholde udgifterne til busdriften på den begrønnede del af Roskildevej.

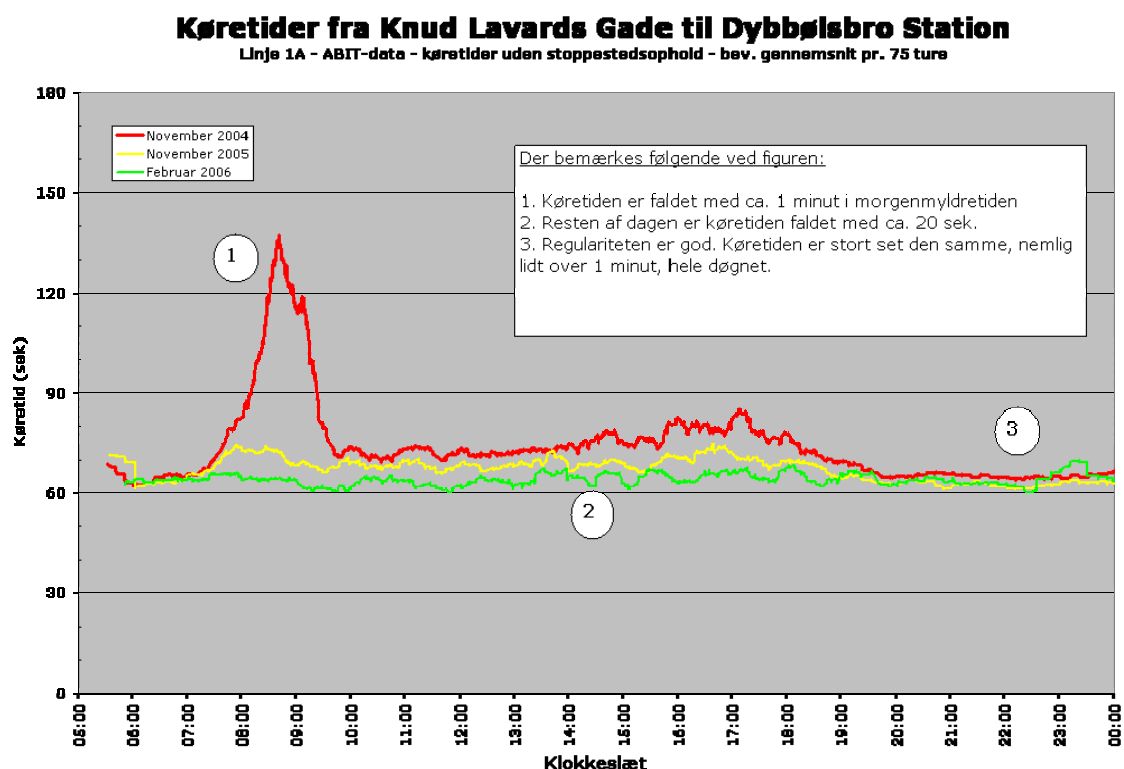
Også andre steder på linje 6A er der gennemført fremkommelighedsprojekter, bl.a. på Tårnvej, Vesterbrogade og Tagensvej. Samlet set har HUR og vejmyndighederne investeret ca. 29 mio. kr. i fremkommelighed på linje 6A. Projekterne er gennemført som store sammenhængende strækingsprojekter, og resultaterne er da heller ikke udeblevet. Køretiden har kunnet reduceres med 4-6 minutter i hver retning, svarende til en reduceret driftsomkostning på i alt ca. 4,7 mio. kr. om året, samtidigt med at der lokalt har kunnet indsættes flere busser. Samtidig har linjen fået flere passagerer, svarende til en årlig merindtægt i størrelsesordenen 2 mio. kr. Dermed er den samlede anlægsinvestering i fremkommelighed på 6A tjent hjem igen i løbet af 4-5 år.

Arbejdet fortsætter i 2006, hvor fokus på linje 6A er på strækningen mellem Nørreport Station og

Blegdamsvej, primært venstresvinget fra Øster Voldgade ind i Sølvgade, som nu udgør det største fremkommelighedsproblem på strækningen. Samtidig er det en strækning, der er meget intensivt busbetjent (foruden linje 6A kører 150S, 173E, 184 og 185) (flere hundrede busser i døgnet i alt), så potentialet ved at forbedre fremkommeligheden her er stort.

Linje 1A: Ombygning af rundkørslen ved Dybbølsbro Station

Linje 1A er en linje, der på yderstrækningerne er præget af fremkommelighedsproblemer i retning mod byen om morgenen. Et eksempel på et fremkommelighedsproblem, der nu er løst, er ved Dybbølsbro Station, hvor ombygningen af den tidligere rundkørsel til et trafikstyret signalanlæg med busprioritering har givet en køretidsbesparelse på gennemsnitligt et minut om morgenen i retning mod byen og tilsvarende om eftermiddagen i udadgående retning. Figur 5 viser en analyse af køretiderne mellem to stoppesteder med en afstand på ca. 600m før og efter ombygningen:



Figur 5: Evaluering af ombygningen af rundkørslen ved Dybbølsbro Station

Omtrent samme køretidsprofil er konstateret følgende steder:

- Vigerslev Allé / Vigerslevvej (problemet søges løst som et punktprojekt 2006)
- Ingerslevsgade / Tietgensgade (problemet er indtil videre uløst)
- Dag Hammarskjølds Allé (problemet søges løst som strækningsprojekt 2006)

Herudover er der i resten af 2006 stor fokus på linje 1A, idet en stor del af årets projekter er koncentreret på denne linje. Der er projekter undervejs på følgende strækninger:

- Østerbrogade (busprioritering i signalanlæg, fremrykkede stoppesteder og længere busbane)

- Dag Hammarskjölds Allé (busbane i retning mod byen, busprioritering i signalanlæg og fremrykkede stoppesteder)
- Store Kongensgade (krydsombygninger, parkeringsrestriktioner, busprioritering i signalanlæg og forbedret dosering ved Esplanaden)

Det er hensigten at lave en større gennemgang af køreplanen for linje 1A, når de igangværende projekter er afsluttede, for at samle op på de forventede køretidsgevinster som følge af en bedre fremkommelighed på linjen.

Linje 2A: Godthåbsvej har potentialer

Siden starten af 2006 kører linje 2A på en særlig kontraktform, hvor en større del af køreplanlægningen er overladt til entreprenøren. Der afregnes i forhold til en leveret frekvens og regularitet, og det er overladt til entreprenøren at vurdere, hvor mange busser der skal indsættes, og hvor lang tid det tager at køre de enkelte delstrækninger igennem.

I 2006 er fremkommelighedsarbejdet på 2A primært rettet mod Godthåbsvej, som en del af den fælles implementering af "Busstrategi Frederiksberg - 2005" med Frederiksberg Kommune. Der forventes gennemført følgende signalprojekter på Godthåbsvej i 2006:

- Vagtelvej: præference for Godthåbsvej-retningen og trafikstyret indkobling af sideretningen
- Tesdorfsvej: busprioritering, dosering af trafik og myldretidsbusbane i retning mod byen
- Nordre Fasanvej: eksisterende busprioritering i begge retninger optimeres
- Kronprinsesse Sofies Vej: busprioritering i retning mod byen
- Falkonér Allé: busprioritering i alle fire retninger og trafikstyret fordeling af grøntid
- Rolighedsvej - Bülow'svej: busprioritering i begge retninger
- Rosenørns Allé - H.C.Ørsted'svej: busprioritering i alle fire retninger
- Stoppestedet ved H.C.Ørsted'svej i retning ud af byen (mod vest) fremrykkes

Det forventede potentiale af projekterne ligger i størrelsesordenen 1 minut i dagtimerne i hver retning. Når projekterne er gennemført vil de blive evalueret og evt. køretidsgevinster som følge af den forbedrede fremkommelighed vil indgå i forhandlingerne med entreprenøren om det fremtidige antal busser og vogntimer.

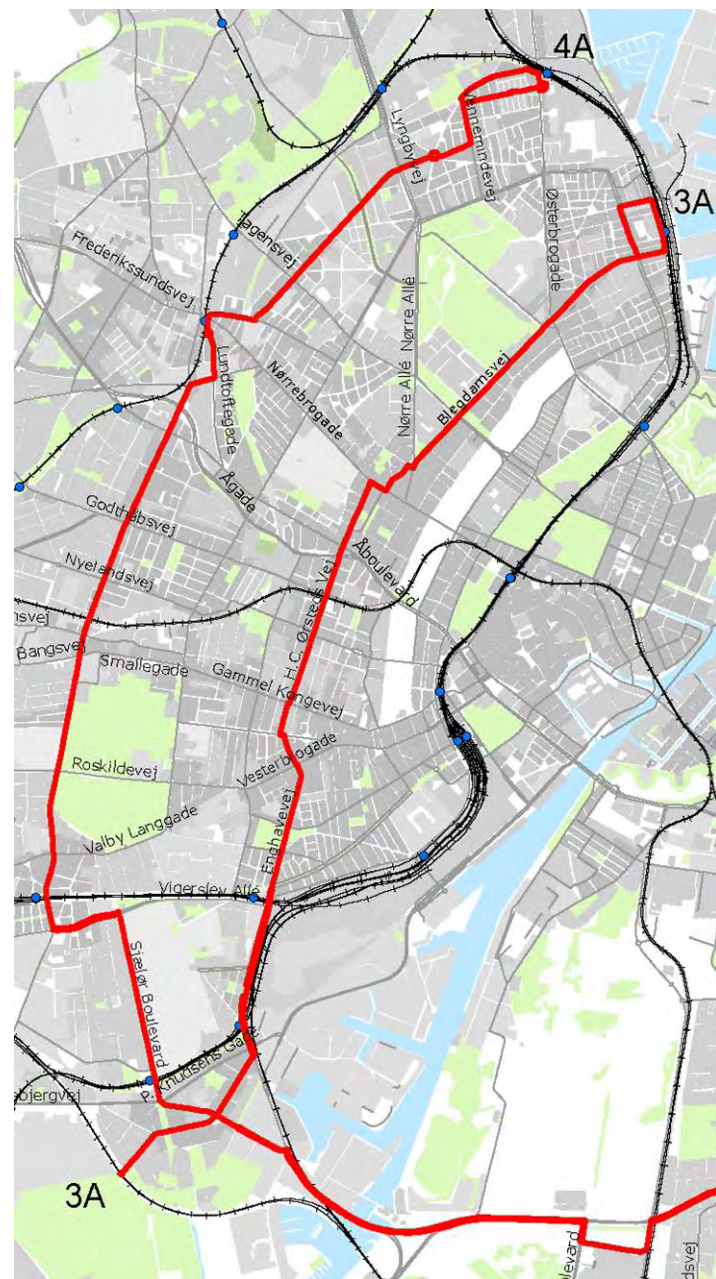
Linje 3A og 4A: Linjerne på tværs af byen

Linjerne 3A (Nordhavn St. - Valbyparken) og 4A (Svanemøllen St. - Lergravsparken) kører på tværs af byen og dermed også på tværs af mange af de store ind- og udfaldsveje med stor trængsel i myldretiderne. Derfor er det begrænset, hvad der kan gøres for fremkommeligheden på disse to linjer, da der mange steder også er flere og større buslinjer på tværs. Derfor kan det tit være nødvendigt at prioritere mellem krydsende buslinjer, hvor den største buslinje typisk prioriteres højest, indtil det på et tidspunkt er muligt at prioritere mere intelligent og selektivt på baggrund af kriterier som forsinkelse, belægning o.s.v. Alligevel er der enkelte projekter undervejs på de to linjer i 2006.

H.C.Ørstedesvej (3A)

H.C.Ørstedesvej indgår ligesom Godthåbsvej i det fælles arbejde med Frederiksberg Kommune om at implementere den fælles "Busstrategi 2005". Kommunen har dog samtidig besluttet at etablere cykelstier på H.C.Ørstedesvej, hvilket forventes at begrænse effekten af de fremkommelighedsforbedrende tiltag. Projekterne er følgende:

- Busprioritering i følgende kryds
- Rosenørns Allé / H.C.Ørstedesvej
- Thorvaldsensvej / Danasvej
- Gammel Kongevej
- Alhambravej - Frederiksberg Allé
- Busbane op imod Gl. Kongevej fra nord
- Fremrykkede stoppesteder på Alhambravej



Figur 6: Linje 3A og 4A på tværs af byen

Elektronisk signalprioritering i Nordhavnsområdet (3A)

HUR afprøver i løbet af 2006, om det IT-udstyr, som i forvejen sidder i A-busserne kan benyttes til aktiv busprioritering i signalanlæg. Teknologien forventes at have flg. fordele:

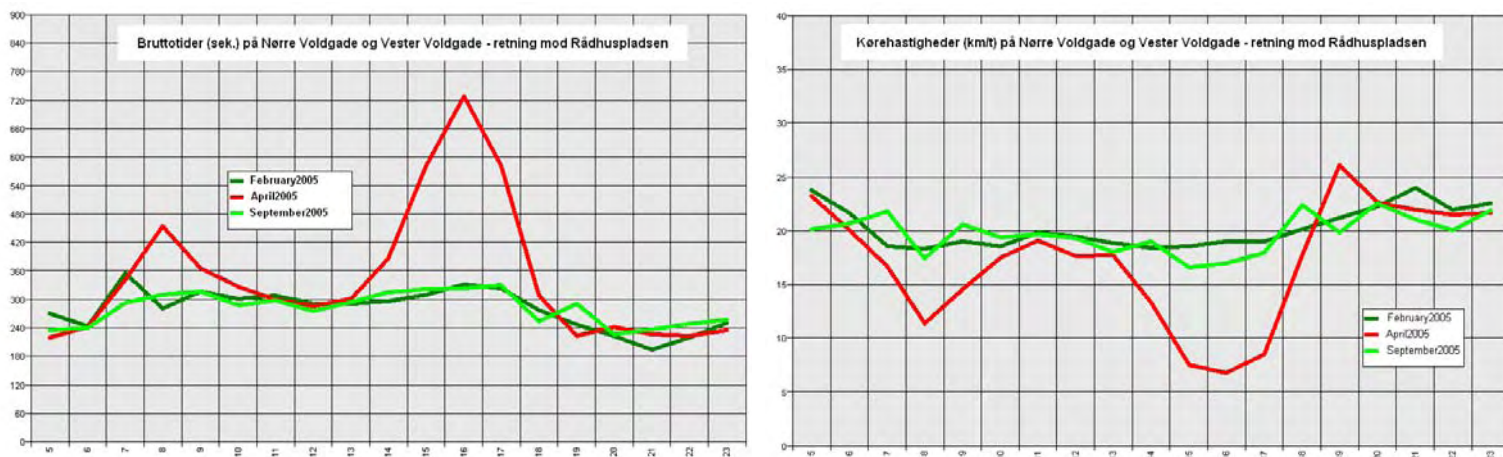
- Billigere i anlægsudgift pr. signalanlæg
- Mere driftsstabil
- Mindre følsom over for slitage af spoler og vejbelægninger
- Mere fleksibel og på længere sigt selektiv busprioritering

Forsøget forventes gennemført i løbet af efteråret 2006 og efterfølgende evalueret. Såfremt det viser sig at være en succes, vil teknologien med fordel kunne udbredes til resten af A-busnettet, i takt med at nye projekter gennemføres og gamle spoler skal udskiftes, når de går i stykker.

Linje 4A kører også på tværs af byen og de store færdselsårer, ligesom linje 3A. Samtidig er der igennem de seneste par år anlagt cykelstier på Nordre og Søndre Fasanvej, som har reduceret effekten af de fremkommelighedsforbedrende tiltag som ellers er etableret på strækningen. Herudover kører linje 4A gennem Valby, hvor signalerne styres af det adaptive signalstyringssystem MOTION, som giver en noget varierende fremkommelighed. Også i Sydhavnsområdet er trafikken i perioder så intens, at busserne har fremkommelighedsproblemer.

Linje 5A: Problemer i Nørre Voldgade i 2005

Linje 5A er A-bussernes ”storebror”, som den linje, der dagligt transporterer flest mennesker, har den højeste frekvens og dermed også er dyrest for HUR at køre. Det er dermed også en af de linjer, hvor potentialet af en forbedret fremkommelighed er størst. Som beskrevet indledningsvist kan fremkommeligheden påvirkes af mange faktorer og variere meget over året. I 2005 blev linje 5A eksempelvis berørt af et vejarbejde i Nørre Farimagsgade, som i et halvt års tid påvirkede trafikken i Nørre Voldgade temmelig kraftigt. Den konstante indsamling af data fra A-busserne giver mulighed for at analysere og illustrere disse konsekvenser for bustrafikken meget detaljeret. På figur 7 er vist døgnprofiler over hhv. køretider (inkl. stoppestedsophold) og kørehastigheder (uden stoppestedsophold) på linje 5A på strækningen fra Nørreport Station til Rådhuspladsen.



Figur 7: Bruttotider og kørehastigheder i Nørre Voldgade

Af figuren fremgår tydeligt, at der i en periode har været store fremkommelighedsproblemer på Nørre Voldgade. Om eftermiddagen blev køretiden fra Nørreport St. til Rådhuspladsen mere end fordoblet, og bussens hastighed dalede til noget nær gangtempo. Sidst på året stabiliserede forholdene sig igen, efter at vejarbejdet var afsluttet.

Der er dog også projekter på 5A, der trækker den anden vej. På Frederikssundsvej er siden 2002 gennemført en stribe punktprojekter sideløbende med et kommunalt trafiksikkerhedsprojekt. Busbanerne på Amager Boulevard og Langebro er forlænget, og der er justeret på signalerne. Nørrebrogade forventes at blive næste store strækningsprojekt på linjen, men det gennemføres for

kommunens egen regning fra år 2007 og fremefter, da projektet ikke har kunnet startes op inden udgangen af 2006.

Konklusion

Det betaler sig at investere i bussernes fremkommelighed. En engangsinvestering i form af en anlægsudgift omsættes til en årligt tilbagevendende besparelse på driftsudgifterne til bustrafikken. HUR har hidtil medfinansieret halvdelen af projekter, der forbedrer bussernes fremkommelighed gennem byen. Med strukturreformens ikrafttræden pr. 1. januar 2007 bortfalder denne medfinansiering, og det bliver frem over en ren kommunal opgave at opretholde/forbedre bussernes fremkommelighed. Samtidig overgår det økonomiske ansvar for bustrafikken til den enkelte kommune, som fremover mere direkte vil skulle betale for den udførte buskørsel i kommunen.

Bussens fremkommelighed er afgørende for, hvor hurtigt bussen kan komme gennem byen, og dermed for hvor mange ressourcer der skal bruges for opretholde et givent bustilbud til kommunens borgere. Forringes fremkommeligheden, går det ud over busdriften. Den bliver dyrere, hvis den samme frekvens skal opretholdes, og den forringes, hvis der skal skæres i frekvensen for at holde udgiftsniveauet nede.

Bussernes fremkommelighed kan sikres v.h.a. en lang række tekniske virkemidler, men det er altafgørende, at den politiske vilje til at prioritere busserne i den stadigt stigende trafik, er til stede. Samtidig er det vigtigt, at udviklingen i trafikken følges løbende, og at etablerede busprioriteringstiltag holdes ved lige.

A-bussernes fremkommelighed har været prioriteret højt igennem den seneste årrække. Der findes dog også mange eksempler på, at der på A-busnettet er gennemført projekter med andre formål for øje, som dermed er gået ud over fremkommeligheden for busserne.

HUR har gennem arbejdet med fremkommeligheden på A-busnettet oparbejdet viden om, hvad der påvirker bussernes fremkommelighed, og hvordan det slår igennem i forhold til bussernes køreplaner og i sidste ende den økonomiske afregning for den udførte bustrafik. Denne viden stiller vi fortsat gerne til rådighed via det nye trafikselskab i et tæt samarbejde med vejmyndighederne fra år 2007 og fremefter. Det endelige ansvar for, hvor hurtigt og nemt busserne kommer gennem byen vil dog fremover være et rent kommunalt anliggende.

Simulering af passagerforsinkelser på jernbaner

Alex Landex¹, Civilingeniør, al@ctt.dtu.dk

Otto Anker Nielsen¹, Professor, oan@ctt.dtu.dk

¹Center for Trafik og Transport (CTT), Danmarks Tekniske Universitet (DTU)
Bygning 115, st.tv. Bygningstorvet, 2800 Kgs. Lyngby

1 Resumé

Artiklen beskriver forskellige gængse metoder til opgørelse af passagerernes forsinkelser i jernbanedrift. Metoderne beskrives startende fra de simpleste 0. generations opgørelsesmetoder for (tog-) og passagerforsinkelser, hvorefter de mere avancerede 1. – 3. generations passagerforsinkelsesmodeller præsenteres. De forskellige metoder til opgørelse af passagerforsinkelser sammenlignes, og de forskellig metoders fordele og ulemper beskrives.

Efter præsentation af de forskellige metoder til opgørelse af passagerforsinkelser beskrives det hvordan 1. – 3. generations passagerforsinkelsesmodeller kan kombineres med jernbanesimuleringssoftware således at det ud over opgørelser af forsinkelser i eksisterende køreplaner (og infrastruktur) er muligt at forudsige passagerforsinkelser. Derved er modellerne et nyttigt redskab ved vurdering af robustheden af fremtidige køreplaner, kapacitetsudvidelser, ny infrastruktur samt gener ved sporarbejder og anden vedligehold.

For at vurdere forskellene mellem 3. generations passagerforsinkelsesmodeller og tidligere generationer præsenterer artiklen simuleringer af driften på S-banen, og her evalueres både togenes og passagerernes forsinkelser.

Resultaterne viser, at der er stor forskel på togregularitet og passagerregularitet – passagererne bliver generelt mere forsinket end togene som følge af uregelmæssigheder i driften. Der er imidlertid stor forskel på om man beregner passagerernes forsinkelser med en 1., 2. eller 3. generations passagerforsinkelsesmodel, da passagererne i 1. generations passagerforsinkelsesmodeller antages at have fuldt kendskab til forsinkelser (også de fremtidige), hvilket ikke er tilfældet for passagerforsinkelsesmodeller af 3. generation. I 2. generationsmodeller antages passagererne at kende sandsynlighederne for forsinkelser, men ikke de konkrete forsinkelser.

Artiklen konkluderer på baggrund af resultaterne at 3. generations passagerforsinkelsesmodeller giver et mere præcist billede af passagerforsinkelserne end passagerforsinkelsesmodeller af 1. og 2. generation. Og eftersom 3. generations passagerforsinkelsesmodeller ikke er vanskeligere eller mere datatunge tidligere generationer af passagerforsinkelsesmodeller anbefales det at der benyttes de mere præcise 3. generations passagerforsinkelsesmodeller i fremtidige analyser.

2 Introduktion

Ved planlægning af større ændringer i infrastruktur og/eller køreplaner vurderes passagerernes kommende forsinkelser ofte. I mange tilfælde vurderes passagerernes kommende forsinkelser blot kvalitativt, mens passagerforsinkelserne i andre tilfælde vurderes kvantitativt – fx ved simulering. Ved den kvantitative vurdering af passagerforsinkelser medtages passagerernes rejseadfærd kun sjældent – det vil sige, at det implicit antages at passagerer ikke skifter mellem tog, at antal ankomende passagerer til et tog ikke påvirkes af forsinkelsen, at passagererne ikke har mulighed for at ændre deres rejserute som følge af forsinkelser og, at der ikke forekommer aflysninger af tog [18]. Disse simple kvantitative (og kvalitative) vurderinger af passagerforsinkelser benævnes i denne artikel som 0. generations passagerforsinkelsesmodeller.

1. generations passagerforsinkelsesmodeller tager (modsat 0. generations passagerforsinkelsesmodeller) højde for at passagerer kan ændre rejserute som følge af forsinkelser. 1. generations passagerforsinkelsesmodeller blev første gang præsenteret i Danmark i forbindelse med udredningen om kapacitetsudvidelse af banestrækningen København – Ringsted i 1999 [12]. En rendyrket form for en sådan model er præsenteret i [15]. I princippet svarer det til at passagerne antages at have fuldt kendskab til nettet og forsinkelser – også før de indtræffer – og derved kan tage højde for disse forsinkelser (jf. afsnit 3.2 Optimal rutevalgsmode (1. generation)).

Imidlertid blev det i dette projekt besluttet at forbedre 1. generationsmodellen ved at forbinde København – Ringsted passagerforsinkelsesmodellen til en rutevalgsmode, således at data fra UX-SIMU¹ blev overført til beregningen af passagerforsinkelser [12][13]. I selve beregningen af passagerforsinkelserne blev det (som i andre 1. generations passagerforsinkelsesmodeller) antaget, at passagererne har fuld information om forsinkelserne i den enkelte simulerede køreplan. Men da flere dage blev simuleret, svarede resultatet til, at passagerne optimerer deres rutevalg, given en empirisk (erfaringsmæssig) sandsynlighedsfordeling for forsinkelser. Derved påvirkes rutevalget, hvis fx bestemte linier er mere forsinkede end andre. Men passagerne antages ikke at ændre ruter undervejs på den enkelte dags tur (jf. afsnit 3.3 Passagerforsinkelsesmodel (2. generation)).

Det er først for nylig blevet muligt at modellere passagerernes rejseadfærd, hvorved det er blevet muligt at evaluere de faktisk realiserede passagerforsinkelser på større jernbanenetværk – den såkaldte 3. generations passagerforsinkelsesmodel. 3. generations passagerforsinkelsesmodeller til modellering og evaluering af realiserede passagerforsinkelser blev første gang præsenteret i 2004 [14]. Løsningsalgoritmen er siden blevet optimeret og evalueret [17]. Denne metode til beregning af passagerforsinkelser ved hjælp af en passagerforsinkelsesmodel har hidtil ”kun” været anvendt til evaluering af den realiserede drift på S-banenettet i København [18]. Ved at kombinere den allerede udviklede og gennemprøvede 3. generations passa-

¹ UX-SIMU er et simuleringsprogram, der kan bestemme togforsinkelser på jernbaner.

gerforsinkelsesmodel med standard simuleringstvæktøjer for jernbaner som fx RailSys er det muligt at forudsige og vurdere fremtidige passagerforsinkelser på jernbanen (jf. afsnit 3.4 Passagerforsinkelsesmodel (3. generation)) – denne ide blev første gang præsenteret i [6].

Første del af artiklen gennemgår forskellige (gængse) metoder til beregning af passagerforsinkelser samt disse metoders fordele, ulemper og begrænsninger. Efterfølgende beskrives det hvordan beregning af passagerforsinkelser kan kombineres med simulering af jernbanetrafik således at man kan forudsige passagerforsinkelser ved ændringer i infrastruktur og/eller køreplaner. Metoden til at forudsige passagerforsinkelser bliver efterfølgende afprøvet på den københavnske S-bane, hvorefter der er en diskussion af beregning af passagerforsinkelser inden der konkluderes og perspektiveres.

3 Metoder til beregning af passagerforsinkelser

Der findes en række forskellige metoder til beregning af passagerforsinkelser. Nogle metoder er simple og lette at anvende, men forsimplede og upræcise, mens andre metoder er mere komplekse, men til gengæld mere præcise. Dette afsnit beskriver en række af de metoder der kan benyttes til bestemmelse af passagerernes forsinkelser, hvorefter metoderne sammenlignes. Metoderne nedenfor er beskrevet med de simpleste 0. generations metoder først, hvorefter metoderne udvides trin for trin til 3. generations metoden, der er mere præcis.

3.1 0. generations-modeller

Fælles for 0-generationsmodellerne er, at de ikke modellerer ændringer i passagers rutevalg. Inden for denne kategori af modeller, er der i praksis benyttet forskellige opgørelsesmetoder til beregning af passagerforsinkelser.

3.1.1 Togforsinkelser (0. generation)

Vurdering af togforsinkelser (uden hensyntagen til passagerer) er den simpleste metode til vurdering af passagerforsinkelser. Denne metode vurderer blot hvor mange tog der vil være forsinket enten som kvalitativ vurdering, skøn, simulering eller som opfølgning af den faktiske togdrift. Passagerforsinkelserne vurderes herefter oftest blot som værende proportional med togforsinkelserne, hvilket imidlertid er en forsimplet antagelse der fejlvurderer passagerforsinkelserne [18].

Selv om togforsinkelserne ikke tager synderligt hensyn til passagererne og passagerernes fordeling på linier og tidspunkter er togforsinkelserne alligevel en vigtig del i andre opgørelsesmetoder af passagerforsinkelser. At togforsinkelser er vigtige i opgørelsen af passagerforsinkelser hænger sammen med at passagererne kun antages at blive forsinkede, såfremt togene også er forsinkede.

3.1.2 Snitforsinkelse (0. generation)

De fleste operatørselskaber ved nogenlunde hvor mange passagerer der stiger af og på togene ved de enkelte stationer og afgange. Disse data bruges bl.a. til afregning trafikselskaberne

imellem og til planlægningsformål. Skal toget standse ved stationen eller være gennemkørende? Og hvor længe skal toget i givet fald holde ved stationen (mange passagerer resulterer i længere holdetid end få passagerer).

Når det gennemsnitlige antal passagerer, der stiger af på den enkelte station, kendes sammen med togforsinkelserne – også fordelt på stationer og afgang – er det muligt at beregne passagerforsinkelserne mere præcist end ved togforsinkelsesmetoden. Snitforsinkelsesmetoden tager ikke hensyn til, at antallet af passagerer i de enkelte afgang kan variere fra dag til dag og i forhold til togenes forsinkelser.

3.1.3 Tælletogets forsinkelse (0. generation)

Antallet af passagerer på den enkelte afgang varierer dag for dag. En del af variationen i passagerantallet skyldes naturlige variationer såsom ekstra rejser til stranden når det er varmt, ferier og fridage samt større arrangementer som fodboldkampe og andre arrangementer. Denne form for passagervariation kan imidlertid medtages, hvis man tæller antallet af passagerer, der stiger på og af togene (fx med automatisk tælleudstyr). Derved kan der opnås en mere præcis opgørelse af passagerforsinkelserne.

Opgørelse af passagerforsinkelser ved tælletogets metode medtager imidlertid også variation i passagerantallet som følge af forsinkelser i togdriften. Denne variation kan illustreres ved eksemplet i tabel 1.

	Station A		Station B		Station C	
	På	Af	På	Af	På	Af
Til tiden	100	0	50	50	0	100
Til tiden	100	0	50	50	0	100
5 min forsinket	150	0	75	75	0	150
Til tiden	50	0	25	25	0	100
Til tiden	100	0	50	50	0	100

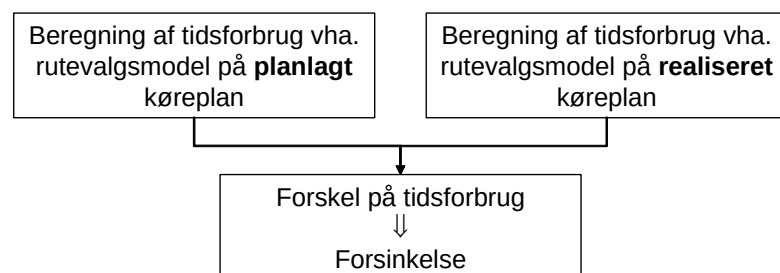
Tabel 1: Eksempel på variationen i passagerantal som følge af togforsinkelser.

Tabel 1 viser en banelinie med 3 stationer (A, B og C), hvor der kører tog hvert 10. minut. Hvis alle tog kører til tiden står der 100 passagerer på ved station A (første station), mens der står 50 passagerer på og af på station B og der står 100 passagerer af på station C. Eftersom toget kører med (forholdsvis) høj frekvens (hvert 10. minut) antages det at passagererne ankommer jævnt fordelt til stationen. Er det ene tog 5 minutter forsinket fra station A, vil der således være flere passagerer i toget samtidig med at der også vil være flere passagerer der venter på station B (jf. tabel 1). Det efterfølgende tog vil derefter have færre passagerer, da en del af passagererne har haft mulighed for at tage det forsinkede tog.

De passagerer, som har nået det forsinkede tog, og ellers skulle have ventet til det efterfølgende tog, hvis toget havde kørt til tiden ankommer før planlagt. Ved talletogsmetoden registreres de passagerer der har nået et tidligere tog som værende forsinkede, da de stiger af et forsinket tog.

3.2 Optimal rutevalgsmodel (1. generation)

Beregning af passagerforsinkelser efter talletogsmetoden tager (som beskrevet i afsnit 3.1.3 Talletogsforsinkelse) ikke højde for variationen af passagerer som følge af forsinkelser – det forsinkede tog vil have flere passagerer mens toget der følger efter det forsinkede tog vil have færre passagerer. Denne passagervariation tages der højde for, hvis der benyttes en (køreplansbaseret) rutevalgsmodel². Rutevalgsmodellen beregner først det tidsforbrug passagererne bruger i tilfælde af at der ikke er forsinkelser i togdriften – dvs. på baggrund af den planlagte køreplan. Derefter gentages rutevalgsberegningen med den realiserede køreplan (inkl. forsinkelser) og passagerernes tidsforbrug beregnes igen. Forskellen i tidsforbrug er derfor den forsinkelse, som påføres passagererne som følge af forsinkede tog, jf. figur 1.



Figur 1: Beregning af passagerforsinkelser ved hjælp af en køreplansbaseret rutevalgsmodel.

For at kunne beregne passagerforsinkelser ved hjælp af en rutevalgsmodel er det nødvendigt at have kendskab til passagerernes rejsemønster dvs. på hvilket tidspunkt passagererne rejser fra hvilken station til hvilken station – dvs. en OD-matrix segmenteret på tidsintervaller. Dette detaljerede datagrundlag sammen med samtlige køreplaner og realiserede køreplaner gør det muligt at beregne i hvilke tog der kommer flere eller færre passagerer som følge af (tog)forsinkelser.

Beregning af passagerforsinkelser ved hjælp af en rutevalgsmodel gør det endvidere muligt at beregne nogle mere præcise passagerforsinkelser, da der tages højde for skift mellem tog. En passager der skal skifte tog undervejs, men er fx 5 minutter forsinket ved skiftestationen kan risikere at miste sin videre forbindelse, hvorved den samlede rejsetid forlænges, da passageren skal vente på næste forbindelse. Omvendt kan forsinkelsen på 5 minutter være så lille at passageren stadig når sin videre forbindelse, hvorved den samlede rejsetid ikke forøges.

Det detaljerede datagrundlag gør det endvidere muligt at passagererne kan tage andre linier end planlagt – fx linie B fra København H til Lyngby i stedet for linie E (jf. bilag 1). Passage-

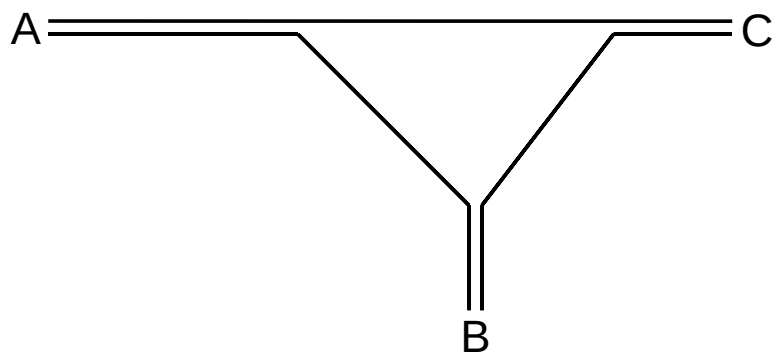
² En køreplansbaseret rutevalgsmodel beregner ruter på baggrund af passagerernes præferencer for rejsetid, skiftetid, ventetid m.v. – en frekvensbaseret rutevalgsmodel kan ikke beregne ventetiden korrekt, da denne (oftest) antages at være det halve af frekvensen, men kan for lavfrekvente linier være trunkeet således at passagererne højst venter et vist antal minutter.

ren kan i nogle tilfælde også vælge en helt anden rejserute – fx at benytte Ringbanen (jf. bilag 1).

Selv om beregning af passagerforsinkelser ved hjælp af en (køreplansbaseret) rutevalgsmodel er en forbedring i forhold til de tidligere beskrevne metoder, har metoden dog også nogle ”fejl”. Rutevalgsmodeller er beregnet til at regne på den ideelle situation uden forsinkelser, hvorfor det (som regel) antages at passagererne har fuld information om køreplanerne. Når rutevalgsmodellen så benyttes på en køreplan med forsinkelser har passagererne fuld information om disse forsinkelser – også før forsinkelserne optræder.

At passagererne har kendskab til forsinkelserne allerede inden de optræder, kan resultere i at passagererne vælger en normalt uhensigtsmæssig rute fordi den på det pågældende tidspunkt vil være hurtigere. En sådan situation kan opstå for en passager, der skal rejse fra A til C, jf.

figur 2. Toget der kører fra A til C vil gå i stå undervejs (fx pga. signalproblemer eller materielle fejl). Da passageren allerede inden han/hun sætter sig ind i toget på station A ved at toget vil være forsinket ved ankomst til station C vil han/hun i stedet tage et andet



Figur 2: Stiliseret rutenet.

tog og fortsætte til station C, jf. figur 2. Denne omvej via station B tager måske normalt ca. 15 minutter længere tid end den direkte rute, hvorfor denne rute normalt ikke overvejes. Metoden med at beregne passagerforsinkelser ved hjælp af en rutevalgsmodel giver derfor et ”for godt” billede af passagerforsinkelserne. Dette er også tidligere påvist i [18].

Beregning af passagerforsinkelser ved hjælp af optimalt rutevalg er for øjeblikket den mest benyttede metode. Denne metode har været brugt i forbindelse med udredningen om København – Ringsted [12], og er ifølge [1] den metode Banedanmark pt. benytter³.

3.3 Passagerforsinkelsesmodel (2. generation)

I 2. generationsmodellerne simuleres køreplanerne en række gange, og passagerne antages at vælge optimale ruter i hver simuleret køreplan [13][14]. Resultaterne af disse simuleringer sammenvægtes ved hjælp af den successive gennemsnits metode. Derved opnås et rutevalg, der svarer til at der tages hensyn til sandsynlighedsfordelingerne for fremtidige forsinkelser. Dette betyder et rutevalg, der indarbejder hensyntagen til hyppigt forsinkede linier. Men den

³ I Banedanmarks passagerforsinkelsesmodel er det valgt at vægte skjult ventetid har en meget høj tidsværdi, hvorved problemer med at de rejsende venter hjemme (som følge af fuld information i rutevalget) undgås. Derved reduceres en del af fejlene der opstår som følge af fuld information i rutevalgsmodellen, men fejlene undgås ikke helt.

konkrete rute ændres ikke undervejs, selvom passageren måske givet særligt store forsinkelser kunne ændre sin rute.

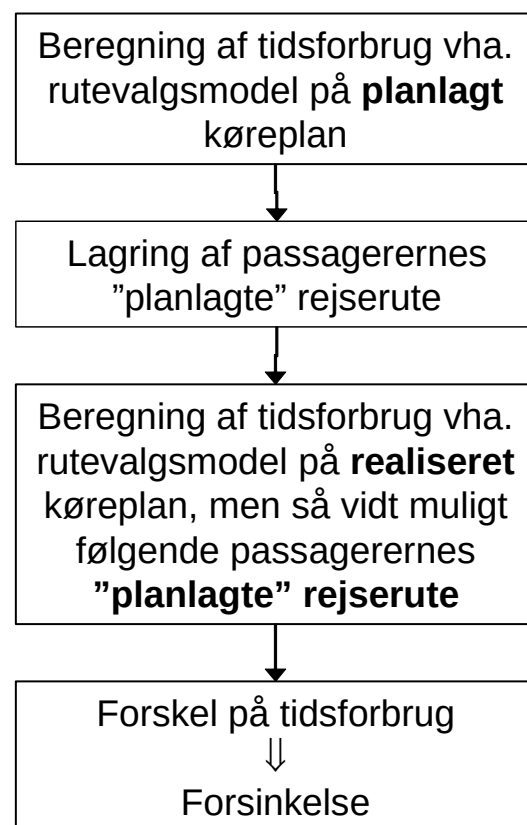
3.4 Passagerforsinkelsesmodel (3. generation)

Eftersom passagerforsinkelser beregnet ved hjælp af en køreplansbaseret rutevalgsmodel (som beskrevet i 3.2 Optimal rutevalgsmodel (1. generation)) har mange fordele i forhold til de tidligere beskrevne metoder, er rutevalgsmetoden blevet forfinet [14] til en 2. generationsmodel, således at de ovenfor nævnte indbyggede fejl så vidt muligt undgås. Resultatet af forbedringen af rutevalgsmetoden er en egentlig passagerforsinkelsesmodel. Denne er i nærværende artikel videreudviklet til 3. generation.

Metoden bag passagerforsinkelsesmodellen er tidligere beskrevet i [15] og [18], hvorfor princippet kun gennemgås kort. Princippet for beregning af passagerforsinkelser er meget lig metoden til beregning af passagerforsinkelser hjælp af en køreplansbaseret rutevalgsmodel (som beskrevet i 3.2 Optimal rutevalgsmodel (1. generation)). Der beregnes stadig tidsforbrug for den planlagte køreplan og for den realiserede køreplan, men de rejsendes planlagte rejserute (ved den planlagte køreplan) lagres. Det antages at passagererne så vidt muligt følger denne planlagte rejserute i den realiserede køreplan. Forskellen i passagerernes tidsforbrug for de to rutevalgsmodelkørsler svarer til passagerens forsinkelse, jf. figur 3.

Det bemærkes, at den planlagte rute kan beregnes ved hjælp af såvel en 1. som en 2. generations rutevalgsmodel.

Det er ikke altid muligt for passagererne at følge deres planlagte rejserute, da tog helt eller delvist kan aflyses eller korrespondancer ikke kan nås som følge af forsinkelser. Derudover kan det være at passagererne kan finde bedre ruter, såfremt deres tog er meget forsinket. Passagerer, der ikke kan følge deres planlagte rejserute har således behov for at genoverveje deres rejserute. Denne genovervejelse af rejserute sker først på det tidspunkt og på det sted, hvor passageren ikke længere kan følge sin planlagte rejserute. På denne måde sikres det at passageren ikke allerede ændrer rejserute før passageren opdager at den planlagte rejserute ikke kan følges, som det sker ved den almindelige rutevalgsmodel (jf. 3.2 Optimal rutevalgsmodel (1. generation)).



Figur 3: Beregning af passagerforsinkelser ved hjælp af passagerforsinkelsesmodellen.

Men passagerer i den virkelige verden følger ikke altid deres planlagte rejserute selvom det er muligt. Bliver passagerer forsinkede begynder de at overveje om det er muligt at tage et andet tog eller alternativt en anden rejserute. Denne mulighed for at genoverveje rejseruten ved forsinkelser er også implementeret i passagerforsinkelsesmodellen. Forsinkes passageren i modellen mere end en vis tærskelværdi⁴ har passageren mulighed for at genoverveje rejsen fra det tidspunkt og sted hvor tærskelværdien er overskredet. Tærskelværdien i 3. generations passagerregularitetsmodellen skal kalibreres sammen med rutevalgmodellens parametre, således at passagerernes modellerede rejser stemmer så godt overens med virkeligheden som muligt. For nogle rejserelationer bør der imidlertid ikke være nogen tærskelværdi, da passagererne blot vælger det først kommende tog – fx mellem Københavns Hovedbanegård og Nørreport (jf. bilag 1).

Uanset hvor meget man kalibrerer modeller (herunder rutevalgsmødelles og passagerforsinkelsesmodeller) skal det huskes at modellernes resultater kun er en model af virkeligheden, og derfor aldrig kan modellere virkeligheden helt korrekt. Information om forsinkelser kan eksempelvis være med til at ændre passagerernes tærskelværdier og derved rutevalg – får passagererne eksempelvis i god tid besked om forsinkelser har de bedre mulighed for at genoverveje deres rejserute og evt. vælge en alternativ rute. Det er imidlertid umuligt at modellere præcis hvordan og hvornår passagerer får information om forsinkelser, hvorfor der vil være en vis usikkerhed på tærskelværdierne.

Beregnes passagerforsinkelser ved hjælp af en rutevalgsmødelles eller den beskrevne passagerforsinkelsesmodel er der en mulighed for at passagerer ankommer før tid. Dette skyldes fx at en passager der ankommer rettidigt til en station, hvor der skal skiftes til et andet tog kan nå et tidligere tog end planlagt hvis dette tog er forsinket. Eftersom det er muligt at ankomme før tid (en salg negativ forsinkelse) er det ved opgørelse af passagerforsinkelser vigtigt både at opgøre passagerer der ankommer før tid og bliver forsinkede i stedet for blot at opgøre differensen på det totale tidsforbrug som forsinkelse, da dette vil underestimere tidsforbruget.

Sammenlignes resultaterne for 3. generations passagerforsinkelsesmodel med 1. generations optimale rutevalgsmødelles er der forskel på forsinkelsestiden. Forskellen skyldes at passagererne i 1. generations optimale rutevalgsmødelles har fuld information hvorved passagererne kender til forsinkelserne allerede inden de optræder. Det betyder at passagererne kan vælge en mere optimal rejserute allerede inden afgang og at passagererne evt. vente med at tage hjemmefra.

3.5 Sammenligning

Afsnit 3.1.1 til 3.4 har beskrevet de mest gængse metoder til beregning af passagerforsinkelser og beskrevet disse metoders fordele og ulemper. Tabel 2 giver en kort opsummering af de enkelte metoders fordele og ulemper.

⁴ Det er muligt at ændre tærskelværdierne i passagerforsinkelsesmodellen - [18] giver et overblik over forskellige tærskelværdiers betydning.

	Togforsinkelser (0. generation)	Snitforsinkelser (0. generation)	Tælletogetsfor- sinkelser (0. generation)	Optimal rute- valgsmode (1. generation)	Passagerfor- sinkelsermodel (2. generation)	Passagerfor- sinkelsermodel (3. generation)
Hensyntagen til passagerer- nes forsinkelse	NEJ	DEL- VIS	DEL- VIS	DEL- VIS	JA	JA
Kompleksitet	Meget lav	Lav	Lav – Middel	Middel	Middel- Høj	Høj
Behov for information om rejsemønstre	NEJ	Afstige- re	NEJ	JA	JA	JA
Passagerer inddrager erfare- de forsinkelser (forsinkel- sesfordelinger) i deres valg	NEJ	NEJ	NEJ	NEJ	JA	NEJ ⁵
Mulighed for at forudsige forsinkelser (fuld informati- on)	NEJ	NEJ	NEJ	JA (of- test) ⁶	Delvis ⁷	JA, men benyttes sjæl- dent ⁸
Brug af passagerernes rej- semønstre (OD-matrix)	NEJ	NEJ	NEJ	JA	JA	JA
Passagerer kan ankomme før tid	NEJ	NEJ	NEJ	JA	JA	JA

Tabel 2: Sammenligning af metoder til opgørelse af passagerforsinkelser.

4 Simulering af passagerforsinkelser

Beregning af passagerforsinkelser for den faktisk udførte drift efter en eller flere af prognosemetoderne (beskrevet i afsnit 3 Metoder til beregning af passagerforsinkelser) er af interesse for at evaluere togoperatøren (og evt. infrastrukturforvalteren), og derved identificere aspekter og/eller rutiner som kan forbedres.

⁵ I 3. generationsmodeller antages passageren at følge en planlagt rute. Denne rute kan beregnes ud fra den optimale rutevalgsmode i den planlagte (publikums)køreplan. Imidlertid kan man – i princippet – også beregne den planlagte rute i køreplaner med empiriske forsinkelsesfordelinger (dvs. efter princippet i 2. generationsmodellen). Derved samples i hver iteration af simuleringen i 3. generationsmodellen en planlagt rute fra 2. generationsmodellen. Fordelen ved dette er, at passagerens planlagte ruter tager hensyn til linier der hyppigt er forsinkede (eller modsat). Fx at passagerer planlægger at undgår metro eller Nordbanen under sporarbejder, fordi togene på disse linier ofte er forsinkede. Dette indgår ikke i de gennemførte tests, men er metodisk en simpel justering af 3. generationsmodellen, hvis rutevalget modelleres med successive gennemsnits metode.

⁶ Hvilket er en ulempe, da det er urealistisk at passagerne kan se frem i tid.

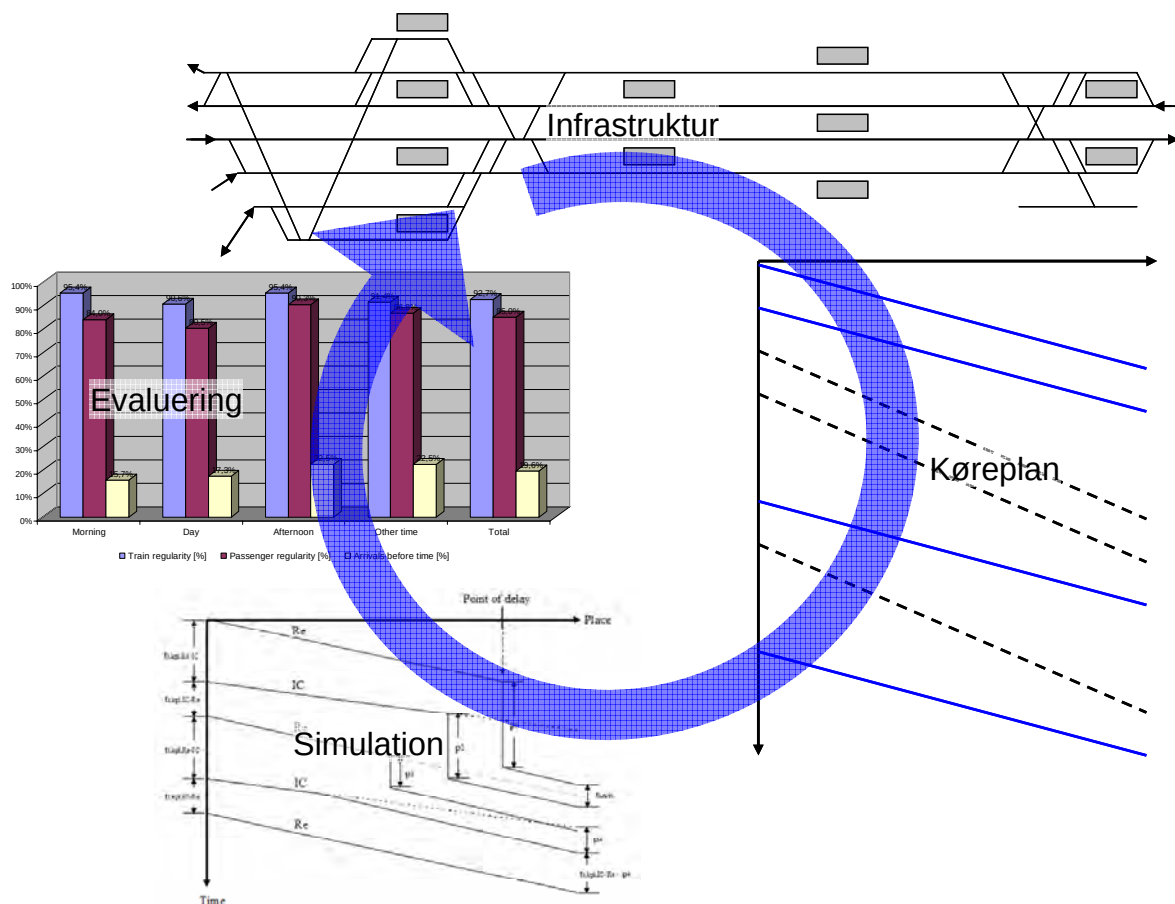
⁷ Via antagede kendte forsinkelsesfordelinger.

⁸ Ved at køre optimistisk rutevalg på både basiskøreplanen og de realiserede køreplaner er det muligt at benytte passagerforsinkelsermodellen som en 1. generations optimistisk rutevalgsmode.

Hvis det er muligt at forudsige eller estimere de fremtidige passagerforsinkelser er det muligt at evaluere ændringer i infrastruktur og/eller køreplaner allerede i beslutnings-/planlægningsprocessen. Til evaluering af ændringer i infrastruktur og køreplaner er det almindeligt at evaluere togforsinkelser ved hjælp af simulation. Det er derfor oplagt og interessant at kunne beregne passagerforsinkelser i samme arbejdsgang som togforsinkelserne evalueres ved hjælp af simulation.

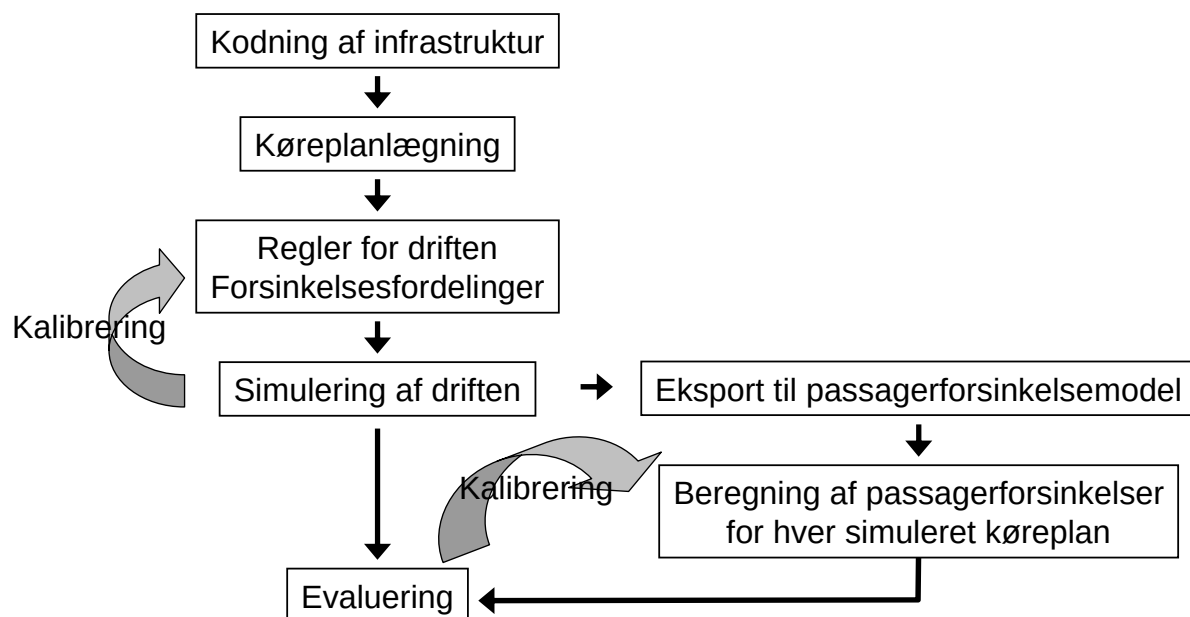
For at kunne beregne tog- og passagerforsinkelser ved hjælp af standard simuleringssoftware for jernbanetrafik som fx RailSys, er det nødvendigt at digitalisere infrastrukturen og lægge køreplanerne ind i systemet. Derefter skal disponeringsreglerne angives for trafikafviklingen ligesom også forsinkelsesfordelinger for de forsinkelser der til dagligt rammer togdriften skal angives.

Når infrastrukturen er digitaliseret, køreplanerne, disponeringsregler og forsinkelsesfordelinger er lagt ind kan togdriften simuleres. Efter simuleringen er det muligt at evaluere togforsinkelserne direkte, mens det kræver en ekstra beregning med passagerforsinkelsesmodellen at kunne bestemme passagerforsinkelserne. Arbejdsprocessen for den traditionelle simulering af togforsinkelser kan ses i figur 4, hvor pilen beskriver rækkefølgen i arbejdsprocessen. Denne arbejdsproces gentages et antal gange således at modellen kalibreres indtil togforsinkelserne i basissituationen stemmer (nogenlunde) overens med virkeligheden – kalibrering af simuleringmodeller for jernbanetrafik er nærmere beskrevet i [4].



Figur 4: Arbejdsprocessen i en traditionel simulering af togforsinkelser (baseret på [10] og [11]).

For at kunne beregne passagerforsinkelser kræves der resultatdata fra den traditionelle simulering af togforsinkelser indeholdende både den planlagte og den realiserede/simulerede køreplan med alle ankomster og afgangene fra samtlige stationer. Data for den planlagte og realiserede/simulerede driftsafvikling for samtlige stationer skal overføres til passagerforsinkelsesmodellen. Dette simuleres typisk for et antal driftsdage, således at der for hver af disse foreligger en simuleret køreplan. Når samtlige data er overført til passagerforsinkelsesmodellen kan modellen køres for hver af de simulerede køreplaner og resultaterne evalueres – figur 5 viser arbejdsgangen for beregning af passagerforsinkelser med en 3. generations passagerforsinkelsesmodel.

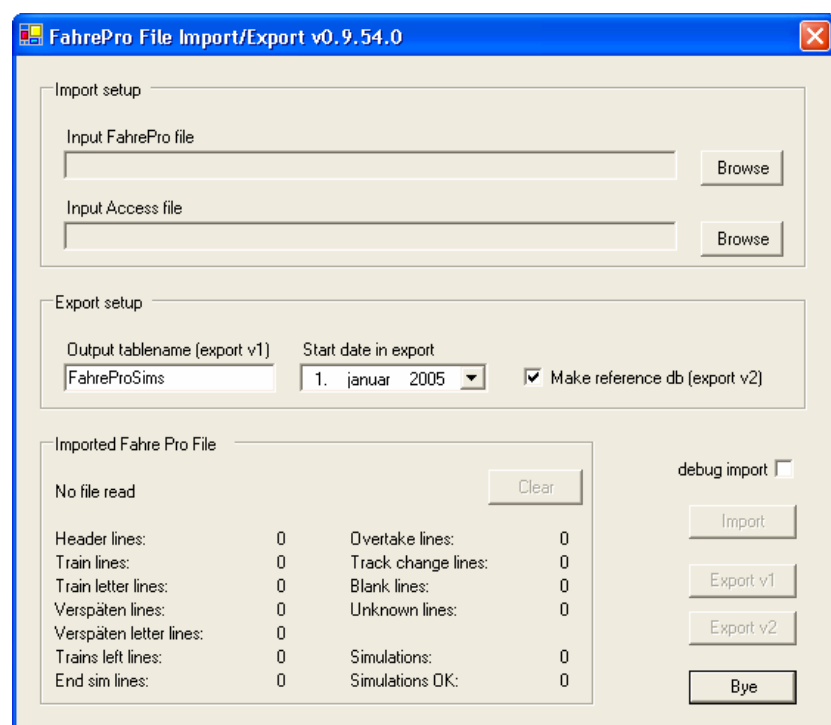


Figur 5: Simulering af passagerforsinkelser (baseret på [10] og [11]).

Af figur 5 ses det at der ved beregning af passagerforsinkelser skal foretages den ”sædvanlige” kalibrering af disponeringsreglerne og forsinkelsesfordelingerne for at kunne få en så korrekt overensstemmelse mellem den faktiske driftsafvikling og simuleringen som muligt. Derudover er det også nødvendigt at kalibrere passagerforsinkelsesmodellen (jf. afsnit 3.4 Passagerforsinkelsesmodel) således at der benyttes tærskelværdier der er så præcist som muligt beskriver passagerernes reaktioner – [18] beskriver følsomheden over for forskellige tærskelværdier i passagerforsinkelsesmodellen.

Når RailSys benyttes som simuleringsværktøj i forbindelse med passagerforsinkelsesmodellen kan outputfilen Fahre++.pro, der indeholder informationer overføres til passagerforsinkelsesmodellen. Overførsel af Fahre++.pro filen til passagerforsinkelsesmodellen gøres ved hjælp af et simpelt import-eksport program udviklet i VB.Net. Arbejdsprocessen for beregning af passagerforsinkelser er derfor principielt

blot at udvide arbejdsprocessen fra den traditionelle



Figur 6: Import-eksport program til overførsel af data mellem RailSys og passagerforsinkelsesmodellen

simulering af togforsinkelser (figur 4) til også at omfatte overførsel af outputfilen fra den traditionelle simulering og kørsel af passagerforsinkelsesmodellen.

5 Resultater fra passagerforsinkelsesmodel

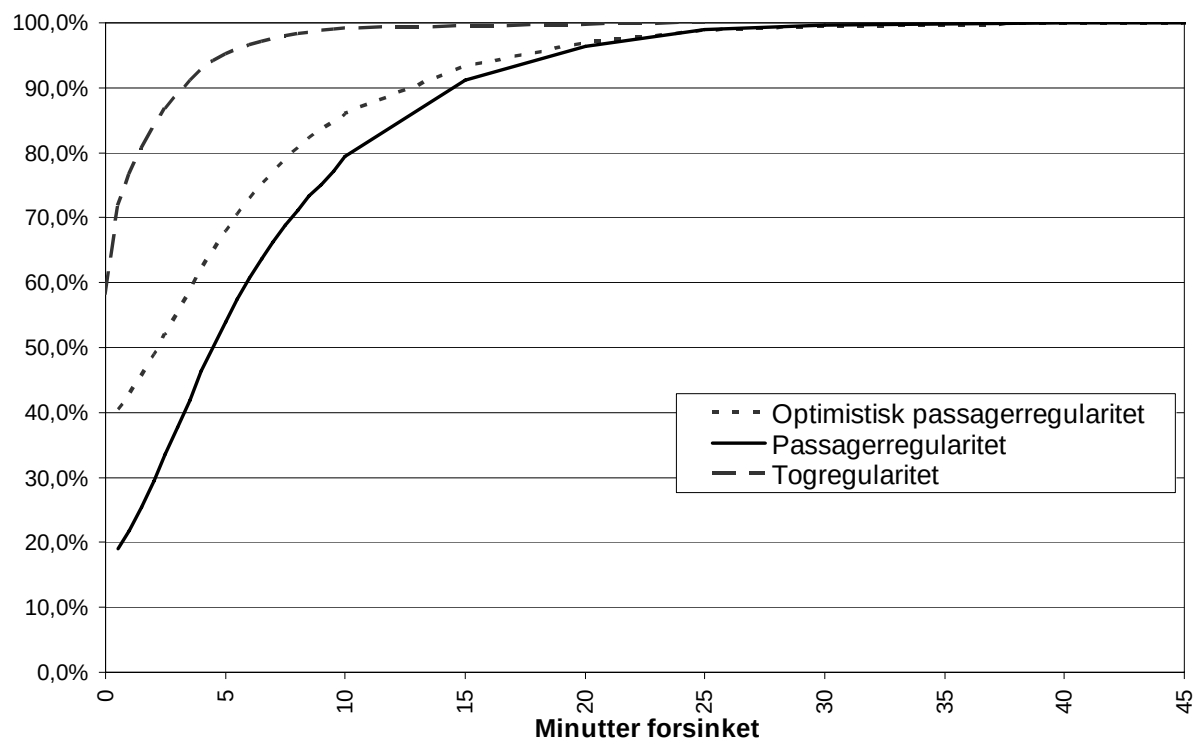
I testene af modellen blev der kørt 100 simuleringer med RailSys, hvoraf 3 af simuleringerne indeholdt deadlocks hvor togene blokerede vejen for hinanden⁹. Derfor var det kun de 97 simuleringer uden deadlocks samt referencesimuleringen uden forsinkelser der blev overført til passagerforsinkelsesmodellen.

Passagerforsinkelsesmodellen blev kørt som både en 1. generations passagerforsinkelsesmodel med optimistisk rutevalg og som en 3. generations passagerforsinkelsesmodel hvor passagererne ikke har kendskab til forsinkelserne før de opstår. Resultaterne fra de to passagerforsinkelsesmodeller blev sammenlignet med togregulariteten.

Resultaterne af simuleringerne og den efterfølgende beregning af passagerforsinkelser/-regularitet viser, at togregulariteten er væsentlig højere end passagerregulariteten – se figur 7. Den simulerede togregularitet på S-banen viser at ca. 90% af S-togene ankommer ”rettidigt” – dvs. under 2½ minut forsinket¹⁰. Med den optimistiske 1. generations passagerforsinkelsesmodel ankommer cirka halvdelen af passagererne mindre end 2½ minut forsinket, og kun cirka 1/3 af passagererne ankommer mindre end 2½ minut forsinket ifølge beregningen med den mere realistiske 3. generations forsinkelsesmodel. For 90% fraktilen er der imidlertid ikke så stor forskel på 1. og 3. generations forsinkelsesmodellerne, da passagererne ankommer med hhv. 13 og 15 minutters forsinkelse.

⁹ Det er almindeligt, at der findes en vis procentdel af simuleringerne der indeholder deadlock. Jo mere kapacitetsudnyttet og kompliceret netværk, der simuleres, desto flere deadlocks må forventes. Deadlocks kan til dels undgås ved mere restriktive ”regler” i simuleringen, men det er en balancegang, da for mange ”regler” kan resultere i en mere restriktiv driftsafvikling end i den virkelige verden. Eftersom der ikke opstår deadlock-situationer i den virkelige verden (eller i hvert fald kun meget sjældent), og da resultaterne fra en deadlock giver urealistisk høje forsinkelser er det almindelig praksis at se bort fra simuleringer der indeholder deadlock.

¹⁰ DSB S-togs mål for rettidighed er at 95% af togene skal ankomme mindre end 2½ minut forsinket. At regulariteten i figur 7 er mindre end DSB S-togs mål skyldes de i det behandlede scenarios valgte forudsætninger omkring forsinkelsesfordeling, infrastrukturforhold m.v. Den lidt lavere togregularitet (90% i stedet for 95%) er valgt for at tydeliggøre forskellene på de forskellige opgørelsesmetoder.



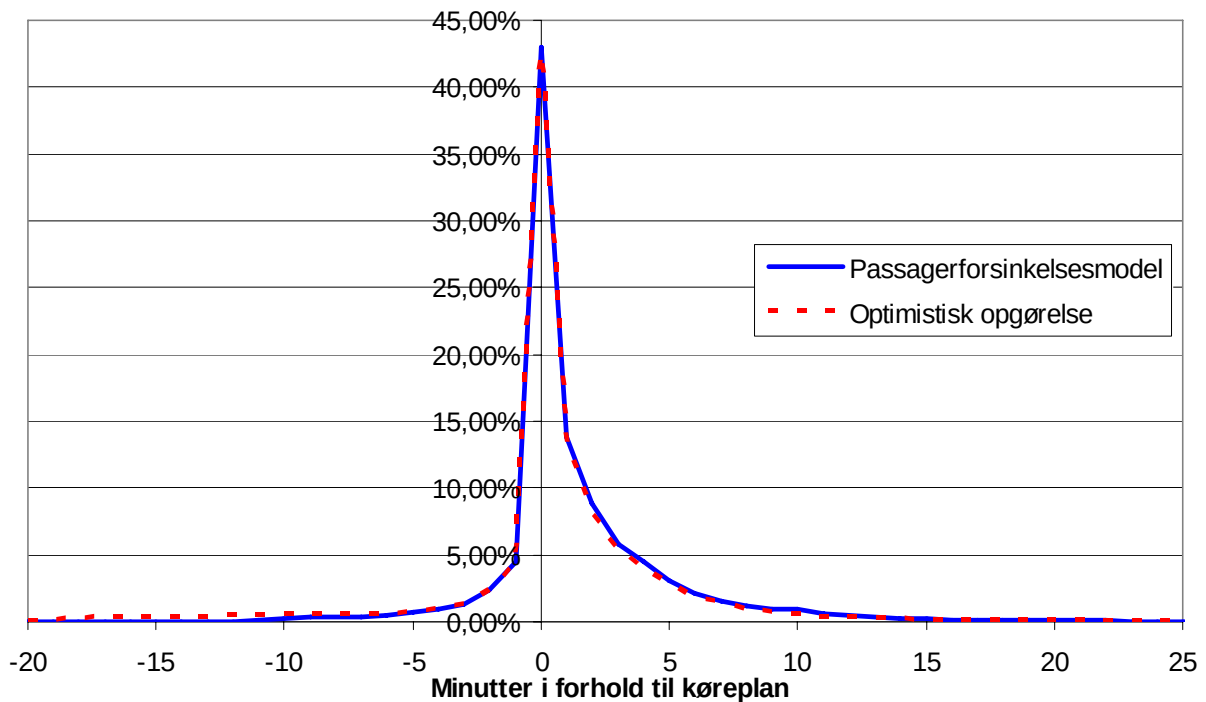
Figur 7: Simuleret tog- og passagerregularitet for S-banen.

Forskellen mellem tog- og passagerregulariteten skyldes at der er et forskelligt antal passagerer i togene hen over dagen. Derudover er der passagerer der skifter fra et tog til et andet med risiko for at miste det korresponderende tog. Forsinkede tog behøver dog ikke nødvendigvis at resultere i passagerforsinkelser – nogle passagerer kan endda få en fordel ud af togforsinkelserne. Passagerer der ankommer "tilfældigt" til en station (fx som følge af høj frekvens eller ankomst med bus) kan måske nå et tidligere tog end forventet. Hvis det forsinkede tog efterfølgende indhenter sin forsinkelse ankommer passagererne i toget til tiden, og de passagerer der ellers ikke ville have nået toget ankommer før tid. En tilsvarende situation optræder når passagerer skal skifte fra en linie til en anden – er den linie passagererne skal med forsinket kan passagererne måske nå et tidligere tog end planlagt og derved reducere den samlede rejsetid. Ifølge passagerforsinkelsesmodellerne ankommer ca. 16% af de rejsende før tid¹¹ med den optimistiske 1. generations passagerforsinkelsesmodel, mens der kun er ca. 12% af passagererne der ankommer før tid med den mere realistiske 3. generations passagerforsinkelsesmodel. Andelen af passagerer der ankommer før tid kan virke høj – især for den optimistiske passagerforsinkelsesmodel, men den faktiske drift hos DSB S-tog har vist tilsvarende af rejsende der ankommer før tid ved sammenligneligt forsinkelsesniveau [18]. At simuleringen og resultater fra den faktiske drift har nogenlunde samme andel af passagerer der ankommer før tid tyder på at simuleringen afbilleder virkeligheden godt.

Vurderes andelen af passagerer der ankommer inden for forskellige minutintervaller – både før og efter den planlagte ankomsttid – ses der ikke umiddelbart den store forskel mellem 1.

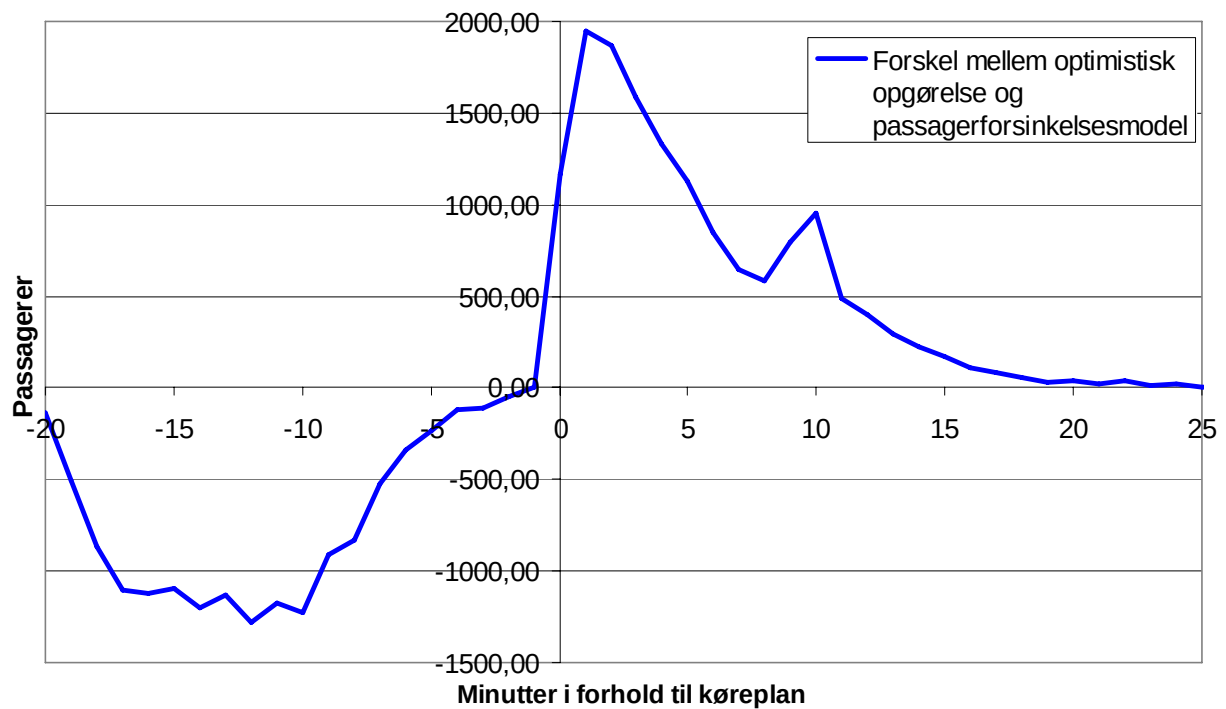
¹¹ Ankomster før tid er i dette tilfælde regnet som passagerer der blot ankommer et enkelt sekund før tid

og 3. generations passagerforsinkelsesmodeller (jf. figur 8). Selv om der på figur 8 ikke umiddelbart er stor forskel på opgørelsesmetoderne er der en tendens til at 1. generations optimistiske passagerforsinkelsesmodel giver flere passagerer der ankommer før tid i forhold til den mere realistiske 3. generations passagerforsinkelsesmodel.



Figur 8: Relativ forskel mellem den 1. og 3. generations passagerforsinkelsesmodeller.

Selv om den relative forskel på 1. og 3. generations passagerforsinkelsesmodeller ikke er stor kan det alligevel resultere i store tidsforskelle i fx samfundsøkonomiske beregninger – især hvis der er mange passagerer der benytter togene. Figur 9 viser at der i absolut forskel er mange flere passagerer, der ankommer før tid med den optimistiske 1. generations passagerforsinkelsesmodel, mens der er flere passagerer der ankommer mere forsinket med 3. generations passagerforsinkelsesmodellen (jf. figur 9).



Figur 9: Absolut forskel mellem 1. og 3. generations passagerforsinkelsesmodeller.

Den absolutte forskel på beregningerne med de to passagerforsinkelsesmodeller viser at ca. 15.000 flere passagerer der ankommer før tid i den optimistiske 1. generations passagerforsinkelsesmodel end ved den mere realistiske 3. generations passagerforsinkelsesmodel. Derimod er der ca. 11.000 flere passagerer der ankommer mere end 2½ minutter senere end planlagt med 3. generations passagerforsinkelsesmodellen i forhold til 1. generations passagerforsinkelsesmodellen.

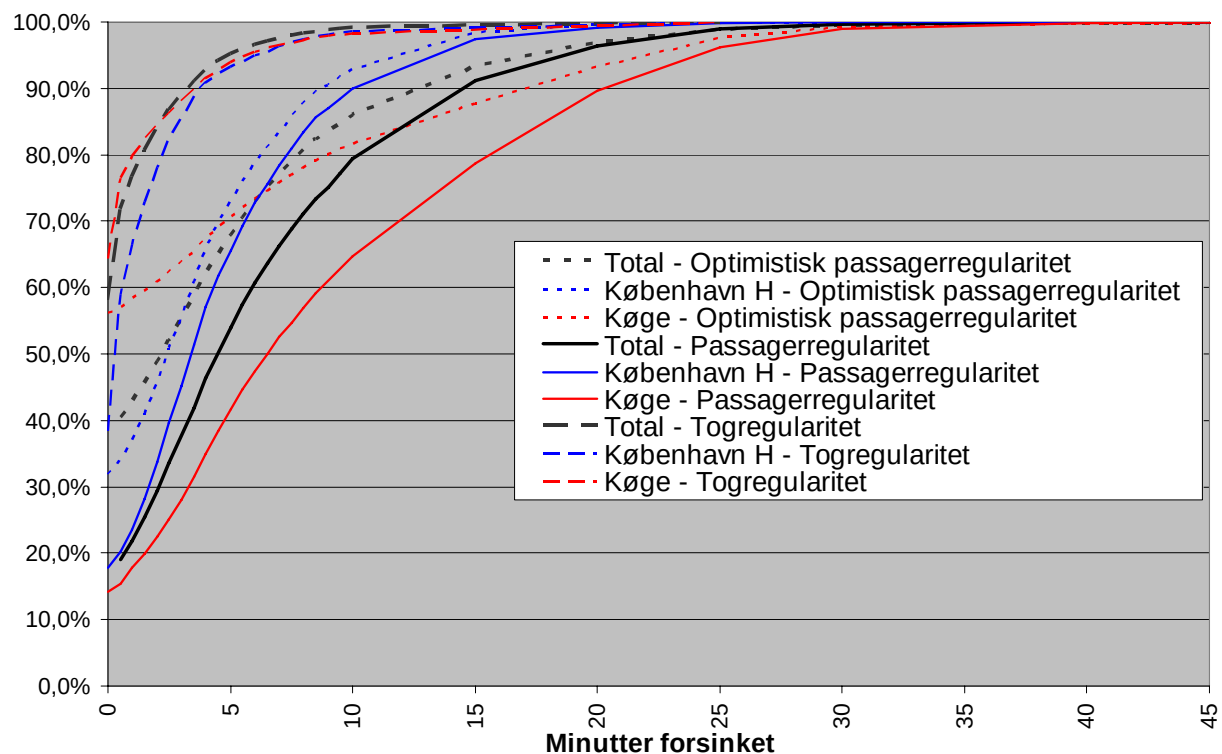
Den store absolutte forskel mellem 1. og 3. generations passagerforsinkelsesmodeller betyder, at der ved samfundsøkonomiske beregninger vil være stor forskel på hvilken metode der vælges til beregning af passagerforsinkelser. 1. generations passagerforsinkelsesmodellen vil på grund af antagelsen om fuld information om forsinkelserne (også før de optræder) have et for optimistisk bud på de samfundsøkonomiske konsekvenser af driften¹².

Evalueringen af forsinkelser for både tog og passagerer kan opgøres for hele analyseområdet som vist ovenfor eller på enkelte stationer som vist på figur 10. Her ses det at der på en station som København H med mange S-togslinier er en mindre forskel mellem den optimistiske 1. generations passagerforsinkelsesmodel og den mere realistiske 3. generations passagerforsinkelsesmodel end stationer med færre linier som fx Køge¹³. Endvidere ses det af figur 10 at

¹² En del af fejlen omkring den for gode samfundsøkonomi vil udjævnes når to alternativer sammenlignes, men usikkerheden vil stadig være til stede.

¹³ I beregningerne af passagerregularitet er der kun regnet på S-tog, hvorfor Lille Syd (Roskilde – Køge – Næstved) ikke er medtaget. Der ville dog ikke være nogen større ændring af resultatet da Lille Syd og S-banen (næsten) ikke løber parallelt.

passagererne har færre store forsinkelser på København H end på Køge station, hvilket skyldes at mange passagerer på København H har mulighed for at tage alternative linier, mens dette ikke er muligt for passagererne på Køge station.



Figur 10: Tog- og passagerregularitet for Køge og København H sammenlignet med den totale regularitet.

6 Diskussion

DSB S-togs passagerforsinkelsesmodel køres i dag hos DSB S-tog hver nat for at evaluere de forsinkelser, som passagerne på den københavnske S-bane er blevet påført dagen før [18]. Passagerforsinkelsesmodellen har (ligesom resultaterne i denne artikel) vist at passagerforsinkelserne generelt er større end togforsinkelserne [17]. Det er endvidere vist, at der er stor lighed mellem den daglige evaluering af passagerforsinkelser og de simulerede passagerforsinkelser [10][11]. Det viser at resultaterne fra passagerregularitetsmodellen (kombineret med simuleringssoftwaren RailSys) giver valide, og dermed brugbare resultater, der kan bruges til at forudsige fremtidige passagerforsinkelser.

Ved at benytte passagerforsinkelsesmodellen til at evaluere forsinkelser for tog og passagerer på enkelte stationer og/eller udvalgte strækninger er det muligt at identificere kritiske stationer og/eller strækninger i netværket. Disse kritiske stationer og strækninger kan senere analyseres med henblik på reduktion af forsinkelserne. Passagerforsinkelsesmodellen kan derved bruges til at evaluere (og prioritere mellem) infrastrukturforbedringer. Fordelene (og ulemperne) for passagerer i form af rejsetid og forsinkelser kan nemlig estimeres og sammenlignes med anlægsomkostningerne i en samfundsøkonomisk analyse. Endvidere kan forskellige køreplansforslag blive vurderet og sammenlignet, så der set for passagerernes synspunkt laves en så god køreplan som muligt.

6.1 Kalibrering af togsimuleringsmodellen

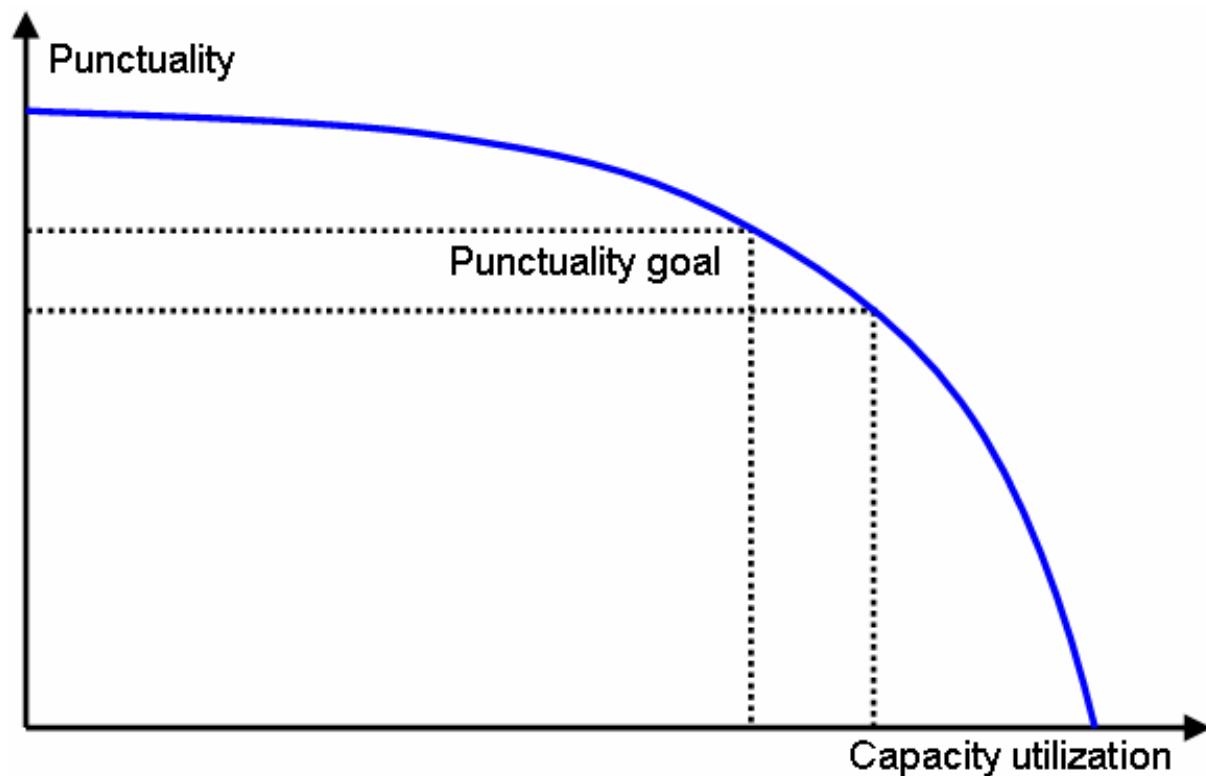
Selvom simuleringssoftware som RailSys (der er benyttet i denne artikel) reproducerer resultaterne fra Københavns S-bane forholdsvis godt, kan resultaterne blive forbedret. For at forbedre resultaterne fra RailSys er det nødvendigt at kalibrere RailSys-modellen bedre, således at RailSys-modellen giver de samme gennemsnitlige forsinkelser for samtlige stationer som den daglige drift. Denne kalibrering af simuleringsmodeller jernbaner er meget tidskrævende, da det nærmest er umuligt at opnå præcis den samme forsinkelsesfordeling som den daglige drift. RailSys-modellen kalibreres derfor ”kun” således at forsinkelserne i modellen og i den daglige drift er på samme niveau (og ikke eksakt ens) [4].

6.2 Forbedring af passagerforsinkelsesmodellen

Udover selve RailSys-modellen kan passagerforsinkelsesmodellen i sig selv også blive forbedret. I den nuværende passagerforsinkelsesmodel vil passagerne ikke skifte rejserute før en vis forsinkelse er opnået, men på nogle stationer og/eller rejse-relationer vil passagererne blot tage det første tog i deres retning. Dette fænomen er specielt karakteristisk for korte rejser, hvor togene kører med høj frekvens, og er fx observeret på rejser mellem Østerport og Vesterport på det københavnske S-banenet (se bilag 1), hvor der er en 2 minutters frekvens i hver retning. Fænomenet kan dog også observeres på OD-relationer med en lavere frekvens – fx Lyngby-Nørreport (se bilag 1). For at kunne modellere at passagererne på nogle rejserelationer er mere villige til at ændre rejserute er det nødvendigt at arbejde mere med at estimere de rette tærskelværdier til at beskrive passageres valg af rejserute.

6.3 Netværkseffekter

Passagerforsinkelsesmodellen kan sammen med simuleringssoftware for jernbanetrafik såsom RailSys også bruges til at estimere netværkseffekterne for passagererne når køreplanerne ændres. Dette er specielt interessant, da det i dag er vanskeligt at forudsige netværkseffekterne for det samlede jernbanenetværk [2][3][7], og i særdeleshed for passagererne. En mindre ændring ét sted i netværket kan resultere i at passagerernes foretrukne rejserute andre steder i netværket ændres som følge af nye eller mistede korrespondancer. Mistede korrespondancer kan resultere i færre passagerer som følge af længere totale rejsetider mens nye/bedre korrespondancer kan føre til flere passagerer som følge af en lettere rejse. En ny toglinie og/eller afgang på et eksisterende jernbanenetværk kan også resultere i netværkseffekter. Det øgede kapacitetsforbrug som følge af en ny togrute og/eller afgang vil som regel resultere i en reduktion i togenes rettidighed, jf. figur 11. Det er imidlertid ikke sikkert at passagerernes rettidighed også vil falde (særlig meget), da passagerforsinkelserne er et resultat af både togforsinkelser antallet af ruter og antallet af afgang. Ved togforsinkelser kan passagererne vælge andre afgang og/eller ruter, hvorved passagererne ikke nødvendigvis forsinkes.



Figur 11: Samspillet mellem rettidighed og kapacitetsudnyttelsen på jernbaner (baseret på [4]) [8][9].

7 Konklusion og perspektivering

I artiklen er forskellige metoder til beregning af passagerforsinkelser gennemgået. De simpleste metoder (0. generationsmodeller) giver et hurtigt, men forsimplet skøn over passagerernes forsinkelser, mens de mere avancerede metoder (3. generationsmodeller) giver et mere nøjagtigt bud på passagerernes forsinkelser – til gengæld kræves der mere detaljerede data.

Det er vist, at det er muligt at kombinere avancerede passagerforsinkelsesmodeller med simuleringssoftware således at det er muligt at forudsige fremtidige forsinkelser på større jernbanenetværk. Det er endvidere vist, at der er stor forskel mellem togforsinkelser og passagerforsinkelser. Forskellen mellem togforsinkelser og passagerforsinkelser skyldes at passagerer varierer hen over dagen og (til en vis grad) passagerens mulighed for at ændre rejserute ved forsinkelser, ligesom der er større risiko for forsinkelser i myldretiderne som følge af et mere stresset system (pga. flere og længere tog samt flere passagerer).

Evaluerings af passagerforsinkelser ved hjælp af simuleringssoftwaren RailSys og passagerregulativmodellen på den københavnske S-bane er sammenlignelige med de passagerforsinkelser der er beregnet for den daglige drift. Benyttes der en kalibreret RailSys-model (og passagerforsinkelsesmodel) er det muligt at identificere kritiske strækninger og stationer i jernbanenetværket. Det er endvidere muligt at sammenligne rejsetider og forsinkelser for forskellige fremtidsscenarier for ændringer i infrastruktur og/eller køreplaner. På denne måde er det muligt at vælge det bedst mulige fremtidsscenario.

Selv om resultaterne i denne artikel er meget lig de beregnede passagerforsinkelser for den københavnske S-bane er det stadig muligt at forbedre resultaterne. Forbedringerne kan fx være bedre kalibrering af RailSys-modellen og mere korrekte tærskelværdier for hvornår passagerne begynder at genoverveje deres rejserute.

I artiklen er der benyttet RailSys som input til den egentlige driftsafvikling. Andre køreplans-/simuleringsværktøjer vil imidlertid også kunne bruges, hvis det blot er muligt at lave et udtræk af selve driftsafviklingen. På denne måde vil det være muligt at benytte det køreplans-/simuleringsværktøj, som i forvejen benyttes i virksomheden – der skal blot ændres i import-/eksportværktøjet.

På sigt når Rejsekortet indføres vil det være muligt at få endnu bedre data for rejsemønstre således at 3. generations passagerforsinkelsesmodellen (og andre modeller) kan give mere præcise opgørelser af passagerernes forsinkelser. Rejsekortet gør det endvidere muligt også at inkludere busnettet i opgørelsen af passagerforsinkelser, da det bliver muligt at registrere bussernes faktiske placering til en given tid, ligesom det også er muligt at bestemme buspassagerernes og derved samtlige passagerers rejsemønstre i det kollektive netværk.

8 Tak til...

Rapidis Aps takkes for programmering af passagerforsinkelsesmodellen. Banedanmark takkes for at udlåne infrastrukturdata og diskussioner omkring S-banemodellen i RailSys. DSB S-tog takkes for at stille fremtidige køreplaner og OD-matricer til rådighed for beregning af passagerforsinkelser. Stephen Hansen og Kenneth Christensen fra Center for Trafik og Transport på Danmarks Tekniske universitet takkes for at udvikle import-eksport værktøjet og værktøj til brug for evaluering af resultatdata.

Referencer

- [1] Hansen, J. I.. Benefitmodel – togpassageres tidsgevinster ved regulatitetsforbedringer. *Trafikdage*, 2006.
- [2] Hansen, S., Landex, A. & Kaas, A.H., The Network effects of Railway Investments, *10. Internationale konference om Computers in Railways*, eds. J. Allan, C.A. Brebbia, A.F. Rumsey, G. Sciutto, S. Sone & C.J. Goodman, pp. 45-54, 2006
- [3] Hansen, S., Store transportinfrastrukturprojekter og deres strategiske virkninger med særlig fokus på effekter for virksomheder, *Ph.D.-afhandling ved Center for Trafik og Transport, Danmarks Tekniske Universitet*, 2004.
- [4] Kaas, A.H., Punctuality model for railways. *7. Internationale konference om Computers in Railways*, eds. J. Allan, R. J. Hill, C. A. Brebbia, G. Sciutto & S. Sone, pp. 853-860, 2000
- [5] Kaas, A.H., Metoder til beregning af jernbanekapacitet, *Ph.D.-afhandling ved Institut for Planlægning, Danmarks Tekniske Universitet*, 1998
- [6] Landex, A., Nielsen, O.A. & Seest, E., Dårligere passager- end togregularitet, *Nordisk Järnbane Tidskrift nr. 2*, pp. 11, 2006
- [7] Landex, A., Kaas, A.H. & Hansen, S., Railway Operation, *Teknisk rapport ved Center for Trafik og Transport, Danmarks Tekniske Universitet*, 2006

- [8] Landex, A., Kaas, A.H., Schittenhelm, B. & Schneider-Tilli, J., Evaluation of railway capacity, *Trafikdage*, 2006
- [9] Landex, A., Kaas, A.H., Schittenhelm, B. & Schneider-Tilli, J., Practical use of the UIC 406 capacity leaflet by including timetable tools in the Investigations, *10. Internationale konference om Computers in Railways*, eds. J. Allan, C.A. Brebbia, A.F. Rumsey, G. Sciutto, S. Sone & C.J. Goodman, pp. 643-652, 2006
- [10] Landex, A., Nielsen, O.A., Modelling expected train passenger delays on large scale railway networks, *7th World Congress on Railway Research*, 2006
- [11] Landex, A. & Nielsen, O.A., Simulation of disturbances and modelling of expected train passenger delays, *10. Internationale konference om Computers in Railways*, eds. J. Allan, C.A. Brebbia, A.F. Rumsey, G. Sciutto, S. Sone & C.J. Goodman, pp. 521-530, 2006
- [12] Nielsen, O.A., Thorlacius, P., Nielsen, E. R., Grevy, B., Brix, J. W. & Jensen, K. E. O., København – Ringsted modelkomplekset – Fra togsimulering til samfundsøkonomi, *Trafikdage*, 1999.
- [13] Nielsen, O.A., Hansen, C.O. & Daly, A., A Large-scale model system for the Copenhagen-Ringsted railway project, *Travel behaviour Research: The Leading Edge*, eds. Hensher, H. Elsevier. pp. 603-626, 2001.
- [14] Nielsen, O.A., A large scale stochastic multi-class schedule-based transit model with random coefficients. Schedule-Based Dynamic Transit Modelling – Theory and Applications. *Schedule-Based Dynamic Transit Modelling: theory and applications*, eds. Wilson, N. & Nuzzolo, A. Kluwer Academic. pp. 51-77, 2004.
- [15] Nielsen, O.A., Modelling train passenger delays based on realised timetables, *Second workshop on the Schedule-Based Approach in Dynamic Transit Modelling – Theory and applications*, 2005
- [16] Nielsen, O.A. & Frederiksen, R.D., Optimisation of timetable-based, stochastic transit assignment models based on MSA. Artikel accepteret for *Annals of Operations Research special issue on Optimisation in Transportation*. Kommende, Elsevier, 2006.
- [17] Nielsen, O.A. & Frederiksen, R.D., Modelling train passenger delays. *Symposium on The Reliability of Travelling and the Robustness of Transport Systems*, eds. van Zuylen, H.J., pp. 137-156, 2005.
- [18] Seest, E., Nielsen, O.A. & Frederiksen, R.D., Opgørelse af passagerregularitet i S-tog. *Trafikdage*, 2005.

Light rail project in Copenhagen – the Ring 2½ corridor

Jonas L.E. Andersen, Research Assistant, M.Sc., ja@ctt.dtu.dk

Alex Landex, Research Assistant, M.Sc., al@ctt.dtu.dk

Otto Anker Nielsen, Professor, oan@ctt.dtu.dk

Centre for Traffic and Transport (CTT), Technical University of Denmark (DTU)

Bygning 115, st.tv. Bygningstorvet, 2800 Kgs. Lyngby

1. Abstract

The need for high class public transport service of the increasing travel across the radial urban structure of the greater Copenhagen region was examined through planning of a light rail. The exact corridor (defined as the Ring 2½ corridor) and alignment of the light rail were documented and the locations of stops were examined through analyses of catchment areas. The timetable of the light rail was determined through travel time and correspondences with other high class public transport lines/corridors. The justification of the light rail was examined through factors like traffic impacts, operation economy, socioeconomics and strategic impacts. The light rail shows a good result on most factors. But it displays socioeconomic non-viability. However, this was expected when using the standard procedures. But the Ring 2½ light rail shows a better socioeconomic result than many other examined light rail projects.

Keywords: Light rail, public transport, traffic impacts, operation economy, socioeconomics

2. Introduction

As in many other cities in Europe traffic is increasing in Copenhagen. The radial arterial roads and highways leading to the Copenhagen city center are critical congested during peak hours. But also outside peak hours and on other roads in the region, the congestion has a heavy influence on free flow [1]. Also the greater Copenhagen area is getting denser in built-up area because of the lack of space in the city center resulting in new residential areas and work places in the outer but still urbanized areas of the city. This is leading to an increasing need for travel across the history-based radial urban structure of the city. Public transport users can only make such travel by bus, as rail lines in the Copenhagen area are radial lines leading from suburbs or satellite cities to the city center (except “Ringbanen” running fairly close to the city center). This means that public trips across the radial urban structure have to pass the city center when using rail; causing critical passenger loads on some rail sections – especially the joint tracks in the city center. Furthermore, public transport has a much lower percentage of the total trips across the radial urban structure than of the total radial trips indicating poor service of public transport [2].

3. Objective

The objective of the study has been to make an overall upgrade of the public transport system in the greater Copenhagen area; by examine a light rail for a high class public service of the increasing travel across the radial urban structure. Criteria for such a public transport line can be summarized:

- High existing customer base and potential for urban development
- Regional impact and relieving the existing S-train¹ lines with capacity problems
- General improvement of the public transportation with good connections to the radial lines and thereby obtaining synergies in the public transport system

4. Defining the corridor

Earlier studies of a high class public transport line running across the radial urban structure have suggested a layout following the existing ring road “Ring 3” [3] and [4]. This ring road has its alignment in the outskirts of the urbanized area of Copenhagen. It connects strategic important suburban city centers such as Ishøj/Broendby, Glostrup, Herlev Buddinge/Gladsaxe and Lyngby but it also runs through areas with no development at all. Furthermore, it has a long alignment and a light rail following this ring road will have a long line distance and is, therefore, expensive. Another solution for a high class public transport line across the radial urban structure could be in what is here defined as the Ring 2½ corridor.

¹ Suburban railways (S-trains); the foundation of the greater Copenhagen public transport system

The Ring 2½ corridor is loosely placed between the two existing ring roads in the greater Copenhagen: “Ring 2” and “Ring 3”. This corridor would incorporate urban districts like: Avedoere, Hvidovre, Rødovre, Husum, Gladsaxe and Lyngby including areas that today only are serviced by busses. The corridor can be seen in figure 1. This corridor could provide a light railway closer to the Copenhagen city center in the south and merging with the Ring 3 in the north. This would not only mean a shorter length for a light railway in the Ring 2½ corridor compared to Ring 3; it would also mean that the light railway will run through more urbanized areas with higher passenger potential. Furthermore, it could give better connections to existing radial bus lines because of the placement closer to Copenhagen City. It could also provide better connections to future radial light rail systems.

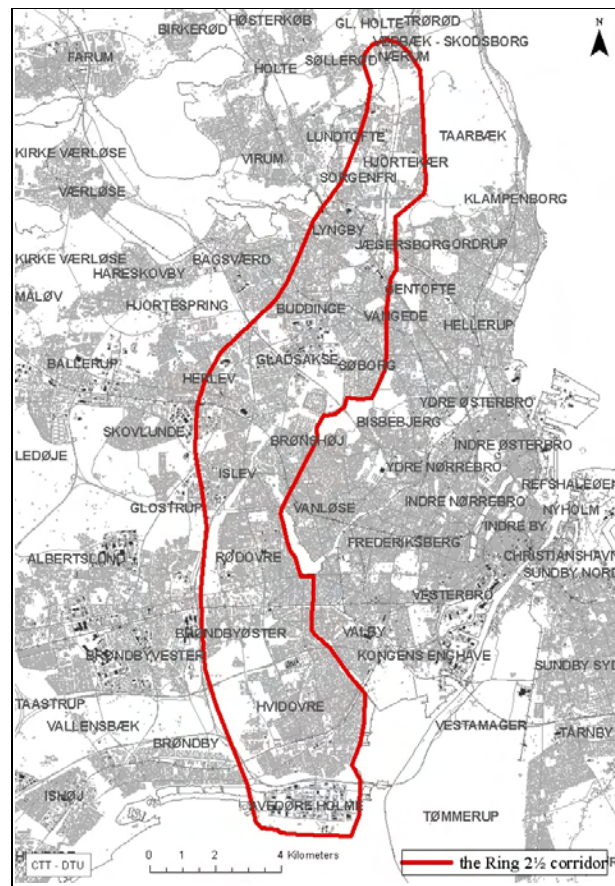


Figure 1 – the Ring 2½ corridor

5. Rail solution

The existing high class public transport modes in the Copenhagen region are (aside from the regional trains) S-trains and Metro and in the more rural areas also minor branch lines. The existing rail modes are not perfectly suited for the corridor. S-train alignments are wide and stringent and there is little room for such an alignment. A driverless Metro (or S-train) demands a segregated alignment to avoid any obstacles on the tracks. Therefore, it is often placed under ground-level, in tunnels or elevated above ground. This means that such solutions are often very expensive in construction. A more suitable mode for servicing the corridor is a light rail. Light rails are more flexible than traditional rail systems. For example they have a low turning radius that enables them to follow a curving course much like busses. Another great advantage is their ability to drive in mixed traffic like a tram when a segregated alignment can not be obtained. Such flexibility is very well suited for the corridor where there is no obvious alignment or major road to follow.

6. Analyses

With a fixed corridor the framework for the light rail solution could be found. First the alignment of the light rail was determined.

6.1. Alignment

The corridor is long and wide and since there is no obvious ring road to follow there are various options for alignment placing as seen in figure 2. The corridor was therefore split up in four sections and in each section several alignments were examined. By examining one section at a time the combinations of alignment alternatives narrowed down. When the best alternative in each section was determined the alignment was implicit defined as a sequence of the best alternative in each section.

Initially the alignment alternatives were chosen from various criteria including assumed passenger potential, locations with large passenger generation or attraction, existing bus routes, connection with existing S-train lines, availability of space on roads and placement of tracks. For each alternative the line potential was examined for decision support in the selection of the final alignment. Line potential means the potential in population and workplaces in a buffer around the full distance of an alignment alternative. The method was performed by overlay analyses in GIS making buffers around the alignment alternatives and intersecting them with a modified HSK zone layer containing information about population and workplaces on a much disaggregated level². The line potential for alignment alternatives in each section was then compared taking their different distances into account.



Figure 2 – Alignment alternatives for the Ring 2½ light rail

² This layer is based on the HSK land use zonal layer and OTM (Traffic model of the Oerestad – originally used to model the existing Metro system in Copenhagen) model zonal layer containing information about population and workplaces. The two layers were modified so that the information on population and workplaces was disaggregated to the more fine-grained HSK zone layer (modified on CTT) [5]. Other data such as CVR, BBR or CPR could also have been used.

Through that method it was possible to opt out of some of the alternatives leading to only one or two different alignment alternatives in each section. The line potential method was only used for decision support hence it is not quite realistic because it is only possible to access a public transport line at stops or stations. To choose the final alignment of the light rail it was, therefore, necessary to include stops in the analyses. All the alignment alternatives are shown in figure 2.

6.2. Locations of stops

The initial placement of stops along the alignment alternatives was done through an empirical procedure. Stops at existing S-train stations were considered to be fixed in order to secure good connection between the two high class transport systems. This meant fixed stops where the light rail crosses S-train lines at the following S-train stations: Friheden, Roedovre, Husum/Herlev, Buddinge and Lyngby plus the branch line stop at Naerum. Stops between the fixed stops were chosen from criteria such as assumed passenger potential, locations with large passenger generation or attraction, stops of the corridors most important bus line (200S) and average stop distance. The initial placement of stops gave up to four alternatives between each fixed stop because the alignment also varied.

To determine the best alignment and stop alternatives the catchment area of stops were examined using both an inner and an outer catchment area. The stops on each alternative were selected and the catchment areas were then calculated as circular buffers in GIS³. As in the line potential method, the potential of each stop alternative was calculated through overlay analyses using the modified HSK zone layer that contains information about population and workplaces. The parameters assigned to inner and outer catchment areas were based on market shares observations for existing S-train stations [6]. The potential of stop alternatives between the fixed stops were compared to each other taking number of stops, line distance, presumed cost and presumed travel time into account. The best alternative in each section determined the final alignment and locations of stops of the Ring 2½ light rail; shown in figure 3.

The light rail will have a total length of 25.4 kilometers from Friheden station in the south to Naerum station in the north. A total of 26 stops give an average stop distance of one kilometer. The light rail will have an alignment more or less segregated from other traffic on most of the line distance leaving only four percent definite tram driving. Recommendations are less than 10 percent of mixed traffic driving in order to secure fast travel time and safety [7].

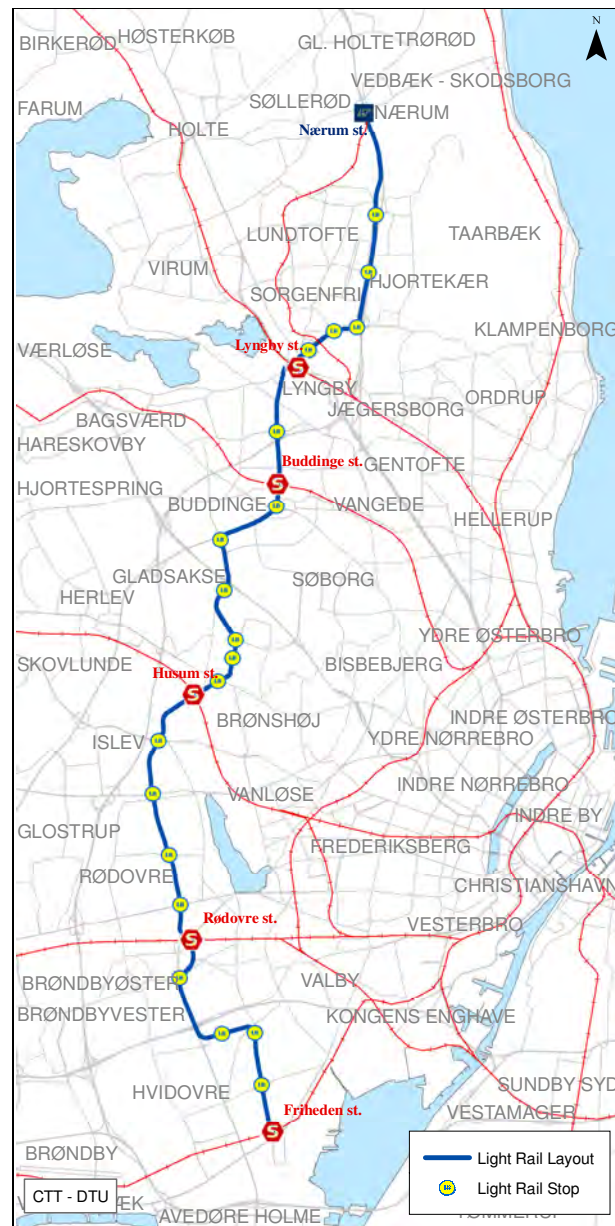


Figure 3 – Final alignment and locations of stops of the Ring 2½ light rail

³ Buffers could also be calculated as walking distance to/from stops instead of a distinct buffer radius and circular catchment areas [8] and [9]. However, the process is a little more complicated and demands a detailed street network.

6.3. Timetable

With the physical framework for the Ring 2½ light rail given, the planning of a timetable started. First the running time was determined. From the alignment placement and the allowed speed on the roads, that the light rail was set to follow, the average running speed between each stop was determined and thereby also the travel time. Some of the line sections were well suited for a high running speed e.g. along the Elsinore motorway in Lundtofte where the alignment is fully segregated from other traffic. Therefore, light rail equipment with a high maximum speed was required. Also good Acceleration and deceleration was required for tram and urban driving. The stopping time at stops was determined from calculated passenger potential at each stop and assumed change loads with other public transport services. This is because higher passenger loads means longer stopping time. Various running time supplements were incorporated in the total travel time; a general supplement to ensure a time buffer to catch up delays and a specific time supplement when the light rail crosses large radial roads where it is not possible to obtain green light priorities.

All together the light rail will have a total travel time of 43 minutes from Friheden station to Naerum station. This means an average travel speed at 35 km/h. Running mostly in urbanized environments it is a fairly high average travel speed and 8 km/h faster than the average travel speed of the fastest bus in the corridor. Generally the average travel speed of busses in the greater Copenhagen region is 23 km/h [10].

The operation plan for the light rail is a base line running the full line distance and a fast line variant running only between Friheden and Lyngby station. This was chosen because a fast line variant ensures a lower travel time for the longer trips across the radial urban structure. The fast line variant only stops at the most important stops based on transfer possibilities and expected passenger loads. The fast line variant has a travel time at 26 minutes between Friheden station and Lyngby station giving an average travel speed of 45 km/h. Both the base line and the fast line variant are running with 20 minute intervals in daytime operation. This means an approximately 10 minute frequency between Friheden and Lyngby station.

In order to determine minutes of departure to the final timetable the transfer possibilities with other public lines primarily S-trains were examined. By minimizing waiting times in transfers with other lines the impact of the light rail in the public network will be better in terms of time savings. Minutes of departure were determined from operation in evening hours where waiting times are most critical. All transfers between the light rail and the crossing radial S-train lines were included in the examination and they were weighed after their importance and expected change loads. A worksheet model including timetables for the radial S-train lines calculated the optimum minutes of departure for both directions by minimizing the total waiting time at transfers⁴. For the best results temporary running schedules were prepared. The best fitted schedule in terms of turn around times and rolling stock rostering for the base line and the line variant combined was then chosen as the final timetable for the Ring 2½ light rail. The proposed timetable can be seen in figure 4.

<

Figure 4 – Timetable for the Ring 2½ light rail

When a brand new high class public transport service is introduced in the network some existing lower class lines will be more or less redundant. Therefore, it is possible to close down competing lines – cut down their frequency or shorten their line distance. This means saved operation cost for closed down lines. It is a balance though; closing of too many lines can result in an overall poorer service. A rearrangement of the bus system would probably be needed to fit the existing bus lines perfectly to the new higher class line. However, this is a very complicated procedure because of the complexity of the bus system. Therefore, only a rough adaptation of the bus system was made, meaning only closing of obvious competitive bus lines or bus vehicle hours. Bus line 200S was considered to be a directly competitor to the light rail because they share a very similar alignment between Friheden and Lyngby. Bus line 200S was, therefore, closed all though it has a shorter distance between stops than the light

⁴ It is a planning method and, therefore, it does not take changes in route choice into account even though such changes have an influence e.g. [11]

rail. From Lyngby to Nærum bus line 300S would be somewhat competing to the light rail. But the bus has a long line distance and many other functions. It also drives a different route in the Lyngby area and the light rail has a lower frequency on this stretch. Therefore, bus line 300S was not closed but instead cut in those departures only running between Gladsaxe Trafikplads and Lyngby station and between Lyngby station and Naerum station.

7. Traffic impacts

The traffic impacts of the light rail in the public transport system were examined. This was done by traffic modeling of the public transport network in the greater Copenhagen region; without and with the light rail. For traffic modeling was used a timetable-based public route choice assignment-model developed at CTT (as in [12]). Zonal structure and trip matrixes were based on OTM. In order to simulate new trips caused by time savings induced traffic in the public transport network was also modeled (as in [13]).

The results of the traffic modeling indicated some positive impacts in the network because of the light rail. E.g. the light rail will increase the number of travellers in the corridor considerable. Furthermore, the light rail will relieve some of the S-train lines with capacity problems; especially in the city center. This tendency can be seen in figure 5.

The highest load on the light rail will be between Gladsaxe Trafikplads and Lyngby station where more than 2,000 passengers will use the light rail during the morning peak hours. The annual average daily number of travellers will be 28,400 solely based on a translocation of public users. Compared to the existing bus line in the corridor (200S) the increase in travellers will be approximately 160 %.

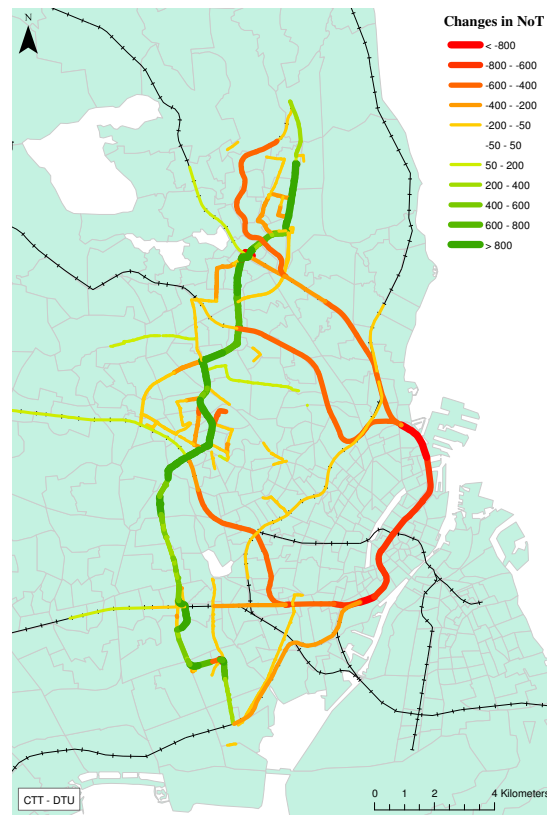


Figure 5 – Changes in number of travellers as a result of the light rail (Morning peak hours)

Experience shows that up to 10 percent of a new light rail's users have transferred from cars [14]. If the same percentage is appointed to the Ring 2½ light rail the annual average daily number of travellers will increase to 31,600.

Calculations of time savings in the public transport system because of the light rail showed some useful tendencies. Regional accessibility and mobility based on average travel times from zone to zone weighed by number of travellers shows a positive effect preferably in the zones around the light rail. As indicated from the regional accessibility viewed in figure 6. Some zones will gain up to five minutes in saved travel time in both trips to and from zones.

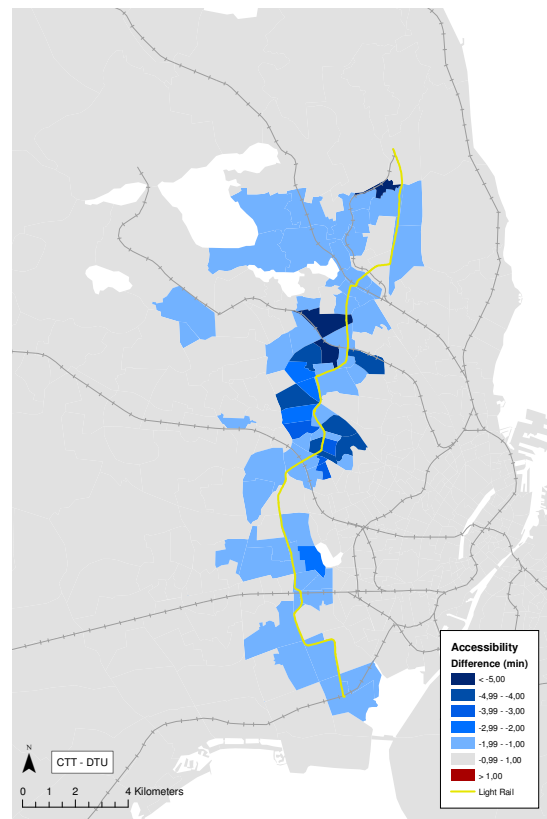


Figure 6 – Regional accessibility – weighed time savings in trips to zones

8. Economics

The economics of the Ring 2½ light rail is probably the most important indicator of its justification. The actual cost of the light rail is crucial for decision makers and the socioeconomics is often used as a measurement for infrastructure projects viability.

8.1. Initial cost estimate

The initial cost was calculated from different parts of the construction and purchases such as track equipment, price for stops, repository and control center, rearrangements, and purchase of the rolling stock. The total initial cost of the Ring 2½ light rail was calculated to 2.2 billion Danish kroner; approximately 88 million Danish kroner a kilometer track line. With only half of the cable price included due to scrap value of cable cost [15] the total cost will be 1.6 billion Danish kroner. It seems like a high cost but it is a fairly low cost compared to e.g. a Metro system.

8.2. Operation economy

The operation economy is the running cost and revenue of the light rail. The running cost is primarily the cost of operating the rolling stock. But the running cost is also maintenance of tracks and stops plus reinvestments. The annual cost of the Ring 2½ light rail operation was estimated to 75 million Danish kroner. The revenue of the light rail is ticket sales. A low

estimate is that the light rail will have the same share of the public transport system revenue as a bus line. Though the trips might be of a longer distance the light rail was given the same income per traveller as the existing bus line 200S. This income is 6.28 Danish kroner per traveller [10] and with 28,400 daily passengers the running revenue for the light rail will be 65 million Danish kroner per year. This means that the light rail will have a negative operation result at about 10 million Danish kroner annually. However, this is not a critical result and the level of self-financing at 87 % is better than most busses [10]. A higher estimate of the income share or including car users' transfer to the light rail could bring the operation economy close to balancing.

8.3. Socioeconomics

There is a standard procedure for evaluating socioeconomic viability of transport infrastructure projects and the guidelines are defined by the Ministry of Transportation [16]. This procedure was partly used for the evaluation of the Ring 2½ light rail. More specific was used a cost-benefit analysis (CBA) based on factor prices (as outlined in [15]) where the socioeconomic benefits and disbenefits are compared to the cost to see whether the project has an overall positive influence on the society. The operation cost and externalities such as accidents, noise- and particle pollution of the light rail are disbenefits. While benefits are saved operation cost and reduction in accidents, noise- and particle pollution from the cut down of bus lines or bus vehicle hours. The biggest benefit, however, is usually the savings in time cost in the system from the improved public infrastructure. Time savings were calculated from differentiated values of time using specific values for the different use of time in a public journey (access/egress time, wait time etc.) [16]. Furthermore, specific values for in-vehicle time based on each public transport mode were estimated and used in the time saving calculations [2]. The total time saving in the public transport system as result of the light rail was calculated with Rule of the half and gave a total of 84 million Danish kroner. Annual benefits and disbenefits are shown in table 1.

Socioeconomic impacts	million DKK
Annual cost of the light rail	
Operation	-74.9
Externalities	-1.9
Annual savings of reduced bus service	
Operation + Externalities	26.8
Annual time savings	84.1
Total	34.1

Table 1 – Benefits and disbenefits of the Ring 2½ light rail

The sum of the annual benefits exceeds the sum of the annual disbenefits meaning the light rail has a positive influence on the society. The annual result of benefits and disbenefits is 34 million Danish kroner giving a first year rate of return (FYRR) at 2.1 %.

The primary result of the socioeconomics analysis is measured by net present value (NPV) and benefit cost ratio (B/C). The net present value was calculated to -997 million Danish kroner and the benefit cost ratio was calculated to 0.39 using a rate of interest for costing purposes at 6 % and a depreciation period at 50 years (as recommended by the Ministry of Transportation [16]). This means that the Ring 2½ light rail project is not socioeconomic viable. However, it is rare that new public transport infrastructure shows socioeconomic viability using the standard procedures. E.g. also the thorough examination of the Ring 3 light rail displays socioeconomic non-viability [3]. Even though the calculations showed no viability it is still a fairly good result compared to other examinations of light rails [15].

One should keep in mind that sketch planning of an infrastructure project will not likely result in socioeconomic optimization regarding the load of the infrastructure. Such an optimization demands an iterative process with recalculations of the operation plan and

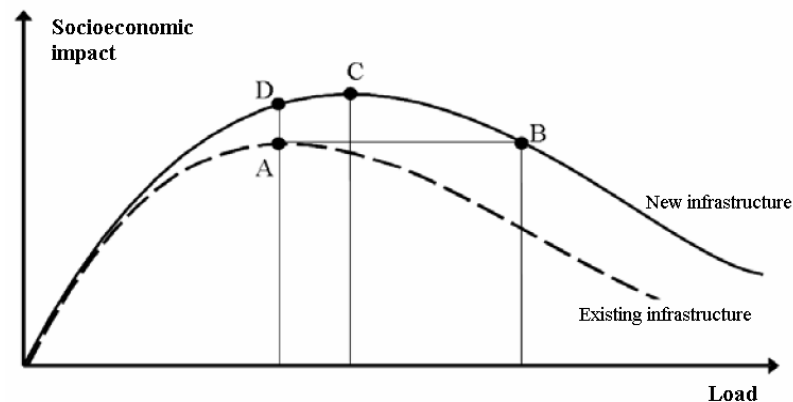


Figure 7 – Socioeconomic impact as function of infrastructure load [15]

timetable or long term practical optimization by experience. As shown in figure 7 it is feasible not to improve the socioeconomic impact by a new infrastructure if the load of the infrastructure is too heavy (point B in figure 7) [15]. When sketch planning a project it is not possible to tell to what degree the load of the infrastructure is optimized hence to what degree it obtains socioeconomic utility. As a matter of fact, chances are small of reaching the optimization point (point C in figure 7) even through qualified sketch planning and the socioeconomic result of the Ring 2½ light rail will thereby be more or less underestimated.

8.4. Strategic impacts

The cost-benefit analysis is based on fixed monetary calculations and can therefore only include impacts which can be valued and have a regular measurable impact. But a large infrastructure project also has some long term impacts which are not included in the cost-benefit analysis. One of those is development areas, meaning areas with expected development because of the new light rail. Along the proposed alignment of the Ring 2½ light rail there are three relative large potential areas whose development in a long term can contribute to the success of the light rail in a self-perpetuating process. Furthermore, a new light rail can contribute to urban condensation in its catchment areas. How a high class public transport line can start urban development and condensations is last seen by the Copenhagen

Metro line 1 in the Oerestad. Studies from the catchment areas of the Copenhagen Metro also imply that the property value increases because of the new public transport service [17]. If a light rail can generate 2/3 of a Metro increase an estimate of the Ring 2½ corridor showed a total increase in property value at 1.2 billion Danish kroner. This was showing that there can be significant impacts from other effects than those included in the cost-benefit analysis. Strategic impacts can be estimated through multi criteria analyses (MCA) and incorporated with cost benefit analyses (CBA) for a systemic estimate of infrastructure projects [18].

9. Conclusions and perspectives

From an exclusively socioeconomic approach, the sketch planning of this project shows that the construction of the Ring 2½ light rail can not be justified. However, the standard benefit-cost procedures rarely show socioeconomic viability for new public transport infrastructure. Furthermore, the net present value (NPV) and the benefit-cost ratio (B/C) for the Ring 2½ light rail are better than seen in many other light rail projects [15].

The light rail shows some useful traffic tendencies. It relieves S-train lines with existing capacity problems and it increases the number of public travellers in the corridor significantly. Furthermore, the time savings for public transport users because of the light rail will be relatively high. Those tendencies along with the fairly acceptable operation economy indicate that the Ring 2½ light rail will have a positive daily impact. This is also backed up by the positive annual socioeconomic benefits. For the giving objective of improving public transport travel across the radial urban structure the light rail seems able to carry out the service.

As a light rail solution along Ring 3 is well examined, this study suggests that a Ring 2½ light rail could be qualified for further examinations of a high class public transport service of the increasing travel across the radial urban structure. Even though light rail systems on Ring 3 and Ring 2½ seem to be more or less competitive, they might show an even better result coexisting. This is because they service different districts in the south of their course and in the northern part of their course they can share the same alignment saving construction cost and maintenance of tracks.

There is yet no existing light rail system in Copenhagen or Denmark but experiences from neighbouring countries are very good and light rail systems are successful in many cities around the world e.g. [19] and [20]. It is, therefore, fair to believe that a light rail system also will have a positive impact in Copenhagen and the Ring 2½ corridor is one of the qualified alternatives.

10. References

- [1] Nielsen, O.A, Hansen, C.O, Landex, A & Würtz, C, Survey and estimation of AKTA speed measurements, Report, 2004 (in Danish)
- [2] Andersen, J.L.E, Light rail project in Copenhagen – the Ring 2½ corridor, Master Thesis at Centre for Traffic and Transport (CTT), 2005 (in Danish)
- [3] Cowi, Semaly, Europlan Arkitekter, The Corridor project – Basis of decision for high class public transport Lyngby-Glostrup, Technical Report, 2003 (in Danish)
- [4] HT + Trafikministeriet, Project Basisnet – Three suggestions for upgrading the public transport in Copenhagen, Publication, 1999 (in Danish)
- [5] Hansen, S, Improvement of GIS data to traffic models, Annual Transport Conference at Aalborg University, 2005 (in Danish)
- [6] DSB S-tog, 7 topics of planning for suburban rail traffic, Publication, 1995 (in Danish)
- [7] Letbaner.dk, Analysis of the Copenhagen municipality's report: "Light rail solutions in Copenhagen – account for the public transportation in Copenhagen, Publication, 2005 (in Danish)
- [8] Landex, A. & Hansen, S., Examining the potential travelers in catchment areas for public transport, ESRI user conference, 2006
- [9] Landex, A, Hansen, S & Andersen, J.L.A., Examination of catchment areas for public transport, Annual Transport Conference at Aalborg University, 2006
- [10] HUR Trafik, Key figures for the bus service in the greater Copenhagen region, publication, 2004 (in Danish)
- [11] Feil, M, Optimisation of public transport timetables with respect to transfers, Master Thesis at Centre for Traffic and Transport (CTT) and Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung, 2005
- [12] Rich, J.H. & Nielsen, O.A., Road pricing in Copenhagen: traffic consequences, 2006 (in Danish)
- [13] Nielsen, O.A, Israelsen, T & Nielsen, E.R, Traffic analysis of the Harbour tunnel project – Preconditions and results, publication, 1998 (in Danish)
- [14] Transportrådet, Local Consequences of light rails, publication, 1996 (in Danish)
- [15] Landex, A & Nielsen, O.A, Evaluation of light rail projects in the greater Copenhagen region, Annual Transport Conference at Aalborg University, 2005 (in Danish)
- [16] Ministry of Transportation, Catalog of Key figures – For use in socioeconomics analyses in the transport area, Publication, 2004 (in Danish)
- [17] Stokkendal, A, Light rail extension; Ishøj or Broendby? Speciel course at Centre for Traffic and Transport (CTT), 2004
- [18] Salling, K.B. & Landex, A, Computer based ex-ante evaluation of the planned railway line between Copenhagen and Ringsted by use of a Decision Support System named COSIMA-DSS, CompRail, 2006

- [19] HUR Plan, Regional Transport overview, publication, 2005 (in Danish)
- [20] Ridlington, E & Kellet, G, MaryPIRG Foundation, Rail Transit Works – Light rail success stories from across the country, 2003

Optimal Reinsertion of Cancelled Train Lines

PhD. Stud. Julie Jespersen Groth, jjespersen@s-tog.dsb.dk og Professor Jens Clausen, jc@imm.dtu.dk
Danish State Railways (DSB), S-tog a/s, Production Planning, Kalvebod Brygge 32, 5., 1560 Cph V,
Denmark & Informatics and Mathematical Modelling, The Technical University of Denmark

Abstract

One recovery strategy in case of a major disruption in a rail network is to cancel all trains on a specific line of the network. When the disturbance has ended, the cancelled line must be reinserted as soon as possible. In this article we present a mixed integer programming (MIP) model for calculating the best way to reinsert cancelled train lines in a rail network covered by a periodic timetable. Using a high abstraction level it has been possible to incorporate the temporal aspect in the model only relying on the information embedded in the train identification numbers of each departure. The model finds the optimal solution in an average of 0.5 CPU seconds in each test case.

Introduction to DSB S-tog

DSB S-tog (S-tog) is the operator of the city rail of Copenhagen, Denmark. Covering approximately 170 km double-tracks and 80 stations the city rail of Copenhagen services the inner and outer parts of Copenhagen. At a daily level the operator carries approximately 30.000 passengers. S-tog is the only user of the tracks, which are controlled by the infrastructural owner BaneDanmark (BD).

The S-tog network is formed by train lines covering the S-tog infrastructure by various compositions of routes depending on the timetable in use. Figure 1 shows the present line composition covering the network. The different parts of the network are called sections. There are 8 sections in the network; A central section, 6 fingers, and the circular rail. The lines merge in the central section as they intersect, and they de-merge as they re-enters the respective fingers according to their schedule.

The structure of the S-tog network implies that a high number of lines intersect in the central section. The trains on each line all run with a 20 minutes frequency. Given 10 lines intersecting the central section this means that within 20 minutes there is at most 2 minutes between each train in the central section i.e. there is a 2 minutes average headway in between the trains. Such low headway implies that even small delays can have a significant negative effect on a high number of trains.



Figure 1 The network of DSB S-tog in 2006

Trains and Depots

Each line in the S-tog network is covered by 4 to 10 trains depending on the duration of the line circuit. Each train is covered by one or more train units. The coverage of a single train usually varies during the day in accordance with the expected passenger loads over the day.

At all times a train number is associated with each driving train. The train number is changed every time a train turns at a line terminal to run in the opposite direction. For each train there is hence a series of train numbers during the day defining the tasks of that particular train during that day. The train units used to cover the train may be changed completely during the day. The number series of a train is called the train's train sequence. A train is defined by its train sequence and not by the train units covering it during the day. Figure 2 shows an example of a line covered by two trains where each train is covered by a train sequence and different train units during the day.

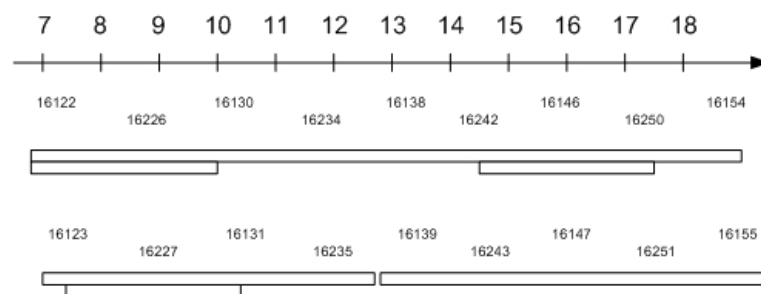


Figure 2 Two train series together covering a train line

There is much information embedded in the train numbers. These are five digit numbers indicating the train line, stopping pattern, direction and time of day. The first two digits is the line identification. The specific value of the third digit represents the stopping pattern used on the line at that train number. If the digit is an even number the train is south going and if it is odd it is north going. The fourth and fifth digits identify the time interval of day that the train number passes the central station, KH. For example, if the last two digits are 26, the train will pass KH at hour $\lfloor \frac{26}{3} \rfloor = 8$ as the third train in the 8th hour i.e. the train will pass the central station between 8:40 and 8:59. The time within the hour is decided by the last two digits in the train number modular 3, where 3 is number trains in each hour. The remainders possible are 0, 1 and 2 describing respectively the first, second and third train during each hour. Especially the information of time of day embedded in the train number becomes useful in the context of reinsertion.

Rolling stock depots are situated at the majority of line terminals and at the central station. The crew depot is located at the central station. Crew are transported from the crew depot to the rolling stock depots in situations where trains are started up, except for day start up where drivers are required to start their duties at the depot. The rolling stock depots serve as sinks and sources of the network when taking out or inserting train units.

Recovery Strategies

During the daily operation incidents occur that disturb the scheduled departures. These can be externally or internally caused incidents. Remedies can, to a certain extent, be employed to prevent internally caused incidents e.g. if the rolling stock is suspected to cause incidents by break downs, more frequent checks at the maintenance center can be planned.

The external incidents are harder to compensate for in advance. There is, though, the possibility of constructing all schedules of departures, crew and rolling stock with included buffer times at relevant places in the schedules and according to the expectations of delays. It is not necessarily evident where

in the schedules it is optimal to locate the buffers. This information can be derived by e.g. simulation studies based on real observations of the schedules, c.f. e.g. Hofman et al. [7].

Even though precautions are taken to minimize the effects of incidents, it will not be possible to avoid delays completely. Therefore, different recovery strategies have been developed for recovering the schedules of departures, crew and rolling stock.

Examples of recovery strategies are *Trains turned earlier on their route* (see figure 3), *Train set to stop at all stations can be made drive-through train* or *Entire train lines can be cancelled*. A drive-through train is a train that does not stop on specific smaller stations.

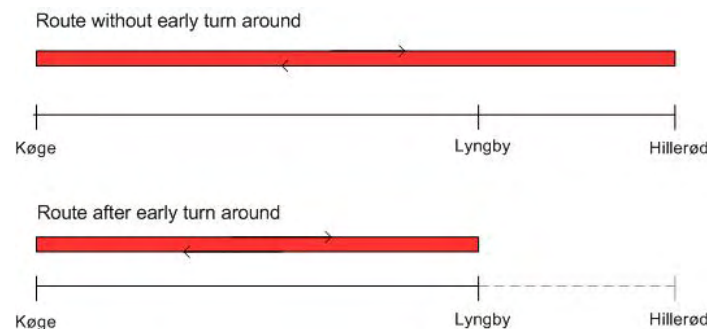


Figure 3 Illustration of an early turn around

Managing recovery is a joint task for the infrastructural owner and the operator using the tracks. In the S-tog network the infrastructural owner has the responsibility of the departures being processed and therefore the decision authority on this issue. The rail operator has at its disposal the resources crew and rolling stock and has therefore the responsibility of matching these resources to the demand defined by the departures.

When larger disturbances occur on the DSB S-tog network, the disturbed situation is often managed by taking out an entire S-tog train line i.e. all departures on a train line are cancelled. By taking out a train line more slack is created in the timetable, i.e. the headways are increased between train lines, which are time-adjacent according to the timetable. In this way buffer times are increased in the timetable and more room is created for absorbing the delays.

A take-out is carried out by shunting the rolling stock to depot tracks as the trains arrive at rolling stock depots. In the process of take-out it is normally not allowed to drive "backwards" in the network. A train can only drive forward to the next depot to be taken out. Therefore, the trains in the circuit of the line in question ends up being distributed among the depots along the line according to where they were in the network when the decision of cancelling the line was made. It is crucial to realize that train units that are taken out at a depot are not necessarily used to cover the same trains when reinserted. Recall that a train is defined by its train sequence and not by the train units covering it.

The Reinsertion Problem

When an adequate level of regularity has been re-established in the operation, the cancelled train lines are reinserted according to schedule. The status of operation is evaluated by a train controller from the infrastructure operator. After the decision of initiating reinsertion has been made, the reinsertion should be carried out as quickly as possible under certain consideration regarding keeping order of trains.

When a train is reinserted it is transported as empty stock from the depot tracks to the platform. A train driver arrives on a running train from the crew depot at the central station, KH, according to a

scheduled arrival. The train to be reinserted departs according to a scheduled departure on the relevant train line.

The reinsertion scheme is calculated by a rolling stock dispatcher from DSB S-tog. The reinsertion is presently scheduled for one train line at a time. It is necessary to decide which trains already in operation can transport train drivers to the rolling stock depots, where trains are inserted. The number of trains to be inserted from each depot is determined by the dispatcher; however, it is not given which train units at the rolling stock depots should be inserted to cover which trains in the schedule of the train line.

For the majority of lines, intermediate rolling stock depots exist along the line's route. As for the terminal depots, it is determined how many trains must be inserted from the intermediate depots in total. There is, however, for each intermediate depot a possibility of inserting trains in both directions. Inserting in both directions decreases the finishing time of the reinsertion process.

The problem is now to decide when the reinsertion shall start on each rolling stock depot. This choice must be made taking into account the order of trains on several levels.

Firstly, if a reinsertion has begun from a certain rolling stock depot, the remaining trains to be inserted from that depot must be inserted in order according to frequency, so that there at no time occurs a frequency-interval with an uncovered departure. For example, at DSB S-tog the frequency is 20 minutes on all train lines. If 3 trains must be reinserted from Farum rolling stock depot and the first reinserted train departs at 15:18, then the remaining 2 trains must be reinserted and depart at respectively 15:38 and 15:58. Inserting the remaining two trains at 15:58 and 16:18 would mean a vacant frequency interval at 15:38 i.e. order would not have been kept and that would be an illegal solution.

Secondly, the order with respect to frequency must also be kept across rolling stock depots. After the initiation of reinsertion, the time between two adjacent departures on any station in the network must always be the frequency of 20 minutes.

One of the advantages of the reinsertion model is the solution time of the model compared to manual calculations. Also, it is possible to calculate a reinsertion plan immediately when the distribution of trains among depots is known after the take out. As the timetable is periodic the reinsertion scheme calculated will in principle be the same except for the exact train numbers that must be inserted. This might lead to some advantages with respect to coordinating the train driver schedules according to the reinsertion, thereby preventing reinsertion schedules being discarded because of the lack of drivers.

References

No literature has been found that resembles the exact problem of reinserting train lines. The problem is, however, similar to that of assigning resources to tasks and of making lines of work (also called pairings) for each member in a set of resources. The objectives differ in these problems. In the assignment of tasks to resources, the objective is most often to minimize the total cost of resources, see for example Gamache et al. in [1]. In the reinsertion problem we minimize the time of the final task performed.

Typically, general crew scheduling problems are exceedingly larger than the reinsertion problem. A well-documented approach for solving these large problems is by formulating the problem using a column generation model. This is done in a substantial number of papers. We refer to Jaumard et al. [2] and Eveborn and Rönnquist [3].

The structure of the crew scheduling problems is also found in the vehicle routing problems, where routes among a known set of customers are found to be for a fleet of vehicles. The column generation

approach for solving the vehicle routing problem with time windows was introduced by Desrosiers et al. [4] in 1984.

Resource scheduling problems are also often solved heuristically. In Cai and Li [6] and Wassen and Osman [5] different heuristics procedures are presented. Mason et al. [8] presents a method for personnel rostering that integrates integer programming procedures with heuristics and simulation.

Productions-data Regarding Train Numbers and Timetables

Because of the structure of the reinsertion problem, this can be solved given relatively little information. There are two types of data necessary in the model. The model must be built with background data based on the long term planning of timetable and rolling stock. When a reinsertion plan is needed in the operation, certain information of the real time situation is necessary.

From the long term planning it is necessary to know for each rolling stock depot how many trains (on the cancelled train line) can depart from the relevant rolling stock depot from the departure time of the first train that can transport drivers from the crew depot station to rolling stock depots, until the departure time of the first train that can be inserted from the relevant rolling stock depot. Furthermore, it is necessary to know the number of trains on the train line.

As mentioned in Section *Trains and Depots*, each train in the train line covers a series of train numbers collectively forming a train sequence for each train. For the mathematical model it is only necessary to be able to differ between the trains. It is sufficient to make one calculation for each distribution of trains over depots. This is due to the periodic format of the timetable which implies that the solution to the reinsertion problem is generic (in that the structure is independent of the specific times given in the timetable). As there is only limited number of distribution of trains among depots, all solutions can easily be generated in advance and updated according to time of day in the real time situation.

In real time it is necessary to know for each rolling stock depot how many trains must be inserted from each depot. By comparing this information with the information of the first driver-carrying train, the rolling stock dispatcher can easily lookup the relevant solution.

For the rolling stock dispatcher it is also necessary to be able to identify the specific train numbers on the train line from each rolling stock depot. Additionally, the train numbers that will be used to transport the train drivers to the rolling stock depot must be identified. That is, the train numbers are synonymous with knowing the time of day of insertion. All train numbers relevant in the reinsertion process can be calculated using the train number of the first train that can transport train drivers to rolling stock depots.

The solution looked up by the rolling stock dispatcher is used to find the train numbers of respectively the trains to be reinserted and the trains to transport drivers.

A real life example

Two lines, H and H+, run on the route between Frederikssund (FS) and Farum (FM). When large disturbances occur involving the sections of this route, the H+ line is typically taken out. The 10 trains forming the line H+ circuit are taken out on the terminal rolling stock depots, FS and FM, and on the intermediate depots of Ballerup (BA) and KH. Recall that the crew depot is at KH.

An example of distribution of the H+ trains over depots is that 2 trains are taken out on each of the terminal depots and 3 on each of the intermediate depots. One scenario of reinsertion is then that two trains must be reinserted from each terminal depot and three trains must be reinserted from each intermediate depot where insertion is possible in both directions.

Figure 4 illustrates the driver-carrying trains. Line a and d are the first trains going respectively south and north that can bring out drivers to depots. As the first driver-carrying train (in each direction) passes each depot the reinsertion at the depots can be initiated.

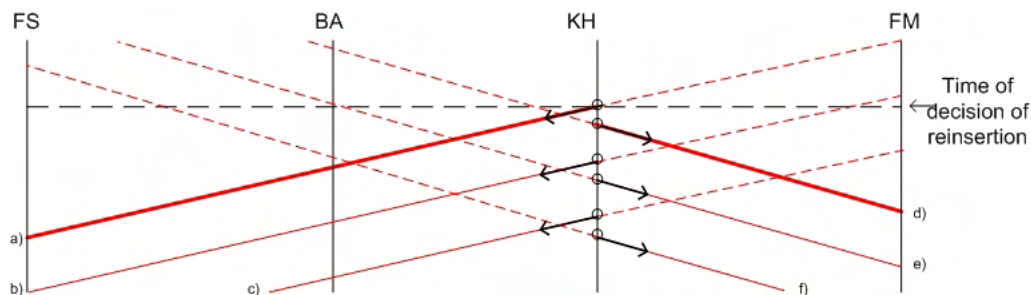


Figure 4 The straight lines a , b and c illustrates driver-carrying trains going south and the lines d , e and f those going north. The lines initiate reinsertion at the different depot as they pass them

In the reinsertion model the initiation time of reinsertion is counted in integral time slots. It is counted how many trains on the train line in question was planned to leave the depot from the decision of reinsertion until the first driver-carrying train reaches the depot. In Figure 5 there are 2 trains originally planned to leave the FS depot before reinsertion can begin.

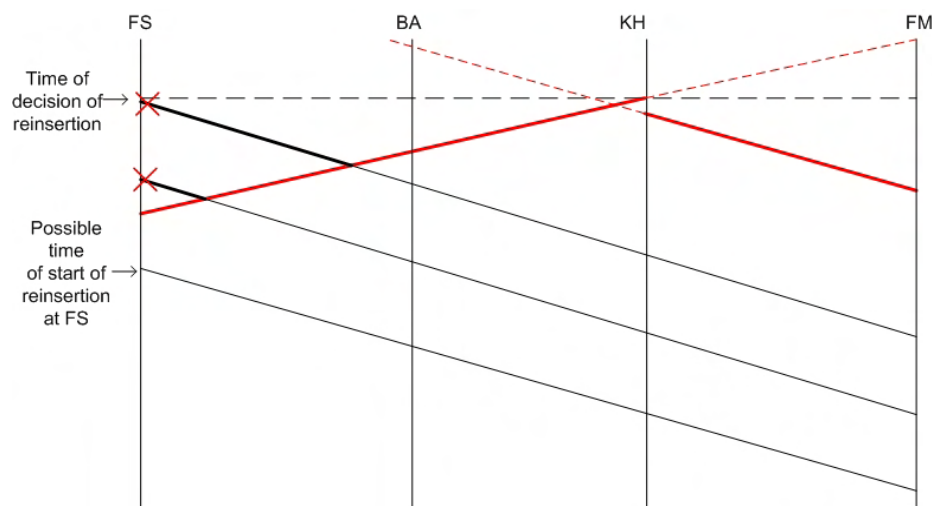


Figure 5 Illustration of the reinsertion start time at the FS depot. From the decision of reinsertion until the reinsertion can begin at the FS depot, there are two scheduled trains that can not be reinserted as the driver-carrying train has not yet reached the depot

The exact approach of a reinsertion is illustrated in Figure 6. For each of the figures a) - d) trains are inserted from a depot. Observe that order is kept at all time. There are no vacant frequency intervals at depots and there are no stations where passengers experience vacant frequency intervals. Illustrated in red on a), b) and d) are the driver-carrying trains transporting drivers for the reinsertion.

The Mathematical Model

The goal of the model is to decide which train, $i \in I$ should be inserted from which depot, $k \in K$. Each originally scheduled train i (before take out) must be covered with train units and hence reinserted in operation according to schedule. Also it must be decided for each train in which time slot $j \in J$ the reinsertion will be carried out.

The model decides which trains will run but it does not consider which train units to use to cover the trains. It is assumed that the information of distribution of train units across depots is provided as input and thereby sufficient in number to cover the trains.

on a), b) and d) is the driver-carrying trains transporting drivers for the reinsertion.

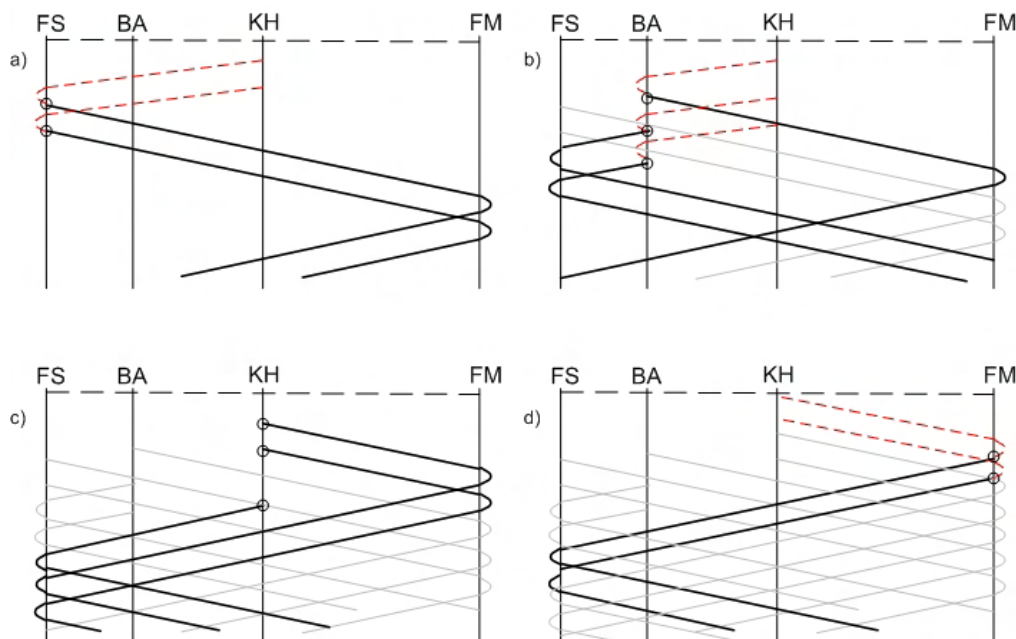


Figure 6 Illustration of a reinsertion. In a) trains are inserted from depot FS, in b) from depot BA, in c) from KH and in d) from FM

The variables representing which train to be inserted from which depot and when are binary:

$$x_{i,j,k} = \begin{cases} 1 & \text{if train } i \text{ is inserted in time slot } j \text{ from depot } k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

If we consider the trains to be inserted as tasks and the depot as a resource, the problem strongly resembles an assignment problem of assigning crew to tasks. Each task in this case must be covered once. This is guaranteed by the partitioning constraints (1):

$$\sum_{j,k} x_{i,j,k} = 1, \quad \forall i \in I \quad (1)$$

Equations (2) are included so that no time slot for a depot or train is covered more than once:

$$\sum_i x_{i,j,k} \leq 1, \quad \forall j \in J, k \in K \quad (2)$$

In the model it is known how many trains are to be inserted from each depot. Therefore, binding constraints exist for each depot. They differ for respectively terminal and intermediate depots. As the trains are inserted only in one direction at the terminal depots, $k \in K^T$ the binding constraints for these depots are:

$$\sum_{i,j} x_{i,j,k} = D_k, \quad \forall k \in K^T \quad (3)$$

As mentioned earlier the speed of insertion is increased when insertion on intermediate depots are made in both directions. In the model it is chosen for each intermediate depot to insert half of the trains in one direction and the other half in the other direction. When an odd number of trains is to be inserted from a depot, the model decides how many must be inserted in each direction. This is handled in the model by including two depots for each intermediate depot. The set of intermediate depots is denoted K^I . It is constructed by sets of two depots together denoting one intermediate depot where reinsertion can be carried out in l directions, $K^I = K_1^I \cup \dots \cup K_l^I$, where $l \in L$. **Fejl! Objekter kan ikke oprettes ved at redigere feltkoder.** is the set of directions, which in the S-tog network for all depots is north or south. The total set of depots is $K = K^T \cup K^I$.

The sum of trains inserted in both directions should equal the total number of trains to be inserted from the intermediate depot. Current practise is that half of the trains are inserted from the intermediate depot in one direction and the other half in the opposite direction. Equations (4) ensure that the number of trains inserted in each direction is the total number of trains to be inserted divided by 2. If an odd number of trains are to be inserted, the result is rounded up or down to nearest integer depending on which is more favourable to the model. See equations (5) and (6).

$$\sum_{i,j,k} x_{i,j,k} = \sum_k D_k, \quad \forall l \in L, k \in K_l^I \quad (4)$$

$$\sum_{i,j} x_{i,j,k} = D_k^I, \quad \forall k \in K^I \quad (5)$$

$$D_k^I \geq \left\lfloor \frac{D_k}{2} \right\rfloor \quad D_k^I \leq \left\lceil \frac{D_k}{2} \right\rceil \quad (6)$$

It is crucial that certain orders are kept as the trains are inserted. As mentioned in *The Reinsertion Problem* order should be kept within depots and between depots. Also, reinsertion must not begin on a depot before a train driver can arrive from the crew depot to drive the train to be reinserted.

To assure that each train is inserted only once, it is necessary to take into consideration the train sequences of each train describing in which time slot each train is at the different depots. To handle this a constant is introduced, $in_{i,j,k}$.

$$in_{i,j,k} = \begin{cases} 1 & \text{if train } i \text{ may depart from depot } k \text{ in time slot } j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

It is not possible to insert a train from a depot, if it is not there at that specific time slot. We refer to this as the order between stations and it is assured by equation (7).

$$x_{i,j,k} \leq in_{i,j,k} \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K \quad (7)$$

To model the order within stations we introduce two sets of integer variables, $start_k$ and end_k . Also, we introduce equations (8) to (11). Equations (8) connect the start and end variables. Equations (9) assure that reinsertion is not begun before the first driver can arrive at the depot. For the purpose of determining this a constant, C_k , is given. The constant indicates how many trains has been scheduled at depot k from the time of the decision of reinsertion until drivers are able to reach the depot, cf. Figure 5. Equations (10) and (11) ensure that when a reinsertion has begun on depot, it is carried out continuously in adjacent time slots.

$$start_k + \sum_{i,j} x_{i,j,k} - 1 = end_k, \quad \forall k \in K \quad (8)$$

$$start_k \geq C_k + 1, \quad \forall k \in K \quad (9)$$

$$start_k \leq j + M \cdot (1 - x_{i,j,k}), \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K \quad (10)$$

$$end_k \geq j - M \cdot (1 - x_{i,j,k}), \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K \quad (11)$$

Much of the information of the timetable and departures is embedded in the train numbers. The periodic form of the timetable supports this formulation. The train numbers to be inserted when $x_{i,j,k}$ is 1 is calculated from an initial train number on a train able to carry train drivers to the depots and some constant describing the relationship between the train numbers on the driver-carrying line and the line to be reinserted. The train number is adjusted according to the time slot in which it is to be inserted. See equation (12).

$$TrainNumber_{i,j,k} = (InitialTrain + TrainConst_k + j) \cdot x_{i,j,k}, \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K \quad (12)$$

The objective of the model is to reinsert as quickly as possible. This is assured by an objective function of minimizing the maximum inserted train number, $MaxTrainNumber$. As information of time

of day is embedded in the train numbers this equivalent with minimizing the latest time of reinsertion. This is achieved by minimizing the maximum value of the last two digit number in the train number.

$$\text{Minimize} \quad \text{MaxTrainNumber} \quad (13)$$

$$\text{MaxTrainNumber} \geq \text{TrainNumber}_{i,j,k}, \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K \quad (14)$$

Computational Experience

The running time of the model is not relevant in real time as reinsertion schemes are generated in advance and looked up at the relevant time. Test results do, however, show that the running time of the model on average is only approximately 0.5 CPU seconds, i.e. the model solves the problem in real time for the relevant problem instances. The real-time approach is not chosen partly due to software license issues, partly due to the generic nature of the reinsertion schemes.

An Improved Planning Process

The initial request for a tool for calculating reinsertion was made by the rolling stock dispatchers themselves. They regarded the problem of creating reinsertion schedules by hand as complicated and time demanding. First a tool was made that was not based on the principles of MIP. It was merely a spreadsheet calculating the reinsertion plan from basic knowledge of the distribution of trains, the first driver-carrying train and a large set of if-then-else-loops. The project of creating an optimization model for calculating the reinsertion was started mainly due to the quite complicated task of updating the initial reinsertion tool. The mathematical model of the reinsertion problem has been implemented in Gams and solved in Cplex. The initial reinsertion model is still in use. It will be replaced by the MIP model during the autumn 2006.

Solutions are generated with the MIP model for all possible scenarios of distributing trains over rolling stock depots. The solutions are then stored and the rolling stock dispatcher can look up the solutions via a spreadsheet.

The reinsertion model has increased the level of service offered to the passengers. Earlier, when the rolling stock dispatcher had to make the calculation of reinsertion by hand, the solutions where either not generated because it took too long time to calculate a solution, or a solution was generated with a longer total reinsertion time than the optimal solution. In the first case the train lines would remain cancelled for the remainder of the day.

Besides the passenger service improvement, the reinsertion model decreases the level of stress for the rolling stock dispatchers. Solutions can be generated immediately to satisfy the demand of the train controllers in charge of the reinsertion decision. This has rendered a more efficient planning process with resources left for other tasks.

Also the maintenance of the model has been eased to the satisfaction of the analyst updating it. The MIP model is easy to update according to a new periodic timetable. This is done simply by changing the set of constants presently used in the model and generating a new set of solutions.

Further Developments

Presently the reinsertion model is used only for scenarios where a cancelled line needs to be inserted into a running operation, in which running trains can transport drivers to rolling stock depots. Future developments on the model will enable complete start-ups where trains can be inserted as the first on their route. This requires that train numbers are calculated from virtual train numbers.

The number of trains to be reinserted on each depot is input to the model. Occasionally the number of trains available for operation on the depots is larger than the number of trains that has been taken out. It seems very relevant to change the model to account for this fact in such a way that the model decides the exact number of trains to be inserted from each depot, ensuring that the total number of trains reinserted is the number of trains needed to cover the line.

The present model works with a distribution of trains reinserted in each direction on intermediate depots of half reinserted in one direction and the other half reinserted in the other direction. Further development on the model involves changing the constraints (6) to enable solutions where the numbers of trains reinserted in each direction on each intermediate depot are decision variables.

At some of the routes of the S-tog network more than two lines cover a route simultaneously. A relevant recovery scenario is that more than one line is cancelled along the route. It would be relevant to adjust the reinsertion model so that it can coordinate and give the results for the reinsertion of more than one line at a time. In the model this would mainly mean modification of input.

The quality of solutions generated by the reinsertion model strongly depends on the distribution of trains on depots. At the time of disruption, take out is carried out with no regards to a later reinsertion. There is no time for rearranging trains at depots so that the best possible reinsertion is possible at a later time. There will though be the possibility of making small changes in the take out plan. For example, it might be possible to drive forward to next-closest depot instead of taking it out of operation at the closest depot. The evaluation of which is best can be made by the reinsertion model.

Conclusion

Because of the information embedded in train numbers the MIP model has been made at a high level of abstraction. Regardless of this, the reinsertion model can be used in operation in its current form.

The MIP model is easy to update according to a new periodic timetable. This has decreased the possibility of the rolling stock dispatchers having to wait for an updated version.

The solutions generated with the reinsertion model always generates optimal solutions with respect to the latest inserted train. This was not often achieved when the reinsertion was calculated by hand. Frequently, the train line remained cancelled for the remainder of the day.

Referencelist

- [1] M. Gamache, F. Soumis, G. Marquis, and J. Desrosiers. A Column Generation Approach for Large-Scale Aircrew Rostering Problems. *Operations Research*, 47 No. 2:247-263, 1998.
- [2] B. Jaumard, F. Semet, and T. Vovor. A Generalized Linear Programming Model for Nurse Scheduling. *European Journal of Operations Research*, 107:1-18, 1998.
- [3] P. Eveborn and M. Rönnquist. Scheduler – a System for Staff Planning. *Annals of Operations Research*, 128:21-45, 2004.
- [4] J. Desrosier, F. Soumis, and M. Desrochers. Routing with Time Windows by Column Generation. *Networks*, 14, Issue4:545-565, 1984.
- [5] N. A. Wassan and I. H. Osman. Tabu Search Variants for the Mix Fleet Vehicle Routing Problem. *Journal Of Operations Research Society*, 53:768-782, 2002.
- [6] X. Cai and K. N. Li. A Genetic Algorithm for Scheduling Staff of Mixed Skills under Multi-criteria. *European Journal of Operations Research*, 125:359-369, 2000.
- [7] M. Hofman, L. F. Madsen, J. J. Groth, J. Clausen, J. Larsen. Robustness and Recovery in Train Scheduling – a Simulation Study from DSB S-tog a/s. IMM-Technical Report-2006-12. Informatics and Mathematical Modelling, Technical University of Denmark, DTU, 2006. Accepted for presentation at ATMOS 2006.
- [8] A. J. Mason, D. M. Ryan, and D. M. Panton. Integrated Simulation, Heuristics and Optimisation Approaches to Staff Scheduling. *Operations Research*, 46, No. 2:161-175, 1998.

Evaluation of railway capacity

Alex Landex, al@ctt.dtu.dk

Centre for Traffic and Transport, Technical University of Denmark

Anders H. Kaas, Anders.H.Kaas@atkinsglobal.com

Atkins Danmark A/S

Bernd Schittenhelm, besc@bane.dk

Rail Net Denmark (Banedanmark)

Jan Schneider-Tilli, jet@trafikstyrelsen.dk

The National Rail Authority (Trafikstyrelsen)

1 Abstract

This paper describes the relatively new UIC 406 method for calculating capacity consumption on railway lines. The UIC 406 method is an easy and effective way of calculating the capacity consumption, but it is possible to expound the UIC 406 method in different ways which can lead to different capacity consumptions. This paper describes the UIC 406 method and how it is expounded in Denmark.

The paper describes the importance of choosing the right length of the line sections examined and how line sections with multiple track sections are examined. Furthermore, the possibility of using idle capacity to run more trains is examined.

The paper presents a method to examine the expected capacity utilization of future timetables. The method is based on the plan of operation instead of the exact (known) timetable.

At the end of the paper it is described how it is possible to make capacity statements of a railway network. Some of the aspects which have to be paid attention to making annual capacity statements are presented too.

2 Introduction

The UIC 406 leaflet from year 2004 [12] describes a simple, but fast and effective way to evaluate the capacity utilization of railway lines. The capacity analyses carried out during the last years using the UIC 406 method have been presented in a number of papers (e.g. [4], [9] and [14]). However, it is possible to expound the UIC 406 method in different ways which can lead to different results. In spite of that fact, hardly any analyses of the differences have been carried out.

This paper describes the UIC 406 method (cf. section 5) and a number of analyses carried out to generate a Danish consensus of expounding the UIC 406 leaflet for capacity analysis. A number of different analyses on relevant Danish railway lines have been carried out including:

- The length of the railway section examined (cf. section 6.1)
- The allowance of changing tracks on railway lines with multiple track sections (cf. section 6.2)
- The possibility of using idle capacity to run more trains (cf. section 6.3)
- The possibility of using the plan of operation instead of the exact timetable (cf. section 6.4)

In section 7 it is presented how it is possible to make annual capacity statements of the railway network and some paradoxes in the UIC 406 method. At the end of the paper some conclusions and perspectives of the UIC 406 method are listed (cf. section 8).

3 Definitions

This paper uses terminology usually used in the railway literature. However, since the terminology differs from country to country, an overview of the terminology used in this paper is provided in table 1.

Term	Explanation
Block occupation time (<i>Blokbesættelsestid</i>)	The time a block section (the length of track between two block signals, cab signals or both) is occupied by a train
Buffer time (<i>buffertid</i>)	The time difference between actual headway and minimum allowable headway
Headway distance (<i>togfølgeafstand</i>)	The distance between the front ends of two consecutive trains moving along the same track in the same direction. The minimum headway distance is the shortest possible distance at a certain travel speed allowed by the signalling and/or safety system
Headway time (<i>togfølgetid</i>)	The time interval between two trains or the (time) spacing of trains or the time interval between the passing of the front ends of two consecutive (vehicles or) trains moving along the same (lane or) track in the same direction
Running time supplement (<i>køretidstillæg</i>)	The difference between the planned running time and the minimum running time
Secondary delay (<i>følgeforsinkelse</i>)	A delay caused by a delay or cancellation of one or more other trains

Table 1: Short description of terminology [8].

Some of the terms described in table 1 are further illustrated in figure 1.

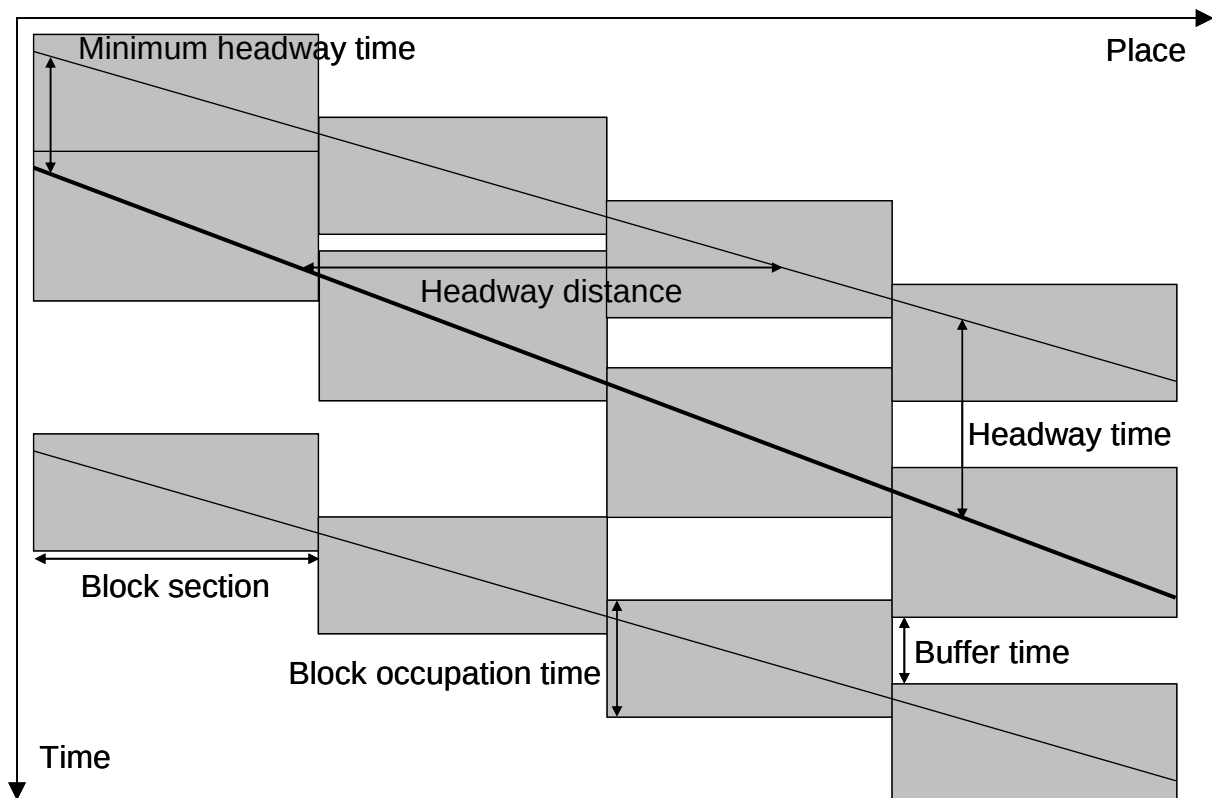


Figure 1: Definitions [10].

4 Railway capacity

It is relatively easy to determine the capacity on roads – the capacity is normally just determined as vehicles per hour. Capacity on railways is, however, more difficult to determine since the capacity depends on both the infrastructure and the timetable. Over the years railway capacity has been defined in different ways, e.g.:

- The capacity of an infrastructure facility is the ability to operate the trains with an acceptable punctuality [5]
- Capacity can be defined as the capability of the infrastructure to handle one or several timetables [2]
- Capacity as such does not exist. Railway infrastructure capacity depends on the way it is utilized [12]

The reason that it is difficult to define railway capacity is that there are several parameters that can be measured, cf. figure 2. The parameters seen in figure 2 (Number of trains, stability, heterogeneity and average speed) are dependent of each other.

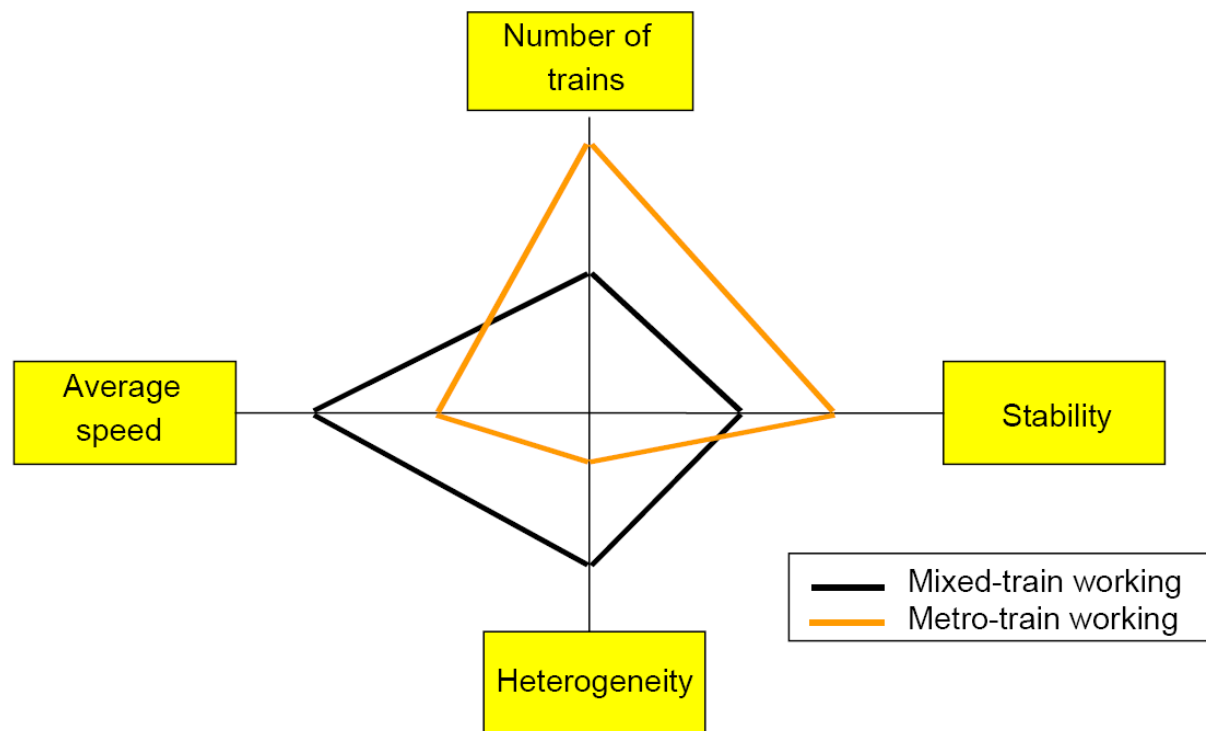


Figure 2: The balance of railway capacity [12].

Figure 2 shows that capacity is a balanced mix of the number of trains, the stability of the timetable, the high average speed achieved and the heterogeneity of the train system. It is for instance possible to achieve a high average speed on a railway network like the Danish by having a high heterogeneity – a mix of fast InterCity Express, InterCity and slower Regional trains serving all stations. However, the cost of having high average speed with a high heterogeneity is that it is not possible to run as many trains with a high stability (punctuality) than if all trains ran with the same speed. If it is wanted to run more trains it is necessary to run with less mixed traffic and thereby have a lower average speed as it is known from e.g. the suburban railway network in Copenhagen or metro systems.

4.1 Number of trains

If the capacity is measured as the number of trains per hour, the capacity in a cross section can be calculated as:

Formula 1: $K = q_{\max} \cdot n$ [5]

Where: K is the capacity

$q_{\max}$ is the maximum traffic intensity [trains/h]

n is the number of train paths

When running many trains per hour it is not always possible to combine trains stopping at all stations and faster through going trains. This is due to the fact that the faster trains will catch up with the slower trains which causes conflicts, cf. figure 3. Hence fast trains catch up with

slower trains all trains will have the same stopping pattern when close to the maximum capacity – the timetable will be homogeneous.

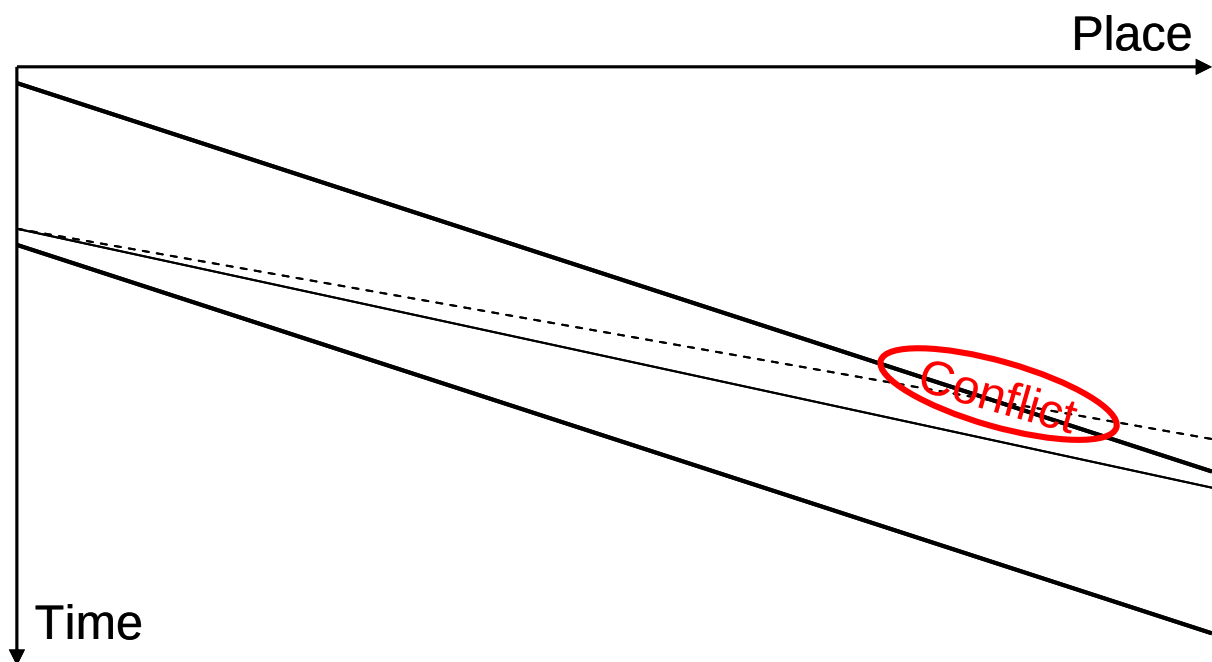


Figure 3: Fast train catching up with a slower train

4.2 Heterogeneity

A timetable is heterogeneous (or not homogeneous) when a train catches up another train. The result of a heterogeneous timetable is that it is not possible to run as many trains as if the timetable was homogeneous – all trains running at the same speed and having the same stopping pattern (cf. figure 4).

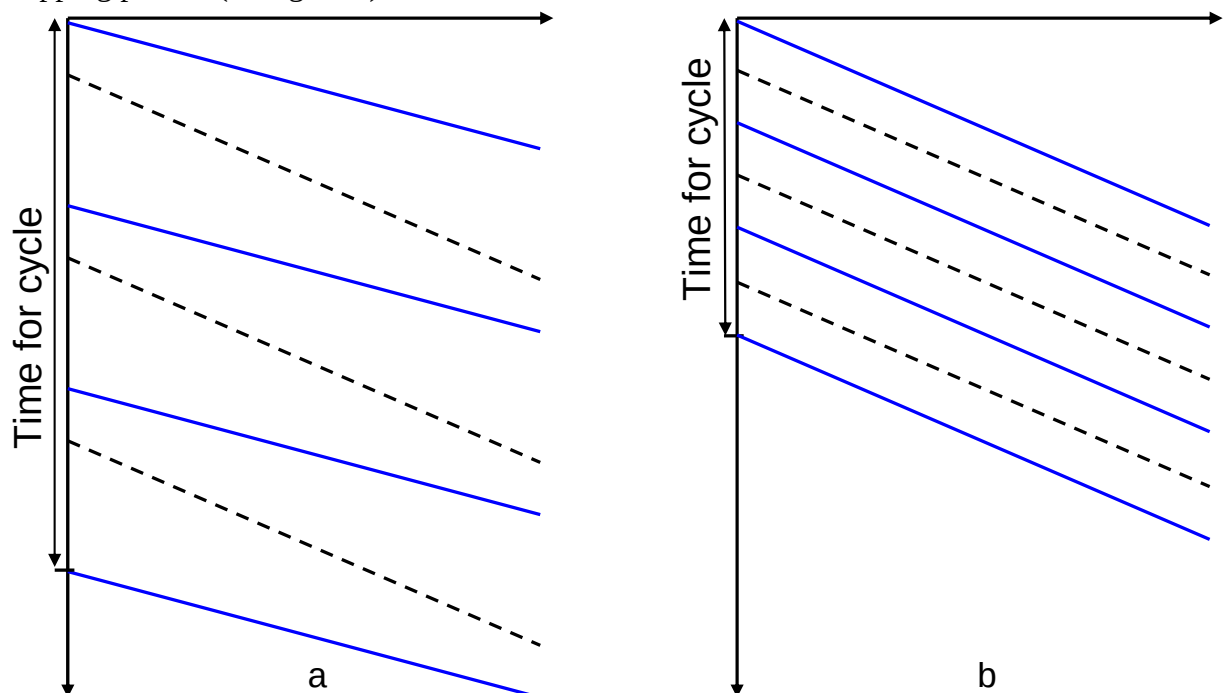


Figure 4: Heterogeneous (a) and homogeneous (b) timetable

To evaluate the heterogeneity of a timetable the SSHR and SAHR presented in [13] can be used. SSHR – Sum of Shortest Headway time Reciprocals – describes both the heterogeneity of the trains and the spread of trains over the hour:

$$\text{Formula 2: } \text{SSHR} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{h_{t,i}} \quad [13]$$

Where: $h_{t,i}$ is the shortest headway time observed between two trains
N is the number of trains in the cycle observed

Since fast trains can be caught behind a slower train (cf. figure 3) it is important to have enough headway time at the arrival at the end of the line section to avoid secondary delays. The SAHR – Sum of Arrival Headway time Reciprocals – describes the spread of trains over the hour at the arrival station

$$\text{Formula 3: } \text{SAHR} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{h_{t,i}^A} \quad [13]$$

Where: $h_{t,i}^A$ is the headway time observed between two trains at the end of the line section
N is the number of trains in the cycle observed

SAHR will always be smaller than or equal to the SSHR. The SAHR is only equal to SSHR in case of a homogeneous timetable and the difference will increase the more heterogeneous the timetable is. A measurement of the homogeneity can therefore be found by combining formula 2 and formula 3:

$$\text{Formula 4: } \text{Homogeneity} = \frac{\text{SAHR}}{\text{SSHR}} = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{1}{h_{t,i}}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{h_{t,i}^A}}$$

The homogeneity is then equal to 1 when the timetable is completely homogeneous and opposes 0 when the heterogeneity increases.

4.3 Average speed

A train consumes a different amount of capacity at different speeds. When a train stands still, the train consumes all the capacity since it occupies the block section for an infinite amount of time. When the train speeds up the train occupies the block section for shorter time whereas more trains can pass the same block section – more capacity is gained. However, when

increasing the speed also the braking distance is increased which means that the headway distance – and headway time – is increased whereas capacity is lost, cf. figure 5.

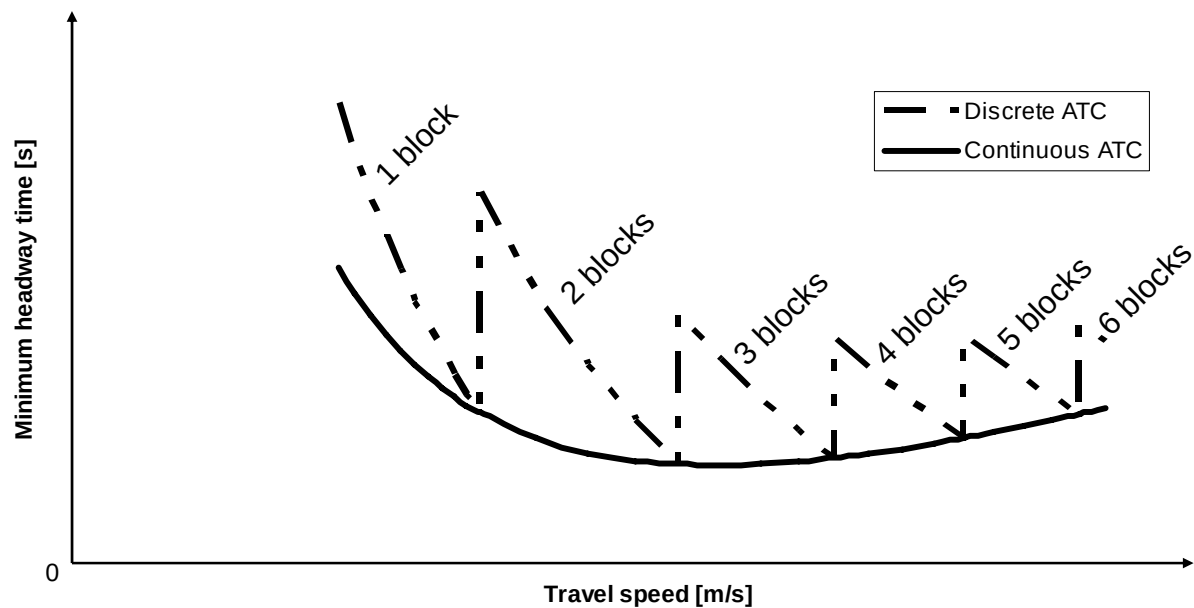


Figure 5: Minimum headway time according to the speed of the train [10]

As figure 5 shows is the minimum headway time – and thereby the capacity – dependent of the speed of the train. For railway lines with discrete ATC (or no ATC system) the speed is even more important than continuous ATC systems since the function of the minimum headway time is discrete.

When both fast and slower local trains are running on the same railway line it is possible to achieve a high average speed. However, if the railway line has lack of capacity it might not be possible for the fast trains to run at the maximum speed cf. figure 6.

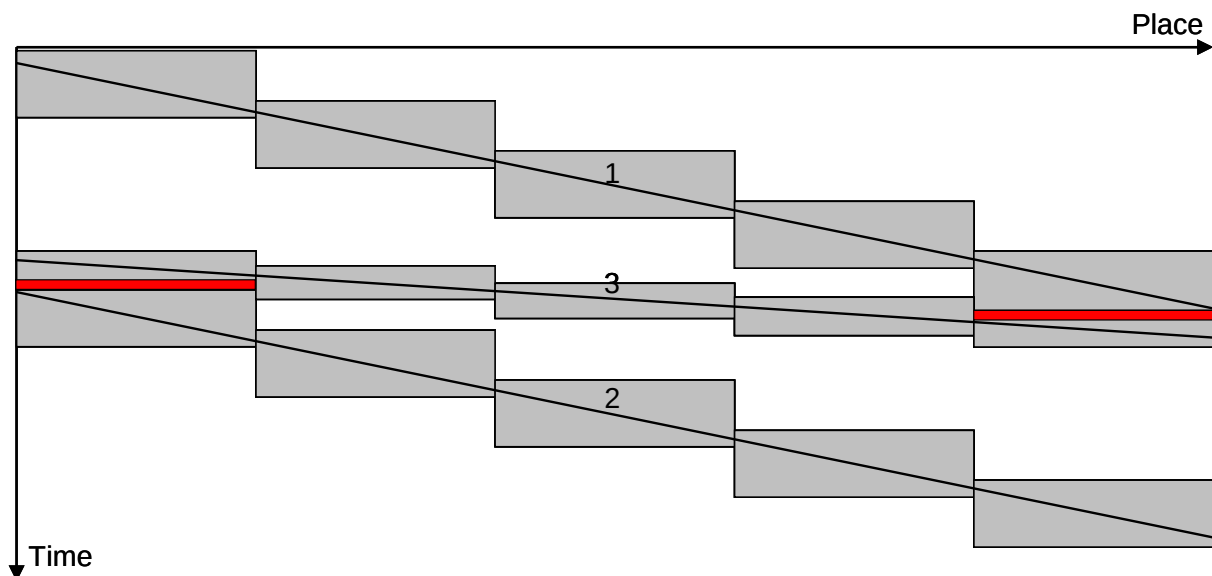


Figure 6: The fast train (train 3) has to reduce the speed due to conflicts

4.4 Stability

When discussing railway capacity it is important to look at the stability of the railway system too. The stability of the railway system is difficult to work out as such. The punctuality of the trains is, however, derived from the stability.

It is difficult to evaluate the stability – or punctuality – of a planned timetable not yet put in operation. Experienced planners might, however, have an idea of how changes in a timetable or the infrastructure might affect the punctuality. It is only possible to estimate the punctuality of smaller changes in the timetable or infrastructure using the experience. If the punctuality of larger changes in the infrastructure and/or timetable have to be estimated it is necessary to use simulation tools such as RailSys. Even though it is difficult to predict the future punctuality a general rule of thumb is that the punctuality will drop when the capacity utilization increases, cf. figure 7.

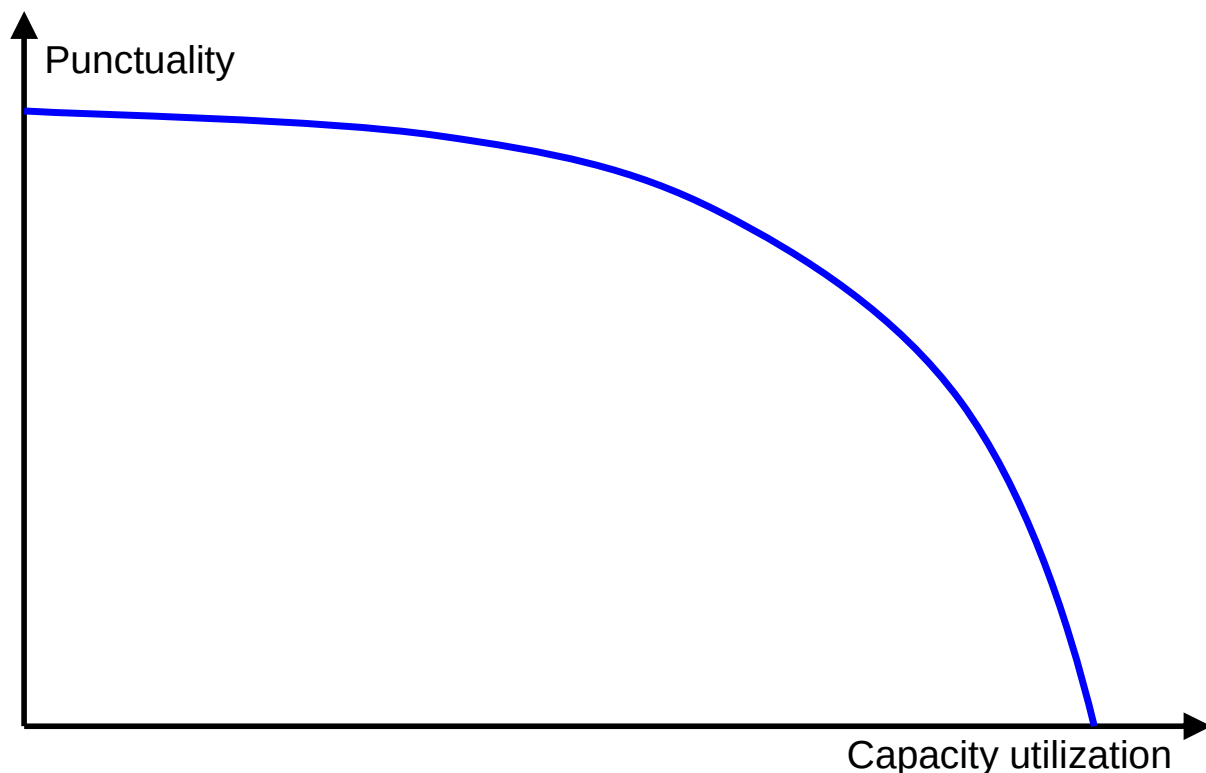


Figure 7: The coherence between punctuality and capacity utilization (Based on [6]).

Even though it is possible to achieve higher capacity utilization on a railway line it is often said that there is no more capacity if the punctuality drops below a certain limit. Changing the timetable for the railway line examined may increase the punctuality so that it is possible to have higher capacity utilization before dropping below the punctuality level where it is said that there is no more capacity. This is due to the fact that the capacity for a given railway infrastructure is based on the interdependencies existing between the number of trains, the average speed, the stability (or punctuality) and the heterogeneity (differences in the speed) of the trains [12] (cf. figure 2, page 4).

5 Determination of capacity according to the UIC 406 method

A detailed description of the UIC 406 method for capacity calculation is given in [12]. However, a brief description of the UIC 406 method will be given here.

Capacity consumption on railway lines depends on both the infrastructure and the timetable. Therefore, the capacity calculation according to the UIC 406 method is based on an actual timetable.

Timetables are created for the entire network and not only the line or line section which is of interest according to the capacity analysis. This means that the timetable in the analysis area depends on the infrastructure and timetable outside the analysis area – the so-called network effects [1][2][8]. These so-called network effects are not taken into account in the capacity analysis, why the capacity used according to the UIC 406 method will be less than or equal to the actual capacity consumption.

The capacity calculation is based on the compression of timetable graphs on a defined line or line section. All single train paths are pushed together to the minimum headway time, so that no buffer times are left. The compression of the timetable graph has to be done with respect to the train order and the running times. This means that neither the running times, running time supplement, dwell times or block occupation times are allowed to be changed. Furthermore, only scheduled overtakings and scheduled crossings are allowed!!

To evaluate the capacity utilization it is necessary to know both the infrastructure and the timetable. Therefore, the first steps of evaluating the railway capacity are to build up the infrastructure and create/reproduce the timetable. To evaluate the railway capacity according to the UIC 406 method, the railway network has to be divided into line sections. For each line section the timetable has to be compressed so that the minimum headway time between the trains is achieved.

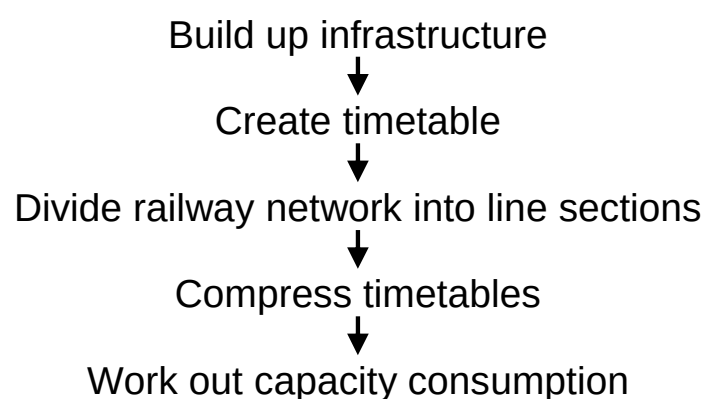


Figure 8: Workflow of the UIC 406 method

When the timetable has been compressed it is possible to work out the capacity consumption of the timetable by comparing the cycle times. The workflow of the capacity evaluation can

be seen in figure 8. Different timetabling software such as RailSys has already implemented the UIC 406 capacity method. Using e.g. RailSys, it is, therefore, easy to calculate the railway capacity.

The UIC 406 capacity method is described in the UIC 406 capacity leaflet. This means that the method acts as a reference but not either a law or a norm [15]. Since the UIC 406 method acts as a reference and the fact that not two railway lines are identical some adaptations and interpretations have to be done for each analysis. The following sections describe some of the adaptations and interpretations made in Denmark to use the UIC 406 method.

6 The Danish interpretation of the UIC 406 method

According to the UIC 406 capacity method railway lines have to be divided into smaller line sections which are further examined. The railway lines have to be divided at each junction, when the number of tracks changes (e.g. from double track to single track) and on each crossing station on a single track line. Furthermore, the railway lines have to be divided into line sections where the number of trains changes (e.g. end stations where trains turn around) and at stations where one train takes over another train. figure 9 shows a schematic track layout and where the railway line has to be divided into line sections according to the UIC 406 capacity method.

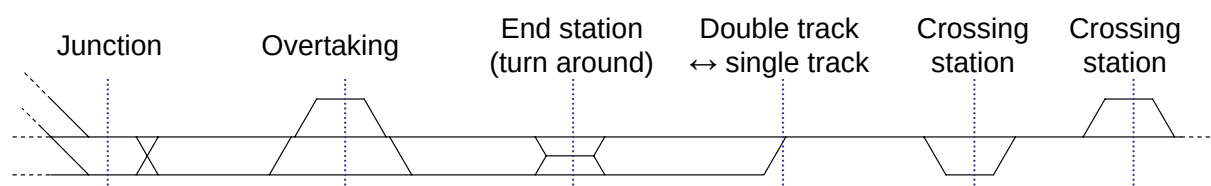


Figure 9: Dividing railway line into line sections

The many small line sections are not always an advantage when examining railway capacity. E.g. when examining the capacity of a whole railway line where some trains run all the way to the end of the line while other trains turn around before the end of the line a low capacity utilization is found (cf. section 6.1).

6.1 The length of the railway section examined

The capacity calculation is based on compression of timetable graphs on defined line sections as described in section 5 and in [12]. However, the timetable graphs can only be compressed as the critical block section(s) allows. Therefore, it is important not to split the railway line into several smaller line sections uncritically, while the critical block section(s) thereby might be excluded from the analysis.

The critical block section is the block section which is occupied for the longest time. For homogenous traffic the critical block section can be anywhere on the line, but normally the critical block section is located close to a station or halt due to the reduced speed [5]. For

inhomogeneous traffic like the Coast Line (Kystbanen) in Denmark (cf. figure 10) the critical block section is usually located where the fast trains catch up with the slower trains.

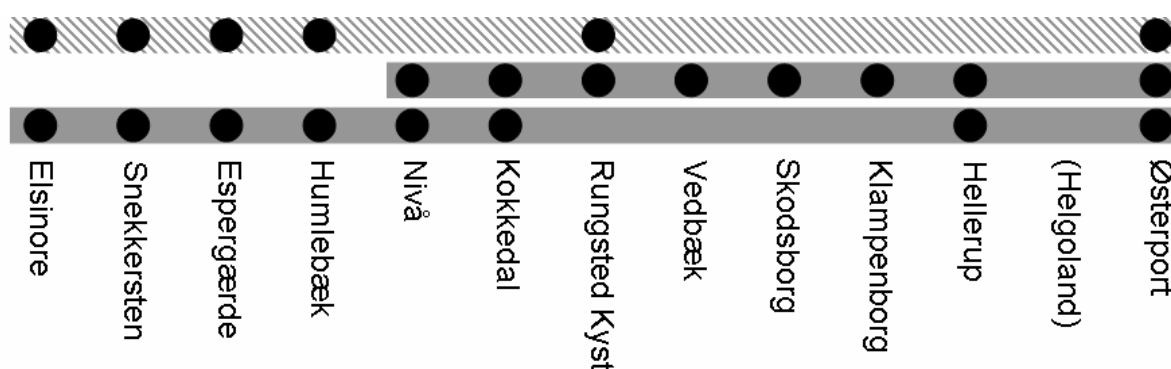
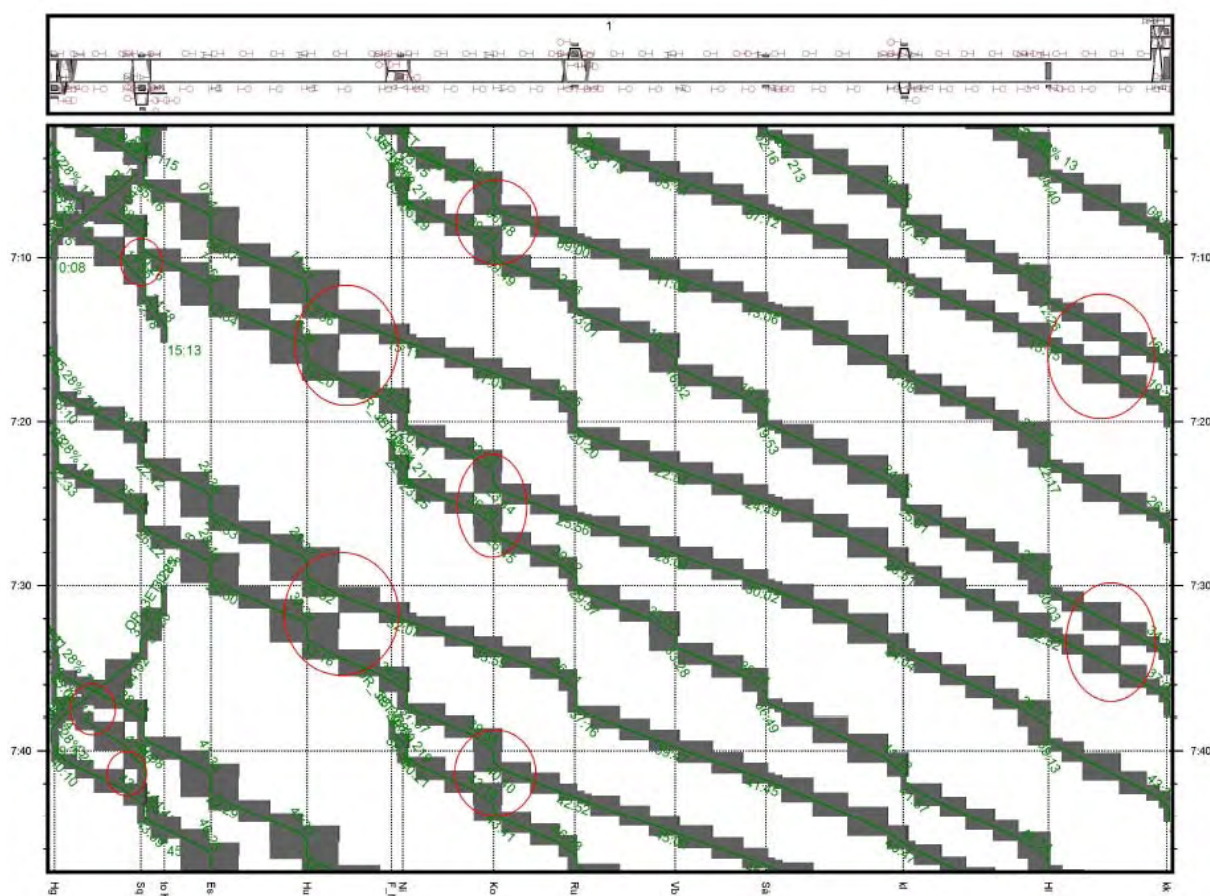


Figure 10: Train stopping patterns for the Coast Line in the rush hours (20 min service).

On the railway line between Copenhagen (Østerport) and Elsinore – the Coast Line – there is an inhomogeneous traffic (cf. figure 10). The critical block sections or bottlenecks on the Coast Line are at Nivå and Hellerup where the trains catch up with each other. To analyse the capacity utilization of the bottlenecks it was decided to use the UIC 406 method, cf. figure 11.



To test the UIC 406 method, 3 different line sections were examined. The 3 line sections were Kokkedal-Humlebæk, Helgoland-Klampenborg and the whole line section between Helgoland and Elsinore. The results from the analysis show a big difference in the capacity utilization at the bottlenecks, cf. figure 12.

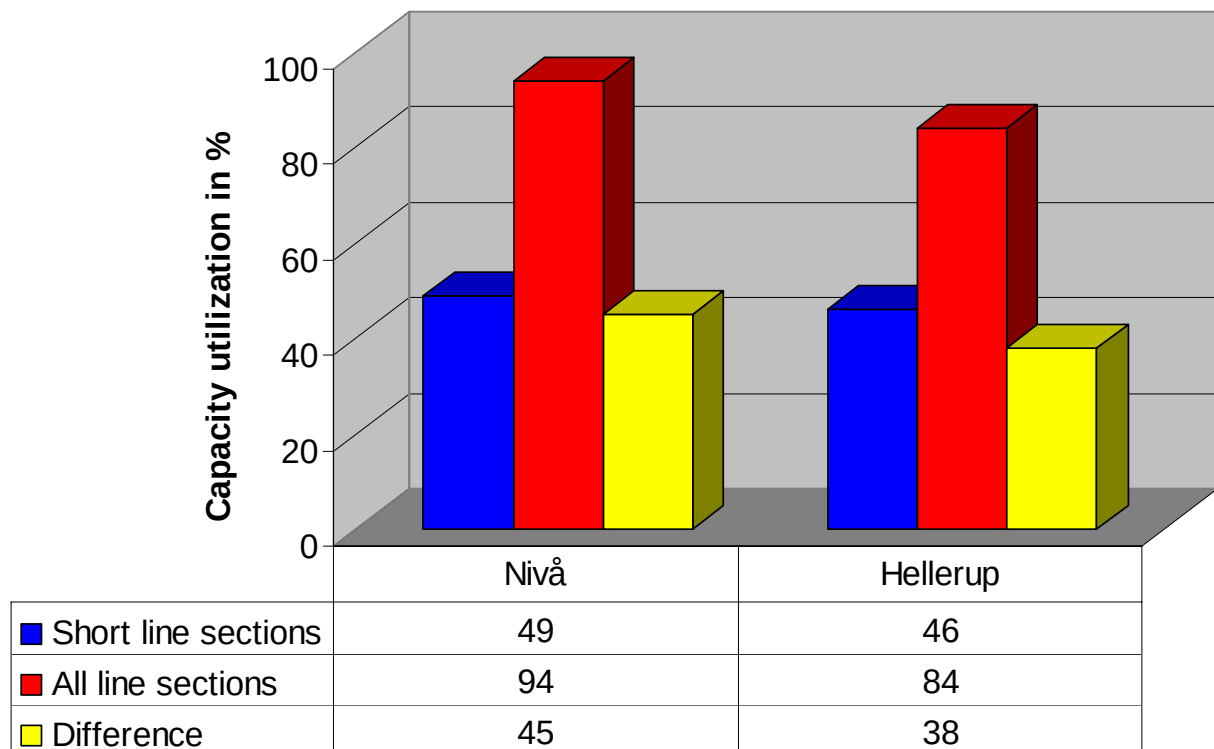


Figure 12: Capacity utilization on the Coast Line according to the UIC 406 method during the rush hour [9].

Figure 12 shows that the short line sections give much lower capacity consumption than the whole line section. The low capacity utilization at the short line sections can lead to the wrong conclusion that there is room enough to run more trains. However, running more trains will make it more or less impossible to keep a good punctuality (see section 6.3).

Based on the results from the Coast Line it can be concluded that it is important to examine the whole railway line and not just a smaller area when capacity analyses are carried out. However, it is not always possible to examine a whole railway line due to the analysis resources. Therefore, the effort has to focus on the analysis examining where the railway line can be divided into smaller line sections. Furthermore, it is necessary to be careful when comparing capacity utilizations and only compare relatively.

6.2 Changing between tracks at stations and at lines with more than two tracks

Compressing timetable graphs according to the UIC 406 method can lead to discussions on line sections with more than two tracks. An example from the Capacity analysis of the line between Copenhagen and Ringsted [11] illustrates the problem. A freight train is running from Ringsted to the freight terminal at Høje Taastrup. Simultaneously with the freight train

passing Roskilde, a regional train from Lejre towards Copenhagen leaves Roskilde, cf. figure 13.

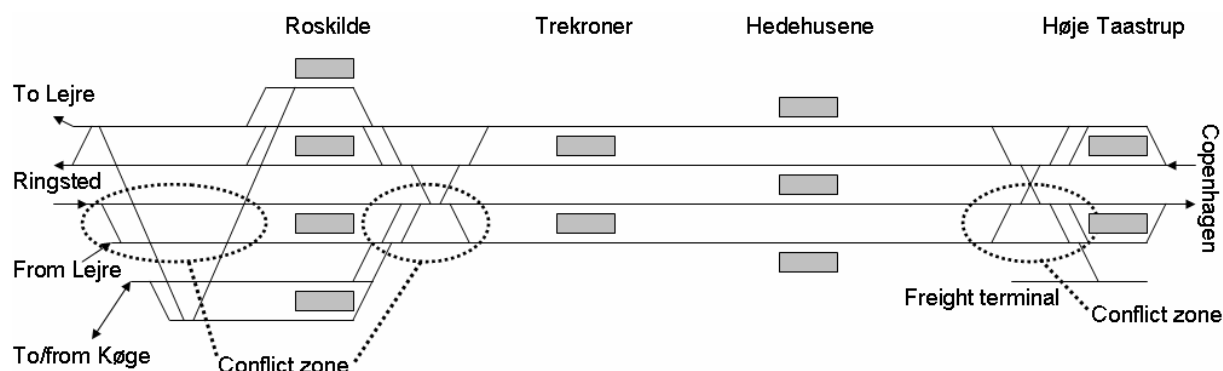


Figure 13: Conceptual track layout for the line section Høje Taastrup – Roskilde.

When compressing the timetable graphs there will inevitably be a conflict because the trains have to change use of track at either Roskilde or Høje Taastrup station. The capacity consumption of the line section depends on which train runs on which track between Roskilde and Høje Taastrup and thereby where the conflict between the trains occurs, cf. figure 13.

Using the UIC 406 method on line sections with more than two tracks it has (in Denmark) been decided to give priority to the track occupations of the actual timetable or a timetable with a minimum number of conflicts. In the Danish method it is only allowed to move one or more trains from one track to another if there is an unequal utilization of the tracks. Not until then is the consideration of passenger preferences taken into account. The passenger preferences are only taken into account late in the process, since the UIC 406 method is used for capacity analysis.

Quadruple track sections are usually used for fast trains to overtake slower trains. In the Danish way of using the UIC 406 method for capacity analysis, it has been decided that the order of the trains has to be the same as in the reference timetable (cf. figure 14 part a) in both ends of the line section when compressing the timetable graph (cf. figure 14 part b). The train order has to be the same in both ends of the line section even though the timetable graphs can be compacted more if the trains change the order (cf. figure 14 part c). The train order has to be the same due to the limitations of the infrastructure and timetable outside the analysis area – the so-called network effects [1][2][8].

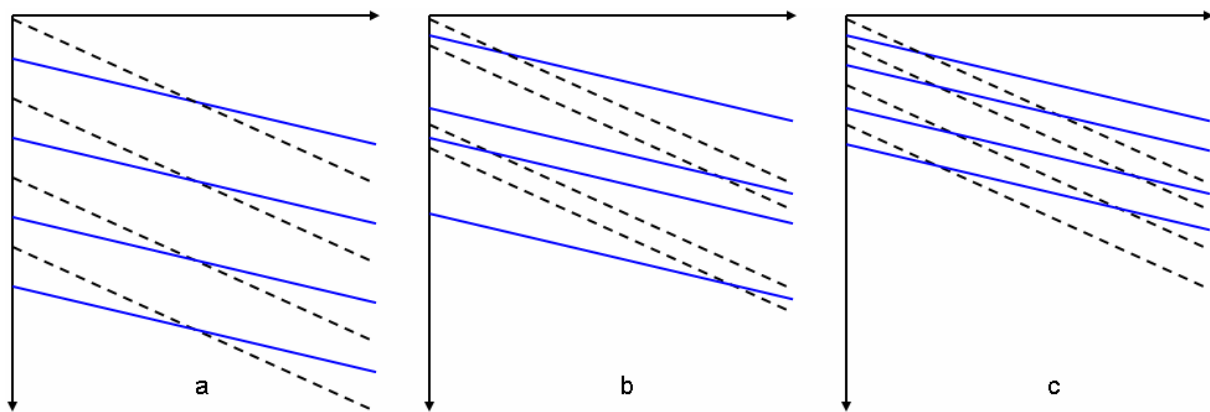


Figure 14: Actual timetable for quadruple track (a) and the same timetable compressed keeping the train order (b) and optimizing the train order (c).

A situation similar to the quadruple track sections can be found when two double track railway lines run parallel, cf. figure 15. When the UIC 406 method is followed stringently the infrastructure should be divided in two line sections A-C-B and A-D-B. However, if line section A-C-B and A-D-B is only separated by a short distance it will be obvious to examine it as one quadruple track section as described above.

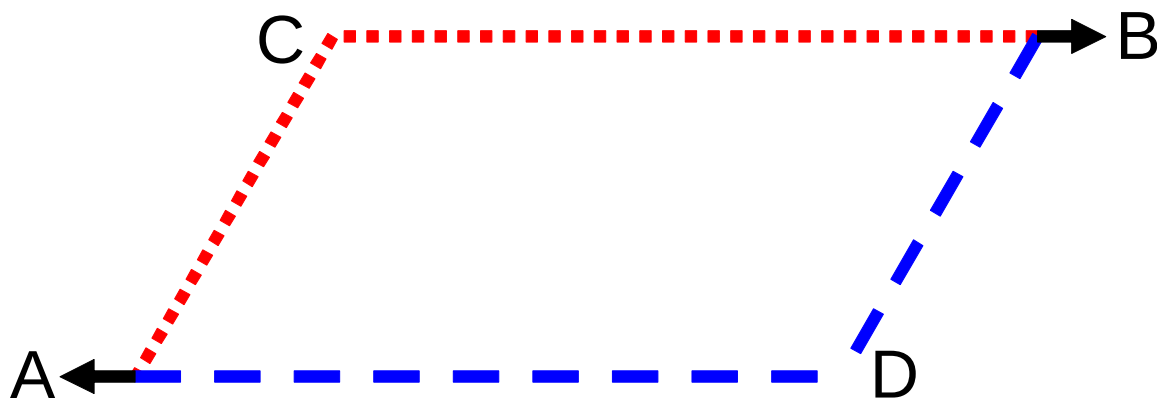


Figure 15: Infrastructure for two line sections running parallel.

If the tracks on figure 15 is separated so that C and D represent two different cities the analysis should normally be carried out on two different line sections – A-C-B and A-D-B. If the overall capacity between A and B is to be evaluated it could, however, be useful to evaluate the network as a quadruple track section. By evaluating the network as a quadruple track section it is possible to move through going trains (no stop between A and B) from one track to another to achieve an equal utilization as described above and thereby evaluate the overall capacity between A and B.

When evaluating the overall capacity between A and B on figure 15 it is sometimes necessary to compromise the principles of the UIC 406 method. If e.g. some trains turn around at C (cf. figure 15) the line section ought to be divided at C. However, it is not possible to evaluate the overall capacity when there are more than two line sections because (the above described) method does not allow moving through going trains from one track to another to achieve an

equal capacity utilization. When dividing one of the line sections into several smaller line sections, it makes it difficult to compare the capacity utilization of the two lines (A-C-B and A-D-B) since capacity utilization depends on the length of the line sections examined – cf. section 6.1. It is possible to compare the capacity utilization on the two parallel railway lines if the railway lines are divided in smaller line sections. But when comparing the parallel railway lines it is necessary to consider the splitting carefully in regard to the number of line sections and their length, so that the railway lines still are comparable.

6.3 The possibility of using idle capacity to run more trains

The UIC 406 method describes the amount of capacity used on a certain railway line. However, not used capacity can not always be used to run more trains. In figure 16 it is shown how the buffer times between the trains can give idle capacity by compressing the timetable graph and thereby make it possible to run an extra train.

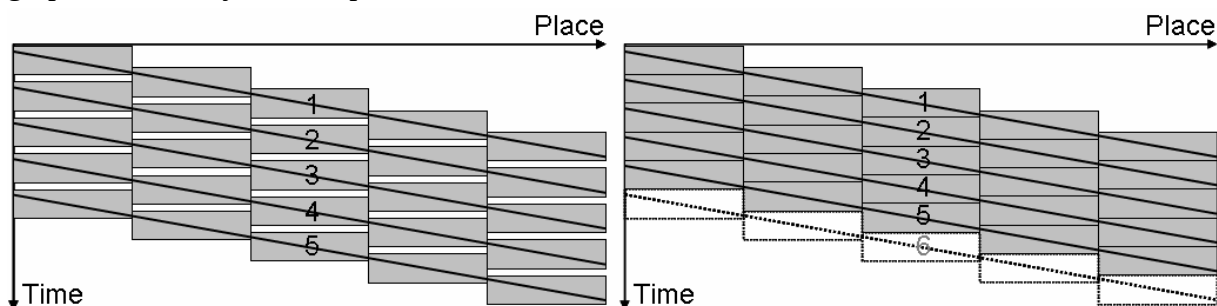


Figure 16: Usage of idle capacity.

It is, however, not always possible or wise to use the idle capacity or buffer time to run more trains. If there is a longer block section outside the evaluation area, it is not always possible to run an extra train due to the lack of capacity outside the evaluation area, cf. figure 17.

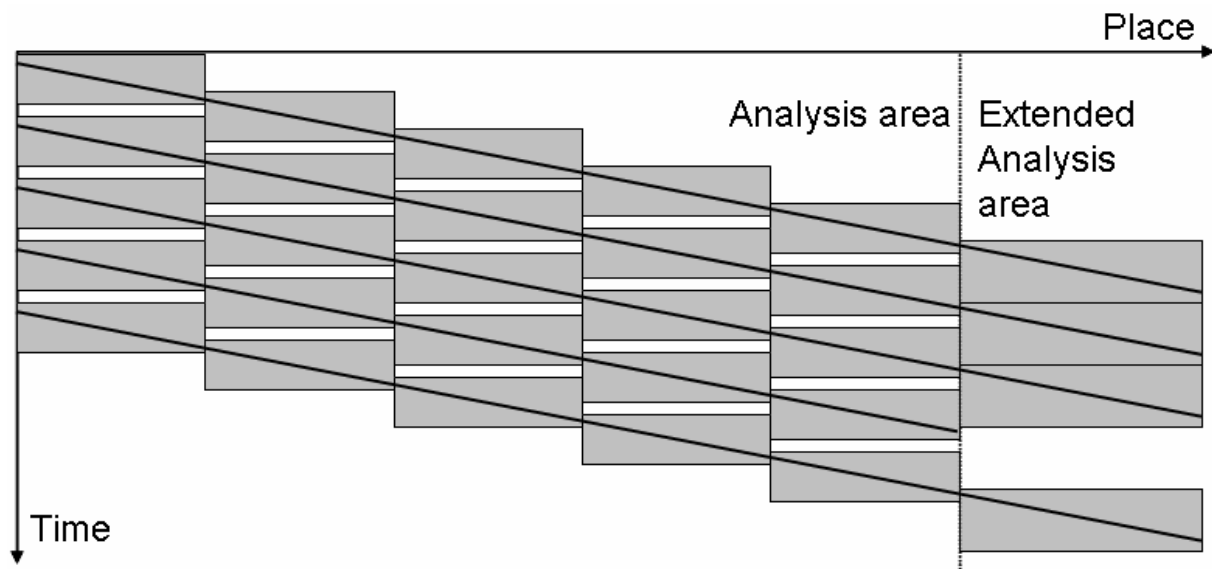


Figure 17: Limited possibility of compressing timetable graph.

Even though it is possible to run more trains, it is not always wise to do so because it will reduce the buffer times. By reducing the buffer times, the risks of secondary delays are

increased. Furthermore, the dispatching of the trains is made more difficult due to more trains in the system. Everything considered, the idle capacity can not always be used to run more trains.

6.4 The possibility of using the plan of operation instead of the exact timetable

It is difficult to analyse the capacity of a railway line which has not yet been built since the timetable for the opening year is unknown. Furthermore, the timetable can be changed over time. Therefore, examining the capacity utilization based on the plan of operation instead of the final timetable for the opening year is preferred. Since the capacity utilization is influenced by the order of the trains, it is necessary to make some assumptions of the train order or use methods used for successive calculation.

Using successive calculation, the average capacity utilization can be calculated as a weighted average of one (or more) likely value(s), the maximum value and the minimum value as shown in formula 5:

Formula 5:
$$\text{Average} = \frac{\text{MinValue} + (3 \cdot \text{SuggestedValue}) + \text{MaxValue}}{5}$$

The minimum value (MinValue) and the maximum value (MaxValue) of a plan of operation can be found by arranging the trains, so that the trains utilize as little or much capacity as possible, cf. figure 18.

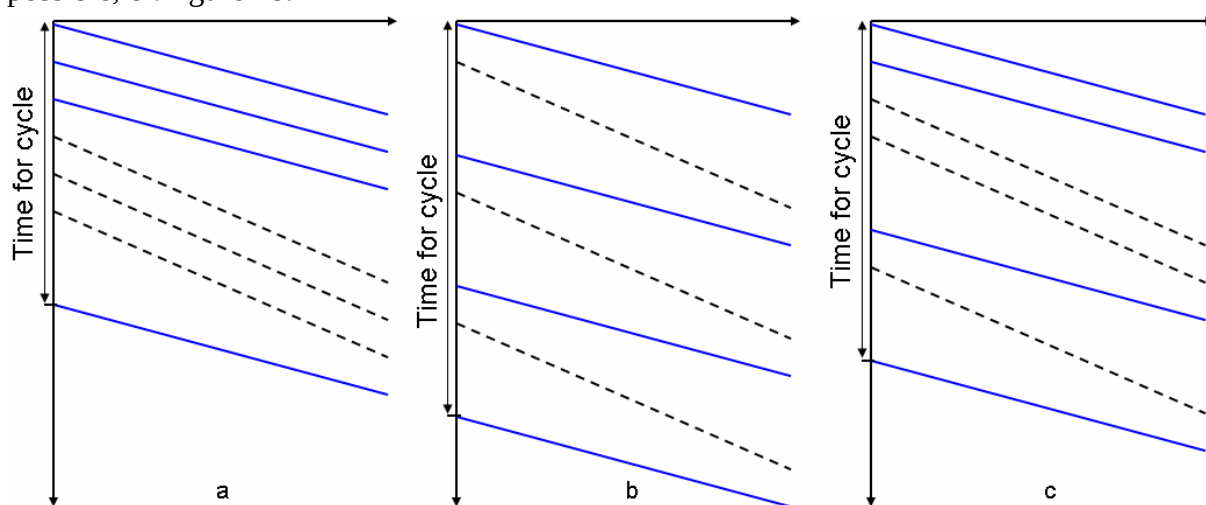


Figure 18: Plan of operation utilizing as little (a), as much (b) capacity as possible and a “suggested” capacity consumption (c).

Beside the values for the minimum and maximum capacity utilization it is also necessary to calculate a suggested value for the capacity utilization, cf. formula 5. This is due to the fact that the infrastructure outside the section of examination can limit the number of ways the trains can be ordered.

7 Capacity statement

Infrastructure managers are often asked to create maps showing the capacity utilization of the railway network. Using the UIC 406 method it is easy to calculate the capacity utilization for railway lines and create maps showing the capacity utilization, cf. figure 19. In this way it is easy to explain e.g. politicians where there is lack of capacity in the railway network.

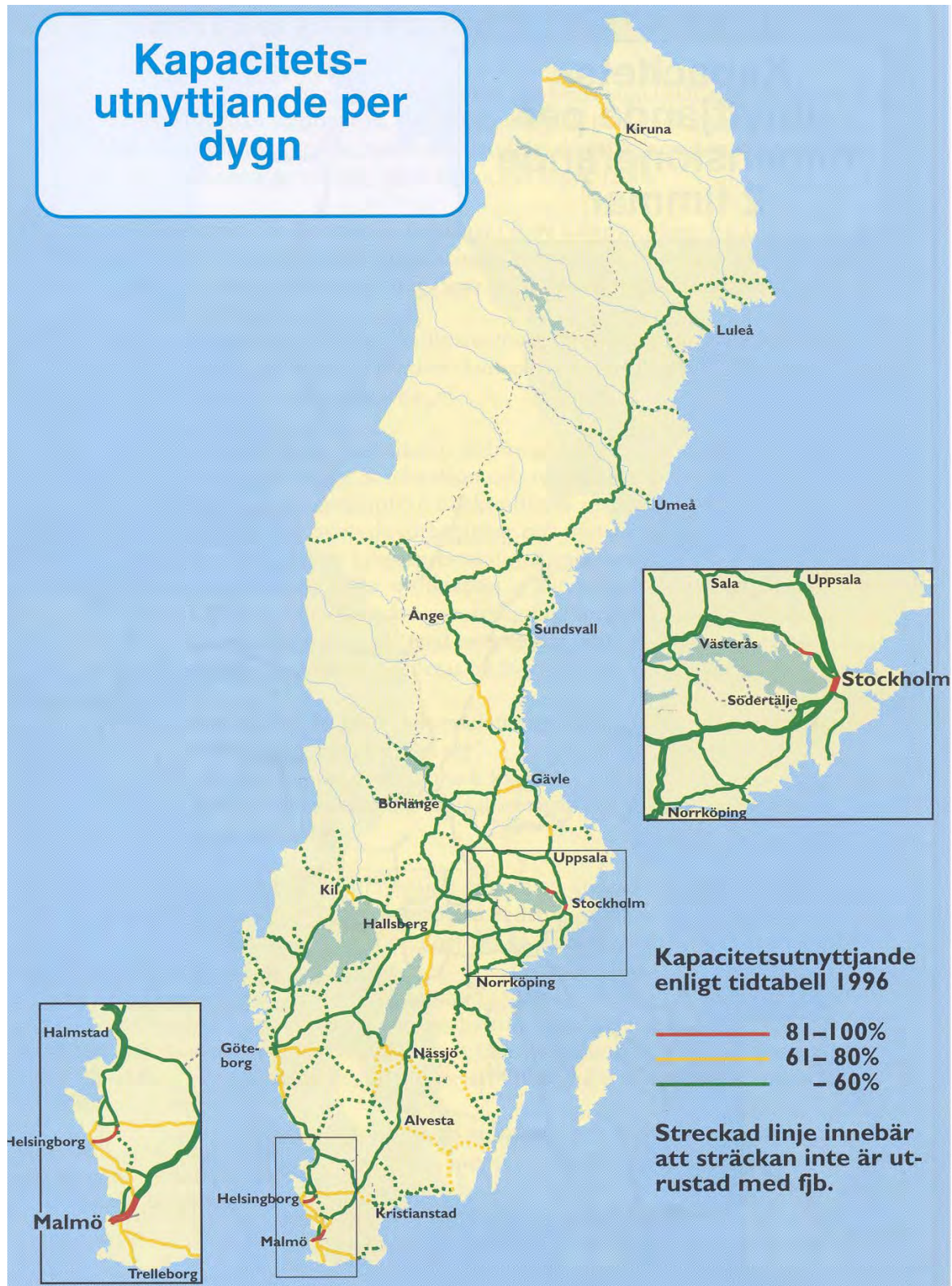


Figure 19: Capacity utilization in Sweden [3].

7.1 Overtaking

Using the UIC 406 method strictly, railway lines have to be divided into line sections at all junctions and each time an overtaking or turn around takes place. Dividing railway lines into line sections each time an overtaking or turn around takes place can result in different criteria's for the capacity statement since the lengths of the line sections is varying. By changing the lengths of the line sections also the capacity utilization will vary. In this way it is possible to gain capacity by letting a fast InterCity Express train overtake a slower freight train since the line section then have to be split in two.

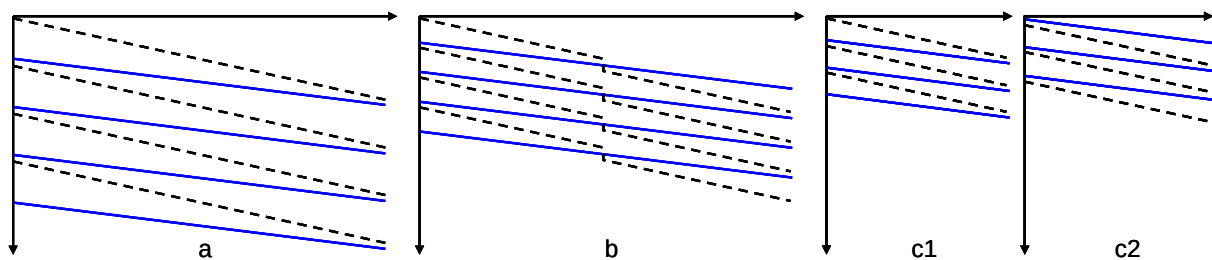


Figure 20: Capacity utilization for line section (a), line section with overtaking (b) and divided line section due to overtaking (c1 and c2).

It is commonly known that an overtaking can gain some extra capacity on a railway line with high capacity utilization since fast trains can overtake slower trains (compare figure 20 part a and b). However, using the UIC 406 method cogently the line section should be divided into two line sections due to the overtaking (cf. figure 20 part c1 and c2). By dividing the line section into two smaller line sections the capacity utilization is even less (compare figure 20 part b and c).

The less capacity utilization by dividing the line section into smaller line sections due to the overtaking is a paradox of the UIC 406 method the planner should be aware of. The paradox becomes even more distinct when it becomes clear that the overtaking (and thereby improved capacity) is coursed by lack of capacity.

Using the UIC 406 method when overtaking and not splitting the line section a new challenge occurs – how should the timetable graphs be compressed? Compressing the timetable graph in figure 21 part a without changing either the train order or the dwell time results in a situation where not much capacity is gained, cf. figure 21 part b. However, there is unused capacity so that it is possible for more trains to take over the dwelling train, cf. figure 21 part c.

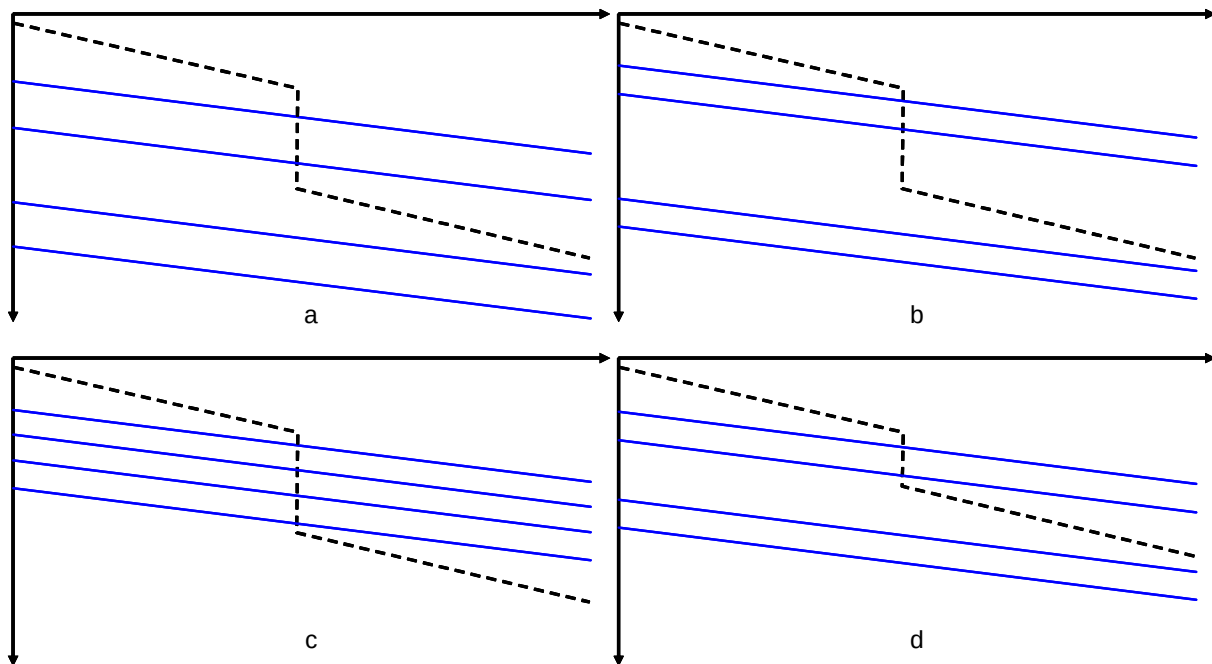


Figure 21: Timetable compression when overtaking.

If more trains than timetabled takes over a dwelling train the train order is changed at the end of the line. The changed train order can result in new conflicts outside the analysis area (or line section) if e.g. a planned timetable slot is not available. Therefore, the train order should remain fixed by compressing the timetable graphs.

Instead of changing the order of the trains it is possible to change the dwell time of the train which is overtaken, cf. figure 21 part d. Often e.g. freight trains have a longer dwell time than needed to secondary delays by adding buffer times. However, one has to be aware that it might take a while before a fully loaded freight train can start moving after a complete halt.

7.2 Extra trains

Another paradox of the UIC 406 method is that an extra train can result in less capacity consumption. If the UIC 406 method is used cogently to divide railway lines into line sections an extra train route with a new line-end station means that the railway line has to be divided into an extra line section. When the railway line is divided into an extra line section shorter line sections occur. Shorter line sections imply that it is possible to compress timetable graphs for mixed operation more than for a longer line section.

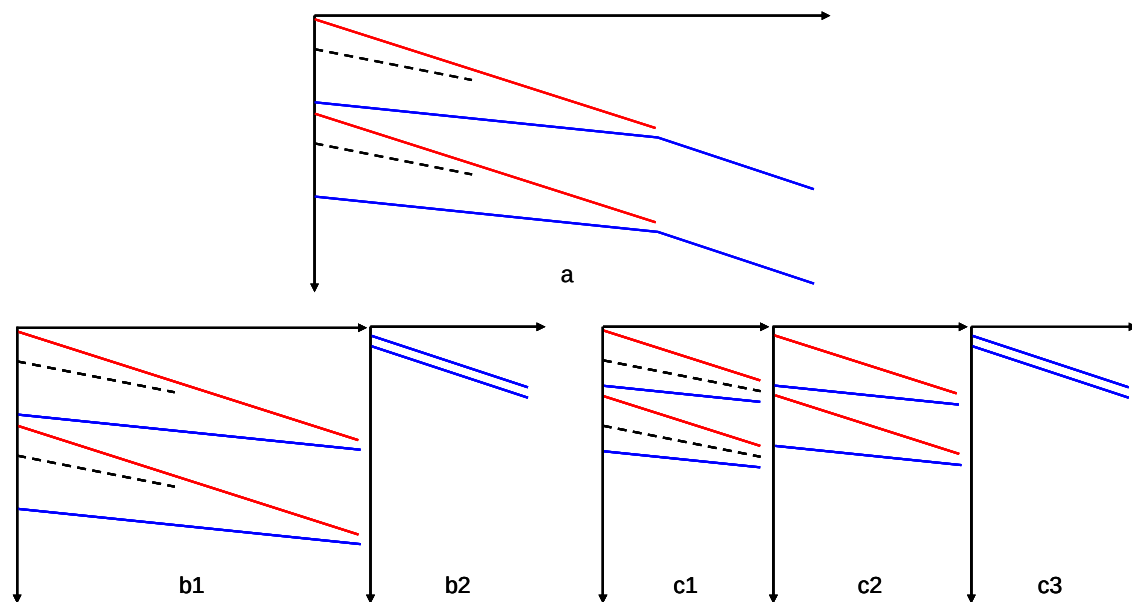


Figure 22: An extra train can result in less capacity utilization.

Figure 22 illustrates the paradox of an extra train resulting in less capacity consumption. Part a in figure 22 shows the timetable where the dotted trains are extra trains scheduled in the timetable. Part b in figure 22 shows how the timetable is compressed according to the existing line sections (the capacity consumption would have been the same without the new (dotted) trains). Due to the extra (dotted) trains the UIC 406 method requires that line section b1 is divided into two line sections (c1 and c2). Compressing the timetable graphs for line section c1 and c2 results in less capacity consumption than for line section b1. Since line section b1 – the most capacity consuming line section – has been divided into smaller line sections it seems that the railway line has got more capacity.

7.3 Working out the capacity statement

It has been shown that overtakings can reduce the capacity utilization (especially if the line section is divided) and that extra trains can result in less capacity consumption. Therefore, it is necessary to consider how the railway network is divided into line sections when presenting maps of the capacity utilization. To have uniform and comparable maps of the capacity utilization it is important to use the same line sections each year. When producing comparable maps of the capacity utilization it can therefore be necessary to ignore the UIC 406 guidelines to divide line sections when an overtaking or turnaround takes place.

Even though the railway network carefully has been divided into line sections it might be necessary to change the line sections. However, when changing the line sections it is not possible to see the trend of the capacity utilization. Therefore, it is necessary to have an overlap statement between the different line sections as seen in table 2.

	2000	2001	2002	2003
New	n/a	58%	60%	60%
Old	60%	62%	64%	n/a

Table 2: Change in line sections and capacity utilization

Examining table 2 it can be seen that the capacity utilization has grown 4% from year 2000 to 2003. However, if not there had been an overlap statement between the different line sections it would seem that the capacity utilization was the same in year 2000 and 2003 (60 %) and a little lower in year 2001 (58%).

8 Conclusion and perspectives

The paper has described the capacity theory for railway lines and how the capacity consumption can be evaluated for railway lines with two or more tracks. However, work still remains to be able to evaluate the capacity consumption for single track lines and junctions. Furthermore, quantitative methods to evaluate (and compare) capacity consumptions on railway lines in a fast and easy way have to be developed.

The analysis has shown that the capacity utilization on railway lines is very responsive to the network examined. Therefore, the capacity utilization should only be compared relatively. In Denmark it has not yet been decided where to split the railway lines into smaller line sections – this work still remains to be done.

When there is a quadruple track available, it has been decided that the track occupations of the actual timetable should be used. If there is no actual timetable the timetable with the minimum number of conflicts should be examined instead. It is furthermore only allowed to move a train from one track to another if there is an unequal utilization of the tracks. The conditions for passengers transferring to e.g. busses are not taken into account.

Even though the capacity analysis shows that it is possible to run more trains in the section analysed, it is not always possible. The analysed line section can be too short to see that it is not possible to run more trains (e.g. due to capacity restrictions outside the analysis area) – the so-called network effects.

Using the UIC 406 capacity method it is easy to make annual capacity statements on maps showing the capacity utilization on the railway network. Using the UIC 406 capacity method to make capacity statements it is important to use the same line sections each year to avoid the paradox that an extra train or an unwanted overtaking results in less capacity utilization.

All the analyses have been carried out in the timetable and simulation software RailSys, but can also be carried out in the timetabling system STRAX/TPS which is used by the Danish railway agencies [7]. The result of the analysis is a common Danish method to evaluate the capacity utilization of railway lines in Denmark.

References

- [1] Hansen, S., Landex, A. & Kaas, A.H., The Network effects of Railway Investments, *Proc. of the 10th International conference on Computers in Railways*, eds. J. Allan, C.A. Brebbia, A.F. Rumsey, G. Sciutto, S. Sone & C.J. Goodman, 2006
- [2] Hansen, S., Large Transport Infrastructure Investments and their Strategic Impacts with a Special Focus on Enterprises, *PhD. thesis at Centre for Traffic and Transport, Technical University of Denmark*, 2004 (in Danish).
- [3] The Swedish rail network, 1997, Banverket Planeringsavdelingen, Sweden (in Swedish).
- [4] Höllmüller, J. & Klahn, V., Implementation of the UIC 406 capacity calculation at Austrian railways (ÖBB). *Proc. Of the 1st International Seminar on Railway Operations Modelling and Analysis*, eds. I.A. Hansen, F.M.Dekking, R.M.P. Goverde, B. Hindergott, L.E. Meester, The Netherlands, 2005
- [5] Kaas, A. H., Methods to calculate capacity of railways, *PhD. thesis at Department of Planning, Technical University of Denmark*, 1998 (in Danish).
- [6] Kaas, A. H., Punctuality model for railways. *Proc. of the 7th International conference on Computers in Railways*, eds. J. Allan, R. J. Hill, C. A. Brebbia, G. Sciutto & S. Sone, pp. 853-860, 2000
- [7] Kaas, A. H. & Goossmann, R., Implementation of the Timetable Planning System STRAX/TPS in Denmark. *Proc. of the 9th International conference on Computers in railways*, eds. J. Allan, C.A. Brebbia, R.J. Hill, G. Sciutto & S. Sone, pp. 93-102, 2004
- [8] Landex, A., Kaas, A.H. & Hansen, S., Railway Operation, *Technical report at Centre for Traffic and Transport, Technical University of Denmark*, 2006
- [9] Landex, A., Kaas, A. H., Schittenhelm, B. & Schneider-Tilli, J., Practical use of the UIC 406 capacity leaflet by including timetable tools in the investigations, *Proc. of the 10th International conference on Computers in Railways*, eds. J. Allan, C.A. Brebbia, A.F. Rumsey, G. Sciutto, S. Sone & C.J. Goodman, 2006
- [10] Landex, A. & Kaas, A. H., Planning the most suitable travel speed for high frequency railway lines. *Proc. Of the 1st International Seminar on Railway Operations Modelling and Analysis*, eds. I.A. Hansen, F.M.Dekking, R.M.P. Goverde, B. Hindergott, L.E. Meester, The Netherlands, 2005
- [11] Strategic analysis of Copenhagen-Ringsted – Comparing solutions for extending the railway capacity; The Danish Rail Authority, October 2005, Online.
http://www.trafikstyrelsen.dk/graphics/Synkron-Library/Trafikstyrelsen/Jernbane/Strategi/strategi_beslutningsgrundlag .pdf, May 2006 (in Danish).
- [12] UIC leaflet 406, Capacity, 2004, UIC International Union of Railways, France
- [13] Vromans, M.J.C.M, Reliability of Railway Systems, *PhD. thesis at Erasmus Research Institute of Management, Erasmus University Rotterdam*, 2005
- [14] Wahlborg, M., Banverket experience of capacity calculations according to the UIC capacity leaflet. *Proc. of the 9th International conference on Computers in railways*, eds. C.A.- J. Allan, C.A. Brebbia, R.J. Hill, G. Sciutto & S. Sone, pp. 665-673, 2004
- [15] www.uic.asso.fr/etf/codex/informations.php#2, May 2006

Trafikplanlægning

TRANSPORT IMPACTS OF THE COPENHAGEN METRO

Jane Ildensborg-Hansen
TetraPlan A/S, Copenhagen, Denmark (jih@tetraplan.dk)

Goran Vuk
Danish Transport Research Institute, Lyngby, Denmark, (gv@dtf.dk)

Abstract

A large scale research project has followed the opening of the Copenhagen metro's phase 1 and phase 2a where the focus was to analyse the changes in travel behaviour. A long list of transport impacts was identified and quantified in the project, all of them depended on a geographical location and the time the changes were measured relative to the before-metro situation.

Due to the metro, we have experienced a general growth in public transport over the years after metro's opening; an experience which is rather opposite of what we were used to. A major part of that increase is related to the newly generated traffic, i.e. induced traffic. Most of the new metro traffic happens in day periods out of the two peaks, especially in the evening, resulting in changes in the proportion of traffic in different day time periods, i.e. the peaks are less extreme in the after-metro situation.

Finally, the metro has influenced changes in modal split, where the existing public transport modes, i.e. bus and S-train, lost large portions of their before-metro traffic to the metro. It was interesting to notice that in highly populated areas of Copenhagen, e.g. Frederiksberg, the metro had a large impact in shift from car to public transport.

1. INTRODUCTION

The Copenhagen metro is the main improvement made to Denmark's urban public transport infrastructure in the last decade. Important arguments in favour of a new public transport system in the capital were to increase market share for public transport, thus reducing car traffic, and enhancing urban development, especially on the island of Amager, whose only previous link to the city was bus service.

The focus of this article is an evaluation of transport impacts of the Copenhagen metro on traffic growth, induced traffic and choice of mode and destination. The effects were measured in two parts of the capital; an area called Frederiksberg and the corridor between islands Sjælland and Amager, so called Harbour corridor, in relation to the metro's phases 1, 2a and 2b.

The whole complex of analysis and results of the metro impact study is published as a report from the Danish Transport Research Institute (Vuk and Ildensborg-Hansen, 2006). Furthermore the main results have been published in Journal of Transport Geography (Vuk, 2005).

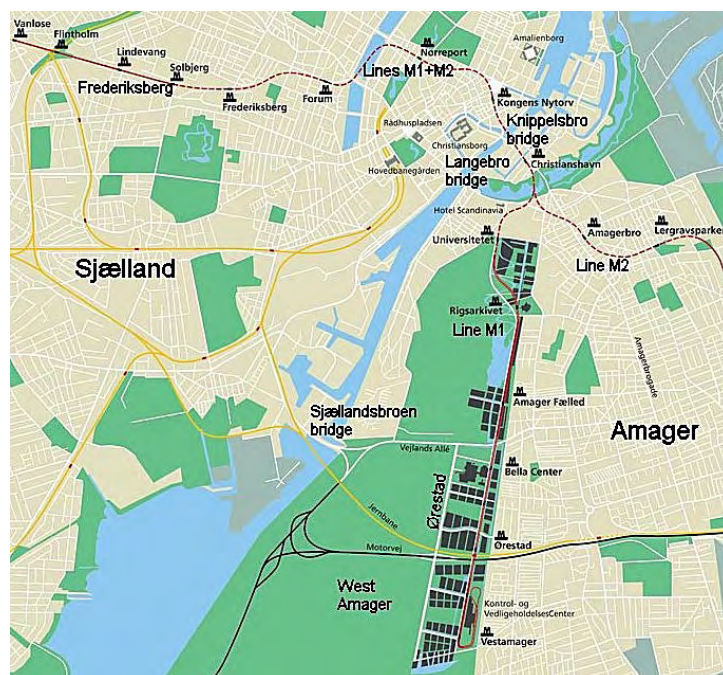
2. METRO IN COPENHAGEN

Already in 1961, there were plans to build an S-train connection between the islands of Sjælland and Amager, on which Copenhagen is located (Steen Eiler Rasmussen, 2001). The alignment was a straight line between west Amager and the city. At that time, west Amager

was unpopulated, and the plans proposed building some 40,000 new dwellings to ease the pressure on the fast-growing city centre.

In 1992, the Danish Parliament passed the Ørestad Act permitting the construction of a new railway infrastructure in Copenhagen. The government thus endorsed the regeneration of public transport and the reduction of road congestion in the Danish capital. Of the three suggested public transport modes – metro, light rail and tram – the first option was chosen. Metro construction started in 1994 and the first phase was opened on 19th October 2002. The construction costs of phase 1 of the metro amounted to DKK 6.7 billion (approximately EUR 900 million). Figure 1 shows the metro's alignment. The 11-km route consists of two metro lines connecting the island of Amager in the south with the city terminus at Nørreport on the island of Sjælland. Metro line 1 (M1) runs to a new town Ørestad in west Amager while metro line 2 (M2) runs to Lergravsparken in east Amager. The two lines meet on the Amager side of the harbour corridor, just before Knippelsbro bridge where the line goes underground.

Figure 1. Alignment of the M1 and M2 metro lines



The alignment of the M1 metro line in west Amager largely corresponds to the 1961 plan. The new town Ørestad will expand over the next 20 years to an area of 310 hectare, providing 60,000 jobs, 20,000 education places and 20,000 dwellings. Some larger companies have built new offices in Ørestad: Telia, Copenhagen Energy, Keops and Ferring. The Danish Broadcasting Corporation transferred all its activities to a new television centre in Ørestad in 2005. The University of Copenhagen has been enlarged in the area, and the construction of an IT University is finalised.

Phase 2 of the metro opened in two parts: phase 2a, between Nørreport and Frederiksberg, opened in May 2003, while phase 2b, between Frederiksberg and Vanløse opened in October 2003. Both metro lines continued their alignment in this phase from Nørreport to Vanløse. With phase 2 completed, the metro system has a total length of 16 km and consists of 17 stations, of which eight are underground.

Phase 3, the last projected phase of the Copenhagen Metro, will continue line M2 from Lergravsparken station to Copenhagen's international airport at Kastrup. This phase will open for operation in autumn 2007. The full metro system will be a 22-km network, of which 11 km will be underground.

The 2003 Traffic Plan also contains a proposal for phase 4 of the metro, the City Ring, with construction costs amounting to DKK 15 billion (approximately EUR 2.0 billion). Connecting areas close to the city centre, the City Ring will provide good opportunities for interchanging at major metro and S-train stations. Various alignments were proposed. Phase 4 will not be built until 2015 at the earliest.

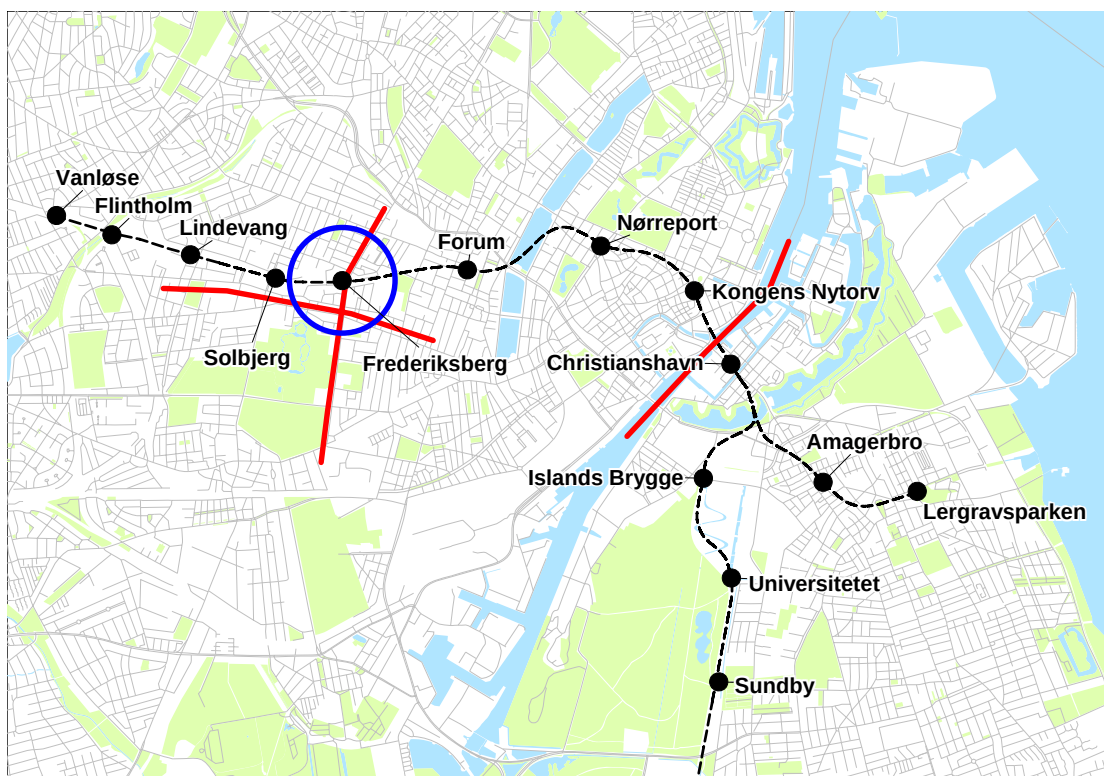
The Copenhagen Metro is fully automated and operated from a computer centre in Ørestad. The M1 and M2 lines operate with a 4-minute headway between trains during peak periods, which gives a 2-minute headway in the city centre. In the out of peak periods the M1 and M2 lines operate with a 6-minute headway. The operational system allows a minimum headway of only 85 seconds between trains. The metro operates in a self-contained network.

As the metro network has been expanded, changes have been made to the bus service in the capital, including the introduction of a so-called A-line bus network. A-line buses are high-frequency city buses that operate without timetables. They cross the metro network frequently and therefore serve as an access/egress mode to/from the metro.

Two corridors across the Frederiksberg and one, so-called, catchment area were defined in the metro impact study. The corridors were used for conducting traffic counts while the catchment area was used for identification of the respondents in the panel interviews. Figure 2 shows the geographical position of the corridors (the red lines) and the catchment area (the blue circle) where the dashed line shows the alignment of the M1 and M2 metro lines. The catchment area has the centre at the Frederiksberg metro station. The impact of the metro's phases 2a and 2b are measured in Frederiksberg.

The second part of the capital where the metro's impact is measured is so called the Harbour corridor, which is the sea channel between the islands of Sjælland and Amager. Figure 2 also shows the Harbour corridor. The corridor is defined by two bridges; the Langebro and Knippelsbro bridges (see Figure 1). The impact of the metro's phases 1, 2a and 2b are measured in the Harbour corridor.

Figure 2. Traffic corridors and the catchment area in the project



3. DATA COLLECTION

Data from different sources were used in the analysis and can be classified into traffic counts, panel data and postcard data. Traffic counts refer to the private car, bus, bicycle and metro modes. Table 1 shows the sources of the traffic counts used in the analysis.

In addition, traffic counts were performed at checkpoints outside the research area to monitor general fluctuations in traffic over time. Copenhagen Municipality and the Danish Road Directorate collected these data for the period 1998-2004.

Panel surveys were conducted as part of the metro impact study in the six-month period before and after the opening of phase 1 (the Harbour corridor) and phase 2a (the area of Frederiksberg). The Harbour corridor sample consisted of 1.000 respondents, recruited by postcard surveys which were completed ahead of the panel surveys. The Frederiksberg sample consisted of 500 respondents, which were recruited randomly from a catchment area defined with a radius of 500 meters around the Frederiksberg metro station. Interviews were conducted by telephone.

Table 1. Description of traffic counts

Source	Modes	Time interval	Type of count
The Copenhagen metro impact study	Road vehicles	2001-2004	Manual
The Copenhagen metro impact study	S-train passengers	2001-2004	Manual
Copenhagen Municipality	Road vehicles	1990-2004	Manual/Automatic
The Danish Road Directorate	Road vehicles	1998-2004	Automatic
The Copenhagen bus company	Bus passengers	1996-2004	Automatic
The Danish State Railways	S-train passengers	1990-2004	Manual
The Copenhagen metro company	Metro passengers	2003-2004	Manual/Automatic

4. TRANSPORT IMPACTS OF THE METRO

Table 2 shows development of car traffic on the borders of the Copenhagen and Frederiksberg municipalities (checkpoints) since 1998. The roads selected are major roads from the north, west and south to the city centre. All counts were done automatically and refer to an average workday traffic. We also present the development of the Danish GDP in the table because traffic development is closely related to economic activity. The figures in table 2 show that, with some minor variations, car traffic in general has increased in the Greater Copenhagen area since 1998 as well as the GDP.

Table 2. Observed car traffic at checkpoints on an average workday and GDP in the period 1998-2004 (index 100 = year 2000)

Year	Englandsvej	Roskilde-vej	Strand-vejen	Lyngby-vejen	Amager motorway	GDP
1998	-	-	101	96	89	95
1999	101	98	103	97	94	97
2000	100	100	100	100	100	100
2001	96	104	107	101	100	101
2002	99	101	107	99	104	102
2003	103	102	114	100	108	103
2004	105	102	113	101	112	105

Source: Copenhagen Municipality, the Danish Road Directorate and the Danish Statistical Bureau

Table 3 summarises the transport effects of the Copenhagen metro in 2003 and 2004, relative to 2002 (the last year before opening of the metro). The impacts are based on the traffic counts. Data analysis in Frederiksberg shows that between the two corridors only the one crossing the metro alignment (the North-South corridor) was affected by the metro. We refer therefore in the rest of the paper to this corridor where referring to the Frederiksberg area.

The absolute figures, which lie behind the table figures, represent passenger transport (i.e. for each transport mode number of passengers transported is observed) for an average weekday, i.e. Monday to Friday. The rest of the paper explains the obtained impacts.

Table 3. Transport impacts of the Copenhagen metro

	2003		2004	
	Frederiksberg	Harbour corr.	Frederiksberg	Harbour corr.
General growth	+1%	+1%	+5%	+6%
General growth in the public transport	+7%	+9%	+19%	+23%
General induced traffic	+0%	+1%	+3%	+4%
Induced traffic in the public transport	+0% to 1%	+0% to +2%	+5% to +6%	+8% to +10%
Induced traffic in the metro traffic	+0% to +6%	+1% to +3%	+15% to +18%	+15% to +18%
Decrease in car transport	-7% to -8%	-3% to -4%	-12% to -13%	-4% to -5%
Decrease in bus transport	-18% to -21%	-39% to -40%	-21% to -26%	-43% to -47%
Decrease in S-train transport	0% to -2%	-	-18% to -20%	-
Decrease in bicycle transport	0% to -4%	0% to -4%	0% to -9%	0% to -9%

4.1 Traffic growth

The analysis of the traffic counts in the Frederiksberg and Harbour corridors for the period 1990-2002 shows an average annual total growth (i.e. all travel modes) of approximately 0,5-1%. The observed growth 2002-2003 was 1%, which means that in the first year of the metro operation (phase 1) the metro did not generate any traffic that cannot be explained by ordinary economic figures such as increase in GDP. The general traffic growth in 2004 relative to 2002 was 5-6%, which is higher than expected in the case the metro was not built. This is to say that the metro has succeeded in generating new traffic across the two corridors, either in the form of induced traffic or changes in the destination choice.

The historical tendency of the public transport development across the two corridors up to 2003 was negative. In 2003 the general growth in the public transport was turned to be positive, in the range between 7-9%. Therefore, even though both the bus and S-train traffic decreased from 2002 to 2003, the metro succeeded in lifting up the total public transport in the two corridors in 2003. This is partially explained by the modal shift (from non public transport modes to the metro) and partially due to the existence of induced traffic. The general growth in the public transport accelerated to 19-23% in 2004 relative to 2002 due to three factors: a) the metro network expanded in 2003, where both phase 2a and 2b opened, b) the reliability of the metro was improved dramatically in 2004 relative to 2003 and c) adaptation of the metro, as a new travel model, reached much further in the traveller's conscious in 2004.

4.2 Induced traffic

By induced traffic we mean the traffic that occurs due to the infrastructural improvements. In the first year of operation no general induced traffic occurred in the two corridors. In 2004 the general induced traffic was in a range 3-4%, which is to be expected due to the metro's enlargement in 2003 (opening of phases 2a and 2b).

Accordingly, the public transport induced traffic was negligible in 2003, while in 2004 it reached 6% in Frederiksberg and 10% in the Harbour corridor. Finally, the metro's induced traffic was rather small in 2003 (3-6%), while quite substantial part of the total metro traffic in 2004, where the induced traffic part was between 15-18% in both corridors.

There are two main reasons for the observed induced traffic in the corridors. The first reason is that travellers across the two corridors travel more in 2003/04 than in 2002 (increase in trip rate), and the second is changes in the destination choice.

The panel surveys in the Frederiksberg area and the Harbour corridor confirm that the trip rate in the after-panels is higher than the trip-rate in the before-panels. The analysis of the panel data in Frederiksberg shows a very clear picture: a) the trip rate rose from 3,17 trips per person per day in the before-panel to 3,65 trips per person per day in the after-panel, and b) the trip rate for bicycle rose by 10%, the trip rate for car rose by 16%, while the public transport trip rate rose by 40% from before-survey to after-survey. The analysis of the Harbour corridor panel shows weaker tendencies than in Frederiksberg: a) the trip rate rose from 3,26 trips per person per day in the before-panel to 3,30 trips per person per day in the after-panel, and b) the trip rate for bicycle decreased by 15%, the trip rate for car rose by 6%, while the public transport trip rate rose by 33% from before-survey to after-survey.

The further analysis of the panel data shows that the induced traffic occurs predominantly in respect to leisure activities, such as shopping, visiting friends/family and cultural/sport activities.

4.3 Modal changes

Modal changes are presented in table 3 in intervals rather than as point values. One side of the interval represents the observed changes from 2002 to 2003/04, while the other side of the interval represent the changes between the extrapolated traffic in 2003/04 (i.e. the expected traffic in 2003/04 in the case the metro was not existed) and the observed 2003/04

traffic. So, while the first value of the interval refers to the observed modal effect, the second value in the interval refers to the expected modal effect.

Car traffic

The car traffic (presented in number of persons travelled by car) decreased by 3-4% in 2003 relative to 2002 in the Harbour corridor, while the car traffic decrease was 7-8% in the Frederiksberg corridor. The main reason for that is differences in population density, where Frederiksberg is more densely populated than area around the Harbour corridor. Higher population density in Frederiksberg gives possibilities for both short and long car trips to be shifted to the metro.

The tendency of car shift to the metro continued in 2004, where modal shift in the Harbour corridor was 4-5% relative to 2002 while in the Frederiksberg, the car shift was 12-13%. Again, larger population in Frederiksberg is the main reason for differences in car shift between the two areas.

Bus traffic

According to the literature, new infrastructures affect bus traffic in particular, e.g. about 50% of the Athens metro passengers are former bus users (Golias, 2002) while about 70% of Croydon Tramlink passengers are former bus users (Copley et al., 2002).

The bus traffic decreased from 2002 to 2003 in Frederiksberg by 18-21%, while the corresponding decrease in the Harbour corridor was 39-40%. There are two reasons why the bus decrease was larger in the Harbour corridor than in Frederiksberg. The first one is that the Copenhagen bus authority (HUR) made changes in the bus service from 2002 to 2003 in order to accommodate for metro introduction, which were much more radical in the Harbour corridor area. Secondly, the area of Frederiksberg has a large portion of elderly people. They do not feel safe neither in metro, which is run automatically at the computer centre in Ørestad, nor at the Frederiksberg metro station, which is an underground station. In conclusion, the elderly bus travellers in Frederiksberg were reluctant to shift to the metro in 2003, and they rather stayed being bus passengers.

The tendency of bus transport shift to the metro observed in 2003 continued in 2004. The decrease in 2004 relative to 2002 was 21-26% in Frederiksberg and 43-47% in the Harbour corridor. The observed changes in 2003 and 2004 show that the biggest part of those bus travellers who actually shifted to the metro did that already in 2003.

S-train traffic

There is about 200 km of S-train track in Copenhagen, which is a very well functional city railway network. The S-train does not cross the Harbour corridor (this system does not operate on the island of Amager), which means that the modal shift from S-train to metro has been measured in the study only in Frederiksberg.

In 2003, the metro alignment crossed the existing S-train network only at the station of Nørreport, which is though the busiest train station in the whole country. A moderate maximum of 2% of S-train passengers on the Frederiksberg corridor shifted to metro in 2003.

In 2004, the metro alignment crossed the S-train network at three stations, i.e. Nørreport, Flintholm and Vanløse, where the last two stations were reached with opening of the metro phases 2a and 2b. In 2004, 18-20% of the 2002 S-train passengers on the Frederiksberg corridor shifted to metro. The reason for this rather large shift is that by changing to metro at Vanløse/Flintholm stations for those travelling to the city centre it is possible to obtain a significant gain in travel time, especially if the destination is a part of the city covered only by metro, e.g. Frederiksberg, Christianshavn and Kongens Nytorv.

Bicycle traffic

Bicycle traffic is rather substantial in the whole country and especially in Copenhagen, e.g. there were approximately 40.000 bike trips over the Harbour corridor in an average weekday in 2004 and that is 4.000 trips more than by bus and 8.000 trips less than by metro.

Bicycle counts in Copenhagen are rather unreliable. First of all, it is rather difficult to count bikers in rush hours. Secondly, most counts are done only once a year, e.g. Tuesday-Thursday in March or September, in a period between 6 a.m. and 6 p.m.. Depending on the weather conditions the bike traffic can vary substantially at the counting day, which is difficult to correct for when calculating for an average annual weekday.

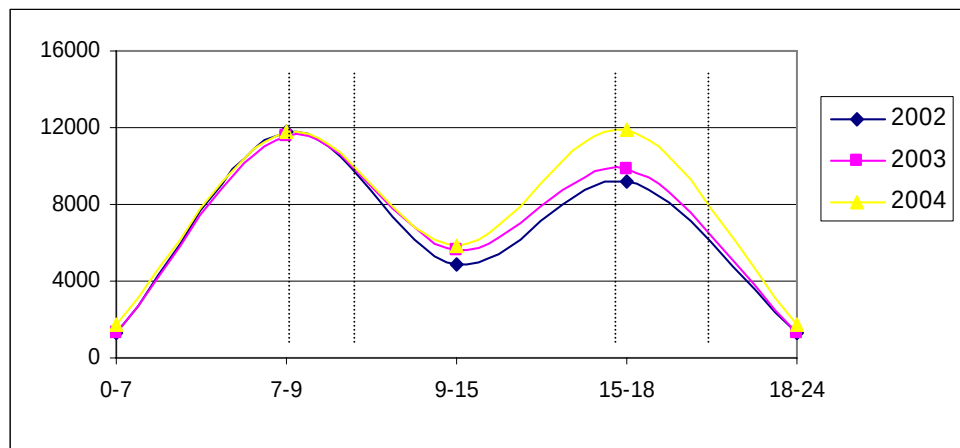
For the reasons above, we have developed a methodology for calculating the modal shift from bicycle to metro based on the combination of traffic counts and panel data. The methodology is common for both areas in the project. According to the applied method up to 4% of the bikers shifted to metro in 2003, while in 2004 up to 9% of the bikers in the two corridors shifted to metro.

4.4 Changes in choice of time of day

Figure 3 shows the number of passenger trips by public transport across five time periods of the day, i.e. morning, morning peak, day, afternoon peak, evening, in 2002, 2003 and 2004 on the Frederiksberg corridor. According to the figure, the number of trips made by public transport in the afternoon and evening period rose with the introduction of metro. Actually, the more metro the more obvious this tendency is, i.e. the effect is larger in 2004 than in 2003.

According to the existing literature regarding activity based modelling the travellers tend to combine their activities in the afternoon/evening period, e.g. increase in leisure activities. According to figure 3 it seems that the traveller's mobility has increased after the introduction of metro.

Figure 3. Changes in public transport in Frederiksberg in 2002, 2003 and 2004 across five time periods



4.5 Changes in destination choice

The postcard analysis in Frederiksberg has shown that approximately 40% of the public transport leisure trips across the corridor in 2002 ended in the neighbouring city parts to Frederiksberg. In 2003 this share decreased to only 17%, while the destinations along the metro's alignment rose sharply (e.g. city centre and Christianshavn).

This change indicates that for leisure activities, such as shopping, travellers are prepared to travel longer in distance (which does not necessarily mean also longer in travel time) in order to reach more attractive destinations as a result of better accessibility. The panel survey in the Frederiksberg area show that while the average trip length is constant between the before panel and after panel, the average trip time has fallen.

5. CONCLUSIONS

Analysis of the traffic counts, postcard data and panel data in the project for a period 1990 to 2004 shows that the introduction of metro in October 2002 (phase 1) and 2003 (phases 2a and 2b) changed travel patterns in the capital dramatically. This is related to both the number of impacts but also their magnitude.

It is interesting to observe that while the changes in traffic growth and induced traffic are rather similar in the two areas, the modal changes are different in magnitudes in the two areas, e.g. while decrease in car traffic is approximately twice as big in Frederiksberg than across the Harbour corridor the opposite is true for the shift of the bus travellers. The main reason for this effect is that general (macro) effects, such as general traffic growth, are indifferent to the population density, while the micro effects, such as shift of bus passengers to metro, are in function of the population density. Other reasons for this effect are the existing level of service, age/income structure of the population and the initial modal split in the areas.

Already in 2007 the metro network will be enlarged by opening of the third phase, where metro line M2 will continue its alignment towards the International Airport Kastrup. By 2015 the metro's phase 4, the so called Metro City Ring, will be opened. It can be therefore expected that the transport impacts presented in the paper will continue in future.

First, both the traffic growth and induced traffic will continue to increase in future as the travellers will continue to change their behaviour according to infrastructural changes. It is though expected that in future apart of increase in leisure trips the commuting trips will increase also because some travellers will choose place of dwelling/work close to the metro's alignment, i.e. the effect of destination choice.

Second, with the increase of the metro network we expect that peak periods will change. Especially the afternoon peak will increase and continue in the evening hours due to increased mobility. Opening of the electronic ticket for public transport by 2007 will enhance this effect.

Third, the bus traffic has already been influenced strongly by the metro. However, the decrease of the bus traffic in the densely populated areas (e.g. Frederiksberg) was smaller than expected. There is therefore a potential for shifting more bus travellers to the metro in these areas. More generally though we can assume that with a more reliable metro service there will be more of the 2002 bus passengers who will shift to the metro.

Finally, the future shift from car to metro is not only in function of the metro's enlargement but also of the traffic policies to be introduced in the future. These policies include parking policy, public transport ticket pricing and potentially introduction of road pricing.

References

Copley, G., Thomas, M. and Georgeson, N. (2002). Croydon Tramlink impact study. European Transport Research Conference. September 9-11. Cambridge, UK.

Golias, J.C. (2002). Analysis of traffic corridor impacts from the introduction of the new Athens Metro system. Journal of Transport Geography. Volume 10, Issue 2, June 2002. Pages 91-97.

Greater Copenhagen Authority (2004). Traffic Plan 2003. Report nr. 87-7971-110-3. Denmark.

Rasmussen, S. E. (2001). Steen Eiler Rasmussens København: Et bysamfunds særpræg og udvikling gennem tiderne. Gads Forlag. Copenhagen, Denmark.

Vuk, Goran (2005). Transport impacts of the Copenhagen Metro, Journal of Transport Geography, 13 (2005) pp. 223-233.

Vuk, Goran and Ildensborg-Hansen, Jane (2006). Trafikale effekter af metroen; en før- og efteranalyse. Report 2, Danish Transport Research Institute.

Aalborg Trafikdage 2006

Helhedsorienteret trafikplan for Hovedstaden

Af:

Øystein Leonardsen, cand. techn. soc., Københavns Kommune, Økonomiforvaltningen

ael@okf.kk.dk 3366 2288

Abstract

Transport- og Energiministeriet er pålagt at lave en sammenhængende trafikplan for hovedstadsregionen og Miljøministeriet er i gang med at udarbejde et nyt plangrundlag for byen og regionen. Hvis de to planer spiller sammen, vil det kunne give regionen og landet en velfungerede hovedstad og nordeuropæisk metropol, som fortsat kan fungere som økonomisk lokomotiv. Dette paper vil gennemgå forudsætningerne for en sådan planlægning og pege på nogle konkrete elementer i en sådan planlægning

Forfatter: Cand. techn. soc. Øystein Leonardsen

oel@okf.kk.dk 3366 2288

Keywords: Traffic planning Copenhagen Greater Copenhagen Area

Nøgleord: Trafikplanlægning Hovedstaden København

Indhold

Abstract	2
Indhold	2
Indledning.....	2
Baggrund	3
Udfordringen	4
Strategi for byudvikling	6
Strategi for trafik	9
Anbefalinger.....	10
Konklusion og perspektiver	15
Referencer	16

Indledning

Hovedstadsområdet er inde i en kraftig vækst. Det kan f.eks. ses på de voldsomme prisstigninger på boliger og på befolknings- og arbejdspladstilvæksten i Hovedstadsområdet og oplandende i Skåne, på Sjælland og Fyn. I løbet af få år vil hele Sjælland de facto være et sammenhængende arbejds- og boligmarked, ligesom den østlige del af Fyn er på vej til at være ligeså orienteret mod København som mod Odense og Trekantsområdet. Selvom Skåne fortsat kun i ringe grad er en integreret del af Hovedstadsområdet, så ligger trafikvæksten over Øresundsbron og ved Helsingør-Helsingborg over den gennemsnitlige udvikling, hvilket viser at integrationen i Øresundsregionen stille og roligt udvikler sig. Alt sammen betyder det at presset på den eksisterende infrastruktur vokser, og dermed kravet om en god fysisk planlægning, hvis regionen ikke skal sande til i trængsel.

Det offentlige landskab i Danmark har ændret sig en hel del siden kommunalreformen blev vedtaget. Vi har fået færre men stærkere kommuner, ikke mindst uden for hovedstadsområdet.

Kommunernes beføjelser på plan- og trafikområdet er blevet styrket i væsentlig grad, ligesom staten også har påtaget sig et større planansvar. Omvendt nedlægges HUR, hvorved den eneste koordinerende planmyndighed i hovedstadsområdet forsvinder. Det giver en særlig udfordring, at vi i fremtiden vil have større mere selvstændige kommuner og staten samt trafikselskaberne, men uden en entydighed i ansvars- og kompetenceplaceringen.

Både Transport- og Energiministeriet og Miljøministeriet har da også spillet ud med forskellige oplæg til en fremtidig planlægning, og det er med udgangspunkt i disse, at dette paper vil forsøge at lægge op til en fornyet debat om en helhedsorienteret plan for hovedstadsområdet – set fra Rådhuspladsen.

Baggrund

I 2006 kom staten med to udspil, som lægger op til en helhedsorienteret trafikplanlægning i Hovedstadsområdet. Parterne bag metroaftalen om en Cityring beskriver i aftalepapiret fra 2. februar 2006 opgaven således:

”Med sigte på at sikre en samlet optimal udnyttelse af de ressourcer, som anvendes på trafikområdet i hovedstadsområdet, og under hensyntagen til trafikpolitiske målsætninger som fremkommelighed, trafiksikkerhed og miljø, er der behov for en identifikation, analyse og afstemning af de virkemidler, som på længere sigt øver direkte og indirekte indflydelse på trafikens omfang og kvalitet, og herunder ikke mindst på pendlertrafikken i hovedstadsområdet.

Med udgangspunkt i de statslige investeringsplaner og retningslinierne for indkøb af offentlig servicetrafik vil Transport- og Energiministeriet med inddragelse af del lokale og regionale aktører derfor senest i 2007 redegøre for planer for kapacitet og service med henblik på en samlet trafikplanlægning i hovedstadsområdet. ” (Den politiske aftale af 2. februar 2006, side 5)

Dermed har forligspartierne lagt op til en ganske voldsom øvelse. Med udgangspunkt i de trafikpolitiske målsætninger om øget fremkommelighed, bedre trafiksikkerhed og reducerede miljøbelastninger, skal en bred vifte af trafikpolitiske virkemidler identificeres og analyseres. Det skal ske i dialog med de lokale og regionale aktører, dvs. primært det kommende trafikselskab for Sjælland og kommunerne i det gamle HT-område, som i trafik- og plansammenhænge udgør hovedstadsområdet, ikke at forveksle med Region Hovedstaden, som kun omfatter den østlige del.

Ambitionen er at kunne præsentere en samlet trafikplan i løbet 2007.

Miljøministeriet udsendte i februar 2006, under overskriften ”Det nye Danmarkskort” et forslag til landsplanredegørelse. Som en konsekvens af kommunalreformen, har Miljøministeriet overtaget dele af de gamle amter og HUR’s roller som regionplanmyndighed.

Særligt har man i hovedstadsområdet en særlig forpligtelse, og i forslaget lægger ministeriet op til et konkret udviklingsarbejde mellem Miljøministeriet, Trafik- og Energiministeriet og Københavns Kommune (Forslag til Landsplanredegørelse, side 45), samt til dialog med de sjællandske kommuner, region og trafikselskab om byudviklingen.

Miljøministeriet har dermed sat en stringent, strategisk men også ambitiøs dagsorden, hvor planværktøjerne i højere grad end tilfældet er i dag skal bruges aktivt. Ministeriet noterer også at en planlægning ikke kan isoleres til den enkelte kommune, endsige region, men at Sjælland bør ses som et planområde.

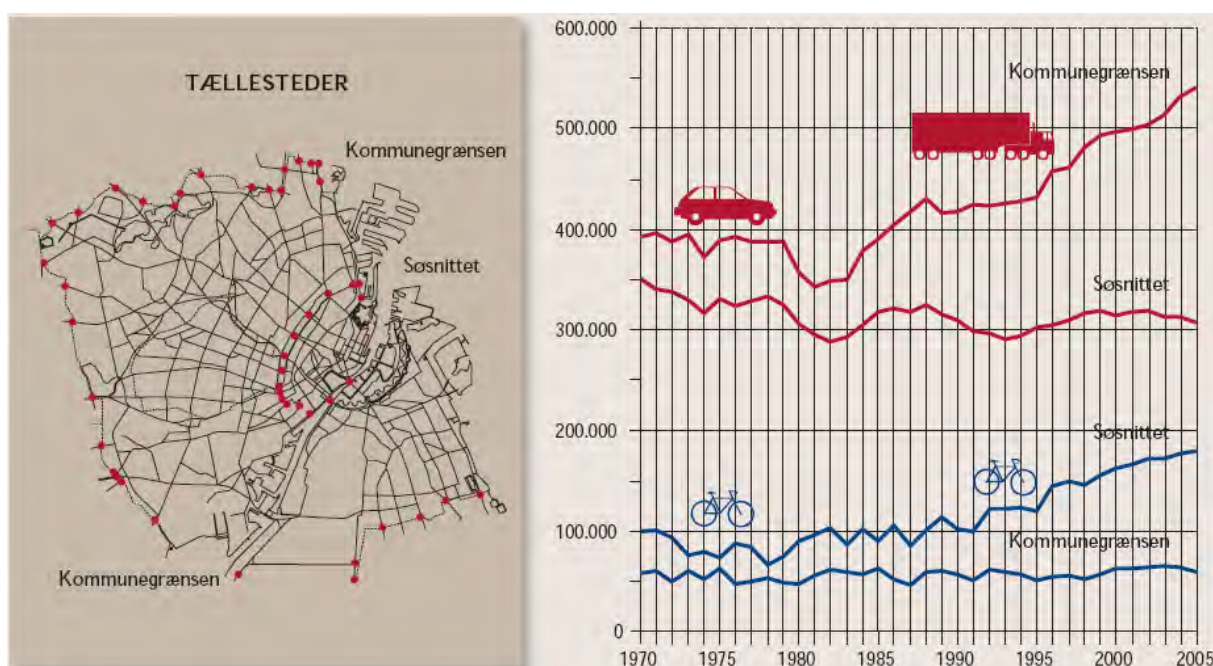
Udfordringen

Hovedstadsregionen bryster sig generelt af at være velplanlagt, hvor den trafikale hovedstruktur og byudviklingen har fulgt hinanden. Men inden for det seneste ti år er presset på hovedstaden været stigende. F.eks. er indpendlingen til hovedstadsområdet steget med mere end 30% og har i dag passeret 50.000 daglige pendlere. Regionen er også blevet mere attraktiv. Siden 1990 har der været en stigende vækst i antallet af indbyggere – fra 1,7 mio til i dag 1,8 mio. indbyggere. Den øgede vækst har samtidig øget presset på boligmarkedet, hvilket har medført at flere har valgt at flytte længere væk fra byen.

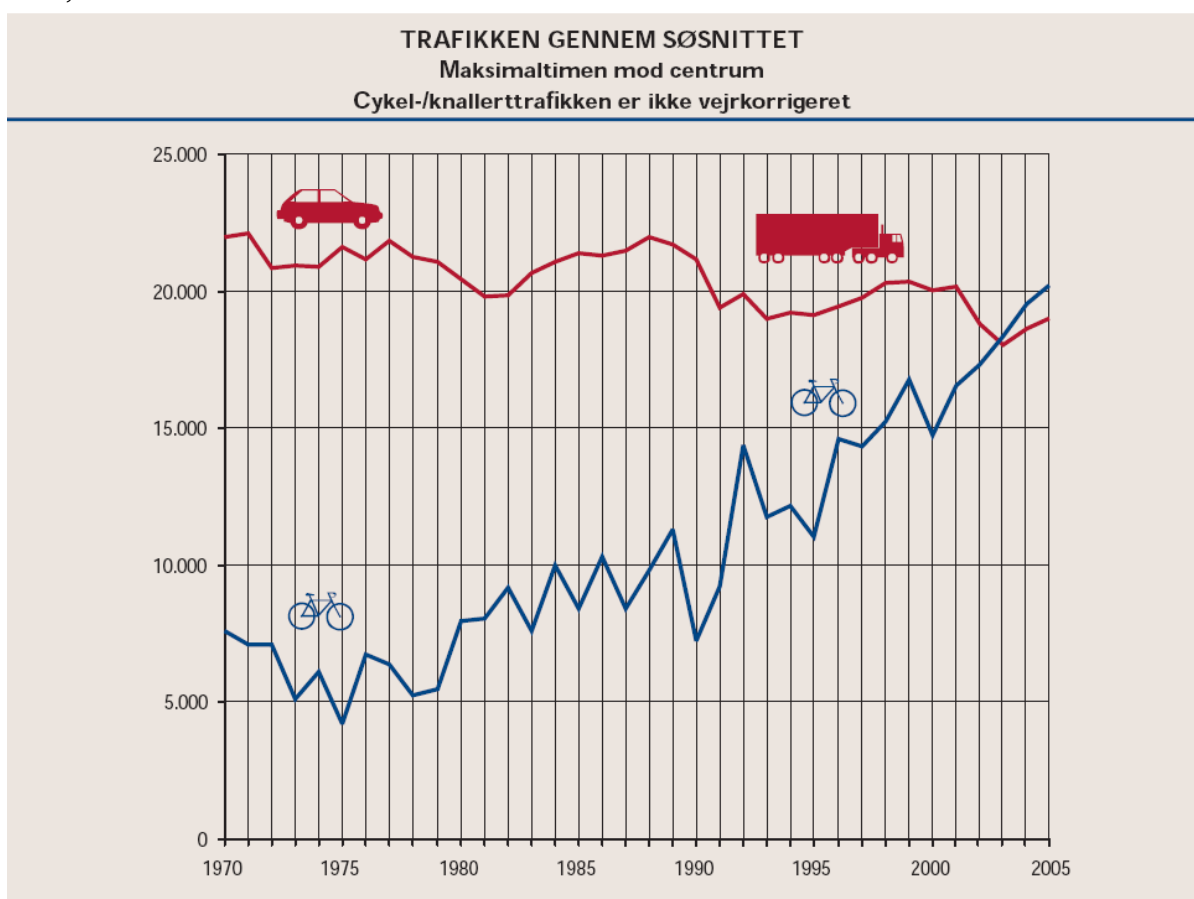
I København har den øgede velstand, de flere indbyggere og ikke mindst forandringen fra en ældreby til en ung familie by, også haft trafikale effekter. Frem til midthalvfemserne stod den trafikale udvikling i København stille. Bilejerskabet og trafikken på vejene var mere eller mindre konstant. Men på de sidste 10 år er trafikken steget med 16% og bilejerskabet er øget med hele 40%.

Denne udvikling står hverken byen eller regionens øvrige aktører passiv overfor. Der er investeret massivt i ny infrastruktur og forbedringer for trafikanterne. Ikke mindst de store investeringer i Metroen kan allerede mærkes og måles, ligesom det er meget positivt, at cyklisterne har så stor en andel af den samlede trafik.

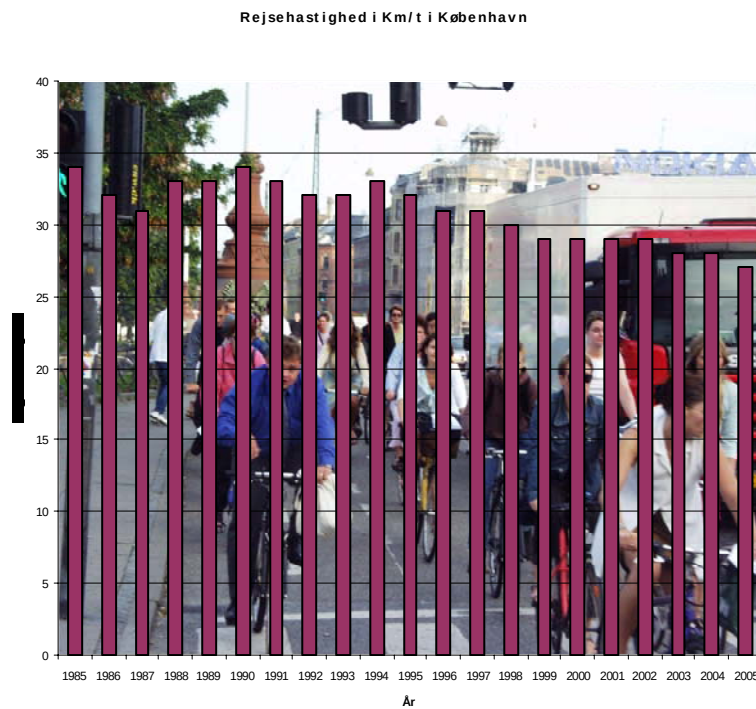
Men det ændrer ikke ved det faktum, at biltrafikken i sær i de boligunge områder uden for middelalderbyen, altså på Vesterbro, Nørrebro og ikke mindst Østerbro har oplevet en ganske voldsom vækst.



Færdselstællinger og andre trafikundersøgelser 2001 - 2005, Københavns Kommune, Vej og Park, 2006



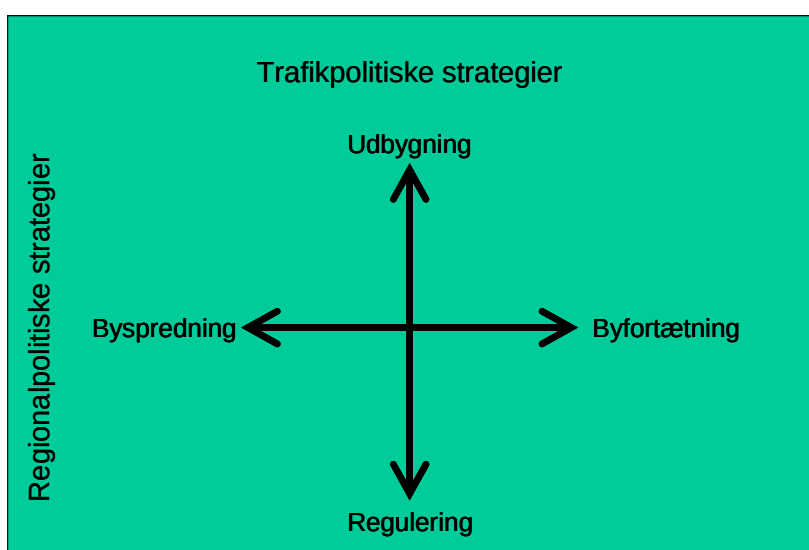
Færdselstællinger og andre trafikundersøgelser 2001 - 2005, Københavns Kommune, Vej og Park, 2006



Færdselstællinger og andre trafikundersøgelser 2001 - 2005, Københavns Kommune, Vej og Park, 2006

Strategi for byudvikling

På Trafikdagene i 2006 tilbød jeg en simpel analysemodel for at lave god planlægning med fokus på byudvikling og trafik – en strategisk trafikanalysemodel – STAM. Modellen viser, at trafikpolitikken kan trække i to retninger: Enten øger man udbuddet ved at bygge f.eks. nye veje eller jernbaner, eller også styre man efterspørgslen gennem regulering af f.eks. parkeringspladser, afgifter eller kampagner.



Leonardsen, Øystein: Ny lov om trafikselskaber og Københavns Kommune, Aalborg august 2005

På samme måde kan man angribe byudviklingen gennem fortætning eller ved at sprede byen. I tresserne spredte man byudviklingen voldsomt ved at tilbyde store mængder af villabyer og tæt-lave byer, sådan som vi kender det fra f.eks. Allerød og Solrød. Men også længere ude i regionen og på Sjælland er der stor efterspørgsel efter haveboliger.

Det er først inden for de seneste år, at der er kommet skub i boligbyggeriet i København og her har det i sær været en mere tæt by, der er vokset frem.

I det følgende skal de to væsentlige plandokumenter: Forslag til Landsplanredegørelsen og Regionplan 2005 for Hovedstadsregionen (HUR 2005) introduceres og nogle forskelle trækkes op.

Forslag til landsplanredegørelsen

Forslag til Landsplanredegørelsen (LPR) bygger på følgende fem principper:

- Der skal være forskel på land og by.
- Udviklingen skal komme hele Danmark til gode.
- Planlægningen skal basere sig på respekt for byernes identitet, naturen, miljøet og landskabet.
- Fysisk planlægning og investeringer i infrastruktur skal spille tæt sammen.
- Den fysiske planlægning skal være helhedsorienteret.

Dermed fortsætter og fremhæver LPR de planlægningsprincipper, som har været bærende for den fysiske planlægning i Danmark, dog kan princip to, at udviklingen skal komme hele Danmark til gode, virke en anelse indholdstom, men den skal næppe misforstås, og lige præcis her ligger der en mulighed for at tappe kraft af de fire andre principper, da det netop har været kravet om at udviklingen blev spredt ud i landet, som har banet vejen for at nedbryde skellet mellem land og by, som har forhindret en helhedsorienteret planlægning og som med f.eks. de Nordjyske motorveje næppe kan siges at være et tæt samspil mellem den fysiske planlægning og investeringerne i infrastruktur.

Ser vi på hovedstadsområdet og Øresundsregionen, så holder man fast i fingerbystrukturen, som det strukturerende princip for byudviklingen, da fingerbystrukturen bedst understøtter den kollektive trafik. Udover fingerbyen som den overordnede struktur, så fokuserer man på følgende to principper:

Ved at lokalisere stationsnært vælger flere at bruge det kollektive trafikssystem. Det har vist sig særligt vigtigt at lokalisere arbejdspladserne stationsnært, da transporten mellem bolig og station synes at kunne strække sig over en længere afstand end mellem station og arbejdsplads.

Ved at bygge i centrum af byerne og fortætte byerne falder behovet for at bruge bil også. LPR foreslår derfor at der bygges tættere og mere koncentreret i byernes centrum.

I forhold til figuren læner LPR sig altså mod højre, og man konstaterer også at dette spiller godt sammen med udbygningen af Metroen.

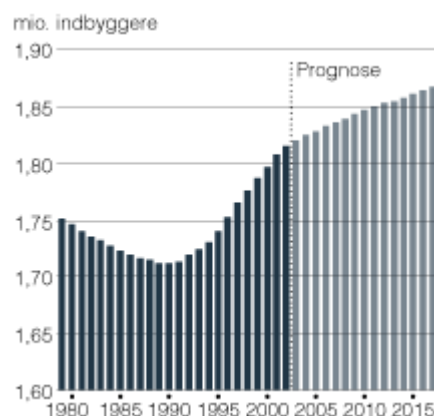
Ved at regulere til fordel for den kollektive trafik (stationsnærhedsprincippet og byfortætning og centralisering) og samtidig udbygge den kollektive trafik med Metro opnår man det ønskede samspil.

Hvad LPR til gengæld ikke favner det er den tværgående regionale udvikling, hvor der ikke på samme måde er en regional kollektiv infrastruktur. Den findes kun i radialerne. Hvordan man vil sikre det samspil står tilbage at udvikle.

Regionplan 2005 for Hovedstadsområdet

Regionplan 2005 for Hovedstadsområdet er HURs testamente, og der favnes bredt i visionen for regionen. Den skal være dynamisk og mangfoldig, og væksten skal foregå på et bredt bæredygtigt grundlag, dvs. økonomisk, socialt og miljømæssigt. Endelig skal regionen have international tiltrækningskraft.

Regionplan 2005 er en vækstorienteret plan, hvilket bla. viser sig i den befolkningsprognose, som HUR arbejder med:



Hovedstadsregionens befolkningsudvikling 1979-2017, HUR 2005, s. 11

Det fremgår tydeligt af grafen, at hele regionen frem til begyndelsen af 1990'erne støt og roligt skete en udflytning, men at der siden midten af '90erne har været en befolkningstilvækst, som ikke synes at stoppe.

Samtidig stiger kravet til boliger og arbejdspladser. Vi vil gerne bo i noget større, og arbejdspladserne skal også være velbeliggende. Det er da også HURs forventning at der frem mod 2017 skal nybygges op mod 70.000 nye boliger. HUR peger også på byfortætning som et centralt princip, men siger samtidig *"at der også skal sikres boligbyggemuligheder svarende til det lokale behov i den øvrige del af Hovedstadsregionen"* (HUR 2005 side 65), hvilket peger i retning af den byspredning, man generelt forsøger at forhindre.

Stationsnærhedsprincippet opretholdes også, men igen opblødes formuleringerne, således at det er vanskeligt at se, hvor på akse HUR reelt befinder sig. Regionplanen kan altså lige så vel trække i retning af byspredning som i retning af byfortætning.

Strategi for trafik

Trafikken i Hovedstadsregionen er sammen med den økonomiske vækst og tilvæksten i befolkning og arbejdspladser vokset støt og roligt.

I Trafikplan 2003 (HUR 2004) peger på den øgede trængsel på gaderne og i det kollektive trafiksystem, som er en konsekvens af væksten. Man må konstatere at de udbygningsforslag, som det daværende folketing gennemførte kun delvist kunne tage presset af vejene, og ingen er vel efter denne sommer i tvivl om de manglende investeringer i jernbanen.

Trafikplan 2003 tager desuden spørgsmålet om den tværgående trafik op. Som nævnt ovenfor, så er der stigende grad pres på trafikken mellem fingrene. Selvom hovedparten af regionens pendlere fortsat rejser langs radialerne, så stiger trafikken på tværs og her er der kun i ringe udstrækning et ordentligt kollektivt trafiktilbud. Med ringbanens åbning og senere med metroens 4. etape (Cityringen) er den tværgående trafik i storbyen rimeligt tilgodeset, men der mangler fortsat længere ude i regionen. Konkret peges der på et højklasset kollektiv trafiktilbud i ring 3.

Det er i øvrigt et væsentligt element for Trafikplan 2003, at den kun i meget ringe grad stiller forslag til reguleringer. Predict and Provide synes på mange måder at være det bærende. HUR vælger dermed at lægge sig øverst i STAM, dvs. man ønsker at bygge sig ud af problemerne.

Senest har Det Økonomiske Råd (DØR 2006) peget på behovet for at prioritere:

”Regionalpolitiske fordelingshensyn [har] tilsyneladende påvirket prioriteringen af trafikinvesteringer. Mange rentable investeringer i hovedstaden er ikke blevet gennemført. Til gengæld har vi fået urentable investeringer i provinsen. F.eks. har man ikke besluttet at udvide Holbækmotorvejen mellem Fløng og Roskilde – der ellers ville forrente sig med 20 pct. pr. år. Til gengæld er f.eks. en motortrafikvej mellem Herning og Brande besluttet, selvom den kun forrenter sig med sølle 2 pct. pr. år”

Et synspunkt de tilsyneladende kunne få tilslutning til i Miljøministeriet. DØR skriver dette i tilslutning til en kronik om kørselsafgifter, som er et blandt flere reguleringsværktøjer, man kan anvende for at begrænse væksten i trængslen.

Københavns Kommune vedtog i 2005 Trafik- og Miljøplan 2004 (KK 2005a). Den er siden blevet suppleret med en Planredegørelse for den kollektive trafik (KK 2005b) og et forslag til

introduktion af trængselsafgifter (KK 2005c). Endelig er der udarbejdet et forslag til busplan for 2007 (KK 2006b), hvor kommunerne står som bestillere af lokal bustrafik.

Visionen for Københavns Kommune er ”at fastholde og videreudvikle et transportsystem, der sikrer høj mobilitet for alle københavnere og brugere af byen. Samtidig skal transportforbruget med biler og miljøproblemerne minimeres.” (KK 2005a, side 22)

Københavns Kommune vil dæmpe væksten i biltrafikken ved at udbygge alternativerne: Cykelstier og det kollektive trafiktilbud, samtidig med at man regulerer prisen på og antallet af parkeringspladser i byen, ligesom flere og flere veje får reduceret bilfremkommelighed. Men det ændrer ikke ved det faktum, at flere boliger og arbejdspladser alt andet lige også vil øge bilbruget. Der vil komme flere cyklister og kollektivbrugere, men også flere bilister.

Med mindre man udvider paletten af virkemidler, hvilket indtil nu har været vanskeligt.

Anbefalinger

På baggrund af de fremlagte plananalyser og ved brug af almindelige sund fornuft (!) er det ikke svært at foreslå, at den kommende statslige planlægning for Hovedstadsområdet underbygger en fortsat udvikling af hovedstadsområdet, hvor lokalisering af transportkabende funktioner, primært boliger, erhverv, handel og studiepladser, underbygges af investeringer.

I det følgende skal der peges på konkrete områder, som kan bruges i den fortsatte debat om byudvikling og trafikplanlægning.

Byudvikling

Miljøministeriet peger på to bærende principper for en byudvikling, der understøttes af en bæredygtig trafikstrategi: At byudviklingen først og fremmest sker i centrum af byerne, da det øger muligheden for at bruge lokal kollektiv trafik og cykel i den daglige transport.

HUR peger på at der vil være brug for op mod 70.000 nye boliger inden for planperioden. Her vil det være oplagt at den overvejende del af disse boliger opføres som byfortætning eller omdannelse af gammel industri. Ørestaden, Sydhavnen og senest Carlsberg er gode eksempler på arealer, der kan byudvikles uden at øge den regionale trafikbelastning.

Men det er ikke kun i det centrale København, at der er mulighed for at byudvikle med et lavt biltrafik bidrag. Ved at fastholde en regionaludvikling omkring stationerne og dermed leve op til stationsnærhedsprincippet, så er der den nødvendige rummelighed til både erhverv og boliger i regionen, uden at man behøver at angribe det åbne land, som der ikke er for meget af i Hovedstadsområdet. F.eks. kan det undre at man ved Trekroner station stort set ikke har udviklet det stationsnære område, men der i mod lagt udviklingen langt fra stationen.

Endelig kunne man pege på en forsigtig udvikling af de gamle industriarealer langs ring tre, men hvis det skal kunne lade sig gøre, så kræver det et helt anderledes kollektivt trafiktilbud, f.eks. i form af en letbane/metro, og som DØR gør opmærksom på, så gør det jo ikke noget at overveje, hvor investeringerne gør mest nytte.

Styrk den kollektive trafik

Som ovenfor nævnt, så er der stor regional rummelighed ved enten velbetjente stationer eller i regionens centrale byområder. Men det er også et faktum, at den øgede velstand, og byudviklingen uden for de stationsnære områder bidrager med en fortsat vækst i biltrafikken. En vækst, som på sigt truer med at vejnettet bryder sammen. Det går også ud over den kollektive trafik.

Den eksisterende metro har med succes flyttet en stor del gadetrafik ned under jorden, og dermed bidraget til at udskyde det trafikale sammenbrud, hvilket unægteligt kan lyde pessimistisk, men trenden er ikke til at komme uden om.

Den aktuelle byudvikling i Københavns nye områder: Sydhavnen, Nordhavnen, Carlsberg, Valby og på længere sigt Nordøstamager er kun i ringe grad forsynet med højklasset kollektiv trafik. Det vil derfor være oplagt at pege på netop disse tre områder, som de næste etaper af metroudbygningen. Ikke mindst en fortsat udvikling af Nordhavnen og Nordøstamager vil kræve en massiv kollektiv trafikudbygning, som så til gengæld vil give gode nye bydele til glæde for de mange mennesker, som gerne vil bo og arbejde tæt på byen og vandet.

Skal København fortsat være et regionalt lokomotiv og fungere som metropol ikke bare for Danmark men hele det Nordeuropæiske område og Baltikum, så er det helt afgørende at stat, kommune og region spiller sammen med planlægning og investeringer.

Metroen løfter en stor trafikopgave og med de kommende etaper, vil dette blot blive udbygget, men det fjerner ikke behovet for at styrke bussernes rolle. Lige nu reduceres bussernes rejsehastighed på grund af trængsel, og en fjerdedel af tiden på en busrejse foregår ved busstoppestederne. Der er dermed god grund til at øge investeringerne i busbaner og fremrykkede busstoppesteder, hvilket også mindsker konflikterne med cyklister og øger trafiksikkerheden.

Men busproduktet kan også forbedres på andre områder. I mange byer i udlandet – f.eks. Malmø – er der løbende information ved busstoppestedet om de næste busser. Her har Danmark meget at lære.

Introduktionen af A-busserne - metro i gadeplan – har været en stor succes, også økonomisk. A-busserne har de mest tilfredse brugere og giver et af de bedste dækningsbidrag. Der er dermed god grund til at fortsætte med den strategi.

På det helt lokale plan er servicebusser et godt tilbud til gangbesværede, ældre og f.eks. barnevognsbrugere. Servicebusser bidrager måske ikke så meget rent trafikalt, men erfaringer fra Frederiksberg viser at det øger tilgængeligheden til metroen for en gruppe brugere, der normalt har svært ved at anvende metro.

Hvis regionen skal leve op til sine målsætninger om mangfoldighed, øget mobilitet og tilgængelighed for alle, så er det ikke nok at satse på de store tunge trafikmaskiner, de små hjul tæller også.

Men det er ikke nok kun at se på den bynære trafik, det er også nødvendigt at styrke den radiale jernbanetrafik, ikke mindst mod Ringsted. Efterhånden som flere vælger at bo langt fra den by de enten arbejder, handler eller forlyster sig i, øges presset på det overordnede jernbanesystem.

Erfaringer viser at trafikanter vældig gerne vil sidde i et tog og læse avis, snarere end at stresse på motorvejen – hvis tilbuddet tidsmæssigt er konkurrencedygtigt og hvis komfort, information og siddeplads i øvrigt er i orden.

Denne sommer har vel mere end nogen sinde påvist behovet for at øge kapaciteten på Københavns Hovedbanegård og på det overordnede jernbanenet til og fra Københavns Hovedbanegård, for når det går galt her rammer det hele landet.

Ser vi regionalt, er der som tidligere sagt, også brug for en udbygning af den kollektive trafik i ring tre og måske på meget langt sigt også længere ude. Her er det dog vigtigt at holde tungen lige i munden og sikre sig, at der investeres, der hvor behovet er størst. Som DØR så udmærket siger det, så skal man måske ikke bruge de dyre infrastrukturinvesteringer som regionaludvikling, men anvende dem der, hvor de gør størst trafikal nytte.

Styrk cykeltrafikken

I Danmark kan vi være glade for at vores cyklister ikke holdt op med at cykle i 1970'erne, således som det er sket i det meste af Europa. Hovedstadsregionen og ikke mindst Københavns Kommune kan bryste sig af at have en rekordhøj andel cyklister. Og cykling er på alle måder godt. Som trafikant kommer man smidigt og let rundt i byen, det er sundt og billigt. For samfundet er cyklister også et gode. En cyklist optager meget lidt plads i forhold til en bilist, og cyklisternes infrastruktur er også væsentlig billigere end bilisternes. Endelig bidrager den sundhedsmæssige effekt også positivt til samfundet, om end ikke til BNP, men det er en anden historie.

Konkret er der grund til at pege på brogaderne, ikke mindst Amagerbrogade og Nørrebrogade/Frederiksborggade som vigtige centrale trafikårer, hvor presset på cykelstierne er så stort at det bør overvejes, hvorledes kapaciteten kan udvides.

I planlægningen af de nye byområder er der mange trafikale udfordringer, og ikke mindst en sikring af cykeltrafikken vil blive en opgave. Hvis alle nye større trafikanlæg skal under jord og i tunnel, så vil det gå ud over cyklisterne, som næppe kan forventes at køre i tunnel til f.eks. Nordhavnen.

Som regional cyklist er man ofte ilde stedt. HUR peger i Trafikplan 2003 på behovet for et regionalt cykelstinet. Hvis cyklen skal løfte også regionale opgaver, så skal det regionale stisystem opgraderes. Og helt banalt, så findes der ikke et opdateret cykelstikort for Hovedstadsregionen!

Regulering af biltrafikken

Lige nu udbygges ring tre og Køgebugtmotorvejen, mens der planlægges en ny stor vejforbindelse til Nordhavnen. Biltrafikken forsvinder ikke lige med det samme, og det vil fortsat være nødvendigt med udbygninger af vejene, men det løser ikke de langsigtede problemer.

Bilen er et utroligt stærkt transportmiddel. Det er fleksibelt, individuelt og næsten upåvirket af vind og vejr. I bilen kan man høre sit eget radioprogram, pille næse og ryge uden at skulle tage hensyn til andre. Man kan vælge at rode eller rydde op, som det nu passer. At mange mennesker er meget glade for deres biler er både forståeligt og veldokumenteret. Den store økonomi, der knytter sig til bilerne, slår også positivt igennem i forskellige former for samfundsøkonomiske kalkuler, hvilket gør det let at argumentere for udbygning.

Men i London, Oslo, Stockholm m.fl. er man for længst holdt op med at tro, at man blot kan bygge sig til bedre trafikale forhold. Regulering af biltrafikken omkring hovedstaden er nødvendig.

I 2005 foreslog Københavns Kommune at indføre trængselsafgifter. Man pegede på tre forskellige modeller. En lille betalingsring omkring det centrale København, en lidt større ring, som fulgte ringbanen og endelig en satellitbaseret model for det storkøbenhavnske område.

Den inderste ring ville betyde at indre by blev yderligere fredeliggjort, hvilket selvfølgelig er positivt, men trafikalt set har det ikke den store betydning, da der hverken bor eller arbejder mange med bil i den indre by. Samtidig ville den indre betalingsring øge trafikken i de i forvejen meget belastede brokvarterer.

En satellitbaseret regional løsning med flere zoner vil gøre det muligt at optimere kørselsmønstret, således at infrastrukturen udnyttes optimalt. På langt sigt er der ingen tvivl om at vi vil se flere og flere satellitløsninger, men komplekse løsninger er vanskelige at forklare, og som trafikant har man brug for mere simple løsninger.

En betalingsring, som følger kommunegrænsen og ringbanen vil ikke i samme omfang påvirke indre by, men til gengæld vil den dæmpe trafikken i brokvarterne, og den er enkel at forstå og teknikken er testet og velkendt fra f.eks. Storebæltsbroen.

Anbefalingen er derfor at arbejde videre med netop denne løsning, men det kræver at lovgivningen moderniseres, så foreløbig kan hverken kommune eller region gøre noget.

Men der findes andre måder at regulere trafikken på. Dels er der gulerødderne: Mere metro, bedre bus og bedre cykelforhold, dels er der signalteknikken, som gør det muligt at styre mængden af biltrafik ind i byen og omvendt køen på motorvejen og dels er der parkeringsrestriktioner.

I Københavns Kommune har man vedtaget en ny parkeringsstrategi, som vil fjerne 1.000 parkeringspladser på gaderne, samtidig med at der anlægges 4.000 nye parkeringspladser i konstruktion. Samtidig udvides de områder, hvor der skal betales parkeringsafgift, ligesom taksterne generelt forhøjes og dækningsperioden udvides til at gælde hele døgnet.

Ved at øge udbudet af parkeringspladser og ved at hæve taksterne mv. så vil søge tiden falde og gaderummet frigøres for parkerede biler. Det kommunens opfattelse, at det samtidig vil reducere trafikken med et par procent, hvilket ikke lyder af meget, men i en trængselssammenhæng er det jo de sidste procent der virkelig betyder noget.

Godstrafik

Godstrafikken lever ofte et lidt stille liv i den daglige debat. At godset forsinkes skaber ikke de samme overskrifter, som når metroen står stille. Men muligheden for at udvikle regionen og byen er selvfølgelig også knyttet til varestrømmene. Miljømæssigt er der også meget vundet ved at fjerne de mest forurenende diesllastbiler fra vejene.

Af mange forskellige årsager lykkedes det aldrig at få etableret et velfungerende citylogistiksystem, og bare det at indføre miljøzoner synes at være vanskeligt.

Udover miljøzonen, som vil bidrage positivt til byens luftmiljø, så vil det desuden være helt oplagt at pege på følgende forhold, som bør inddrages i en kommende planlægning af regionens trafik:

- Vestvendte spor til Høje-Taastrup Transportcenter, så en større andel af den regionale godstrafik kan køre på skinner
- Koble Skandinavisk Transportcenter i Køge sammen med banen og havnen
- Fokus på distribution til og fra Københavns Havn, Prøvestenen og Københavns Hovedbanegård

Samtidig er det vigtigt at holde fast i det vigtige arbejde, som lige nu udføres i Øresund Logistics under Øresund Scienceregion som for tiden er det eneste udviklingsforum, som både omfatter offentlige myndigheder, forskning og erhvervsliv.

Det internationale perspektiv

Det giver ikke megen mening at planlægge trafik i hovedstadsområdet uden samtidig at tænke Øresundsregionen og Nordeuropa, herunder Baltikum med ind.

Øresundsregionen kan med rimelighed karakteriseres som et nordeuropæisk hub. Med Copenhagen Malmö Port og Københavns Lufthavn som væsentlige trafikale fixpunkter vælger mange virksomheder at placere sig her. Øresundsregionen tiltrækker både globale hovedsæder, udviklingsafdelinger og distributionscentre. Hvis den udvikling skal fortsætte, kræver det at vi kan tænke udover ikke bare kommunegrænser men også ud over landegrænser.

F.eks. er 17 regionale og kommunale parter fra Øresundskomiteen, Göteborg-Oslo-Halland (GO-regionen) gået sammen med Berlin Brandenburg om at udvikle sammenhængende strategier for innovation og udvikling under overskriften Corridor of Innovation and Cooperation.

I en tid, hvor EU først og fremmest er optaget af øst-vest og at fremme integrationen af det gamle Østeuropa, er det utroligt vigtigt, at vi har fokus på nord-syd relationerne.

Igen må det understreges at det i sær er de kollektive trafikløsninger, der skal satses på, da det europæiske vejnet grundlæggende ikke kan opfange væskten og i sær væksten i godstrafik. Her skal søfart og jernbane tage mere fra, hvilket igen kræver fokus på Øresundsregionen, ikke mindst mulighederne for at udvikle distributionstrafikken omkring København og Malmø.

På dansk side må det ikke mindst være den sydvestgående jernbanetrafik, der skal opgraderes.

Konklusion og perspektiver

Med den politiske aftale om metroen og forslag til Landsplanredegørelse er der lagt op til en sammenhængende planlægning af hovedstadsområdet. En planlægning HUR tog hul på med Trafikplan 2003 og Regionplan 2005, men som ikke længere har et forankringspunkt. Det er denne opgave staten nu skal løse.

Det er veldokumenteret at der er en snæver sammenhæng mellem lokaliseringspolitikken og trafikken, ligesom udbudet af infrastruktur og trafikmidler påvirker lokaliseringen. Ved at lave en kraftig udbygning af de regionale veje, understøtter man en byspredning, hvorimod en tæt by giver kunder til den kollektive trafik.

Vi ved, hvad der skal til.

I Trafikplan 2003, Miljø- og Trafikplan 2004 for Københavns Kommune og Københavns Kommunes forslag om trængselsafgifter kan man finde de konkrete forslag til en sammenhængende trafikplanlægning.

Spørgsmålet er, om viljen er til stede.

Referencer

DØR 2006: Kronik i Berlingske Tidende 16. juni 2006, af Det Økonomiske Råds formandskab - Professor Peter Birch Sørensen, Professor Jan Rose Skaksen og forskningsprofessor Michael Rosholm - med titlen "[Transport i Danmark - spild af tid og penge](#)".

HUR 2004: Trafikplan 2003, HUR maj 2004

HUR 2005: Regionplan 2005 for Hovedstadsregionen, HUR december 2005

KK 2005a: Trafik- og Miljøplan 2004, Københavns Kommune, juli 2005

KK 2005b: Planredegørelse for den kollektive trafik, Københavns Kommune, april 2005

KK 2005c: Kørselsafgifter i København, Københavns Kommune, oktober 2005

KK 2006a: Færdselstællinger og andre trafikundersøgelser 2001 - 2005, Københavns Kommune, Vej og Park, 2006

KK 2006b: Oplæg til Busplan 2007, Københavns Kommune og HUR, juli 2006

Leonardsen, Øystein: Ny lov om trafikselskaber og Københavns Kommune, Aalborg august 2005

LPR: Det nye Danmarkskort – Planlægning under nye vilkår, Forslag til landsplanredegørelse 2006, Miljøministeriet, februar 2006

Transport- og Energiministeriet: Aftale om udvidelse af Metroen med en Cityring og ny organisering af Ørestadsselskabet I/S og Københavns Havn A/S, 2. februar 2006.

Aalborg Trafikdage 2006

Dialogbaseret trafikplanlægning på tværs af landegrænser – kan det lade sig gøre?

Af:

Øystein Leonardsen, cand. techn. soc., Lead Partner COINCO

oel@okf.kk.dk 3366 2288

Abstract:

Politikere i korridoren Oslo-Gøteborg-København-Berlin ønsker at binde korridoren bedre sammen og dermed skabe forudsætningerne for regional udvikling på et miljømæssigt forsvarligt grundlag.

Velvidende at det ikke kan dikteres blev der i 2005 sat et udviklings- og samarbejdsprojekt i gang under titlen Corridor of Innovation and Cooperation. Projektet har til formål at formulere en udviklingsstrategi for politikerne, som kan tiltrædes i 2007. Ved at anvende dialogbaserede planlægningsmetoder i strategiudviklingen er det håbet at arbejdet bliver bedre forankret og at den eksisterende viden i korridoren bliver aktiveret.

Dette paper diskuterer hvorledes opgaven er grebet an og hvilke resultater, der allerede nu kan aflæses.

Forfatter: Lead Partner COINCO, Cand. techn. soc. Øystein Leonardsen

ael@okf.kk.dk 3366 2288

Keywords: Transnational dialog based planning, infrastructure, COINCO, Interreg, regional development

Nøgleord: Interregional planlægning, dialogmetoder, regionaludvikling, trafikplanlægning, Interreg, COINCO

Indhold:

Abstract:	2
Indhold:	2
Indledning.....	3
Corridor of Innovation and Cooperation (COINCO).....	3
Dialogbaseret planlægning	4
Fra vision til strategi.....	5
Formulering af visioner	6
Fremtidsværkstedet	6
De regionale værksteder.....	6
Visionsdokument.....	7
De konkrete temaer	9
Resultater.....	10
Fælles plandokument.....	Fejl! Bogmærke er ikke defineret.
Fokus på Nord-Syd.....	Fejl! Bogmærke er ikke defineret.
Nye udviklingsprojekter	Fejl! Bogmærke er ikke defineret.
Metode.....	Fejl! Bogmærke er ikke defineret.
Referencer	11

Indledning

Udviklingen i Europa går i retning af større regionale enheder i forhold til lokalisering af boliger, arbejdssteder og andre trafikskabende funktioner. Der er et voksende behov for at skabe sammenhænge på tværs af regionale skel, også når de går på tværs af nationale grænser.

Derved udfordres en national og lokalt forankret planlægningstilgang, og der er altså ikke kun tale om traditionel infrastrukturplanlægning. Samtidig er det ikke alene de infrastrukturelle anlæg, der optager beslutningstagerne, men i lige så høj eller højere grad det regionale udviklingspotentiale, som bedre og tættere forbindelser kan frigøre. Endelig er bæredygtighedsaspektet meget væsentligt.

De trafikale behov for f.eks. en Femern forbindelse er flere gange beskrevet i tykke konsulentrapporter, ligesom man rundt omkring i kommunerne og i regionerne kan finde mange udredninger om regionale udviklingspotentialer. Der findes altså en stor viden om både de trafikale spørgsmål som de relevante udviklingspotentialer, ligesom miljøkonsekvenserne ofte også er belyst i større eller mindre grad. Den store viden kommer dog ofte ikke i samspil, da aktørerne skriver fra hvert deres miljø eller region.

Der er altså brug for at udvikle planlægningsmetoderne og der er brug for at aktivere den store viden, som findes på tværs af de regionale og faglige miljøers skel.

Med dette udgangspunkt formulerede regionale politikere i Skandinavien, organiseret i Den Skandinaviske Arena, sammen med Berlin/Brandenburg et udviklingsprojekt omkring korridoren Oslo-Gøteborg-København-Berlin. For at understrege udviklings- og samarbejdsaspektet blev det valgt som navn for projektet: Corridor of Innovation and Cooperation (COINCO).

Corridor of Innovation and Cooperation (COINCO)

COINCO er et samarbejdsprojekt mellem 18 danske, svenske, norske og tyske partnere. I Skandinavien er partnerne kommunale og eller regionale, mens den tyske partner repræsenterer landet Brandenburg og byen Berlin.

Partnere i COINCO:

Danmark	Norge	Sverige	Tyskland
Københavns Kommune (Lead Partner) Københavns Amt Roskilde Amt Vestsjællands Amt Storstrøms Amt Bornholm Regionskommune	Oslo Kommune Akkerhus Fylke Østfold Fylke	Business Region Göteborg Region Halland Region Skåne Region Västres Götaland Helsingborg Kommune Lund Kommune Lanskrona Kommune Malmö Stad	Investitionsbank des Landes Brandenburg (ILB)

De skandinaviske partnere er organiseret i Den Skandinaviske Arena (DSA), som er en samarbejdskomite mellem Göteborg-Oslo regionerne (GO-rådet), Region Halland og Øresundskomiteen. Samarbejdet i Den Skandinaviske Arena har til formål at knytte vækstregionerne Øresund og Göteborg-Oslo (inkl. Halland) sammen. Samarbejdet skal føre til et fælles bæredygtigt, attraktivt og konkurrencedygtigt område i et Europæisk og globalt perspektiv.

I korridoren Oslo-Göteborg-Øresund findes næsten 7 millioner indbyggere. Her er to hovedstæder, flere store byer og nogle af Nordens vigtigste centre for logistik, forskning og uddannelse, samt et unikt udbud af kultur og turistattraktioner.

En politisk samarbejdskomite er etableret med repræsentanter fra GO-rådet og Øresundskomiteen. Præsidiet udgøres af Göran Johansson, Göteborg Kommune, Klaus Bondam, Københavns Kommune, Christine Axelsson, Region Skåne og Erling Lae, Oslo Kommune. Den politiske samarbejdskomite har identificeret et antal strategiske og aktuelle samarbejdsområder, hvor paraply-netværk kan etableres og konkrete projekter igangsættes som f.eks. COINCO.

Berlin/Brandenburg omfatter en europæisk metropol og er som det eneste område i de nye tyske lande, som ikke er præget af tilbagegang. Berlin/Brandenburg udgør desuden et knudepunkt mellem de nye EU-lande mod øst. Ved at vælge Berlin/Brandenburg som samarbejdspartner bliver den gamle Nord/Syd-relation synlig, samtidig med at der åbnes op overfor de nye Øst/Vest-relationer.

COINCO blev igangsat i foråret 2005 og forventes afsluttet i 2007. Projektet har en samlet bevilling på godt en million €. EU's Interreg program, som har til formål at skabe regionale samarbejdsprojekter på tværs af landegrænser bidrager med mere end halvdelen af finansieringen.

COINCO er organiseret i fire såkaldte Work Packages, hvoraf de 3 er forankret på RUC, mens den fjerde er forankret i Tyskland hos ILB. Københavns Kommune har det overordnede projektansvar som Lead Partner.

Dialogbaseret planlægning

En væsentlig udfordring for planlægningen er at planlæggerne sjældent har magten til at føre planerne ud i livet. Hvis planer skal blive til noget, så er det afgørende at processen sker i dialog med både dem, der berøres af planerne og dem der rent faktisk kan bidrage med at gennemføre disse planer. Denne udfordring bliver ikke mindre, når planlægningsniveauet er grænseoverskridende.

Som ovenfor nævnt, så er COINCO omfattet af EU's interreg program, som netop har til formål at fremme den grænseoverskridende dialog.

For både DSA og Berlin/Brandenburg var det vigtigt at få synliggjort korridoren og samarbejdet i korridoren.

Endelig var der i projektet en erkendelse af at en traditionel analyse med tilhørende dataindsamling og publicering ikke ville resultere i meget mere end rapporter til hylden...

På den baggrund var det oplagt at fokusere på planlægningsmetoder som bringer aktørerne sammen og aktiverer den fælles viden.

I København er der efterhånden bygget en lang tradition med dialogbaseret planlægning op på det helt lokale niveau. Ikke mindst kvarterløftprojekterne er gode eksponenter for en netværksbaseret planlægning, som tager udgangspunkt i de lokale interesser, borgere og erhvervsliv.

I løbet af de sidste år er der på kvartersniveau desuden lavet lokale trafik- og miljøplaner, hvor dialogen har været i centrum.

Sidste skud på den stamme er kommuneplanen for Valby, som er lavet i samarbejde med Valby lokaludvalg i en lokal dialogproces.

Sammenfattende for disse og mange andre eksempler er at de er relativt lokale og at deres succes oftest har været af lokal karakter. Det er efter vores opfattelse ikke forsøgt før i et internationalt endsige nationalt regi, at bruge dialogplanlægning som værktøj.

Så der er meget nyt i projektet: Et nyt politisk forum (DSA) en ny og ukendt korridor og uprøvede metoder.

For at kvalitetssikre processen og for at etablere netværk mellem forskere i korridoren blev der i efteråret 2005 afholdt et peer review i København med deltagelse fra alle dele af korridoren.

Fra vision til strategi

Det konkrete slutprodukt for COINCO er et strategidokument som den politiske samarbejdskomite i DSA og Berlin/Brandenburg kan bruge i deres bestræbelser på at skabe en bæredygtig regional udvikling. For at nå dertil gennemløber projektet tre faser:

- Visionsfasen
- Konkretiseringsfasen
- Strategifasen

Lige nu befinder vi os i konkretiseringsfasen, mens visionsfasen blev gennemført i løbet af vinteren 2005/06 med en politisk tiltrædelse af et visionsdokument [1]. I løbet af dette efterår begynder strategifasen, som afsluttes med en stor politikerkonference i marts 2007.

Formulering af visioner

Hvordan sætter man folk på tværs af sprog, lande og fag i gang med at formulere visioner for en region, som kun i ringe grad har en identitet? Vi kunne have valgt mange forskellige metoder, men valgte at tage udgangspunkt i en velafprøvet metode: Fremtidsværkstedet.

Vi organiserede det således, at der først blev lavet regionale værksteder og til sidst samledes vi på tværs af de lokale værksteder og formulerede de tværgående temaer

Fremtidsværkstedet

Ideen med et fremtidsværksted er at skabe en tryk atmosfære som hjælper deltagerne til at formulere sig frit i forhold til værkstedets tema. Ved at aktivere deltagerne på forskellige måder – fysisk såvel som intellektuelt frigøres der megen kreativ energi, og det bliver en oplevelse ud over selve emnet, hvilket igen gør det enklere at fastholde indholdet.

Fremtidsværkstedet gennemløber tre stadier:

- Kritikken: Alt hvad der er galt kommer på bordet. Her er fokus at få sat ord på alt det, der ikke virker, alt det negative.
- Utopien: Hvis alt var tilladt og uden grænser, hvad kunne det så blive til? Der er fokus på de ideelle mål
- Realisering: Hvordan kommer vi til den ønskede fremtid? Her gælder det om beskrive, hvilke tiltag, der kan bringe os nærmere utopien.

Ved at kombinere plenumarbejde med mindre grupper, er det muligt at formulere på tværs af ”medbragte” synspunkter og holdninger. Ikke mindst den anonymitet, de enkelte udsagn får, gør det muligt at komme udover standardfraserne og klicheerne.

De regionale værksteder

De tre regionale værksteder forløb ikke ens. De forskellige regionale udgangspunkter gav sig udslag i forskellige bud på problemstillinger, visioner og handlinger.

For deltagerne i GO-regionen er korridoren adgangen til Europa og dermed en livline i forhold til regional udvikling. Det giver et meget klart og entydigt billede på korridoren og på opgaven. For GO-regionen er det afgørende at for den regionale udvikling at regionen bliver koblet tættere på det kontinentale Europa.

I Øresundsregionen er det ikke nær så klart, hvad COINCO, som samarbejds- og udviklingskorridor reelt kan bidrage med, men omvendt er man også i Øresundsregionen meget optaget af forbindelserne syd på, ligesom man er opmærksom på den negative effekt transittrafikken fra nord har. Hvilke positive udviklingspotentialer en tættere forbindelse til GO-regionen kunne få for Øresundsregionen stod mere uklart, hvorimod tættere forbindelser til Tyskland og dermed Europa virkede intuitivt mere oplagt.

Set fra Berlin/Brandenburg er Skandinavien en af de tyndere og mere ukendte korridorer. Her er der et stærkt Øst-Vest fokus, hvor ikke mindst relationerne til Polen, men også til f.eks. Hamburg opfattes som strategisk meget væsentlige. Det var altså en særlig udfordring at se forbi klicheerne: De danske strande, norske fjelde og svenske elge.

Visionsdokument

De regionale fremtidsværksteder er dokumenteret på forskellige måder. Undervejs blev der taget digitale billeder af vægaviser, ligesom der på de to første også blev lavet en lille film. Alle tre værksteder er skriftligt dokumenteret og kan downloades fra projektets hjemmeside.

Nedenfor er teksten til visionsdokumentets opsummering gengivet på engelsk, og det blev tiltrådt af politikerne i Den Skandinaviske Arena på deres møde i februar 2006, og har således bred politisk opbakning.

Visionsdokumentet sammenskriver de analyser eller problematiseringer, som kritikfasen på fremtidsværkstederne udtrykte, at korridoren er svagt formuleret og at væksten først og fremmest er koncentreret omkring de store byer, som ligger relativt langt fra hinanden.

Utopifasen viste, at metaregionale udviklingspotentialer kunne fremdyrkes, og at velplanlagt vækst var en særlig kvalitet.

Sideløbende med fremtidsværkstedet gennemførte den tyske partner (Stroschein Consult) et større survey og interviewrunde i korridoren med henblik på at fange innovationstemaer, som ikke blev afdækket i fremtidsværkstederne. Christoph Stroscheins analyser og dialogmøder indgik dermed også i den endelige formulering af konkrete temaer.

SUMMARY OF VISIONS DOCUMENT

In the decades to come, the Corridor of Innovation and Cooperation (COINCO) has the potential of becoming one of the leading global areas of innovation and growth.

Common values, complementary productive structures, a political will to cooperate across borders and a high level of skills are the background on which this potential has to be realized.

The COINCO-project has as its main objective to develop a strategy that can support this process, in the form of a *Strategy Document* that can be approved by the politicians representing the 18 partners of the corridor. The present *Visions Document* represents a first step, pointing out the main themes of the strategy, themes which have to be developed further.

Based on results from *regional scenario workshops* carried out with actors from the GO-region, the Øresund-region and the Berlin-Brandenburg region, this paper describes a vision of the COINCO-corridor getting more and more integrated, and thus becoming a *region* more than 'just' a corridor.

The common theme of these workshops was *Smart Growth: How can growth, mobility and environment combine in the COINCO corridor 2025?* This theme rests on a couple of preconditions.

The COINCO corridor embodies the four metropolitan areas of Oslo, Gothenburg, Copenhagen-Malmö and Berlin. Each of these metropolitan areas is a regional centre in itself and in-between the cities are areas of high recreational and touristic value.

Even though the metropolitan areas in many ways can be regarded as the 'motors' of development and innovation, there is a common understanding that the interaction between the metropolis and its region is 'feeding the motor', and that development should include the whole of the regions and the whole of the corridor. One of the interactions is based on the value of being near to both the metropolis and its facilities and to nature and its recreational resources, and thus also to protect nature and keeping high environmental standards.

Distances between the four metropolitan areas are significant. A closer collaboration within the corridor will need an increased mobility of persons and of goods, and thus also improvements in transport infrastructure. But thinking in terms of *smart growth* implies that increased mobility can be obtained in many ways and that efficient transport solutions or even transport elimination through careful planning or through the use of ICT should be part of the strategy.

The document points at eight themes that should be investigated further in the COINCO-project and become the pillars of the *Strategy Document*. This investigation will not merely be an intellectual exercise, but must find the common grounds on which further collaboration within the corridor can be founded. Thus, the investigation will be conducted by *Thematic Working Groups*, consisting of partners and significant actors from different parts of the COINCO-region. The work of the *Thematic Working Groups* will be to collect existing data and make analyses (supported by the COINCO project team and other expertise) and on this base to negotiate a common strategy within their theme. This will go on at *Thematic Workshops* taking place in the autumn.

The selection of themes for further investigation is based on the output of the *Future Workshops*, as well as the proposals from Work package 4 of the COINCO project on Innovation Potentials.

If the idea of the COINCO-corridor turning into a COINCO-region has to be realized, it must be based on identifying areas of cooperation for industries from different parts of the corridor, giving global competitive advantages for all participants. The number of potential areas is very high, but here we have proposed four areas where the potentials are obvious:

- Innovation in creative industries
- Innovation in security industries
- Innovation in tourism
- Innovation in sustainable energy systems

In order to keep a balanced and sustainable growth within the whole of the corridor a theme is proposed on

- Networks of city regions

The increased collaboration will need a high mobility and thus an improvement of the transport infrastructure. Thus the themes on

- Sustainable freight transport systems
- Interregional passenger transport systems

Finally, a theme on the institutions that can support the process of integration of the COINCO-region

- Trans-national knowledge and planning institutions

A common strategy for the development of a COINCO-region could and should of course be much more comprehensive. But with a strategy within these eight themes the process would come to a good start.

De konkrete temaer

Først og fremmest handler det om at vise, hvilke potentialer der ligger i et forøget erhvervsmæssigt samarbejde, og som kan give globale konkurrencefordele. Det kan der være inden for mange områder, men i COINCO-sammenhæng sættes der på fire, nemlig

- innovation inden for de kreative erhverv (f.eks. teater, musik, design, computerspil, webdesign)
- innovation inden for 'security industries' (virksomheder, der beskæftiger sig med sikkerhedsteknologier f.eks. i forhold til lufthavne, sportsbegivenheder eller godstransport)
- innovation inden for turisme
- innovation inden for bæredygtige energisystemer

For at sikre en afbalanceret og bæredygtig udvikling i hele korridoren er der udviklet et tema om

- netværk af storby-regioner

Det forøgede samarbejde kræver som nævnt en høj mobilitet og en forbedring af infrastrukturen. Det er tematiseret i

- bæredygtige godstransportsystemer
- interregionale passagertransportsystemer

Og endelig er der et tema om de institutioner, der skal understøtte integrationsprocessen inden for COINCO

- transnationale videns- og planlægningsinstitutioner

Processen frem mod strategivedtagelse

Siden visionen og de otte temaer blev tiltrådt, gik projektet ind i en ny fase, hvor deltagerne i fremtidsværkstederne blev opfordret til at deltage i formuleringen af strategier inden for hver af de otte temaer.

Før sommerferien blev de første idémøder afholdt og henover sommeren og efteråret skal grupperne gøre sig færdig, således at en samlet strategi kan forelægges til politisk behandling i november 2006. Herefter vil den gå i offentlig høring og blive behandlet politisk i de respektive by- og regionsråd.

Den samlede strategi vil efter høringsperiodens udløb blive forelagt projektets politiske styregruppe i marts 2007.

Resultater

COINCO blev sat i verden for at binde Den Skandinaviske Arena sammen med Nordtyskland. Det var et særligt stærkt ønske at udvikling og samarbejde blev et omdrejningspunkt, og der var en forventning om at den dialogbaserede metode ville bidrage med bedre resultater end en mere traditionel planproces.

Dialogen

En væsentlig udfordring for projektet viste sig at være rekruttering til fremtidsværkstederne, i sær i Øresundsregionen blev der en overvægt af kollektivtrafik orienterede deltagere. Her kunne en stærkere markedsføring måske have styrket rekrutteringen. Omvendt gav værkstedet et afbalanceret og – politisk set – bæredygtigt resultat. På trods af sproglige og i mindre grad kulturelle forskelle mellem regionerne, så var det ikke noget problem at gennemføre fremtidsværkstederne på tværs af landegrænserne. Det blev dog ikke forsøgt at gennemføre et fremtidsværksted på tværs af hele korridoren. Ideen med at udvikle visionen nedefra og sende den opad viste sig frugtbar.

Regional sammenhæng

Udgangspunktet var tre relativt uafhængige storbyregioner. Det kan vel ikke konkluderes at der er skabt en ny sammenhængende region med COINCO, men de første skridt i retning af at formulere fælles regionale strategier er taget.

Udvikling

Med visionsdokumentet og den bagved liggende proces blev det muligt at sætte arbejdet i gang med at udvikle konkrete projekter, og selvom der først om et halvt års tid kan tages stilling til de enkelte projekter, så er det tydeligt at den politiske vilje til at føre nye projekter frem er stor.

Referencer

Om COINCO:

www.coinco.nu

Om Interreg:

www.spatial.baltic.net/

Om Den Skandinaviske Arena:

<http://www.oresundskomiteen.dk/neobuilder.2005010615113694000058996.html>

¹ Vision Document kan down-loades på www.coinco.nu

Trafiksikkerhed

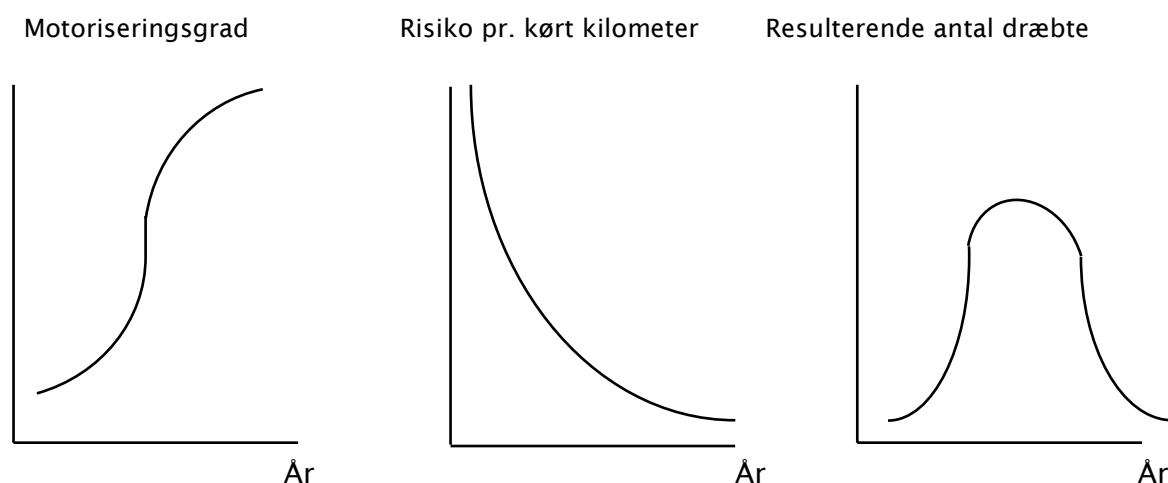
Mere trafik – færre ulykker

Af seniorforsker Tove Hels og seniorforsker Ivanka Orozova-Bekkevold, Danmarks TransportForskning

Trafikmængden i Danmark stiger, mens antallet af dræbte og skadede i trafikken falder. Med 369 dræbte i 2004 og 331 dræbte i 2005 skal vi tilbage til midten af fyrrerne for at finde tilsvarende lave tal. Antallet af uheld med personskade er også faldet støt siden begyndelsen af 1970'erne hvor det var på et historisk højdepunkt med flere end 20.000 til 2005 hvor der var godt 5.400.

I denne artikel ser vi på antallet af dræbte i trafikken i Danmark i årene 1968-2004. Vi fokuserer på tre områder: Den generelle udvikling i antallet af dræbte i trafikken, udviklingen i spritulykker og udviklingen i cyklistulykker. Vores tal er baseret på politirapporteringer. Derfor kan vi forvente at der er et vist mørketal, især er antallet af lettere tilskadekomne som regel undervurderet, og derfor koncentrerer vi os om antallet af dræbte i trafikken. For denne kategori er tallene pålidelige da registreringsgraden er tæt på 100 %. Sprituheld definerer vi som uheld hvor føreren har en promille på 0.5 eller derover.

Erfaringen viser at udviklingen i antallet af dræbte personer i trafikken som regel følger bestemte mønstre hen over årene sammenfaldende med et lands motoriseringsgrad, det vil for eksempel sige hvor mange kilometer der bliver kørt eller hvor mange biler der ejes pr. husstand. Når motoriseringsgraden stiger i et land, falder risikoen pr. kørt kilometer typisk, og den resulterende kurve for antal dræbte i trafikken kommer til at beskrive en parabel (Elvik og Vaa 2004), jf. fig. 1.

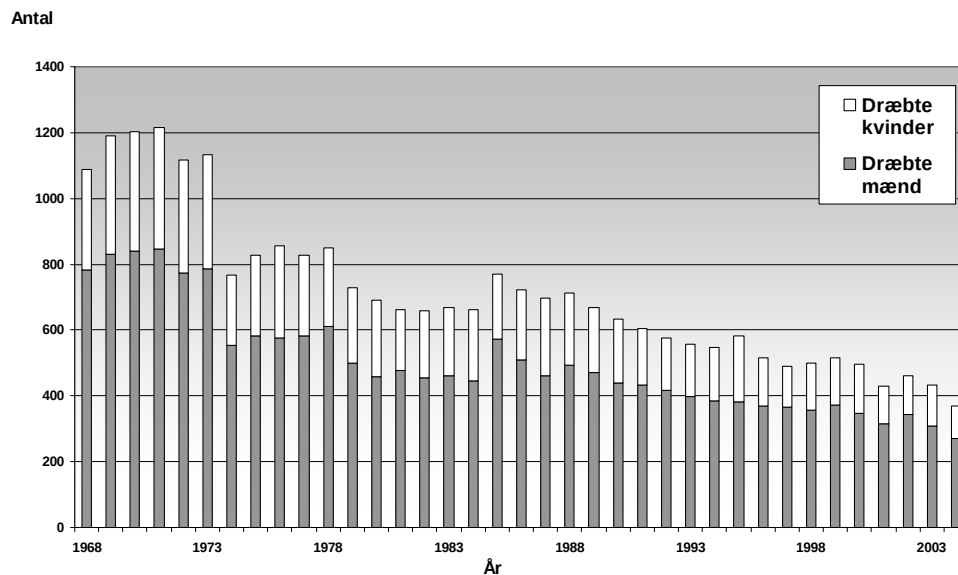


Figur 1. Principskitser af udviklingen i antallet af dræbte hen over årene i et typisk land (efter Elvik og Vaa 2004).

Således er det også gået i Danmark hvor vi nu befinder os på den højre del af kurven til højre på figur 1 hvor antallet af dræbte i trafikken er relativt lavt. Sammenfaldende med faldet i antallet af dræbte og tilskadekomne siden

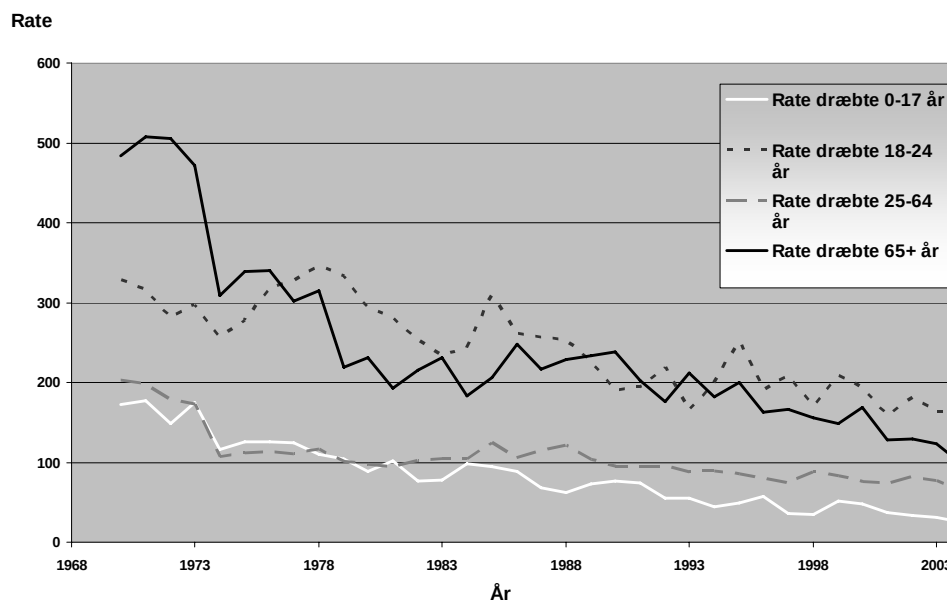
begyndelsen af 1970'erne har der været foretaget en række trafikpolitiske tiltag hvor indførelsen af generelle hastighedsgrænser i 1973, selektive og promillegrænser i 1976 må siges at være milepæle, lige som indførelsen af klippekortet i 2005 kan vise sig at være det.

Flere mænd end kvinder bliver dræbt i trafikken, og det er et mønster der går igen hen over alle årene, jf. fig. 2. Mænd kører mere i bil end kvinder, og yngre mænd



Figur 2. Antal dræbte i trafikulykker 1968-2004 fordelt på køn.

har en højere risiko i personbil end kvinder (Bernhoft m.fl. 1998, Bernhoft 2001).

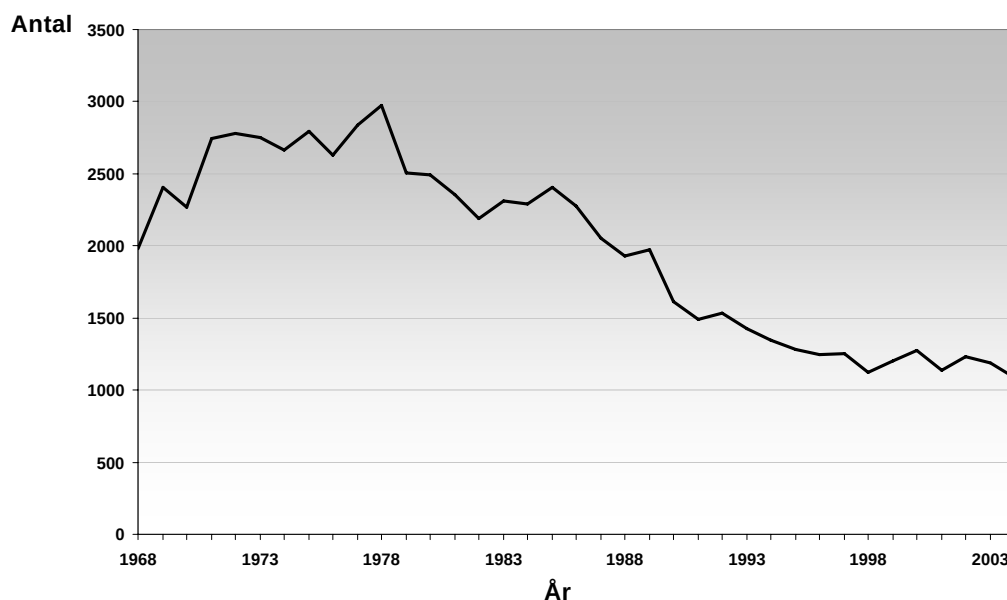


Figur 3. Antal dræbte i forskellige aldersgrupper i forhold til det totale antal personer i denne aldersgruppe.

Vi inddelte trafikanter i fire aldersgrupper: Børn (0-17 år), unge (18-24 år), voksne (25-64 år) og ældre (65+ år). For en umiddelbar betragtning kan det se ud som om at det er voksne mennesker (25-64 år) der er mest udsatte i trafikken; det er i denne aldersgruppe der bliver dræbt flest gennem alle årene. Når man imidlertid sætter antallet af dræbte i forhold til antallet af personer i den pågældende aldersgruppe, ser billedet anderledes ud: Så bliver det tydeligt at det er unge (18-24 år) og ældre (65+ år) som er mest udsatte i trafikken, jf. fig. 3. Blandt unge mennesker er der flere som er kendt for at være forholdsvis risikovillige (Begg 2001, Elander m. fl. 1993) hvilket naturligvis øger sandsynligheden for uheld. Ældre mennesker er skrøbelige på grund af deres alder hvilket indebærer en større risiko for at komme til skade når uheld sker i forhold til andre aldersgrupper.

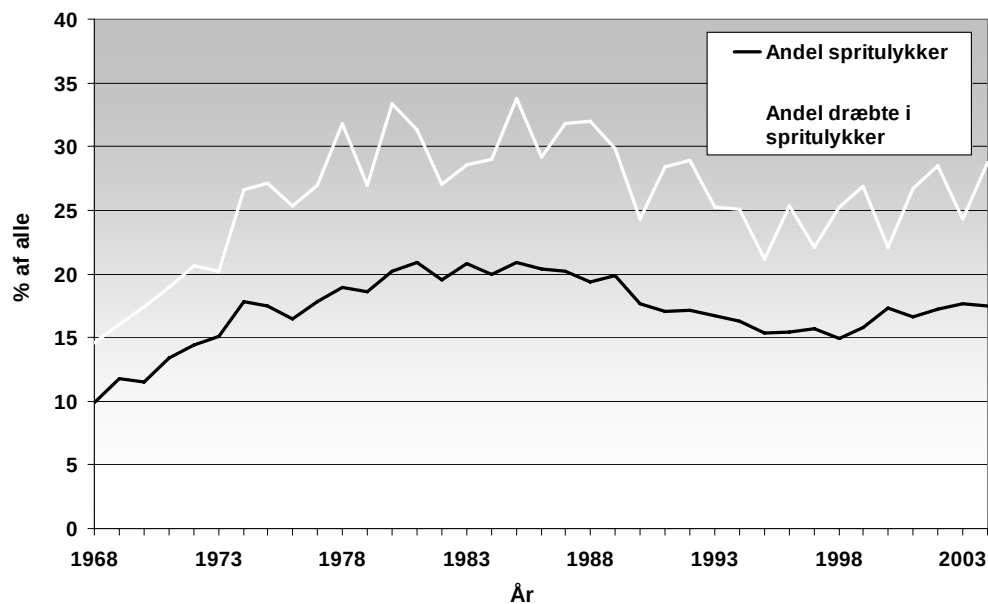
Uheld med alkohol involveret

Antallet af uheld med alkohol involveret er faldet en del hen over årene, jf. fig. 4. Indtil 1976 var der ikke en fast promillegrænse som førere blev dømt på; her blev man 'klinisk bedømt', det vil sige at politiet bedømte om man var beruset. I 1976 blev der indført en promillegrænse på 0.8; denne blev sat ned til 0.5 i 1998. En anden vigtig milepæl i arbejdet med sprituheld er indførelsen af alkometre i politiets færdselspatruljer i 1985. Efter dette år ses et markant fald i antallet af uheld med spiritus involveret, men om dette skyldes bedre målinger eller andre faktorer så som kampagner mod spritkørsel, kan ikke afgøres.



Figur 4. Antal uheld hvor føreren har været påvirket af spiritus.

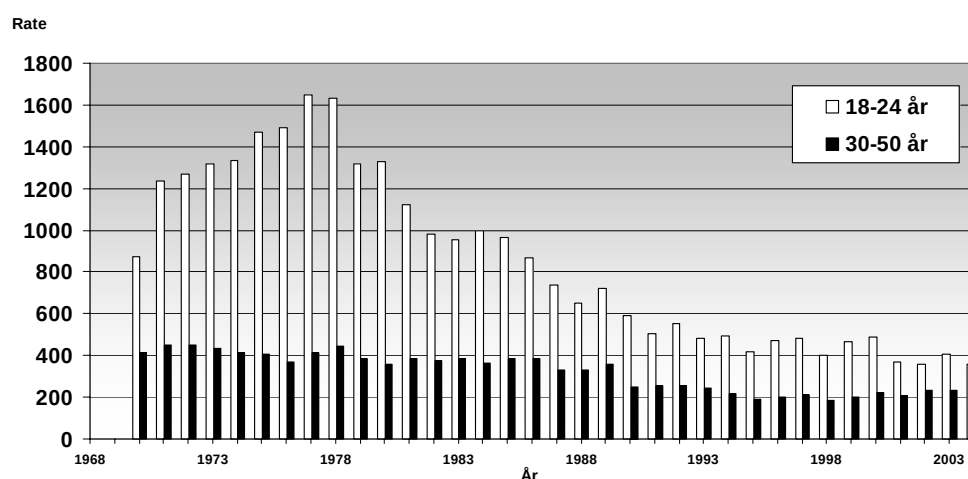
Hvor det faktiske antal spiritusuheld falder hen over årene, gælder det samme ikke for den andel af samtlige færdselsuheld som sprituheld udgør, jf. fig. 5.



Figur 5. Andel sprituheld af samtlige uheld og andel dræbte i sprituheld i forhold til andre uheld.

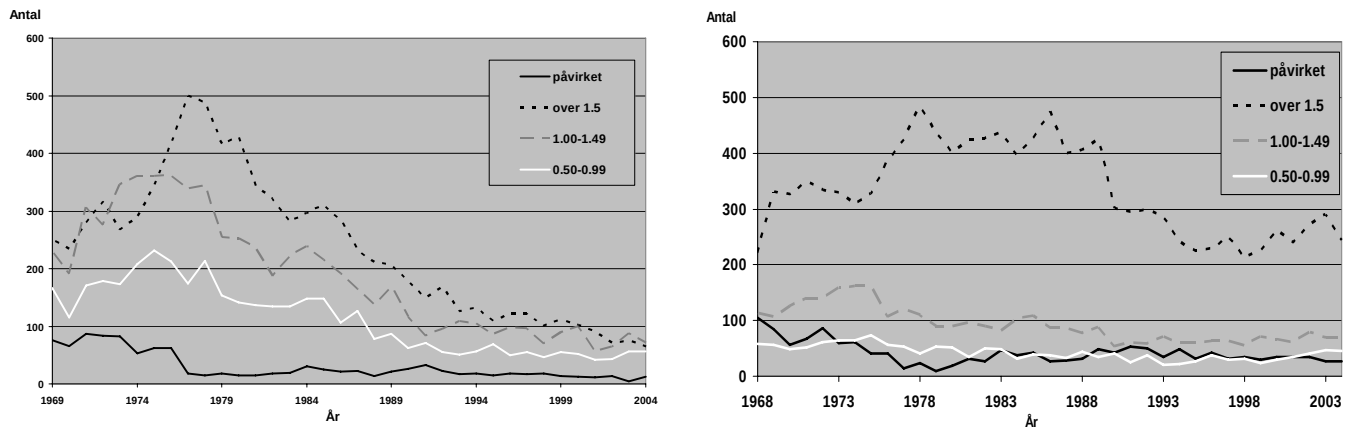
Det samlede antal sprituheld er altså faldet i samme takt som antallet af andre uheld er faldet. Dette kunne tyde på at der ligger en fundamental ændring i vores holdning til trafik til grund – en holdningsændring som reducerer antallet af alle uheld lige meget, både sprituheld og andre uheld.

Går vi nærmere og ser på promillen i spritkørsel hos førere i forskellige aldersgrupper, ses det tydeligt at gruppen af unge, her defineret som 18-24-årige, udvikler sig meget anderledes end gruppen af voksne, her defineret som 30-50-årige, jf. fig. 6. På figur 6 er afbildet de grovere tilfælde af spirituskørsel, nemlig de skadede førere hvor promillen har været over 1.0.



Figur 6. Antal skadede unge og voksne førere med promille over 1.0, per én million indbyggere.

Det ses tydeligt at der især før i tiden – i 1970'erne og begyndelsen af 1980'erne – var langt flere unge mennesker der kom til skade ved grov spritkørsel, mens forskellen i antallet af skadede mellem unge og voksne spritførere er blevet betydeligt mindre i de senere år fordi antallet af unge skadede spritførere er faldet meget.



Figur 7. Antal skadede unge (18-24 år, til venstre) og voksne (30-50 år, til højre) føreres promillefordeling 1968-2004.

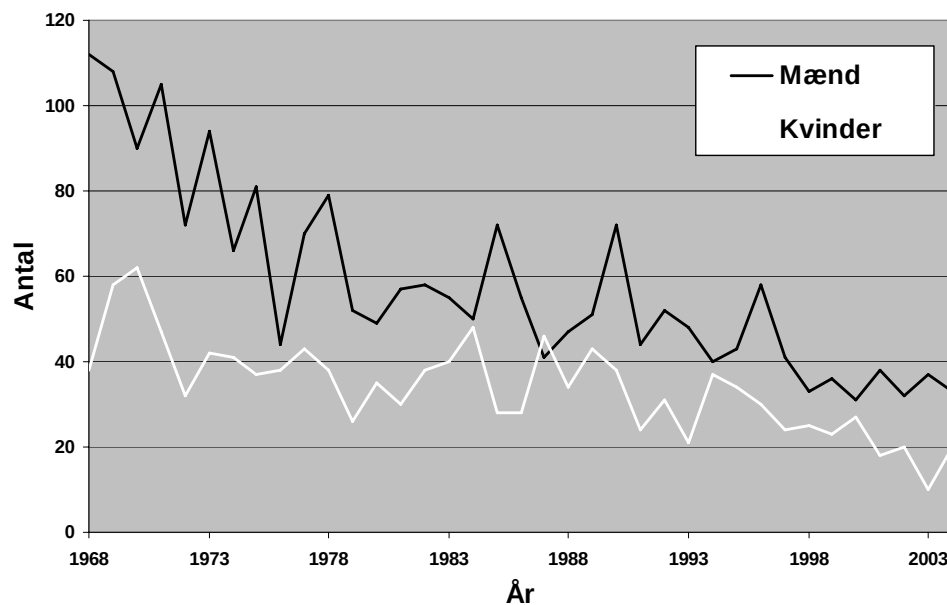
Fordelingen af promillestørrelser hos skadede spritførere hen over årene er markant forskellige hos unge og voksne førere, jf. fig. 7. Parallelt med faldet i antallet af unge skadede spritførere ses en drastisk nedgang i antallet af skadede førere med alle promiller hos de unge, hvor antallet af skadede førere med de højeste promiller står for den største nedgang. Helt anderledes ser det ud for gruppen af skadede voksne spritførere. Her er der ikke den store udvikling i antallet af skadede førere med de forskellige promiller, og de meget høje promiller er der i alle årene betydeligt flere af end de lavere. Dette kunne tyde i retning af at unge og voksne skadede spritførere udgør to helt forskellige grupper hvad angår spritkørsel.

Cyklistuheld

Der er meget store udsving i antallet af dræbte cyklister, og dette gælder både mænd og kvinder, jf. fig. 8. På trods af de store udsving ses en tydelig tendens til at antallet af dræbte cyklister er for nedadgående. Flere mænd end kvinder bliver dræbt på cykel; dette gælder for alle årene undtagen 1987, men da antallet af dræbte mandlige cyklister falder mere end antallet af kvindelige dræbte cyklister, nærmer de to kurver sig hinanden i de senere år.

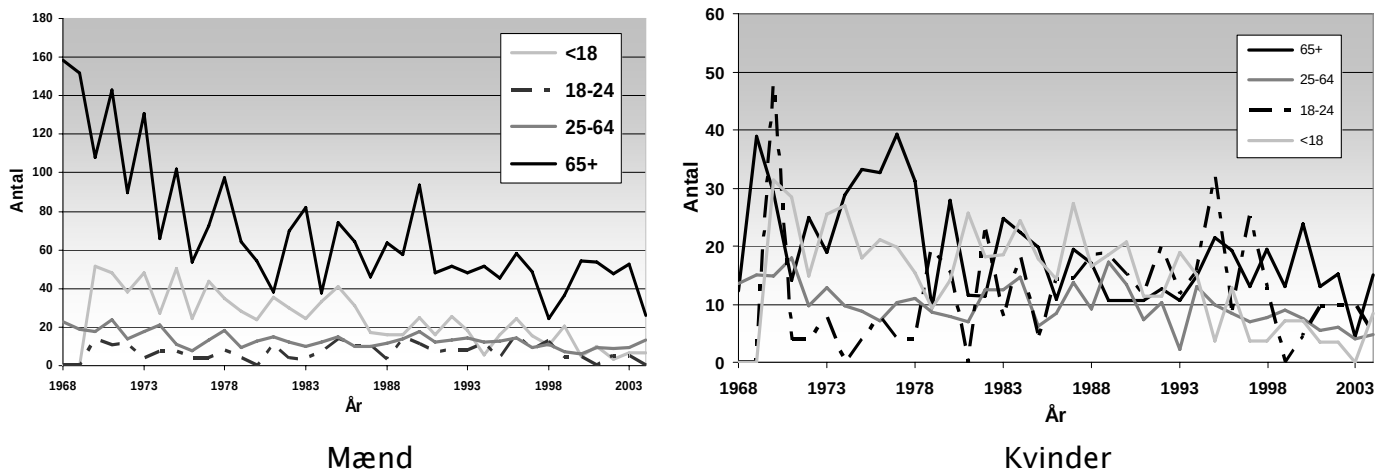
Forklaringen på at flere mandlige end kvindelige cyklister bliver dræbt kan skyldes at mænds transportarbejde på cykel er lidt større end kvinders (Bernhoft m.fl. 1998, Bernhoft 2001). Desuden kan man forestille sig at mænd generelt kører længere ture på landet, mens kvinder måske kører kortere ture i byerne. Dette kan betyde at

mænd overvejende cykler på landet hvor bilernes hastighed er forholdsvis høj, og når det derfor går galt, er risikoen for at blive dræbt større end i byerne.



Figur 8. Antal dræbte cyklister 1968-2004. Hvid kurve: kvinder, sort kurve: mænd.

Ser vi på alders- og kønsfordelingen af dræbte cyklister, figur 9, er det igen tydeligt at der bliver dræbt flere mænd end kvinder på cykel. For mændenes vedkommende dominerer børn og ældre i billedet af antal dræbte, men antallet af dræbte ældre cyklister er samtidig den gruppe hvor antallet er faldet mest hen over årene. Her i det nye årtusinde nærmer kurverne for de forskellige aldersgrupper sig hinanden, således er antallet af dræbte mandlige cyklister i børnekategorien også faldet betydeligt hen over årene. Når det gælder antallet af dræbte cyklister, ligger unge mænd meget lavt, mens de ligger højt i statistikken over dræbte bilførere. Dette skyldes formentlig at 18-24-årige er begynderbilister, mens de i samme alderskategori er erfarne og øvede cyklister.



Figur 9. Antal dræbte cyklister fordelt på alder og køn. Mænd til venstre, kvinder til højre.

Billedet af kvindelige dræbte cyklister udviser ikke samme konsekvente mønster og er i højere grad præget af tilfældige udsving fordi antallene af dræbte i de forskellige alderskategorier er lave. I alderskategorien 18-24 år bliver der dræbt flere kvindelige cyklister end mandlige; dette kan skyldes at en del mænd begynder at køre i bil, mens dette måske i mindre omfang gælder kvinderne. Når det gælder børn, bliver flere drengebørn end pigebørn dræbt på cykel i trafikken.

Konklusion

Det går den rigtige vej med antallet af dræbte og skadede i trafikken, og det er en udvikling vi har set siden først i 1970'erne. Denne udvikling skyldes en kombination af mange forskellige faktorer der arbejder i samme retning, af de vigtigste kan nævnes:

- Politisk fokus på området
- Handlungsplaner fra Færdselssikkerhedskommissionen med klare mål og indsatsområder
- Teknologisk udvikling (udviklingen går i retning af bedre veje og sikrere biler)
- Forskning
- Omfattende kampagnevirksomhed, både fra politiets side, fra Rådet for Større Færdselssikkerheds side og fra amter og kommuners side
- Øget fokus på området i pressen
- En køreuddannelse der bliver løbende revideret og moderniseret

Der bliver imidlertid stadig dræbt og kvæstet mennesker i trafikken i Danmark. Hvis tallene skal endnu længere ned end de er nu, bør man fortsætte ovenstående tiltag. Derudover kunne man med fordel skaffe sig mere viden om mørketallet, specielt for eneuheld og uheld med lettere tilskadekomne og cyklister. I de uheld som ikke bliver registreret, kan ligge vigtig information gemt. Derudover kunne man søge

viden om specifikke grupper af trafikanter som fx 'den hårde kerne' af bilister som systematisk unddrager sig regelefterlevelse, bilister som ikke bruger sele, bilister der kører spritkørsel. Endvidere kunne det være fordelagtigt at søge mere systematisk viden om trafikulturen og hvordan den evt. har ændret sig de senere år.

Referencer

Begg, D. og Langley, J. 2001. Changes in risky behavior from age 21 to 26 years. *Journal of Safety Research* 32(4): 491 - 499.

Bernhoft, I. M. 2001. Risiko i trafikken 1997-1999. Danmarks TransportForskning, notat nr. 9. 44 pp.

Bernhoft, I. M., Klit, L., Pedersen, C. B. og Troland, N. 1998. Risiko i trafikken – for udvalgte transportmidler i 1996. Rådet for Trafiksikkerhedsforskning, arbejdsrapport 2. 90 pp.

Elander, J., West, R. og French, D. 1993. Behavioural correlates of individual differences in road-traffic crash risk: An examination of methods and findings. *Psychological Bulletin* 113: 279-294.

Elvik, R. og Vaa, T. 2004. The handbook of road safety measures. Elsevier. 1078 pp.

Trafiksikkerhed på strækninger i åbent land

Metode til udpegning og besigtigelse af grå strækninger

Af

Peter Sønderlund, Nordjyllands Amt, amt.pets@nja.dk

&

Peter Søndergaard, Via Trafik, ps@viatrafik.dk

Sortpletudpegning har hidtil været et vigtigt redskab til forbedring af trafiksikkerheden. Sortpletarbejde, kampagner osv. har medført, at de sorte pletter, der udpeges, er mindre farlige end tidligere, hvilket gør sortpletmetoden mindre egnet. Samtidig oplever mange kommuner, at uheldene i åbent land sker spredt, hvilket gør uheldsforebyggelsen vanskelig.

Nordjyllands Amt vil med dette projekt give landets vejmyndigheder et systematisk og praktisk overkommeligt værktøj til at udpege og analysere de grå strækninger. Nordjyllands Amt har derfor i samarbejde med Via Trafik udarbejdet og testet en metode, der beskrives i denne artikel.

Inddeling af vejmyndighedens vejnet

Vejmyndighedens vejnet skal opdeles i passende strækninger, så det er muligt at udpege de farlige strækninger.

Opdelingen af vejnettet i passende delstrækninger kan f.eks. foretages efter:

- Byer og betydende kryds (knudepunkter)
- Ændringer i vejudformning og trafikmængde

I praksis er der ikke den store forskel i disse principper. Ændringer i vejudformningen sker nemlig oftest i forbindelse med byer og betydende kryds. Det er her valgt at opdele de nordjyske amtsveje efter byer og betydende kryds, da det er vurderet som den mindst ressourcekrævende metode. Samtidig vil datamaterialet på mange kommuneveje ikke være tilstrækkeligt til at foretage en opdeling efter trafikmængder eller tværsnitsændringer.

Erfaringer viser, at det er hensigtsmæssigt at inddele vejnettet i strækninger på ca. 3-11 km [Sørensen, 2003]. I praksis vil der dog forekomme afvigelser fra dette interval, afhængigt af de lokale forhold (strækningernes homogenitet og naturlige opdelinger ved overgang fra by til land). Opdelingen af det nordjyske amtsvejnet efter byer og betydende kryds resulterede således i 175 delstrækninger, hvoraf 14 % er under 3 km, og 6 % er over 11 km.

Rangering af strækninger

Metodevalget til rangering af de uheldsbelastede strækninger i forbindelse med dette projekt tog udgangspunkt i to møder med ph.d. studerende Michael Sørensen og adjunkt Jens Christian Overgaard Madsen, begge fra Aalborg Universitet. Deres forskning pegede på to forskellige metoder, nemlig:

- rangering efter skadesgrad
- rangering efter skadesvægtede uheldssituationer

Rangering efter skadesgrad

Ved rangering efter skadesgrad vægtes alvorligheden af de rapporterede uheld på delstrækningerne i form af registreret personskade. Rangeringen sker med udgangspunkt i Vejdirektoratets samfundsøkonomiske enhedspriser for uheld med dræbte, alvorligt kvæstede, lettere kvæstede eller materielskadeuheld.

Enhedsprisen for en dræbt er langt højere end for fx en lettere kvæstet. En strækning, hvor der er sket ét dødsuheld kan imidlertid ikke altid opfattes som tilsvarende farligere end en strækning, hvor der er sket ét uheld med let personskade. Dertil er det ofte for tilfældigt, om en person er blevet dræbt eller kvæstet, og det kan skyldes mange andre faktorer end vejens udformning. Derfor er denne metode fravalgt.

Rangering efter skadesvægtede uheldssituationer

Denne metode tager også udgangspunkt i de registrerede uheld, men i stedet for skadesgraden tages udgangspunkt i uheldssituationerne. Uheldssituationerne fremgår af figur 1.

Uheldshovedsituation			Værdi
0		Eneuheld	0,893894742
1		Uheld mellem ligeud kørende på samme gade eller vej med samme kurs og uden svingning	0,725909412
2		Uheld mellem ligeud kørende på samme gade eller vej med modsat kurs og uden svingning	1,880929574
3		Uheld mellem kørende på samme gade eller vej med samme kurs og med svingning i T-kryds, Y-kryds, korsvej, indkørsel m.v.	0,856843896
4		Uheld mellem kørende på samme gade eller vej med modsat kurs og med svingning i T-kryds, Y-kryds, korsvej, indkørsel m.v.	0,994757601
5		Uheld mellem krydsende køretøjer uden svingning	1,230775191
6		Uheld mellem kørende på hver sin gade eller vej med svingning. (T-kryds, Y-kryds, korsvej, ind- og/eller udkørsel m.v.)	0,862044516
7		Uheld med parkeret køretøj	0,831839604
8		Uheld med fodgængere	2,386922026
9		Uheld med dyr og genstande m.v. på eller over kørebanen	0,678388375

Figur 1. Vægtningsskemaer for uheldshovedsituationer. Værdien 1 svarer til omkostningen ved et gennemsnitsuheld. Beregnet på baggrund af enhedspriser for trafikuheld og personrelaterede trafikuheldsomkostninger, 1999-niveau, samt uheldsdata fra VIS for en ca. 6-årig periode, heraf fra ca. 40.000 uheld i landzone.

(Kilde: Adjunkt Jens Christian Overgaard Madsen, Trafikforskningsgruppen på Aalborg Universitet, (2003), "Identifikation af uheldsbelastede lokaliteter – Antal eller alvorlighedsgrad?")

Omkostningen ved et gennemsnitsuheld i hver uheldshovedsituation er beregnet ud fra de samfundsøkonomiske enhedspriser. Udgangspunktet har været en analyse af alvorligheden af de registrerede uheld på landsplan opdelt på uheldssituationer [Overgaard Madsen, 2003]. Denne værdi bruges som en parameter for uheldssituationernes alvorlighed. Værdierne fremgår af. Eksempelvis er uheld i uheldshovedsituation 2 (mødeuheld) mere alvorlige end uheld i uheldshovedsituation 0 (eneuheld).

En sammenligning af uheldsbelastningen ud fra skadesvægtede uheldssituationer tager altså udgangspunkt i hvilke typer uheld, der kan forventes på en strækning og dermed i nogen grad i vejens udformning. Betydningen af tilfældige variationer i skadesgraden i de enkelte uheld er dermed mindsket. Derfor har Nordjyllands Amt vurderet, at denne metode er mest hensigtsmæssig i forhold til at rangere det opdelte vejnet.

Rangering af vejnettet i praksis

Indledningsvis blev strækingsdata og uheldsdata indhentet ved udtræk fra VIS-databasen vha. VIS-opslag-funktionen. Søgningen blev afgrænset til veje, hvor hastighedsgrænsen er større end 50 km/t. På baggrund heraf blev delstrækningerne oplistet med tilhørende uheldsinformationer for en 5-års periode.

Først blev antallet af uheld fordelt på hoveduheldssituationer for hver delstrækning. Uheldstallene blev multipliceret med vægtningsfaktorerne jf. figur 1, og værdien for hver af hovedsituationerne på delstrækningen blev summeret. Herefter blev strækningerne rangeret ud fra den samlede værdi pr. km. vej. Fravalget af uheldsfrekvensen er sket for at gøre det lettere at bruge metoden. Mange kommuner har i dag ikke dækkende trafikdata for deres veje til at kunne udregne uheldsfrekvenserne.

Besigtigelse af grå strækninger

Til brug for en trafiksikkerhedsmæssig vurdering af de grå strækninger i Nordjyllands Amt er der udarbejdet en vejledning i dataindsamling samt forberedelse og besigtigelse af strækninger.

Vejledningen består af følgende:

- Metodebeskrivelse
- Checklister

Metodebeskrivelse til besigtigelse

I figur 2 er metoden til strækingsanalysen og -besigtigelsen kort beskrevet.

1. Dataindsamling:	1. Uheldsoplysninger for de seneste fem år 2. Trafiktællinger, hastighedsmålinger, andel tunge køretøjer 3. Planer, luftfotos og længdeprofil 4. Oplysninger om skoleveje eller rekreative stier ved strækningerne 5. Krydsoplysninger 6. Oplysninger om ombygninger
2. Forberedelse – problemudpegning:	1. Uheldsanalyse 2. Trafiktællinger og målinger (andel tunge køretøjer) 3. Grov opdeling af strækningen i mindre delstrækninger 4. Vurdering af tracéet 5. Udpegning af problematiske steder kryds/strækninger 6. Evt. undersøgelse af arealbehov og signalgruppeplaner i kryds
3. Besigtigelse:	Det forudsættes, at der deltager mindst to personer på besigtigelsen (fx en tekniker og en fra politiet)
Medbringes:	Indsamlede data jf. pkt. 1
1. gennemkørsel	Strækningen gennemkøres med den tilladte hastighed i begge retninger Den tidligere, grove opdeling i delstrækninger verificeres Delstrækninger, der umiddelbart vurderes som problematiske, udpeges.
2. gennemkørsel (evt. 3 gennemkørsel)	Problemstrækninger gennemgås detaljeret med fotoregistrering Skemaet "Beskrivelse af delstrækning" udfyldes for delstrækningerne Hvert uheldssted gennemgås på baggrund af uheldsoplysningerne Mulige uheldsrisici noteres.

Figur 2. Uddrag af metodebeskrivelse til strækingsanalyse og -besigtigelse.

Checklister

Der er blevet udarbejdet checklister til trafiksikkerhedsgennemgang af strækninger, vigepligtsregulerede kryds, signalregulerede kryds og rundkørsler. Et udsnit af checklisten for strækninger er vist i figur 3.

Nordjyllands Amt Trafiksikkerhed på strækninger i det åbne land

Checkliste **Besigtigelse af delstrækning**

Projekt _____
 Registrant _____ Dato _____

Nr.	Beskrivelse	Ok
Vejens karakter		
1	Hastighedsniveau og -grænse	
	Svarer hastighedsgrænsen til vejens trace og omgivelser?	☐
	Bør der etableres fysiske tiltag for at reducere hastigheden?	☐
2	Omgivelserne	
	Kan anvendelse af tilstødende arealer medføre problemer? (fx golfbaner, badestrande og campingpladser)	☐
3	Sideveje samt ud- og overkørsler	
	Er der mange udkørsler pr. km? Kan nogle af dem nedlægges?	☐
	Er sidevejene markeret tydeligt?	☐
	Er der tilfredsstillende oversigt fra sideveje/udkørsler?	☐
4	Lette trafikanter	
	Er det muligt at krydse vejen? Er der et behov?	☐
	Er der behov for sikrede krydsningsmuligheder, fx hvor stier udmunder i veje?	☐
	Er der den fornødne adskillelse mellem lette og tunge trafikanter (presses cyklister)?	☐
	Er der tilfredsstillende oversigt til og fra stiudmundinger (nær hakketon eller sving)?	☐

Figur 3. Eksempel på checkliste.

Uheldsanalyse og besigtigelse

På baggrund af rangeringen af strækningerne blev landevej 611 fra kilometrer 5,1 – 10,8 udpeget til teststrækning. Målet var at gennemføre en besigtigelse og analyse samt at realisere løsningsforslagene i løbet af 2006 – altså afprøve metoden fra start til slut.

Inden besigtigelsen af strækningen blev vejens tværsnit, trafikmængde, uheldsrapporter osv. undersøgt, jf. figur 2. Der blev udarbejdet et notat med mulige uheldsårsager på strækningen. Inden strækningsgennemgangen blev der afholdt et møde, hvor uheldsanalysen og besigtigelsesmetoden blev gennemgået. Ved mødet deltog repræsentanter fra Nordjylland Amts drifts-, anlægs- og trafiksikkerhedsafdeling, en repræsentant fra Hjørring Politi samt en trafiksikkerhedsrevisor og en projektmedarbejder fra Via Trafik. Disse deltagere deltog desuden alle i besigtigelsen. På mødet blev projekt materialet tilrettet, så det var forståeligt for alle, og de forskellige faggrupper tilføjede deres viden til materialet.

Besigtigelsen

Ved uheldsanalysen blev teststrækningen gennemkørt i begge retninger med den tilladte hastighed. Under gennemkørslen blev mulige problemer noteret på medbragt kortmateriale. Strækningerne blev herefter gennemkørt med lavere hastighed, og der blev gjort holdt på steder udpeget ved forhåndsanalysen eller under den indledende gennemkørsel. Problemer og løsningsforslag blev løbende diskuteret og noteret.

Efter besigtigelsen blev alle bemærkninger og forslag gennemgået, og et samlet projektkatalog med prisoverslag blev udarbejdet. Da der er tale om en grå strækning, er projekterne ikke nødvendigvis målrettede mod uheldsbelastede lokaliteter som ved sort pletarbejde. Projektkatalogets førsteårs-forrentning er derfor ikke beregnet.

Det samlede budget for trafiksikkerhedsoptimering af teststrækningen er godkendt af Amdtsrådet som en del af Nordjyllands Amdts normale trafiksikkerhedsbudget. Løsningsforslagene forventes gennemført i 2006.

Hvad kan vi lære af projektet?

De vigtigste erfaringer fra projektet kan sammenfattes i følgende punkter:

- Metoden vil være et godt redskab til at håndtere trafiksikkerhedsarbejdet og prioritere indsatsen som supplement til sortpletudpegning.
- Udtræk af stræknings- og uheldsdata bør baseres på eksisterende databaser for at reducere arbejdets omfang.
- Strækningerne bør rangeres efter skadesvægtede uheldssituationer.
- Efter rangeringen bør kommunerne lave en plan for gennemgangen af vejnettet over en flerårig periode. Organisér forberedelsen, så projektgruppen skal samles færrest mulige data. Vær ambitiøse, men realistiske mht. deltagernes tidsforbrug!
- Strækningerne bør vælges, så besigtigelsen og evaluering kan klares på én arbejdsdag. En arbejdsdag pr. strækning (ud over forberedelse) vil være passende i forhold til ressourcerne – også for mindre kommuner.
- Besigtigelsen giver et godt udbytte – ikke mindst pga. de tværfaglige input. Deltagernes forskellige erfaringsgrundlag giver god synergieffekt både ved selve besigtigelsen og til det daglige trafiksikkerhedsarbejde.
- Politiet er en vigtig aktør pga. deres gode lokalkendskab. De bruger vejen ofte og har kendskab til ikke-registrerede uheld.
- Materialet til besigtigelsen skal være overskueligt: Et tydeligt oversigtskort og mere detaljerede kort til noter (alt i A3-format). Her bør uheldssituationer og vigtige trafikdata være anført.
- Tjeklister har især stor værdi ved forberedelsen, men også som huskeseddel undervejs – alle punkter kan ikke læres udenad. Listerne er især værdifulde for en tværfaglig projektgruppe med meget forskellig erfaring med trafiksikkerhedsvurderinger.
- Grå strækninger *kan* være vanskelige at analysere. Med erfaring vil det være lettere at

holde fokus på generel uheldsforebyggelse – i stedet for at lede efter årsager til de få og spredte registrerede uheld på grå strækninger. Især opkørte siderabatter, behov for autoværn og lignende detaljer er mange ikke vant til at observere.

- Effekterne af de foreslåede projekter kan ikke forventes at være direkte sammenlignelige med fx sort plet-projekter. Dermed kan der ikke laves forrentningsberegninger som argument ved budgetlægningen. Målet er i stedet at bekæmpe de uheld, som den traditionelle indsats ikke kan håndtere.

Projektet er afrapporteret i form af en projektrapport med metodebeskrivelse, vejledninger og checklister samt en gennemgang af projektcasen. Foredragsholderne står til rådighed for besvarelse af opklarende spørgsmål.

Kilder:

Michael Sørensen, Trafikforskningsgruppen, Aalborg Universitet: "Udpegning af grå strækninger i det åbne land" – Metode til udpegning og analyse" 2003.

Jens Christian Overgaard Madsen, Trafikforskningsgruppen, Aalborg Universitet: "Identifikation af uheldsbelastede lokaliteter – Antal eller alvorlighedsgrad?", 2003.

Grey Road Sections on Main Roads in Rural Areas

- Development, application and assessment of a Category Based Identification Method

Assistant Professor, Master of Science, Michael Sørensen, michael@plan.aau.dk

Traffic Research Group, Aalborg University

This paper is based on the PhD-thesis: "Hazardous road sections in rural areas – development, application and assessment of severity based methods for identification, analysis and improvement of hazardous road sections" (Sørensen 2006) (in Danish). The project is carried out in the period August 2003 to August 2006 at the Traffic Research Group at Aalborg University in a co-operation with Ringkøbing and Viborg counties. In the project methods for identification, analysis and improvement of grey (hazardous) road sections are developed. However, focus in this paper is only on the identification method developed.

Aim and background

The present paper treats the site-specific traffic safety work on main roads in the rural areas with focus on the grey road section work. The goal is specifically to define what a grey road section is and to develop methods for their identification, analysis and improvement. The methods must be well founded concerning accident theory and of practical use. At the same time, the aim is to develop methods for systematically incorporating the severity of the accidents in all phases of the grey road section work.

There are principally four reasons why this work is needed. Firstly, there has been a smaller decrease in the number of accidents and personal injuries in the rural areas compared to urban areas. This is unfortunate, as accidents are generally more severe in the rural areas. Thus, three-quarters of all road deaths have their origin in the open land. Among these accidents, two-thirds take place on road sections. There is thus here a strong potential for saving road deaths and seriously injured persons.

Secondly, several objections can be raised against the present black spot work. The case here is that the method is based on an almost 40 year old theory on accidents, and that there is a discrepancy between strategy and purpose. Furthermore, the most significant black spots have been improved, and the potential of the work is therefore limited. In several of the most traffic safe countries focus is thus gradually turning on the grey road section work rather than the black spot work.

Thirdly, during the last 10 years the grey road section work is to an increasing degree turning up in the Danish road administration authorities' site-specific traffic safety work. However, a common and unambiguous definition of the concept does not exist, and common, formalized and operational methods for the identification, analysis and improvement of these road sections have not been established. As a result, the Danish road administration authorities today identify grey road sections applying obsolete methods.

Fourthly, in 2000 the Danish Traffic Safety Commission published a new traffic safety plan for the years 2001-2012. The aim of this plan is to reduce the number of people killed and severely injured on the roads by 40 %. This aim is an important change in relation to the previous one, which dealt with the total number of persons injured. Thus, the expressed aim marks a significant strategic change in the traffic safety work from Crash Prevention to Loss Reduction. This means that the need for systematically taking into account the degree of severity of the road traffic accidents in the methods applied has increased. In Denmark, however, this has not been implemented satisfactorily.

Investigative method

In order to be able to fulfil the purpose of the project expressed, six different part examinations have been carried out. These are the following:

1. Literature studies of 30 Danish national and county traffic safety plans and other relevant plans and projects
2. Interview with 18 Danish traffic safety employees of the Danish Road Directorate and all the Danish counties
3. Literature studies of existing foreign methods in 14 EU-countries, Norway and USA
4. Literature studies of 30 relevant historical and scientific articles, reports and textbooks from 1964 to 2000
5. Analysis of categories, where correlation between road design, traffic and accidents is analyzed and where the so-called average accident cost weighted density of accidents has been estimated and statistically assessed for 50 defined road and traffic categories
6. Test, demonstration and assessment of the method developed in a concrete case, where identification, analysis and improvement of hazardous road sections are done for the county road network in Ringkøbing and Viborg counties

The purpose of the literature studies and the interview study carried out is to gain knowledge, survey and ideas on how a Danish method for the identification, analysis and improvement should be in order to be theoretically well founded as well as useful in practice. Based on these analyses, a number of general recommendations are formulated. Starting from these recommendations a specific category and severity based identification method has been developed, which has been tested and assessed.

Motives, philosophy and procedure

Before recommending how to identify grey road sections it has initially been determined what the motives, the philosophy and the overall procedure for the grey road section work should be, as these factors are crucial for the planning of the identification phases.

It is recommended that the motives for the implementation of the grey road section work are to contribute to fulfilling the objective of the particular road administration authority, to correct faults and deficiencies pertaining to road construction, as well as getting the best value for money in terms of traffic safety.

The basic philosophy in the grey road section work is to combine the principle in black spot action and the principle in mass action. This means that the work shall be local, remedial and retrospective as well as preventive and prospective. The identification phase is based on registered traffic accidents and therefore has a retrospective nature like the black spot safety work. In contrast the following analysing and improvement phases both have a retrospective and prospective nature, because it is recommended that these phases both are based on accidents and general traffic safety problems and standard improvements. The idea is that remedial improvements on accident locations are spread out on the whole road section and thereby also gets a preventive and prospective nature.

Secondly, the philosophy is to focus on the most severe accident. These accidents should be avoided either by reducing the accident risk or by reducing the injury risk. This should be done through measures pertaining to road construction aimed at site-specific, as well as non-site-specific traffic safety problems, by making the road and its surroundings forgiving and self-explanatory. This is recommended as it is advantageous to strive at minimizing the site-specific, as well as non-site-specific problems by using road engineering measures

In the grey road section work it is recommended to take the traditional procedure as a starting point so that the work consists of different phases. Considering possible alternative procedures, applying this procedure complies best with the objective of the project and the formulated philosophy.

Category and severity based methods

Based on the results from the literature studies and the interview study a method for identification of grey roads sections is developed. This method will be described in the following.

Identification principle

It is recommended that identification based on category and severity is made in such a way that the importance of the design of the road and traffic as such, as well as the severity of the accidents are taken into consideration.

Even though model based identification methods are to be preferred in theory, the development of a category based identification method will contribute with a substantial improvement of method in relation to the identification methods of grey road sections presently applied by the Danish road administration authorities. Likewise, the systematic inclusion of the severity of the accidents will be an improvement compared to the present methods and practices.

The identification as such is made based on a ranking taking into account the reduction potential index, RPI, of the road sections, which cf. table 1, is estimated as the absolute difference between the recorded accident cost weighted density of accidents for the given road section, and the average accident cost weighted density of accidents for the category to which the road section belongs.

The calculation of recorded and average accident cost weighted density of accidents is based on the formula stated in table 1. Thus the calculation comprises density of accidents with severe personal injury, minor personal injury and damage to property, weighted according to the average accident costs for the three categories of accidents for the given road and traffic categories.

Identification criterion

By way of the absolute difference between recorded and average accident cost weighted density of accidents, the grey road sections are identified based on potential reduction of accidents. This is the obtainable reduction of accidents, if the road section in question after improvement reaches an average level of accidents. Among the different principles for identification criterion the potential reduction of accidents is recommended, as it immediately ensures the largest accident saving. In addition, the criterion creates focus on local and road section based risk factors, as well as probably yielding the most cost efficient traffic safety work.

The identification criterion itself is that the reduction potential index is to be larger than four. This applies to all road administration authorities and all road and traffic categories. Thus a common identification criterion is recommendable. This gives a mutual understanding of the concept, gives the highest impact vis-à-vis politicians, makes identifications comparable and contributes to ensuring that the road sections identified are true grey road sections. One of the reasons is that a common identification criterion would prevent the single road administration authorities from downgrading the identification criterion, which would increase the risk of identifying false grey road sections, in order to have more road sections to work with.

It is a tricky balancing act to determine the identification criterion. On the one hand it is important to identify all the true grey roads and on the other it is important to minimize the number of false grey road sections in the identification. A high identification criterion is recommended because the identification method developed only to a certain extent takes into consideration the random variation of the accidents. By using a high identification criterion identifying false grey road sections should be avoided.

Accident period and data

It is recommended that the identification is based on police-recorded accidents involving personal injury and damage to property from the official accident statistics of the latest 5-year period.

Grey roads sections on main roads in rural areas

As for accident data it will, due to a low and lop-sided contribution ratio in the official accident statistics, however, be recommendable to supplement with accident data recorded at the emergency wards. Here there is a need for developing a mutual and nationwide system for supplementary recording of this data.

For accident data it further applies that accidents in towns and major intersections, which are used as subdivision points in the break-down of road sections are to be sorted out. Likewise, accidents in black spots are to be sorted out, but accidents in black road sections should be included.

A 5-year accident period is recommended, as it will better balance on the one hand a reliable identification based on as much accident data as possible, and on the other an actual one which is not influenced by general tendencies and specific changes at the given sites.

Reduction potential index:	
$RPI = RWACD - AWACD$	
Accident cost weighted density of accidents:	
$WACD = (W(k)_{acc, ser.} \cdot ACD_{acc, ser.}) + (W(k)_{acc, min.} \cdot ACD_{acc, min.}) + (W(k)_{acc, prop.} \cdot ACD_{acc, prop.})$	
Weights:	
$W_{acc, ser.} = \frac{AC_{acc, ser.}}{AC_{acc, prop.}}, W_{acc, min.} = \frac{AC_{acc, min.}}{AC_{acc, prop.}}, W_{acc, prop.} = \frac{AC_{acc, prop.}}{AC_{acc, prop.}}$	
Accident costs:	
$AC_{acc, ser.} = (CP_{killed} \cdot X_{killed}) + (CP_{ser.} \cdot X_{ser.}) + (CP_{min.} \cdot X_{min.}) + CPr_{acc.}$	
$AC_{acc, min.} = (CP_{min.} \cdot X_{min.}) + CPr_{acc.}$	
$AC_{acc, prop.} = CPr_{acc.}$	
Explanatory notes:	
RPI:	Reduction potential index = -6,98-13,70 (0)
RWACD:	Recorded accident cost weighted accident density for the given road section = 0-20,75 (3,50)
AWACD:	Average accident cost weighted accident density for the given category k = 0,96-11,85 (4,29)
WACD:	Accident cost weighted accident density, recorded or average
$ACD_{acc, ser.}$:	Recorded or average accident density for accidents with persons killed and serious injuries
$ACD_{acc, min.}$:	Recorded or average accident density for accidents with minor personal injuries
$ACD_{acc, prop.}$:	Recorded or average accident density for accidents with property damage
$W(k)_{acc, ser.}$:	Weight of accidents with persons killed and serious injuries for category k = 17,9-79,3 (36,3)
$W(k)_{acc, min.}$:	Weight of accidents with minor personal injuries for category k = 4,2-6,2 (5,1)
$W(k)_{acc, prop.}$:	Weight of accidents with property damage for category k = 1
$AC_{acc, ser.}$:	Accident costs for accidents with people killed and serious injuries = 1.790.000-7.930.000 DKK
$AC_{acc, min.}$:	Accident costs for accidents with minor personal injuries = 420.000-620.000 DKK
$AC_{acc, prop.}$:	Accident costs for accidents with property damage = 100.000 DKK
$CP_{killed.}$:	Costs related to people per person reported killed = 10.404.000 DKK
$CP_{ser.}$:	Costs related to people per person reported seriously injured = 1.085.000 DKK
$CP_{min.}$:	Costs related to people per person reported with minor injuries = 295.000 DKK
$CPr_{acc.}$:	Costs related to property damage per accident = 100.000 DKK
$X_{killed.}$:	Number of people killed per accident of the given severity category
$X_{ser.}$:	Number of people with serious injuries per accident of the given severity category
$X_{min.}$:	Number of people with minor injuries per accident of the given severity category

Table 1. Formulae for calculating the reduction potential index and recorded and average accident cost weighted density of accidents. In addition, specification of estimated values, where brackets indicate mean value. The values for RPI and RWACD are indicated based on results from the specific case.

Severity

One of the most important purposes of developing the method for the identification of grey road sections is to involve the severity of the accidents on a systematic and larger scale than previously.

Despite the fact that the objective specifically relates to personal injuries, it is recommended that accidents are taken as the starting point rather than personal injuries. The reason for this is that the number of personal injuries may be determined by coincidence and parameters which lie outside the road administration authorities' site-specific traffic safety work. As an example could be mentioned number of persons in the vehicles in question as well as lack of using the safety features.

The severity of the accidents is included by categorizing them in accidents with severe personal injuries, minor personal injuries and accidents with damage to property. These accidents are weighted on the basis of the average number of persons injured of varying severity in the three severity categories in each of the 50 defined road and traffic categories, and the average accident costs, connected with these personal injuries, cf. table 1.

Accidents of the same degree of severity have, in principle, cf. table 1, varying severity by way of different average number of persons injured per accident in the different road and traffic categories. Different weights have been used for the 50 road and traffic categories in order to take this into consideration.

In the accident costs related to people the unit prices, from a traffic economic perspective, for deaths, serious injuries and minor injuries are taken as the starting point, cf. table 1. However, for the accident costs related to damage to property the starting point is a combination of traffic economic unit prices and property related insurance settlements for road vehicle accidents. This combination is found to be necessary as the method used for the calculation of the traffic economic unit prices related to property make them unsuitable to be used as basis for weighting.

Breakdown and length of road sections

The road system is broken down into sections of approximately equal road and traffic category. That is to say that the road sections must be homogenous regarding average daily traffic, category of net, number of wheel tracks, ribbon building, speed limit and presence of bicycle lanes and side strips.

Towns, excluding towns with blue town signs, and major intersections where state and county roads cross should initially be used as categorizing points in order to reach a comprehensible breakdown. In order to ensure homogenous sections, changes in road and traffic categories should subsequently be used as categorizing points.

In order to make sure that the sections are homogenous, the sections may have different lengths. Here it is recommended that the length of the road sections varies from 2 to 10 km.

The argument for the minimum length is that the sections are not to be so short that the grey road section work will resemble the black spot work. Additionally, the road sections are to have a certain length in order to make it possible to identify some general problems, and in order for general measures to have an effect.

The argument for the maximum length is that the sections should not to be too long, as the consequence may be that shorter part sections presenting problems will not be identified, as the many accidents on these sections "drown" in the overall average for the road section as a whole. It may, likewise, in the analysing phase be difficult to get an overview of very long sections, and long sections may also be very expensive to improve, if the given precautionary measures are to be carried out in the total length of the road section.

Grey roads sections on main roads in rural areas

Definition

Based on the identification method developed, it is recommended that the professional definition of grey road sections in the general road system in the open land is the following:

2-10 km long, homogenous road sections between towns and major intersections, where the reduction potential index calculated as the difference between the recorded and the average accident cost weighted accident density for the given road and traffic category is larger than four.

For the sake of obtaining a satisfactory and operational definition a professional wording of the definition, which is primarily intended for use among experts, is necessary. A more popular version of the definition, which can be used in connection with communication with non-specialists, could e.g. be: Road sections where the potential for realising a reduction of the most serious accidents is the largest.

Category analysis

In order to be able to carry out the recommended category and severity based grey road section identification, it is necessary to make a category analysis, where the road system is broken down into a series of categories, for which the average accident cost weighted accident density is estimated.

Based on the 5-year accident period 2000-2004 such an analysis has been made for state and county roads in the rural areas in the whole country, excluding county roads in Copenhagen County. The analysis comprises 9,707 km roads, which have been broken down into 7,313 part sections. In this road network 15,826 accidents have been recorded, of which 8,354 are accidents involving personal injury, resulting in 13,025 people injured.

Based on the parameters related to roads: type of net, number of lanes, ribbon building, speed limit and the presence of bicycle lanes and side strips, this road network has been broken down into 11 road categories, which subsequently, on the basis of the amount of traffic, have been subdivided into 50 road and traffic categories. Table 2 indicates how the 11 road categories and 50 categories are defined, and what the estimated average accident cost weighted accident density for the 50 categories is.

Road category	Free-way	Motor way	Other roads										
			4 lanes	3 lanes	2 lanes								
					Rib-bon	No ribbon							
						80 km/h							
						60 km/h	70 km/h	Side strip	One-way bicycle lanes	Double bicycle lane	None		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
Under 1.000	0,96	1,72	6,77	3,44*	3,52*	3,51	5,28*	1,19	2,67	2,05	1,01		
1.000-2.999								2,05			2,25		
3.000-4.999								3,89			3,95*	4,03	3,67*
5.000-6.999								4,75			4,44	5,00	6,10
7.000-9.999	1,39	6,32*	11,17*	6,61*	8,80*	5,98	11,47*	6,93*	7,02	6,95*			
10.000-14.999	2,39	10,08*						7,72	7,85	10,41			
15.000-30.000	5,60	9,39		11,85	4,46	9,16	8,57	6,74	7,72	7,85	10,41		
Over 30.000	9,76												

Table 2. The breakdown of the road network on the basis of parameters related to roads and average daily traffic in vehicles per day and the average cost accident weighted accident density for the 50 categories. * indicates that the average accident cost weighted accident density should be subject to some reservation, as the value indicated does not differ significantly from the value of the following category.

Grey roads sections on main roads in rural areas

Statistical tests of the average accident cost weighted accident densities have been made. Here it was found that among 39 relevant combinations of comparisons in pairs, there is no significant difference in the values of 17 combinations, when testing at a significance level of 0.1. It is, cf. table 2, especially road categories 7 and 4 which pose problems.

Identification of grey road sections in Ringkøbing and Viborg counties

Based on the methods developed, specific identification of grey road sections have been made on the county road in Ringkøbing and Viborg counties. The purpose has been to have the method tested and demonstrated, and on this basis to be able to make an assessment of the method.

		Ringkøbing	Viborg	Total
Road network	Total (km)	891	798	1.689
	In the analysis (km)	816	745	1.561
	Number of road sections	146	144	290
Section length	Average length (km)	5,6	5,2	5,4
	Percentage below 2 km (%)	7,5	7,6	7,6
	Percentage above 10 km (%)	10,3	5,6	7,9
Most abundant reason to division	Start or ending (%)	37	37	37
	Town (%)	23	19	21
	Main intersection (%)	15	16	15
Most abundant category	8.2 (%)	37	36	37
	8.3 (%)	30	19	24
	8.4 (%)	15	17	16
Homogeneity	Homogenous (%)	53	56	54
	Almost homogenous (%)	44	38	41
	Non-homogenous (%)	3	6	5

Table 3. Main results of the division of road network into sections in Ringkøbing and Viborg counties.

Initially the road system is broken down into sections. The main result of this division is given in table 3. The county road network in the two counties is in total 1.689 km. In the analysis only sections located in the open land are included, and the length of the road network in the analysis is thus 1.561 km. These roads have been divided into 290 road sections, corresponding to an average length of 5.4 km. It is recommended that sections should have a length of between 2 and 10 km, however among the subdivided sections 8 % are shorter than 2 km, and 8 % longer than 10 km.

The most frequent reason for division is that a road section starts or ends. Then follow towns, major intersections, changes in road categories or categories or the fact that the road is crossing a county boarder.

About 77 % of the sections belong to category 8.2, 8.3 or 8.4. 55 % of the sections are homogenous, which means that they belong to the same category on more than 99 % of the length of the section. 40 %, however, are only almost homogenous. This means that on 1-20 % of the length of the section they contain other categories than the one indicated, typically in the form of short subdivided sections with ribbon building or local speed limits. Finally, 5 % of the sections are non-homogenous in the way that the section consists of two or more categories, which all account for more than 20 % of the length of the section. The criteria for section length and use of a defined method for division of the road network into sections are thus compatible for about 85 % of the road network.

The reduction potential index has been estimated for the total of the 290 sections, and sections where the reduction potential index is larger than four have been identified as grey road sections. The estimated reduction potential indexes are illustrated in figure 1 and figure 2 and some characteristics for the grey roads section are summarized in table 4 and table 5.

A total of 12 grey road sections in Ringkøbing County and six grey road sections in Viborg County have been identified. The reduction potential indexes of the sections identified are between 4.0 and 13.7 in Ringkøbing County and between 4.2 and 8.5 in Viborg County.

Grey roads sections on main roads in rural areas

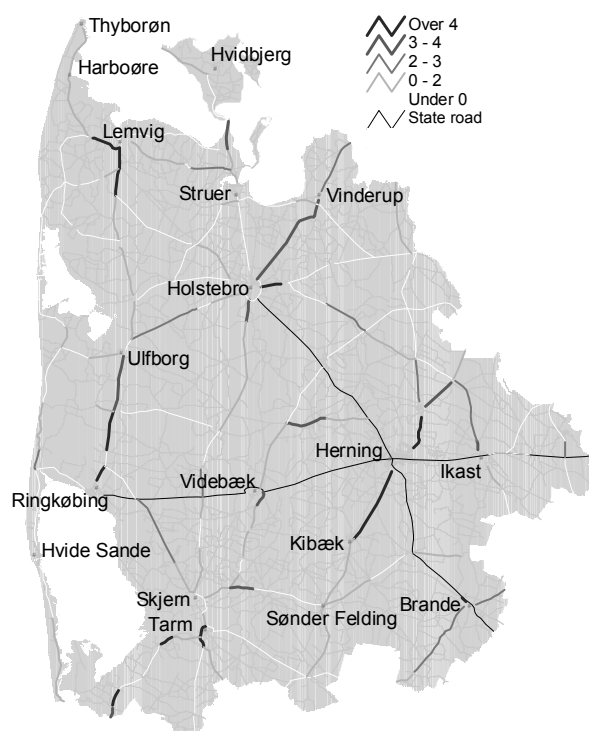


Figure 1. Reduction potential index for the 146 road sections on the county road network in Ringkøbing county.

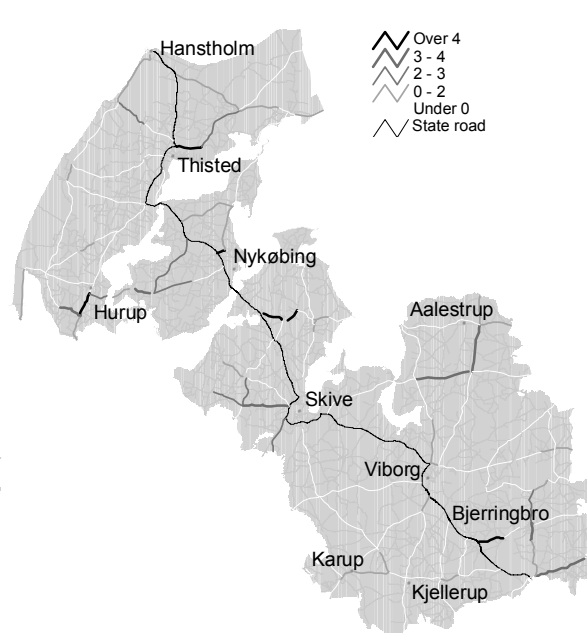


Figure 2. Reduction potential index for the 144 road sections on the county road network in Viborg county.

Name	Road	From	To	Length	Cate- gory	ADT	Homogeneity	Acci- dents	injuries	RPI
Ulfborg-Lemvig	502	49,011	51,800	2,8	8.4	6.200	Almost	12	10	13,7
Viborg-Holstebro	417	46,940	49,693	2,8	10.5	10.600	Almost	18	16	10,3
Viborg-Herning	439	38,923	44,770	5,8	10.5	10.700	Almost	26	44	8,7
Tarm-Nr. Nebel	521	16,258	18,750	2,5	8.2	2.500	Almost	5	11	8,3
Skjern-Varde	333	28,191	31,295	3,5	8.3	4.000	Almost	8	14	8,2
Lemvig-Thyborøn	476	0,126	4,125	4,0	8.4	5.900	Almost	13	10	7,3
Ulfborg-Lemvig	502	45,108	48,957	3,8	8.3	4.500	Yes	9	6	6,6
Ringkøbing-Holstebro	418	1,805	4,274	2,5	8.3	4.700	Almost	7	4	6,0
Tarm-Nr. Nebel	521	5,176	6,840	1,7	10.2	3.600	Yes	3	3	6,0
Brande Nord	559	41,602	42,520	0,9	8.3	3.200	Almost	3	1	5,1
Herning-Varde	370	1,000	11,961	10,9	8.4	6.800	Almost	41	60	4,8
Ringkøbing-Holstebro	418	6,990	12,481	5,5	8.4	5.600	Yes	12	14	4,0

Table 4. Characteristic of the 12 identified grey road sections in Ringkøbing County. The sections are ranked after RPI.

Name	Road	From	To	Length	Cate- gory	ADT	Homogeneity	Acci- dents	injuries	RPI
Nykøbing-Elsø	614	3,478	4,731	1,3	8.2	2.500	Yes	6	2	8,5
Harre-Roslev	531	0,794	3,227	2,9	8.2	1.500	Yes	7	7	6,5
Thisted-Fjerritslev	427	0,000	4,300	4,3	8.3	4.500	Yes	14	10	5,7
Ulstrup-Rødkærsbro	546	34,164	38,738	4,6	Mixed	4.200	No	8	7	5,2
Thisted-Oddesund	426	29,462	33,566	4,1	8.3	3.900	Yes	10	9	4,3
Vium-Sundsøre	472	4,882	7,135	2,3	11.2	1.600	Yes	4	4	4,2

Table 5. Characteristic of the six identified grey road sections in Viborg County. The sections are ranked after RPI.

The 18 grey road sections correspond to 6 % of the 290 road sections being identified. The average length, however, of the sections identified, is only 3.4 km, which means that only 66 km of the road network in the analysis have been identified. This corresponds to 4 % of the total length of the road network in the analysis.

For both counties it applies that the grey road sections primarily belong to categories 8.2 and 8.3. Half the road sections identified are homogenous, while the rest are either almost homogenous or non-homogenous.

Assessment of the methods

Based on the results from the specific identification of grey road sections in Ringkøbing and Viborg counties, supplementary analyses and results from subsequent accident analyses and road inspections of four selected grey road sections an assessment has been made of the described philosophy for the grey road section work and the method for identification.

The assessment of the identification method developed consists of a total of 10 different part assessments. The results from the most important assessments are summarized in the following. The assessment focuses on reported accidents on the identified grey road sections, comparison with alternative identification methods and assessment based on the results from the analysis and improvement phases of the grey road section work.

Accidents on the grey road sections

For the grey road sections it applies that their accident density on an average is 2.9 times higher than the average level, while the density of fatal accidents and accidents with seriously injured people is 3.5 times higher than average. Thus, road sections with many accidents and especially many serious accidents have successfully been identified. The requirement for getting more focus on road sections with severe accidents is thus achieved.

Even though road sections with many serious accidents in general have been identified, these are single sections, cf. table 4 and table 5 with only few reported accidents and personal injuries. It can therefore be considered to supplement the identification criterion used with a criterion that a certain minimum number of accidents and personal injuries during the identification period has to be reported. The argument for this is that the accident analysis has to be based on a minimum number of accidents to give valid results and to be assured that it is possible to get a reduction in the number and severity of accidents. Finally, it is important for pedagogical reasons.

On the other hand the accident analysis and road inspection in the grey road section work is more systemic than the traditional black spot work. Therefore, it is not to the same extent necessary to have a minimum number of accidents. Secondly, a supplemental criterion will result in a more complex and difficult identification procedure.

Comparison with alternative rankings

For further assessment the identification method developed is compared with 10 alternative rankings. The 10 rankings are the following:

1. **RWACD/AWACD:** Ranking based on the ratio between recorded and average accident cost weighted accident density rather than absolute difference
2. **RWACD:** Ranking based on recorded accident cost weighted accident density without taking the average accident cost weighted accident density into account
3. **ACD:** Ranking based on recorded non-weighted accident density
4. **PIACD:** Ranking based on recorded non-weighted personal injury accident density
5. **SPIACD:** Ranking based on recorded non-weighted serious personal injury accident density
6. **ACF:** Ranking based on recorded non-weighted accident frequency
7. **PIACF:** Ranking based on recorded non-weighted personal injury accident frequency
8. **SPIACF:** Ranking based on recorded non-weighted serious personal injury accident frequency
9. **PIACD-EPIACD:** Ranking based on the absolute difference between expected and recorded personal injury accident density, where expected personal injury accident density is estimated by existing accident models
10. **PIACD/EPIACD:** Ranking based on the ratio between expected and recorded personal injury accident density, where expected personal injury accident density is estimated by existing accident models

Grey roads sections on main roads in rural areas

The comparison serves to purposes. The first purpose is to assess whether the identified grey road sections are also ranked high in the other rankings. This will indicate that the “right” road sections have been identified. The second purpose is to assess whether the identification method developed is “better” than the alternative rankings meaning by way of better identifying road sections where the potential to reduce the number of serious accidents is the greatest.

		RWACD/ AWACD	RWACD	ACD	PIACD	SPIACD	ACF	PIACF	SPIACF	PIACD- EPIACD	PIACD/E PIACD
Repetitions	R	7	11	6	7	10	2	3	5	8	6
	V	3	5	3	2	4	3	2	3	2	2
Ranking of grey road sections (%)	R	16	10	27	27	10	36	36	39	60	50
	V	8	8	16	14	7	31	31	17	22	26
Difference on $\sum$RPI for grey road sections (%)	R	25	1	54	20	9	101	102	51	19	28
	V	22	10	104	67	15	57	79	30	57	64

Table 6. Main results of the comparison between the recommended ranking and 10 alternative rankings. Repetitions specify the number of grey road sections, which also is ranked among the 12 highest ranked road sections in Ringkøbing County and among the six highest ranked road sections in Viborg County. Ranking of grey road sections specify in which percentage the grey road sections are found in the alternative rankings. Difference on $\sum$ RPI specify how much the sum of RPI is higher in percentages for the grey road sections than the highest ranked section in the alternative ranking. R = Ringkøbing County and V = Viborg County.

The main result of the comparison is summarized in table 6. Is focus initially on the first eight alternative rankings it can be concluded that the grey road sections belong to those with the highest ratio between recorded and average accident cost weighted accident density (RWACD/AWACD), highest recorded accident cost weighted accident density (RWACD) and highest serious personal injury accident density (SPIACD). This indicates that it is the “right” road sections that have been identified in the method used. At the same time it can be concluded that the grey road sections are also ranked relatively high when ranking is based on traditional density and frequency of accident (ACD and ACF) and personal injury accident (PIACD and PIACF). With regard to comprehensibility, acceptance and implementation of method this is very important.

In addition the recommended method can be considered as better than the eight alternative rankings because the potential to reduce the number of serious accidents is highest on the grey road sections. The reduction potential index is thus 1-104 % higher on the grey road sections than on the highest ranked road sections in the eight alternative rankings. The rankings based on recorded accident cost weighted accident density (RWACD) and serious personal injury accident density (SPIACD) are, however, almost as good as the recommended method. Despite the fact that these rankings are more simple and easy to make, the method developed will still be recommended because there is a risk of identifying road sections with a low or in worst case negative reduction potential index in the ranking based on RWACD or SPIACD.

In the last two comparisons the identification of grey road sections have been compared with identifications based on the model estimated personal injury accident density. Here the conclusion is that there is a significant difference between the recommended and the model based identification methods. This is important because it, in principle, would not have been necessary to develop a new identification method if it gave the same result as the existing method. Secondly, it can be concluded that the category based method where severity systematically is taken into account is better than the model based method where severity only is taken into account to a very modest extent. It is thus very important that severity is taken into account in the category analysis or in the accident modelling.

About the assessment based on the summarized reduction potential index it is important to note that the reduction potential index by definition always will have the greatest value for the road sections identified by the recommended identification method because the ranking here is based on exactly the reduction potential index.

Analysis and suggestions for improvement work

Among the 18 road sections identified, four road sections have been singled out for further analysis. The road sections are the following:

1. Ulfborg-Lemvig, road 502, stationing 49,011-51,800, Ringkøbing County
2. Ringkøbing-Holstebro, road 418, stationing 6,990-12,48, Ringkøbing County
3. Harre-Roslev, road 531, stationing 0,794-3,227, Viborg County
4. Thisted-Fjerritslev, road 427, stationing 0,000-4,300, Viborg County

In order to test and demonstrate the methods under various conditions, the four analysis sections have been singled out, in such a way that they differ in character regarding length, category, number of accidents and personal injuries, reduction potential index, ranking and proportion of black spots and road sections.

The analysis itself consists of a general accident analysis, which is compared with “normal distribution of accidents”, a rendering and analysis of so called extended collision charts, relevant road and traffic analyses and road inspections. Analysis and road inspection was made in a co-operation with traffic safety employees from Ringkøbing and Viborg Counties. In the PhD-thesis (Sørensen 2006) there is further information on the analysing methods and the result of the analysis of the four road section.

On the four road sections several faults and deficiencies with regard to traffic safety were identified and different solutions to eliminate or minimize the problems are proposed. If the problems identified, however, are examined according to how they are identified the, conclusion is that they mostly are identified in the road inspection and to a minor extent through the accident analysis.

At the same time a similar examination of the solutions proposed shows that a majority of these only are of a preventive and prospective nature because they only relate to problems identified during the road inspection. There are thus only few proposed solutions, which both have a remedial and retrospective nature and a preventive and prospective nature through relating to problems identified in both the accident analysis and in the road inspection. This is summarized in table 7. Here it is shown that among the 54 overall proposed solutions only one quarter relates to the recorded accidents, while the remaining three-quarters have nothing directly to do with the accidents.

An illustrative example of this problem is the analysis of road section 4. Here most of the accidents happened in intersections on the road section, but according to the results from the road inspection the proposed solutions are mainly focused on problems on the road sections between the intersections, while only a few minor errors, deficiencies and inexpediciencies in the intersections are identified.

Analyses road section	1	2	3	4	Total
Remedial and preventive	7	3	1	3	14
Only preventive	9	11	7	13	40

Table 7. The number of solutions proposed on the four road sections analysed which have remedial and preventive nature or only have preventive nature.

Subject to only four road sections being analysed, this shows that it is very difficult to find local and road section based accident factors on the identified grey road sections according to the accident history. The analysis of the road sections is thereby to a greater degree in the nature of a general road examination with special attention on standard improvements rather than restoration of local and road section based accident factors.

Conclusion

During the last 10 years the grey road section work has increased in the Danish road administration authorities' site-specific traffic safety work. However, a common and unambiguous definition

Grey roads sections on main roads in rural areas

of the concept does not exist, an overall philosophy has not been formulated, and common, formalized and operational methods for the identification, analysis and improvement of these road sections have not been established.

In this paper an overall philosophy for the grey road section work has therefore been formulated. At the same time a method for identification of grey road sections on main roads in rural areas have been developed, tested and assessed.

A category and severity based method for identifying grey road sections has been developed. In overall terms, the analyses and assessments made of the identification method point in the direction that the road administration authorities through the identification method developed will have a reliable and practicable method at their disposal for the identification of grey road sections, which is better than the identification options, which the Danish road administration authorities have at the present moment.

However, the actual accident analyses and road inspections show that it based on the recorded accidents is very difficult to identify site-specific local accident and damage factors on the grey road sections. The analysis of the road sections thereby gets the nature of being a general road examination with special attention on standard improvements. In relation to the formulated philosophy for the grey road section work where it is attempted to combine the principle in black spot action and the principle in mass action this is a problem. The problem is that a prime requisite for the formulated philosophy is that there is correlation between the identification, analysis and improvement phases, which in practice is probably not the case.

There is no doubt that general road examination and standard improvements contribute to traffic safety improvements, but since the standard improvements in principle are independent of the accident history the ranking may be done in a better way than the accident based identification method developed, for instance a non accident based method.

The desirability to let the grey road section work be part of the site-specific traffic safety work can thus be questioned because the resources probably can be used in a better way for road examination and standard improvements.

Literature

Sørensen 2006: "Grå strækninger i det åbne land - Udvikling, anvendelse og vurdering af alvorlighedsbaseret metode til udpegning, analyse og udbedring af grå strækninger" (Hazardous road sections in rural areas – development, application and assessment of severity based methods for identification, analysis and improvement of hazardous road sections), Sørensen, Michael, PhD-thesis, Traffic Research Group, Division of Urban Planning, Roads and Traffic, Department of Development and Planning, Aalborg University, August 2006.

Trafikteknik

Agent Based Individual Trafficguidance

Abstract

When working with traffic planning or guidance it is common practice to view the vehicles as a combined mass. From this models are employed to specify the vehicle supply and demand for each region. As the models are complex and the calculations are equally demanding the regions and the detail of the road network is aggregated. As a result the calculations reveal only what the mass of vehicles are doing and not what a single vehicle is doing.

This is the crucial difference to Agent Based Individual Traffic guidance (ABIT). ABIT is based on the fact that information on the destination of each vehicle can be obtained. This information can then be used to provide individual traffic guidance as opposed to the mass information systems of today – dynamic road signs and traffic radio. The goal is to achieve better usage of the road and time.

The main topic of this paper is the current development in both practical and theoretical fields concerning the realization of ABIT.

Jørgen Bundgaard Wanscher, PhD student
jbw@imm.dtu.dk
Informatics and Mathematical Modelling
Technical University of Denmark
August 2006

1 Overview

The objective of this document is to present an overview of highly advanced traffic guidance today and especially what remains until Agent Based Individual Traffic guidance (ABIT) is possible. The essentials of ABIT is briefly covered. Following this the most essential theoretical research is covered. This is supplemented by a section on the practical evolution of the hardware required for ABIT. A concluding section will briefly give my expectations on the future of Pervasive Traffic Intelligence (PTI) in general and ABIT specifically.

2 Agent Based Individual Traffic guidance

The applications of models to traffic modeling and planning have lead to efficient, necessary and qualified decisions. These same models have repeatedly proven the most basic rule of mass car transport today. In 1952 Wardrop [Wardrop, 1952] enunciated Wardrop's first principle: *"Under equilibrium conditions traffic arranges itself in a congested network in such a way that no individual trip maker can reduce his path cost by switching routes."* In traffic this is considered to be the Nash equilibrium. In other words, the perceived utility or cost of each route is the same under congestion. It is important to note that this does not mean that all routes take the same time, only that all routes are perceived equal *to the drivers*. Personal preferences may make one driver choose a more beautiful but longer route while another driver chooses a less time consuming route.

Wardrop's second principle is also interesting: *"Under social equilibrium conditions traffic should be arranged in congested networks in such a way that the average (or total) travel cost is minimized."* As [Ortúzar and Willumsen, 2001] illustrates by a simple example the social equilibrium can be 0.5% better in the total travel time than the Nash equilibrium.

In the article [Roughgarden and Tardos, 2002] on selfish routing the authors find that the Nash equilibrium can be far from the social equilibrium. In fact for complicated speed/flow relationships the ratio between the two equilibria is theoretically unbounded.

A most interesting statement also proposed in the article is: *... to match the performance of a centrally controlled network with selfish routing, simply double the capacity of every edge.*

In most cases the drivers choose a route based on the time it takes to traverse it. This is also what most in-car navigation systems and route planning services do. In regular (non-congested) traffic nearly all cars follow the same route from origin to destination. As the traffic flow increases, the speed of a section decreases thus making the preferred route slower. Other routes become attractive and the traffic is diffused into the infrastructure. In this way autonomous vehicle traffic exhibits a form of self balanced sifting.

As exemplified in the previous paper [Wanscher, 2004] on ABIT only redirection of a minor fraction of the vehicles is necessary to obtain the Nash equilibrium.

For most networks there is as mentioned above a better social equilibrium, but this cannot be obtained by the action of any individual driver. To achieve the social equilibrium some cars must choose a worse route in order to make other cars get a sufficiently better route. The situation can be described as a solution space with a local minimum (the Nash equilibrium) and a global minimum (the social equilibrium) which do not coincide. The problem is that the solution method, selfish routing, is incapable of sustaining the global minimum even if the flow distribution should occur. This is one of the mayor benefits of introducing road pricing ([Yang and Huang, 2004]), as the pricing might be calibrated to ensure that the social equilibrium is sustainable.

Returning to the models and the forecasts, today no country or major city can expect to see a decrease in the number of car-based commuters unless drastic countermeasures are applied. This means that the length and intensity of congestion will become increasingly troublesome.

Congestion in it self is self balancing as described above. The problem is that it only balances properly under normal or expected conditions. If the state and usability of the infrastructure

diverges from general perception then the self balanced sifting can in worst case be replaced by a very severe jam or even complete traffic grid lock. At this point the driver becomes the most important part in the relative success in the progression of the traffic.

2.1 The Driver

As described earlier the mass of drivers tend to distribute themselves according to the Nash equilibrium. This happens primarily because each driver can be seen as an autonomous entity. At some point the driver will try another route and if perceived to be better then it will become the new preferred route. The term “preferred route” is used to reflect what is often encountered in traffic modeling: conservative drivers. Drivers stick to a specific route and if content with it they will seldom try other routes. This means that if the infrastructure changes then it will take some time before the equilibrium is reestablished. Trying a new route may be caused by several reasons, eg. curiosity, impatience, or advice. The driver may try something new for a change, become unsatisfied with the current route (to slow, long, boring, etc.), or the driver might have heard of a better route.

Above, this conservative attitude is presented almost as having a negative impact on the traffic, but this is not entirely so. If drivers are not conservative, the equilibrium would not become steady as too much of the flow would change path every day.

The behavior of drivers is important to mention. Although conservative attitude is good for the equilibrium, inconsiderate self righteousness is very bad for general flow. The steady state is still obtained by being conservative. The problem is that the often inconsiderate behavior might make the aggressor get a little bit (under congestion a very little bit) faster ahead, but at the expense of everybody else. The result is that the capacity of a given intersection is impeded by selfish or inconsiderate behavior.

The conservative attitude has besides the equilibrium conservation at least one other important impact. Recent research [Abdulhai and Look, 2003] shows that proposing new routes must be done with great care as it is shown to have impact on general safety. Traversing new routes mean that people do not know the local traffic conditions. Furthermore routes bypassing congestion are more complex¹.

2.2 The Communication

When driving to a predetermined destination we usually have a route or a very small subset of routes in mind; a preferred set of paths to the destination.

As mentioned above this subset of routes tends to be static. When altered, it is usually because we think or know that another route is better. The question is how can it be known if some route is better than another.

This can be done either by guessing, by becoming sufficiently unsatisfied with the current route or be told. Not so many years ago the latter was only performed primarily by the speaker on the traffic radio. This reaches many drivers, but it requires that the driver listen to the radio and it is the right station or the driver has a car radio that can switch to traffic announcements automatically.

Recent advancements in communication and surveillance have made it possible to add new and entirely different forms of communication to the “telling”. Some of these are dynamic message signs (DMS)² and real time status messages available over fax, short message service (SMS) or World Wide Web. See [MTO, 1999] or [DRD, 2004] for examples of the latter.

All of this information has increased safety as well as the utilization of the infrastructure.

¹In the article the authors explicitly point out that the number of turning movements in non-preferred intersections is essential to the number of accidents under high load.

²Dynamic message signs are also called variable or changeable messages signs.

3 The Future for Road Based Traffic

Over the recent years the amount of vehicles concurrently in transit has increased at an alarming rate. In Copenhagen, a capital with public transportation, a report [HUR, 2004] from The Greater Copenhagen Authority has shown that the average traveling speed on the highways during morning rush hour has dropped 15% to 37km/h in one year. As the critical mass of vehicles are approached on the highways so is the traffic in the center of the city. Traffic jams and grid locks are there to stay.

If we focus on the increasing vehicle traffic and leaving out alternatives two options are possible. Either increase the capacity of roads, which is immensely expensive, or change the usage of roads, which is equally complicated.

The latter is already attempted through the previously described communication media and through the use of dynamic intersectional control. The problem is that in most cases the individual driver has to decide solely by himself what to do in different traffic situations.

The idea of ABIT is to address this issue. Instead of forcing every driver to make his own choice unaided the system can propose a set of alternate routes. These propositions can be based on far more information than can be communicated to the driver and thus work as decision support for route choice.

I have previously described how equilibrium was established between possible routes under normal conditions. Intelligent vehicle-wide routing will decrease the time to reach the equilibrium, thus reducing the overall transport cost.

The problem addressed in my PhD study is *what if it is not under "normal conditions"*. In theoretical terms, this means the system is disrupted or suffering from a disruption.

The previous submission to Aalborg Trafikdage [Wanscher, 2004] contains a thorough description of disruptions and how ABIT is intended to function.

The remainder of this paper will concentrate on the requirements for ABIT:

- a theoretical base appropriate for understanding, solving and forecasting the mathematical representation of routing vehicles
- software and hardware to support the theoretical methodology
- In-vehicle information systems with communication and visualization capabilities
- Information gathering hardware and software for obtaining and processing real time information from the infrastructure

4 Theoretical Requirements

To address a real world problem scientifically usually requires a model. The model then requires a solution method which is equally important. Having a perfect model with absolutely no chance of solving it is just as bad as having a very poor model which is instantly solvable. The key issue is that the model is adequately aggregated to allow both proper representation of reality and efficient solution.

The most basic approach to a model for traffic networks was the Traffic Assignment Problem (TAP). The TAP is from a modeling perspective fairly simple. The crucial difficulty in solving an instance is the selection of a cost function.

A cost function is a function that yields the cost of traversing a link. The cost function can include both time and space to yield a very complicated, but hopefully more representative, function. It is important that we consider how representative a given cost function is and not how precise. If the function is representative of reality the resulting flows will also represent valid, feasible and optimal solutions dependent on the model. However the solution value will only be transferable if the precision is high. Evidently a more complicated cost function is

more representative and precise. The difficulty however is that even rather simplistic cost functions require complicated solution methods. Examples of older cost functions can be found in [Ortúzar and Willumsen, 2001] and an example of a newer and significantly more complicated one can be found in [Meschini et al.,].

In the TAP the traditional cost function is both separable and time insensitive. The separability means that the cost of traversing any link is independent of the cost on any other link. The time insensitivity means that the cost of traversing a link is independent of at which point in the considered interval that the link is entered.

These two presumptions seems unrealistic given that rush hour is an excellent example of a situation where entering a link 5 minutes later may result in another 5 minutes of traveling time. The inseparability is easily argued as non representative. The first and most common example is the regular behavior when attempting a yielding turn. That is a turn where the driver has to yield for traffic on other sections. This indicates that the cost of traversing the link that the driver is turning from is dependent on the flow on all the right-of-way links in the given situation. Thus in reality the cost function appears inseparable.

However it still seems that these cost functions are widely used. The evolution from the 1950'ies is that with the increased gathered information from the infrastructure the statisticians are able to calibrate the functions to achieve high precision or representivity in specific cases.

The reason for still using this approach is that the computational requirements are insignificant compared to time sensitive cost functions.

Adding time sensitivity leads to the Dynamic Traffic Assignment (DTA). The DTA is actually still using the same cost function, but the surrounding model is expanded to include time as a constructing part of the model. However, the impact is devastating as increasing the time precision affects the number of variables exponentially and cumbersome algorithms must be used to yield usable results.

Dealing with the inseparability however has been a far greater challenge. Even though mathematicians proved the quasi newton search method many years ago only recent papers are applying it.

The delay from mathematical progress until its application in traffic science is up to 20 years. This is far too long to simply have been unnoticed. My assumption is that even though the theories were developed the actual hardware and software for realizing the theory on large and complicated networks was unavailable.

Through the later years computing power and communication possibilities have increased dramatically. This along with general increase in the implementation skills among researches has resulted in new and interesting approaches to precise and representative traffic modeling.

Examples of different models like Complementarity Problems found in [Isac, 1992], Variational Inequality Problems in [Friesz et al., 1989] or [Patriksson, 2004], hydrodynamic modelling in [Lighthill and Whitham, 1955] or Mathematical Programming in [Meschini et al.,], [Pang et al., 1999], [Ran and Boyce, 1996], [Ran et al., 2002b] and [Psaraftis, 1995] show that a wide variety of approaches are being used. [Peeta and Ziliaskopoulos, 2001] provide a more detailed overview of state of the art within DTA.

The most recent and promising research is [Bierlaire and Crittin, 2006], which applies efficient mathematics to get a solution to inseparable time sensitive traffic models. They also cover the newer variant within DTA, the Consistent Anticipatory Route Guidance.

Solving a single instance is however not sufficient to actually support ABIT. It will be sufficient for the immediate dispersion, which only concern a limited area for a short duration, but two questions remain.

Every model constructed considers a specific period of a daily or weekly cycle. As ABIT is pervasive and continuous a definition of the beginning and the end is not directly obtainable. This however is readily addressed by statisticians. Statistical modeling may be used to find critical periods within which a traffic model cannot “end”. Extending the period considered

beyond this interval will thus allow us to use the regular Traffic Assignment models at an increased time interval. As mentioned above time can have a devastating impact on the solution time. However for immediate dispersion the networks considered are small and the effect is limited.

The research in [Ran et al., 2002a] is also interesting as they consider the issue of non-completed trips.

On the other hand individual alleviation requires consideration of large networks and forecasting. Forecasting is complicated, but as the information is gathered intrinsically in ABIT model construction and calibration will be improved.

Another troublesome issue in individual alleviation is the size of the considered network. However as forecasting introduces some uncertainty actually knowing a section by section path far away is irrelevant. The key issue is an estimate on the time passing through different areas. An overall route is thus planned and as the driver travels along the path all the exact path is known for the local area. The rest of the network is reduced to a number of aggregated junctions that will reduce the number of links and consequently allow us again to use the presently developed models and solvers.

5 Computing Strength

The computing strength has greatly increased over the recent decades. Almost every resource available to the programmer has been increased. At present the computing power is sufficient for solving immediate dispersion and possibly coarse arealizations in individual alleviation. However as the computing power will continue to increase both the immediate dispersion and the individual alleviation will become more representative.

Considering grid computing is possible, but given the obviously very short response times it seems that dedicated computing is preferable. Grid computing may still be applied to pre-calculate the effect of the most likely disruptions and thus reduce the load on the dedicated servers in those cases.

The increase in both wire-based and wireless communication bandwidth will allow for both distributed and parallel approaches.

6 Vehicle Information Systems

The field of vehicle information systems has evolved significantly over the recent years. From the first high tech version simply telling where you are to the more sophisticated versions today that can propose alternate routes and also illustrate intersection layout.

Most of these information systems however are utilizing only static information of the network. This is as described above insufficient in most larger cities where disruptions occur on a daily basis. Whether the availability of car navigation results in greater frustration when it gives wrong advice is beyond this text. Lately Traffic Message Channel (TMC) as described in [Forum, 2004] is an attempt to alleviate exactly this by automating the distribution of information concerning disruptions.

The existence and increasing usage of TMC enabled devices shows that the technology to distribute information is already deployed and functional. However the delay from detection to broadcast in TMC is significant and coarse compared to the real time possibilities in ABIT.

The newer handheld navigation devices are also promising as they provide not only increased computing power, but also two way communication from the handheld to the Internet by either Global Packet Radio Service (GPRS) or Wireless Local Area Network (WLAN). These technologies however are either costly or not yet deployed sufficiently to actually support ABIT. With the programming tools today it will be possible to make a system that seamlessly can change between any available wireless communication.

Advanced compression is standard in almost any operating system and algorithms for minimizing the amount of transmitted information is available. Along with multicasting this may lead to both efficient and reliable communication.

Freescale's MobileGT Total5200 hardware unit [Freescale, 2004] for vehicles is an example of the level of possible integration.

7 Information gathering and processing

The information is one of the most crucial parts of ABIT. Poor information results in poor representation in the model and thus inadequate flow distributions. This in turn will result in distrust in ABIT. At present ABIT does not include any sanctioning possibilities and distrust will therefore result in ignorance, in which case the system is ineffective.

Gathering the information is readily done manually by video surveillance or semi automatically by sensors imbedded in the road surface. Advanced statistics are applied to this data to increase the usability of the obtained information.

Every single unit in ABIT is capable of obtaining and sending real time information. The coverage and detail of infrastructure status will greatly increase as the number of ABIT enabled vehicles increases. Gathering the informations is thus intrinsically solved by ABIT. The question here is how to handle the possibly devastating mass of information intelligently. However, this is already considered in the hierarchal construction of the solver. Only the local information is detailed. Information on more distant area is aggregated and the information handled at any single area is thus primarily the local information, which naturally is relatively limited. [Roughgarden and Tardos, 2002] calculates the impact of imprecise or out-of-date data in the decision process. The conclusion of their research in relation to ABIT is that slightly out-of-date information is sufficient. However great care must be taken as [Arnott et al., 1991] concludes faulty information leads to exacerbation of congestion in some areas.

8 Conclusion

Since the beginning of the ABIT project three years ago the number of relevant publications has increased dramatically. Movement in the industry as well as the increased rush hour impact for every mayor city indicates that ABIT-like systems are not far from here.

In practice the question of the necessary fraction of ABIT-enabled vehicles is crucial. Is it sufficient to have 10% of the vehicles ABIT-enabled to make a difference or is the critical fraction even higher?

This point is crucial in the future development of real PTI. Having 10 different systems run by different operators requires significantly more enabled vehicles. Hopefully governmental authorities will realize the necessity of highly advanced and cooperating PTI and enforce a common standard as inaugurated with TMC.

Given the lack of enforceable incentive (such as the London congestion charge) for the individual driver, I expect that ABIT or any PTI will only be capable of reestablishing the Nash equilibrium and not obtaining the social equilibrium. ABIT is inherently depending on the autonomous driver and can therefore only try to make a difference.

ABIT Agent Based Individual Traffic guidance

CARG Consistent Anticipatory Route Guidance

CP Complementarity Problems

DTA Dynamic Traffic Assignment

GPRS Global Packet Radio Service

MP Mathematical Programming

PTI Pervasive Traffic Intelligence

TAP Traffic Assignment Problem

TMC Traffic Message Channel

VIP Variational Inequality Problems

WLAN Wireless Local Area Network

References

- [Abdulhai and Look, 2003] Abdulhai, B. and Look, H. (2003). Impact of dynamic and safety-conscious route guidance on accident risk. *Journal of Transportation Engineering*, 129(4):369–376.
- [Arnott et al., 1991] Arnott, R., De Palma, A., and Lindsey, R. (1991). Does providing information to drivers reduce traffic congestion? *Transportation Research, Part A (General)*, 25A(5):309–318.
- [Bierlaire and Crittin, 2006] Bierlaire, M. and Crittin, F. (2006). Solving noisy, large-scale fixed-point problems and systems of nonlinear equations. *Transportation Science*, 40(1):44–63.
- [DRD, 2004] DRD (2004). Trim – traffic map [in danish]. Online by Danish Road Directorate. direct link <http://www.trafikken.dk/wimpdoc.asp?page=document&objno=77436>.
- [Forum, 2004] Forum, T. (2004). Tmcforum.com. Online by TMC Forum. direct link <http://www.tmcforum.com/>.
- [Freescale, 2004] Freescale (2004). Freescale mobilegt total5200 product brief. Freescale. direct link http://http://www.freescale.com/files/microcontrollers/doc/prod_brief/MOBILEGT5200PB.pdf.
- [Friesz et al., 1989] Friesz, T. L., Luque, J., Tobin, R. L., and Wie, B.-W. (1989). Dynamic network traffic assignment considered as a continuous time optimal control problem. *Operations Research*, 37(6):893–901.
- [HUR, 2004] HUR (2004). Regional traffic rapport [in danish]. Technical report, The Greater Copenhagen Authority, www.hur.dk. direct link <http://www.ht.dk/86353150-DBE4-450A-BEE4-502096DBB099>.
- [Isac, 1992] Isac, G. (1992). *Lecture notes in Mathematics: Complementarity Problems*. Springer-Verlag.
- [Lighthill and Whitham, 1955] Lighthill, M. J. and Whitham, G. B. (1955). On kinematic waves. ii. a theory of traffic flow on long crowded roads. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 229(1178):317–345.
- [Meschini et al.,] Meschini, L., Bellei, G., Gentile, G., and Papola, N. Technical report, Dipartimento di Idraulica Trasporti e Strade, University of Rome.
- [MTO, 1999] MTO (1999). Traffic and road information system (tris). Online by Ontario Ministry of Transportation. direct link <http://www.mto.gov.on.ca/english/traveller/compass/systems/tris.htm>.
- [Ortúzar and Willumsen, 2001] Ortúzar, J. D. D. and Willumsen, L. G. (2001). *Modelling Transport*. John Wiley & Sons Inc., 3rd edition.
- [Pang et al., 1999] Pang, G., Takabashi, K., Yokota, T., and Takenaga, H. (1999). Adaptive route selection for dynamic route guidance system based on fuzzy-neural approaches. *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, 48(6):2028–2041.
- [Patriksson, 2004] Patriksson, M. (2004). Sensitivity analysis of traffic equilibria. *Transportation Science*, 38(3):258–281.
- [Peeta and Ziliaskopoulos, 2001] Peeta, S. and Ziliaskopoulos, A. K. (2001). Foundations of dynamic traffic assignment: The past, the present and the future. *Networks and Spatial Economics*, 1(4):233–265.
- [Psaraftis, 1995] Psaraftis, H. (1995). Dynamic vehicle routing: status and prospects. *Annals of Operations Research*, 61:143–164.
- [Ran and Boyce, 1996] Ran, B. and Boyce, D. (1996). *Modeling dynamic transportation networks*. Springer, Heidelberg, Germany.
- [Ran et al., 2002a] Ran, B., Lee, D.-H., and Shin, M. S.-I. (2002a). Dynamic traffic assignment with rolling horizon implementation. *Journal of Transportation Engineering*, 128(4):314–322.
- [Ran et al., 2002b] Ran, B., Lee, D.-H., and Shin, M. S.-I. (2002b). New algorithm for a multiclass dynamic traffic assignment model. *Journal of Transportation Engineering*, 128(4):323–335.

- [Roughgarden and Tardos, 2002] Roughgarden, T. and Tardos, E. (2002). Operations research - how bad is selfish routing? *Journal of the ACM - Association for Computing Machinery*, 49(2):236–259.
- [Wanscher, 2004] Wanscher, J. B. (2004). Agent based individual traffic guidance. In *Trafikdage 2004* (<http://www.trafikdage.dk/>).
- [Wardrop, 1952] Wardrop, J. (1952). Some theoretical aspects of road traffic research. *Institution of Civil Engineers – Proceedings*, 1:325–362.
- [Yang and Huang, 2004] Yang, H. and Huang, H.-J. (2004). The multi-class, multi-criteria traffic network equilibrium and systems optimum problem. *Transportation Research, Part B (Methodological)*, 38B(1):1–15.

Køretøjsteknologi

Seniorforsker Kaj Jørgensen
Forskningscenter Risø, Afdeling for Systemanalyse

Perspektiver for biomasse i transportsektoren i Danmark

Baggrund og problemstilling

Dette papir behandler biomassens muligheder og begrænsninger i energi- og transportsektoren i Danmark og dernæst at sammenligne og konsekvensvurdere forskellige anvendelsesmuligheder (forskellige brændstoffer og forskellige teknologier) for udnyttelse af biomasse i transportsektoren. Det er i første række baseret på systemanalysearbejde i det forskningsråds-finansierede projekt, "Towards a hydrogen society" (med DTU som projektleder), der er ved at blive afsluttet. En af hovedopgaverne i dette arbejde er at vurdere ressourcgrundlaget for brintenergi med speciel vægt på de ressourcer der vurderes at indeholde flaskehalse og prioriteringsproblemer.

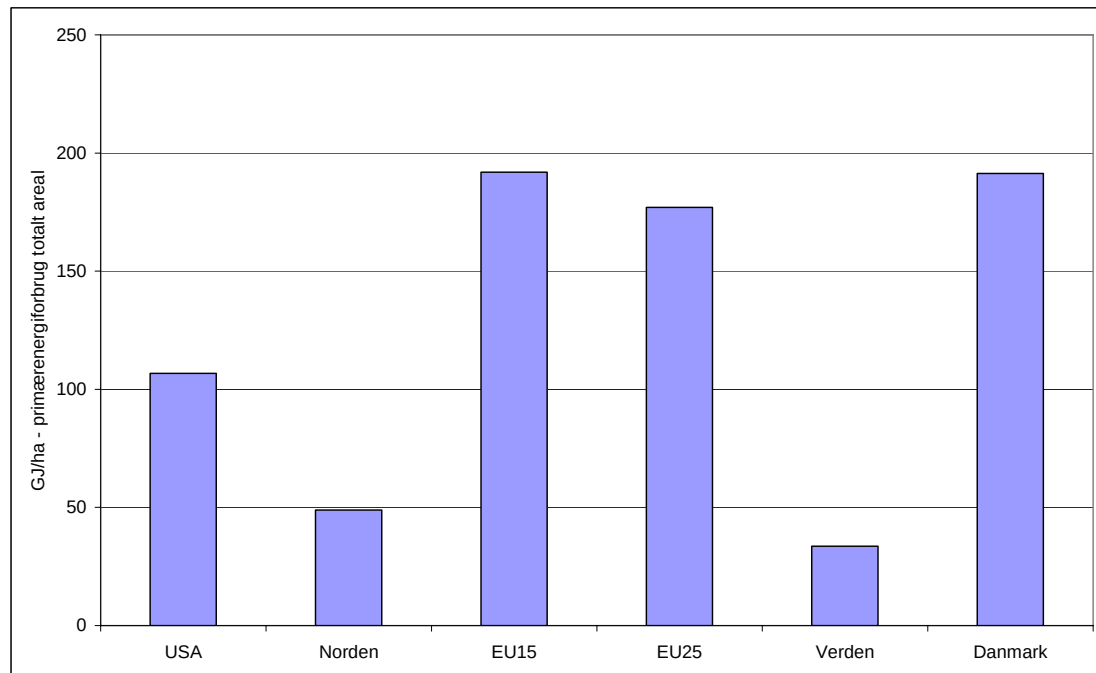
Biomassen indtager en nøglerolle i forbindelse med transportsektorens omlægning til drivmidler baseret på vedvarende energi. På den ene side kan den bruges på mange forskellige måder, idet den fx kan konverteres til gasformige og flydende biobrændstoffer, til brint og til el, der alle kan bruges som drivmiddel i transportmidler. På den anden side har biomasseressourcerne begrænsninger i langt højere grad end det er tilfældet for de fleste andre vedvarende energikilder.

Denne begrænsning har praktisk betydning, selv når der ses på de teoretiske biomassepotentiale, og hænger sammen med at kun en meget lille del af solens energi omdannes til biomasse ved fotosyntesen (typisk 1 % eller mindre). Hvis man laver det hypotetiske regnestykke at hele Danmarks areal afsættes til biomasseproduktion med typiske udbytter for danske forhold får man en biomasseproduktion i samme størrelsesorden som det samlede danske bruttoenergiforbrug, nemlig ca. 800-900 PJ/år. Dette har der være konsensus om i opgørelser over en lang årrække (Energistyrelsen 1990, Energistyrelsen 1996, Jørgensen 1998). Det er værd at være opmærksom på at dette overslag er i bruttotermer og ikke forholder sig til problemstillingen om hvor effektivt fremstillingen af drivmidler er. Men man har allerede på dette niveau den relative knaphed af biomassen inde på livet.

I praksis er dette tankeeksperiment naturligvis ikke tilnærmelsesvist realiserbart, da der både er arealer hvor man ikke kan dyrke biomasse og mange tilfælde hvor man ikke vil eller kan fjerne den fra kredsløbet, ligesom en stor del bruges til andre formål, herunder til energi. Men det illustrerer vigtigheden af at man ikke blot blindt fremmer biomasse-baserede drivmidler, men dels er omhyggelig med en samler prioritering af forskellige anvendelsesmuligheder der også medtager et bredere spektrum af muligheder.

Da biomasseproduktionen hænger sammen med landenes areal, kan man få en første grove indikator af biomassens muligheder i et geografisk område ved et nøgletal der sætter områdets bruttoenergiforbrug i forhold til dets areal. Figur 1 viser dette nøgletal for Danmark og udvalgte landområder. For Danmark er dette tal lidt under 200 GJ/ha, hvilket er i samme størrelsesorden som det bruttoudbytte af biomasse der typisk kan forventes. Det ses af figuren at EU ligner Danmark meget med hensyn til dette nøgletal, mens USA og - især - Norden og verden som helhed står væsentlig bedre. Hvis man baserer nøgletallene på landbrugsareal i stedet for

totalt landareal - hvilket giver et andet om end ikke nødvendigvis udtømmende billede af hvilke arealer der reelt er til rådighed - fås en helt anderledes indbyrdes placering. Denne ændring betyder relativt lidt i Danmark, hvor landbruget lægger beslag på 2/3 af arealet, mens det tegner sig for mindre (40-50%) for de andre områder, og meget lidt (ca. 10%) for Norden som helhed. Overordnet kan man sige at med typiske biomasseudbytter på 100-200 GJ/ha over større områder er biomassens begrænsninger ikke neglige, heller ikke for verden som helhed og uanset om man baserer overvejelserne på landbrugsarealer eller samlede landarealer.



Figur 1. Nøgletal der viser årligt energiforbrug sat i forhold til landareal for udvalgte lande og landområder (GJ/ha).

Fremgangsmåde

Biomasse dannes gennem planternes omdannelse af sollys til kemisk energi der lagres i planterne som organiske materialer. Sammen med de naturlige henfaldsprocesser indgår biomassen som foder, føde, råvarer, brændsel mv. i samfundsmæssige processer og indgår derfor som bestanddel af forskellige affalds- og overskudsprodukter, fx husholdningsaffald, industriaffald, husdyrgødning mv.

Biomassekredsløbet kan i stærkt simplificeret form beskrives således:

- Udgangspunktet er den årlige biomasseproduktion på det givne areal, bestemt gennem arealanvendelsen samt de forskellige arealtypers gennemsnitlige udbyttetal. Biomasseproduktionen - korrigeret for eventuel eksport/import og for eventuelle lagerændringer - angiver principielt rammen for biomassepotentialerne
- Biomassen indgår på en række måder i samfundsmæssige processer som føde, foder, råvarer for industri, energiråvarer mv. - og i forbindelse hermed som grundlag for op-

retholdelse af husdyrholdet. Landbrugets animalske produkter - kød, mælk, æg etc. - er i sidste instans baseret på biomasse.

- c) Affalds- og restprodukter, herunder varme og affald fra de animalske produkter. Det er vigtigt at være opmærksom på at udnyttelse af affalds- og overskudsprodukter, herunder fx husdyrgødning og affald fra produkter der indirekte er baseret på biomasse (bl.a. kødaffald) ikke er noget der kommer ved siden af biomasseproduktionen under pkt. a), men derimod forudsætning for at potentialet udnyttes effektivt. Det er den forbindelse værd at notere sig at der siden 70'erne har været regnet med udnyttelse af husdyrgødning, overskudshalm, træaffald mv.
- d) Det naturlige biologiske henfald, der også udfører vigtige roller i naturen og som grundlag for landbruget.

I praksis er billedet langt mere komplekst med underkredsløb og tilbagekoblinger, hvor det er svært at tegne et enkelt billede af kredsløbet. Problemstillingen kan heller ikke reduceres til et spørgsmål om at udnytte biomassen mest muligt, idet der er andre hensyn, ikke mindst til landskabelige værdier og til naturens komplicerede processer.

Der er mange variable i dette kredsløb og dermed også mange muligheder for at forøge det bidrag biomassen kan bidrage med. For det første kan selve biomasseproduktionen forøges gennem ændret arealanvendelse, gennem ændrede valg af planter og ændring af dyrkningsmæssige forhold. Dernæst kan man forbedre udnyttelsen af biomassen, gennem minimering af spild, og ved at udnytte spild.

Men der er også mange faktorer der trækker i den modsatte retning, i form af ulemper, omkostninger, grænser mv. En del af ressourcerne lader sig reelt ikke udnytte rent praktisk, eller kun under meget idealiserede forudsætninger, der ofte hænger sammen store indgreb i omgivelserne. Derfor er de tekniske potentialer der tager hensyn til disse begrænsninger mindre end de teoretiske potentialer. Der er ofte en afvejning mellem ressourcemæssige hensyn - at maksimere biomassepotentialet - på den ene side og miljømæssige hensyn på den anden, idet mange af midlerne til dette (ikke mindst gødning) øger energiforbrug og skadelige emissioner.. Andre miljømæssige hensyn der kan give problemer i denne sammenhæng er biologisk mangfoldighed.

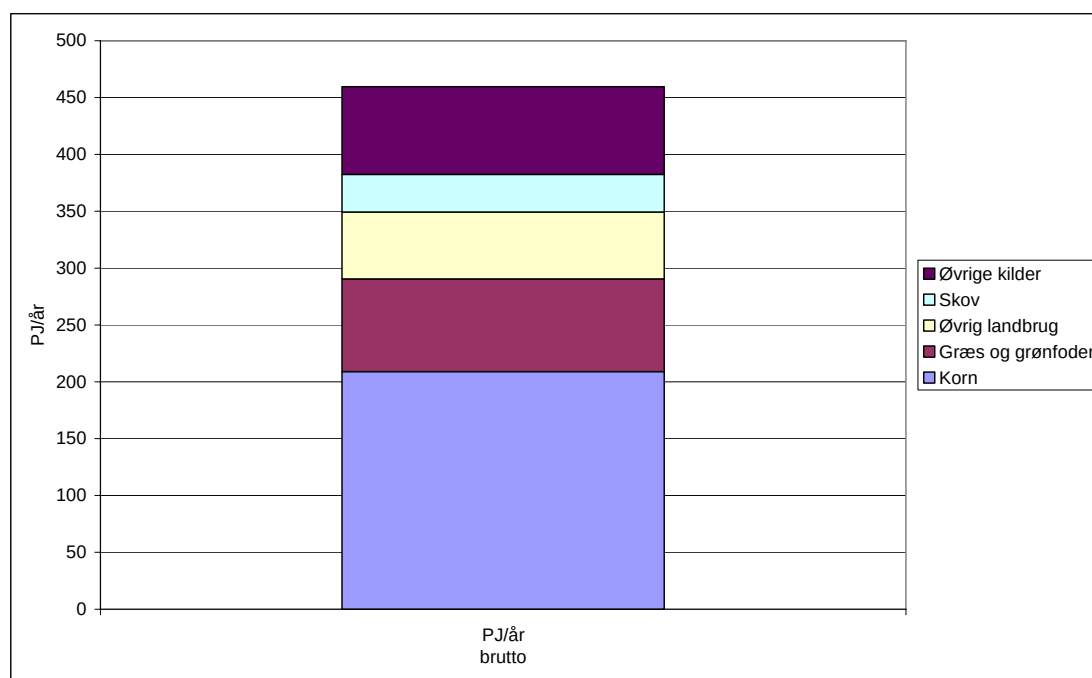
Biomasseproduktion i Danmark

Der er lavet et estimat over biomasseproduktionen i Danmark i 2003, baseret på den faktiske arealanvendelse af arealet på land samt gennemsnitlige udbytter. Det er antaget der dyrkes efterafgrøder¹ på 750.000 ha (primært arealer med vårbyg og kartofler). Dette estimat giver en ramme for de årlige biomassepotentialer der er til rådighed, men i praksis er det kun en del heraf der reelt er til rådighed for energianvendelser. Som figur 2 viser, er denne beregnede produktion noget mindre end det danske bruttoenergiforbrug. Produktionen kan forøges gennem valg af planter med højere udbytte, og eksempelvis gennem brug af efterafgrøder, dvs. ekstra-afgrøder på visse af arealerne².

Sat i forhold til Danmarks samlede areal svarer biomasse-estimatet til et gennemsnitligt specifikt udbytte på ca. 100 GJ/ha.

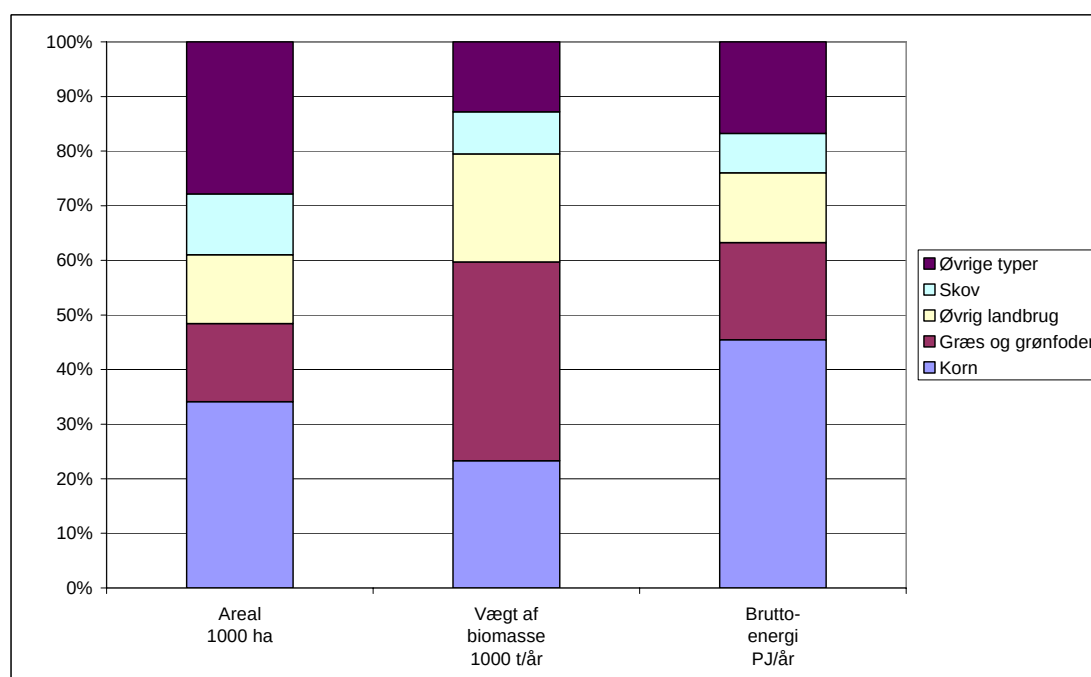
¹ Dvs. ekstra afgrøder inden for det givne dyrkningsmønster

² I dette estimat er det antaget at de ca. 10% af arealet der udgør kunstige overflader ikke bidrager til biomasseproduktionen.



Figur 2. Overslag over årlig biomasseproduktion på dansk landareal i 2003.

Der er store variationer i udbyttet for de forskellige delbidrag. Figur 3 viser den procentvisse fordeling af biomasseproduktionen på forskellige hovedkategorier, fordelt henholdsvis efter areal, biomassevægt og energiindhold. Det ses at landbruget står for godt 60 % på basis af areal, men ca. $\frac{1}{4}$ efter energiindhold. Skove tegnede sig for ca. 5 % efter både areal og energiindhold.

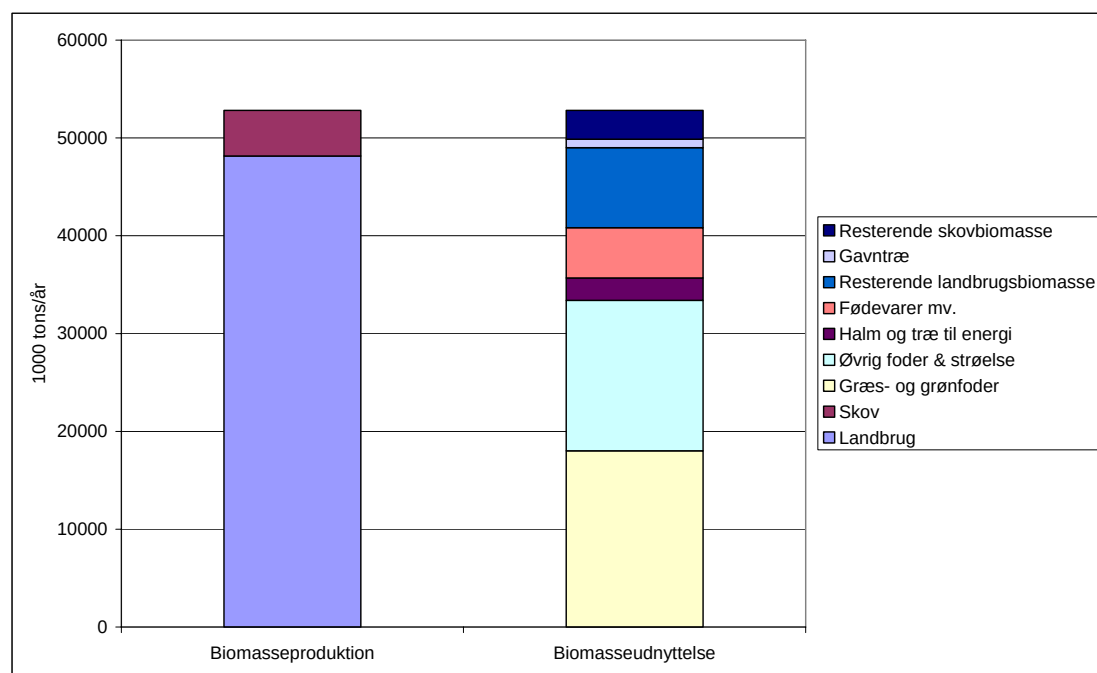


Figur 3. Fordeling af den beregnede biomasseproduktion i 2003 på basis af areal, vægt og energiindhold

Dyrkning af braklagte arealer er en ændring af dyrkningsmønsteret inden for det areal der er med i overslaget i figur 2. Formålet kan være at hæve det specifikke udbytte, men også at få afgrøder der er mere egnet til energianvendelserne.

Biomassekredsløb i Danmark

Figur 4 viser et overslag over fordelingen af biomasseproduktionen fra landbrug og skove i 2003 (mere end 85 % af den totale biomasseproduktion) på forskellige udnyttelser, opgjort på basis af vægt. Knapt 2/3 af denne biomasse anvendes til foder og ca. halvdelen heraf i form af græs- og grønfoder. Knapt 5 % anvendes i dag til energiformål i form af henholdsvis halm og træ. Biomasse der bruges til fødevarer tegner sig for ca. 10 % af denne biomasseproduktion, men heri indgår ikke landbrugets animalske produktion, der stort set kun drejer sig om fødevarerproduktion. Derfor kan hovedparten af foderforbruget ses som indirekte fødevarerproduktion. Anvendelsen til gavntræ - 2 % - er af marginal betydning. De to restgrupper inden for henholdsvis landbrug og skov dækker over dels små grupper af typer af anvendelser der ikke er opgjort, dels, og især, biomasse der ikke anvendes (fjernes), herunder spild. Disse to grupper tegner sig for ca. 30 % af den samlede biomasseproduktion i landbrug og skov - eller, omregnet til bruttoenergiindhold til ca. 80 PJ/år, fordelt med ca. 2/3 til resterende landbrugsprodukter og 1/3 til skov.



Figur 4. Skov og landbrugs biomasseproduktion i 2003 og skønnet fordeling på udnyttelser

En stor del biomassen anvendes som det fremgår til foder, hvilket betyder at der i forlængelse heraf bliver et potentiale for biomasseressourcer i form af husdyrgødning. Det gælder dog ikke den del af foderet der indtages ved afgræsning, hvilket er tilfældet for ca. 1/3 (20 % af det samlede). Resten af foderet, med et bruttoenergiindhold på ca. 90 PJ/år i dette overslag, bruges til foder under forhold hvor husdyrgødningen i princippet kan udnyttes til energifor-

mål. Gødningens energiindhold udgør typisk 20-25 % af foderets, dvs. i dette overslag omkring 20 PJ/år. Dertil kommer organisk affald baseret på kødaffald mv.

Ovennævnte er et teknisk potentiale hvor der hverken er taget miljømæssige eller økonomiske hensyn i fastlæggelsen af grænserne. Det Europæiske Miljøagentur, EEA, har lavet en vurdering af hvor store biomasseressourcer der kan udnyttes på en miljømæssigt forsvarlig måde (EEA 2006). Den dækker alle 25 EU-lande, herunder Danmark, og anslår et miljømæssigt forsvarligt potentiale på 120 PJ/år. I forbindelse med den nationale danske energiplanlægning har Energistyrelsen ved flere lejligheder lavet vurderinger af det danske biomassepotentiale. Som en del af baggrundsmaterialet til Energi 21 blev lavet en mere grundlæggende analyse af potentialerne under hensyntagen til de miljømæssige forhold (Energistyrelsen 1996), der siden blev opdateret i 1999 og for dele af opgørelsen i 2001 (Gylling et al 2001). I Energi 21 blev det aktuelle potentiale på daværende tidspunkt (1996) opgjort til 123 PJ/år (18 % af Danmarks energiforbrug), og det blev brugt som grundlag som scenarier for den fremtidige biomasseudvikling.

Der er på det overordnede plan god overensstemmelse mellem de biomassepotentialer der er til rådighed for energiformål ifølge disse ressourcevurderinger og de der kan udledes af estimatet for 2003 i "Towards a hydrogen-based society". I den danske energipolitik er disse potentialer nu tænkt benyttet til stationære energiformål, først og fremmest el- og varmeproduktion. Det betyder at hvis der skal være plads til biomasse-baserede transportbrændstoffer, skal dette i udgangspunktet tages fra de stationære anvendelser, med mindre der findes måder at forøge udbyttet inden for den aktuelle arealanvendelse eller hvis behovet for biomasse reduceres gennem minimering af tab. En mulighed for førstnævnte er dyrkning af efterafgrøder, men det skønnes maksimalt at kunne give et potentiale på ca. 20-30 PJ/år.

Alternativt kunne man forestille sig at en del af de arealer der bruges til at producere foder på, omlægges til produktion af biomasse til energiformål.

Biomasseressourcer i udlandet

De øvrige nordiske lande har betydeligt bedre betingelser for at have rigelige biomasseressourcer end Danmark pga. af deres langt større størrelse. Danmark skiller sig dog ikke ud fra de andre nordiske lande hvad angår landbrugsareal.

Det Europæiske Miljøagents analyse af grænserne for at udnytte biomasse på en miljømæssigt bæredygtig måde (EEA 2006) fastlægger at sådant potentiale for hele det nuværende EU-25 på ca. 8000 PJ/år, svarende til ca. 12 % af det samlede energiforbrug i EU-25, stigende til ca. 12000 PJ/år i 2030. For Danmark opgør EEA det tilsvarende potentiale til ca. 120 PJ/år, svarende til 15 % af det danske bruttoenergiforbrug. Med andre ord bekræftes antagelsen om at Danmark ligner EU som helhed en del, og faktisk med relativt mindre potentialer for EU som helhed (man ville få det samme billede hvis man så på de EU-15). Med andre ord kan man ikke uden videre basere danske biomasse-initiativer på import fra EU. Blandt de store lande ligner Frankrig og Spanien EU-25's gennemsnit meget med miljøtilpassede biomassepotentialer på ca. 12-13 % af landets bruttoenergiforbrug, mens der er relativt få ressourcer i Tyskland (8 %), Storbritannien (6 %) og til dels Italien (9 %).

Et enkelt land i EU skiller ud ved dels at have relativt store miljøtilpassede biomasseressourcer til energiformål, og dels være blandt de store lande, nemlig Polen. Det har i EEA's analy-

se biomasseenergiressourcer på ca. 1000 PJ/år (ca. 35 % af Polens bruttoenergiforbrug), stigende til ca. 1700 PJ/år i 2030.

Well-to-Wheel effektivitet

Når man skal vurdere de faktiske potentialer i biomasseressourcerne er det vigtigt at kende effektiviteten af den samlede energikæde fra ressource til forbrugsstedet (dvs. de drivende hjul mv.), både for biomasse-løsningen og for de løsninger man sammenligner med. Det er imidlertid ikke helt enkelt, idet der fx er biprodukter der måske/måske ikke nyttiggøres. Desuden er der, udover tabene ved de enkelte procestrin, som regel et forbrug af fossil energi og dermed CO₂-udslip i forbindelse med forskellige hjælpeprocesser (fx ved gødning eller transport af ressourcer og brændstoffer). Begge aspekter belyses i de såkaldte "Well-to-Wheel"-analyser (W-t-W), der sætter beregnet fossil energi og CO₂-emissioner i forhold til drivmidlets energiforbrug. W-t-W-analyser behandler således både forholdene ombord i transportmidlerne (kaldet "Tank-to-Wheel") og i det stationære energisystem ("Well-to-Tank"). Der er et meget stort antal tekniske løsninger og ofte vil teknologien ombord i køretøjet lægge begrænsninger på valgmulighederne, hvorfor man ikke kan adskille de stationære og mobile dele af analysen. Dertil kommer det teknologiske udviklingsperspektiv. Det er derfor et meget stort og uoverskueligt projekt at lave blot nogenlunde udtømmende W-T-W-analyser. Samtidig er det ofte svært at sammenligne analyserne på tværs pga. meget forskellige forudsætninger. På Europæisk niveau er der i EU-regi, med inddragelse af bil- og olieindustrierne, lavet en meget detaljeret, flere gange opdateret, W-t-W-analyse af feltet (Edwards et al 2006). Endvidere er (Wurster et al 2002), der er en europæisk udgave af et tidligere omfattende amerikansk studie på initiativ af General Motors. Der er lavet flere, større amerikanske studier siden midt i 1990'erne.

Energistyrelsen har som grundlag for regeringens beslutning om at forbeholde biomassen til stationære energiformål gennemført beregninger af specifikke omkostninger pr. tons reduceret CO₂-udledning for initiativer både i og uden for transportsektoren. Det er disse beregninger der peger på at den bedste anvendelse af biomassen fra denne synsvinkel er i kraftvarmeanlæg, ikke mindst pga. at man her kan fortrænge kul med meget store CO₂-udslip pr. energienhed.

Resultater og konklusioner

Både for Danmark og for EU som helhed gælder at selv hvis hele den biomasse der teoretisk dyrke på deres landområde blev udnyttet til energiformål ville det ikke være nok til at dække hele energiforbruget, og det er endnu mindre tilfældet med den biomasse der på miljømæssigt forsvarligt grundlag kan udnyttes. EU som helhed er stillet lidt dårligere end Danmark hvad angår biomassepotentialer set i forhold til bruttoenergiforbrug, og blandt de store lande er Tyskland og Storbritannien stillet væsentlig dårligere end Danmark. Blandt de store europæiske lande er det kun Polen der er stillet markant bedre end Danmark, og selv for Polen er der ikke tale om et overskud. På globalt niveau som helhed er der bedre muligheder for at få leveret biomasseressourcer, men også her gælder at der ikke er tale om ubegrænsede ressourcer i forhold til behov.

Det betyder at vurderingen af de forskellige biomasse-baserede brændstoffer bør inddrage ressourceaspektet og ikke bare konsekvenserne for miljø, økonomi mv. for den konkrete løsning. Et vigtigt aspekt er fleksibiliteten af den valgte energibærer: hvor mange primære energikilder kan den baseres på og med hvilke konsekvenser? Biobrændstoffer er normalt begrænset til biomasse (blandt de vedvarende energikilder) som udgangspunkt med mindre man

accepterer meget store konverteringstab. El- og brintkæderne er betydeligt mere fleksible, men brintkæden har normalt en dårligere energieffektivitet end el, specielt for visse løsninger (bl.a. flydende brint). Til gengæld har brinten funktionsmæssige fordele der gør at den kan foretrækkes i nogle situationer.

Referencer

Bentsen, Niclas Scott et al (2006), "Energy balance of 2nd generation bioethanol production in Denmark". Center for Skov, Landskab og Planlægning, KVL, Frederiksberg.

Biofuels Research Advisory Council, "Biofuels in the European Union – a vision for 2030 and beyond". Bruxelles 2006.

Danmarks Statistik, Statistikbanken, statistikdata om landbrug mv.

Edwards, R. et al (2006), "Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Power-trains in the European Context: CONCAWE, EUCAR and the Joint Research Centre of the EU Commission, Ispra, Version 2b". URL: <http://ies.jrc.cec.eu.int/wtw.html>

Energistyrelsen (1990), "Vurdering af biomasse til energiforsyning. Baggrundsrapport nr. 5 til Energi 2000". , København.

Energistyrelsen (1996), "Danmarks vedvarende energiressourcer". København.

Energistyrelsen (2003). "Dokumentation for beregning af CO₂-reduktionsomkostningerne ved anvendelse af biodiesel - revideret udgave". København, 8. december.

Energistyrelsen (2005), "Strategi for forskning og udvikling vedr. fremstilling af flydende biobrændstoffer". København, juni.

EU-Kommisionen (2006), "An EU strategy for biofuels" (COM 34/2006). Bruxelles 2006

European Environmental Agency (2006), "How much bioenergy can Europe produce without harming the environment" (EEA Report 7/2006). København

Fischer, G & L Schrattenholzer (2001), "Global bioenergy potentials through 2050", Biomass & Bioenergy Vol. 20, pp. 151-159.

Gerboni, Raffaella & Emanuele Bellerate (2006), "A comparison of vehicles life cycle energy consumption: conventional vs. fuel cell propulsion systems". 16th World Hydrogen Energy Conference, 13.-16. juni, Lyon, Frankrig.

Gylling, Morten et al (2001), "Langsigtede biomasseressourcer til energiformål - mængder, omkostninger og markedets betingelser" (Rapport nr. 125). SJFI, Fødevareministeriet, Frederiksberg.

Gylling, Morten et al (2004), "Trends and perspectives in bioenergy supply in Denmark", in: H. Larsen et al (eds), Risø Energy Resport 2, New and emerging bioenergy technologies, Forskningscenter Risø, Roskilde.

Hougs Lind, Carsten (1994), "Træbrændselsressourcer fra danske skove over ½ ha - opgørelse og prognose". Forskningscenter for Skov og Landskab, Landbrugsministeriet, Lyngby.

IEA (2004), "Biofuels for transport – an international perspective". Paris

Jørgensen, Kaj (1998): *Transport and Sustainability - with Special Emphasis on Grocery Distribution*. Rapport R-028, Institut for Bygninger og Energi, DTU, Lyngby.

Jørgensen, Kaj & Jesper Gundermann (1983), "Energiforsyning i en landkommune". Fysisk Laboratorium III, DTU, Lyngby.

Kavalov, Boyan (2004), "Biofuel potentials in the EU" (Report EUR 21012). Institute for Prospective Technology Studies, European Commission, January.

Kavalov, Boyan et al (2003), "Biofuel production potential of EU-Candidate countries" (Report EUR 20835). Institute for Prospective Technology Studies, European Commission, January

Nord-Larsen, Thomas & Niels Heding (2003), "Træbrændselsressourcer fra danske skove over ½ ha - opgørelse og prognose 2002". Dansk Skovbrugs Tidsskrift Vol. 87, No. 1, p. 1-72.

Nord-Larsen, Thomas & B Talbot (2004), "Assessment of forest-fuel resources in Denmark: technical and economical availability". Biomass & Bioenergy Vol. 27, pp. 97-109.

Smeets, E. et al (2004), "A quickscan of global bioenergy potentials to 2050. Report NWS-E-2004-109". Department of Science, Technology and Society, Utrecht University, Utrecht March 2004.

Sørensen, Bent (2004), "Renewable Energy – its physics, engineering, environmental impacts, economics and planning. Second edition". Elsevier Academic Press, London.

Sørensen, Bent et al (2001), "Scenarier for samlet udnyttelse af brint som energibærer i Danmarks fremtidige energisystem. Slutrapport" (IMFUFA-tekster 390). RUC, Roskilde. Rapporten kan ses på: <http://mmf.ruc.dk/energy>

Teknologirådet (2006), "Grøn transport – kan vi, og vil vi?. Resumé og redigeret udskrift af høring i Folketinget den 5. april 2006" (Teknologirådets rapporter 2006/6). København.

Wakker, A. et al (2005), "Biofuel and bioenergy implementation scenarios - Final report of the VIEWLS WP5". November URL: http://gave.novem.nl/novem_2005/index.asp?id=8

World Energy Council (2001), "2001 Survey of world energy sources". WEC, London.

Wurster, Reinhold et al (2002), "GM Well-to-Wheel analysis of energy use and greenhouse gas emissions of advanced fuel/vehicle systems – a European study". Ottobrun, Tyskland.

Europæiske udstødningsnormer for motorkøretøjer

Civilingeniør Dorte Kubel, Miljøstyrelsen

1 Status for Euro-normer

Euro-normer betegner de totalharmoniserede udstødningsnormer for motorer, der gælder i EU. Det første sæt Euro-normer for motorkøretøjer trådte i kraft i 1993, og siden da er normerne blevet skærpet i flere omgange.

Der er også vedtaget Euro-normer for motorcykler, knallerter, ikke-vejgående maskiner (traktorer og entreprenørmaskiner samt motorsave og plæneklippere) og senest for lokomotiver og fartøjer på indre vandveje.

Ikrafttrædelse for de forskellige Euro-normer samt planlagte revisioner fremgår af nedenstående tabel.

	Euro 1	Euro 2	Euro 3	Euro 4	Euro 5	Euro 6
Personbiler	1993	1997	2 001	2006	2010?	2014?
Varebiler	1994	1998	2002	2007	2011?	2015?
Lastbiler og busser	1993	1996	2001	2006	2009	Forslag forventes 2007
Motorcykler	2000	2004	2007	Forslag forventes 2006		
Knallerter	2000	2004	Forslag forventes 2006			
Non-road (diesel)	1998-99	2000-03	2005-06	2010-12	2013-14	
Non-road (benzin)	2005	2005-09				
Lokomotiver			2005-08	2011		
Indre vandveje			2006-08			
Brændstoffer			2000	2005	2009	Forslag forventes 2006

Tabel 1. Ikrafttrædelsestidspunkter for forskellige Euro-normer.

I januar 2005 blev der i EU defineret en grænseværdi for partikeludslip på 5 mg/km for personbiler der i øvrigt overholder Euro 4. Denne værdi kan bruges som grundlag for at fremme dieslbiler med partikelfiltre vha. økonomiske incitamenter.

I Danmark blev der i finanslovsaftalen for 2006 indført et nedslag på 4.000 kr. i beregningsgrundlaget for registreringsafgiften på dieselbiler med partikelfiltre. For køberen af en dieselbil med filter svarer det til en reduktion i købsprisen på 7200 kr.

2 EU's temastrategi for luftforurening

2.1 Baggrund

På trods af væsentlige forbedringer gennem de seneste 10-15 år har luftforureningen stadig alvorlige virkninger. Derfor blev det i EU's 6. miljøhandlingsplan (6. MHP) vedtaget at opstille en strategi for luftforurening med det mål at opnå *"et luftkvalitetsniveau, der ikke medfører væsentlige negative virkninger og risici for sundhed og miljø"*.

Kommissionen har i CAFE programmet (Clean air for Europe) vurderet, at selv med en effektiv gennemførelse af den gældende lovgivning vil målsætningen i 6. MHP langt fra være opfyldt i 2020. Figur 1 viser, at hvis der ikke igangsættes yderligere foranstaltninger, vil luftforurening i 2020 være årsag til 2,5 mio. tabte leveår (svarende til 272.000 for tidligt døde).

På den baggrund fremlagde Kommissionen i september 2005 en temastrategi for luftforurening. Formålet med strategien er at udstikke en langsigtet indsats for renere luft i Europa.

2.2 Indhold og formål

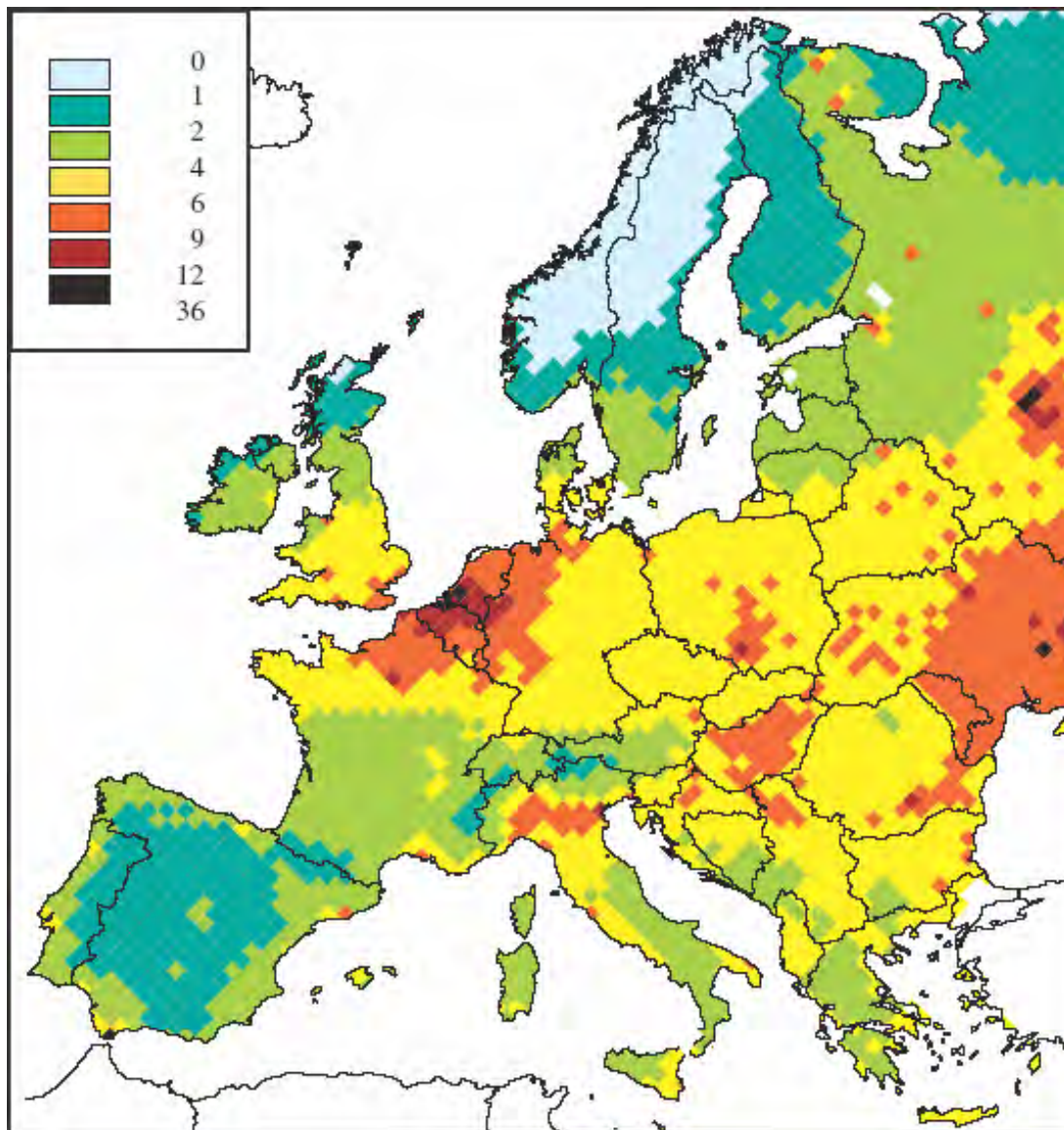
Det fremgår af strategien, at selv hvis alle teknisk gennemførlige foranstaltninger blev taget i brug uanset omkostninger, ville det stadigvæk ikke være muligt at opnå målsætningen i 6. MHP. På den baggrund udstikker strategien en foreløbig målsætning for luftforureningen under hensynstagen til tilknyttede fordele og omkostninger.

Ozon (O_3) og partikler ($PM_{2.5}$) i luften giver anledning til forøget sygelighed og for tidlige dødsfald, mens svovldioxid (SO_2), nitrogenoxider (NO_x) og ammoniak (NH_3) medfører forsurening og eutrofiering samt sekundær dannelse af partikler. Ozon udledes ikke direkte men dannes via fotokemiske processer af NO_x og flygtige organiske forbindelser (VOC). Strategien peger således på, at der er behov for en yderligere skærpelse af den eksisterende lovgivning for at reducere luftens indhold af SO_2 , NO_x , VOC, NH_3 , O_3 og $PM_{2.5}$.

For at reducere de miljø- og sundhedsmæssige konsekvenser af luftforurening på den mest omkostningseffektive måde, er det på grund af det nævnte kemiske sammenspil mellem de luftforurenende stoffer nødvendigt at reducere emissionen af alle fem stoffer samtidigt.

Virkemidlerne til at nå strategiens målsætninger er dels en strømlining samt udbygning og skærpelse af eksisterende EU-lovgivning, dels indarbejdelse af hensyn til luftkvalitet i andre

sektorer. Fastsættelsen af skærpede krav til person- og varebiler er en af de foranstaltninger, strategien peger på som vigtige for at nedbringe udslippet af partikler og af stoffer, der fører til dannelse af ozon (HC og NO_x).



Figur 1: Situationen i 2020 – hvis der ikke igangsættes yderligere foranstaltninger mod luftforurening: Tab i gennemsnitlig statistisk levetid pga. menneskeskabt PM 2.5 (CAFÉ 2005)

3 Nye udstødningsnormer for person- og varebiler

På baggrund af temastrategien for luftforurening fremsatte Kommissionen i december 2005 et forslag til skærpede udstødningsnormer for person- og varebiler (EURO 5). Forslaget har været behandlet på en række møder i rådets miljøgruppe men har endnu ikke været forelagt Parlamentet.

Forslaget fremlægges som en såkaldt konsolideret udgave af det oprindelige direktiv fra 1970 (direktiv 70/220) med efterfølgende ændringer. Herved vil 24 gældende direktiver kunne erstattes af én ny forordning. I samme forbindelse foreslås det at indføre de eksisterende bestemmelser om måling af CO₂ og energiforbrug (direktiv 80/1268) og måling af sod-udslip fra dieselmotorer (direktiv 72/306) i forordningen.

En forordning adskiller sig fra et direktiv ved at gælde i hele EU, uden at den først skal indføres i de enkelte landes lovgivning.

3.1 Nye grænseværdier for emissioner

Det vigtigste aspekt i forslaget er, at der gennemføres en stramning i grænseværdierne for køretøjers emission af partikler og NO_x. De foreslåede værdier fremgår af følgende tabel (enhed mg/km).

Kommissionens oprindelige forslag indeholdt forslag til ét trin af nye normer. (Euro 5). En række lande, herunder Danmark, støtter et forslag om endnu et trin (Euro 6) for NO_x fra dieselmotorer.

		Personbiler (M) og små varebiler (N1)		Mellemstore varebiler (N2)		Store Varebiler (N3)	
		Benzin	Diesel	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel
CO	Euro 4	1000	500	1810	630	2270	740
	Euro 5	1000	500	1810	630	2270	740
HC	Euro 4	100	-	130	-	160	-
	Euro 5	75	-	100	-	120	-
PM	Euro 4	25	-	40	-	60	-
	Euro 5	5*	5	5*	5	5*	5
NO _x	Euro 4	80	250	100	330	110	390
	Euro 5	60	200	75	260	82	310
	Euro 6	60	80	75	105	82	125

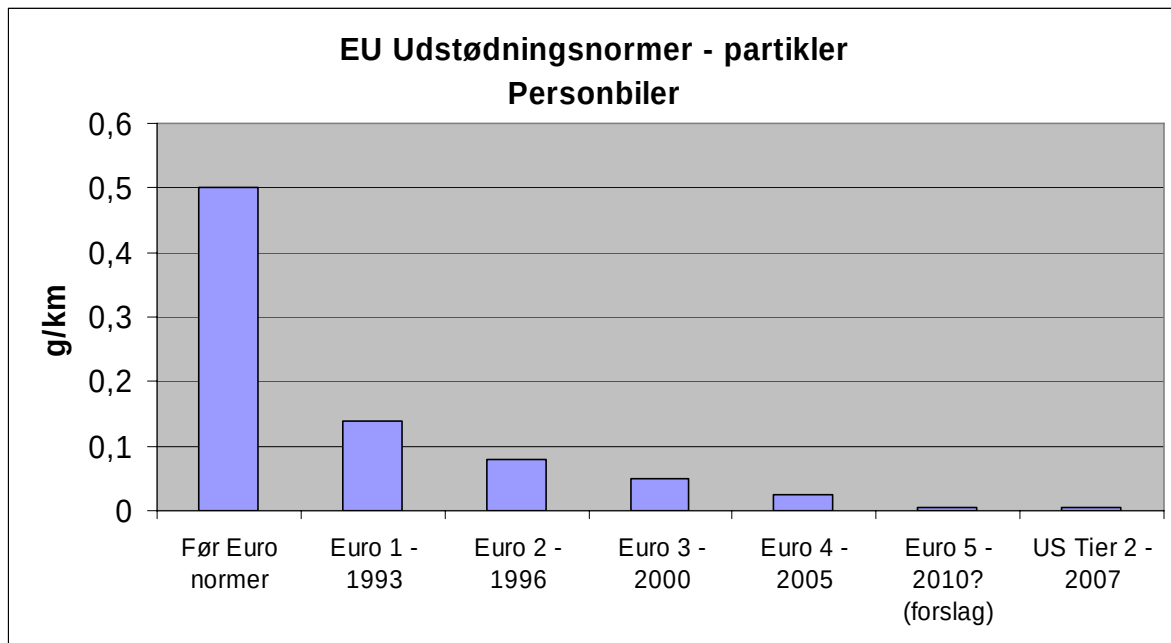
*) For benzinbiler gælder det kun for biler med direkte indsprøjtning, der fungerer efter lean-burn princippet

3.1.1 Partikler

For dieseldrevne biler foreslår Kommissionen, at grænseværdien for partikler reduceres med 80% for personbiler og ca. 90% for varebiler (afhængig af bilernes størrelse) i forhold til Euro 4. Det vurderes, at vedtagelse af de foreslåede grænseværdier vil kræve indførelse af partikelfiltre. Udviklingen i Euro-normer for partikeludslip fra personbiler fremgår af Figur 2.

Det indgår i forslaget, at man på et senere tidspunkt vil supplere de foreslåede grænseværdier for partikelmasse med en grænseværdi for antallet af partikler. Herved skabes sikkerhed for, at udslippet af sundhedsskadelige ultrafine partikler begrænses. Fremsættelsen af forslag

afventer afslutningen af undersøgelser inden for rammerne af FN's Economic Commission for Europe (ECE). Man vil ved samme lejlighed foreslå, at den nuværende målemetode for partikelmasse erstattes af en metode, der giver mere nøjagtige målinger. Det vil betyde, at grænseværdierne skal tilpasses den nye metode.



Figur 2: Udvikling i europæiske normer for partikeludslip fra personbiler

Som noget nyt introduceres en grænseværdi for partikeludslip fra benzindrevne biler. Den vil dog kun gælde for motorer med direkte indsprøjtning, der opererer efter "lean burn"-princippet. I dag findes der kun få af disse modeller på markedet, men der forventes større udbredelse i fremtiden på grund af det lavere energiforbrug (CO_2 -udslip) i forhold til almindelige benzinbiler. Grænseværdien forventes at kunne overholdes uden brug af filter.

Der er generel enighed om de foreslåede grænseværdier for partikler. Sverige har dog fremført at grænseværdierne i et eventuelt næste trin (Euro 6) bør strammes til 2 mg/km idet biler med partikelfilter kan overholde en sådan lav grænseværdi.

3.1.2 NO_x

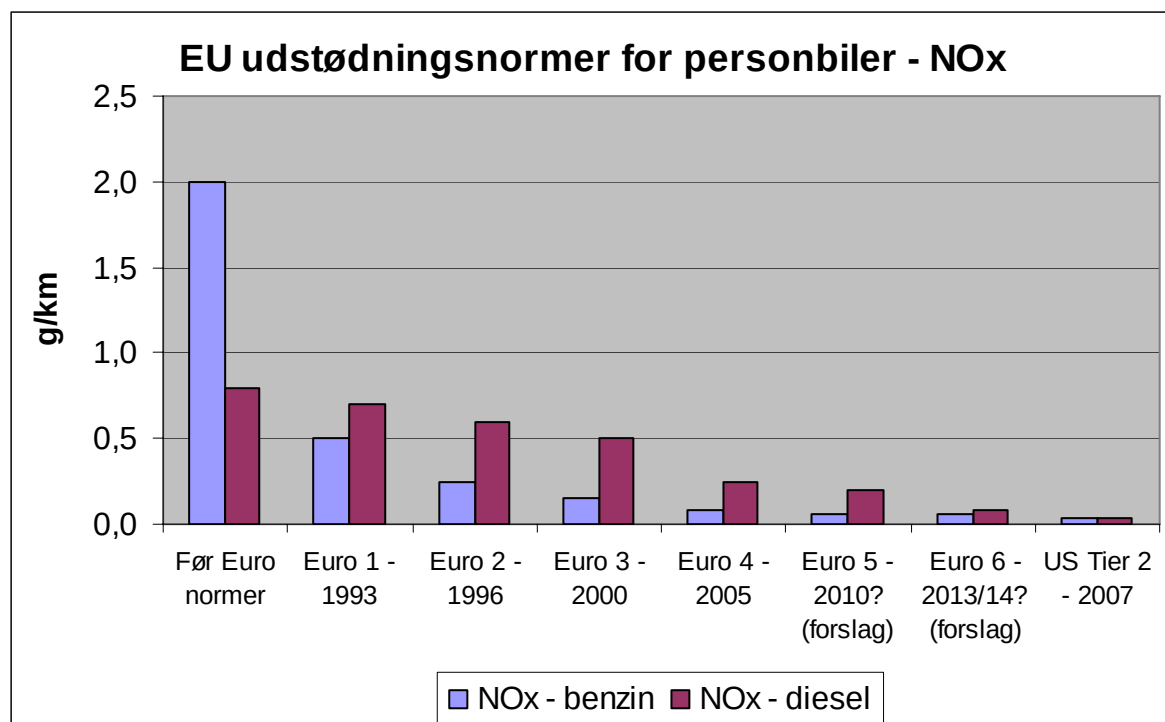
Vedrørende NO_x indeholdt Kommissionens oprindelige forslag om, at Euro 4-værdierne reduceres med 20% for dieseldrevne køretøjer og 25% for benzindrevne køretøjer. Disse grænseværdier kan overholdes uden brug af efterbehandlingsudstyr.

Et flertal af lande, herunder Danmark, støtter et forslag om, at der allerede nu indføres Euro 6-værdier for NO_x -udslip fra dieseldrevne køretøjer. Der er foreslået en værdi på 80 mg/km og en ikrafttræden 3½ år efter Euro 5. Den danske holdning skal ses på baggrund af, at foreliggende målinger og beregninger tyder på, at det vil blive vanskeligt for Danmark i visse

stærkt trafikerede byer at opfylde fremtidige EU-luftkvalitetsstandarder for NO_2 , ligesom beregningerne viser, at det kan blive vanskeligt at opfylde de fastlagte emissionslofter for NO_x (NEC direktivet).

Det kan også lægges til grund, at man i USA i perioden 2004-2007 indfører en grænseværdi for partikludslip fra diesel personbiler på 43 mg/km (0,07 g/mile). Selv om det er vanskeligt at foretage direkte sammenligninger mellem USA og EU (forskellig testprocedure, USA-værdi er gennemsnitsværdi, kun får dieselmotorer i USA), så er der ingen tvivl om, at den amerikanske værdi er væsentlig skarpere end den værdi, der er foreslået af EU (200 mg/km).

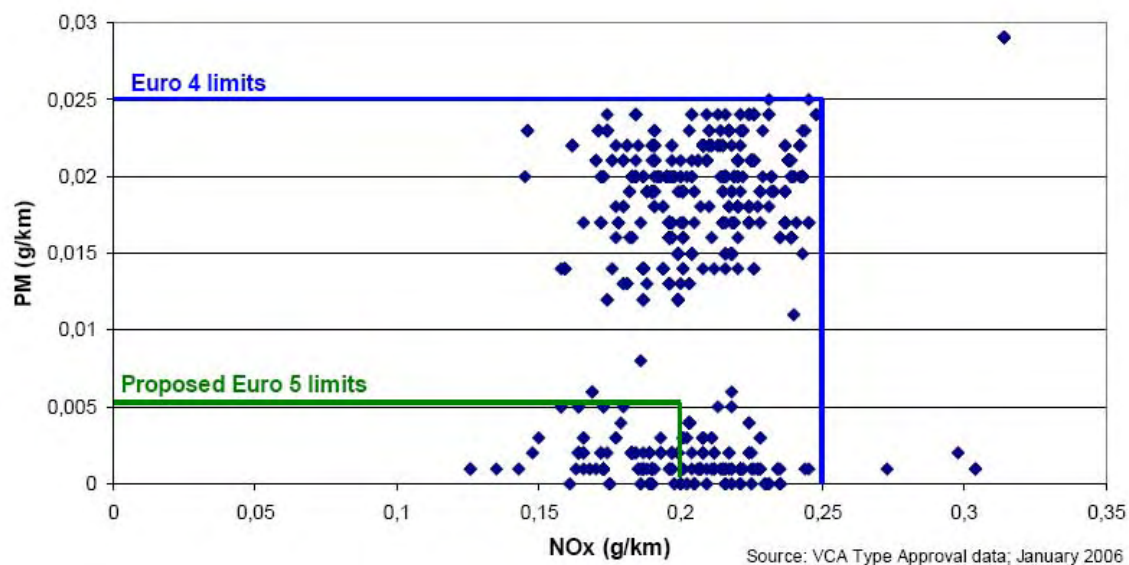
Udviklingen i Euro-normer for NO_x udslip fra personbiler fremgår af Figur 3.



Figur 3: Udvikling i europæiske normer for NO_x -udslip fra personbiler

En Euro 6-værdi vil kunne anvendes som basis for økonomiske incitamenter, allerede når Euro 5 træder i kraft. Dette vil fremme udviklingen af efterbehandlingsudstyr til at reducere udslippet af NO_x (sum af NO og NO_2).

Som det fremgår af Figur 4, overholder en række af de biler der typegodkendes i dag allerede grænseværdien på 200 mg/km. En grænseværdi på 80 mg/km vil kræve brug af efterbehandlingsudstyr som f.eks. SCR-katalysator.



Figur 4: Typegodkendelsesdata for personbiler, Januar 2006

3.1.3 HC og CO

Grænseværdierne for CO fastholdes på samme niveau som Euro 4 mens grænseværdierne for HC for benzinbiler reduceres med omkring 25%.

3.2 Andre forhold

3.2.1 Holdbarhedskrav

Holdbarhedskravet for emissionsbegrænsende udstyr som f.eks. katalysatorer og partikelfiltre foreslås ændret fra de nuværende 80.000 km til 160.000 km, hvilket efter Kommissionens opfattelse i praksis betyder, at emissionskontrollsystemerne skal fungere i hele bilens levetid.

3.2.2 Personbiler over 2,5 tons

Kommissionen foreslår videre, at den eksisterende undtagelse for personbiler over 2,5 tons (der i dag skal opfylde de lempeligere krav til varebiler) fjernes, således at disse køretøjer fremover skal opfylde samme krav som almindelige personbiler.

3.2.3 Reparationsinformationer

Forslaget indeholder endvidere detaljerede krav om, at reparationsinformationer skal gøres tilgængelig på nettet i standardiseret form.

3.2.4 Skærpelse af normer ved lav temperatur

Sverige har foreslået, at der sker en skærpelse i gældende udstødningsnormer ved lav temperatur svarende til den skærpelse, der gennemføres i udstødningsnormerne ved normal temperatur. Danmark og Finland støtter forslaget.

3.2.5 Økonomiske incitamenter

Som i tidligere direktiver om bilforurening indgår der i forslaget en mulighed for medlemslandene for at anvende økonomiske incitamenter for at fremme en tidligere indførelse af de mere miljøvenlige køretøjer. Incitamenterne skal være mindre end de faktiske meromkostninger.

3.2.6 Ophævelse af direktiv 72/306 (sodmåling)

Der er enighed om, at direktiv 72/306 ophæves. Kommissionen har i miljøgruppen oplyst, at de i direktivet beskrevne målemetoder vil blive optaget i Kommissionsforordningen.

Danmark netop har netop indført regler vedrørende chiptuning af dieslbiler, som refererer til den i direktiv 72/306 beskrevne måling ved belastet motor. Når forordningen vedtages, vil de danske regler om chiptuning blive justeret, således at der henvises til den nye forordning.

3.3 Ikrafttrædelse

Ikrafttrædelsestidspunktet sættes i relation til datoen for offentliggørelsen af de endelige regler i EF-Tidende. Flere lande har dog foreslået at der sættes en fast dato for ikrafttrædelse samt at tiden mellem ikrafttrædelse for nye modeller og alle modeller reduceres til 1 år.

	Euro 5		Euro 6	
	Nye modeller	Alle modeller	Nye modeller	Alle modeller
Personbiler (M) og små varebiler(N1)	+ 1½ år	+ 3 år	+ 6½ år	+ 8år
Større varebiler (N2 og N3)	+ 2½ år	+ 4 år	+ 7½ år	+ 9 år

3.4 Forslagets miljømæssige konsekvenser

Kommissionen har beregnet, at det oprindelige forslag på EU-niveau i år 2020 vil medføre følgende reduktioner i udslippet af forurenende stoffer (tons), i forhold til at alle køretøjer fortsat ville opfylde Euro 4:

	HC	NO _x	PM
Benzin	-31.000	-31.000	-
Diesel	-1.000	-104.000	-26.000
I alt	-32.000	-135.000	-26.000
Ændring	-10%	-16%	-43%
Ændring i udslip fra samtlige kilder	-5%	-11%	-10%

Kommissionen vurderer, at forslaget vil medføre en mindre forøgelse i udslippet af CO₂ på ca. 0,3% (primært fra dieseldrevne køretøjer som følge af anvendelsen af partikelfiltre).

Kommissionen har beregnet, at forslaget, når det er slået igennem på bilparken, vil medføre ca. 2.600 færre årlige tilfælde af for tidlig død, svarende til ca. 21.000 tabte leveår. Der foreligger ikke mere konkrete cost-benefit beregninger fra Kommissionen.

Miljøstyrelsen har for danske forhold foretaget beregninger af de samfundsmæssige konsekvenser af kommissionens oprindelige forslag for personbiler. Beregningerne viser, at forslaget kan antages at medføre en samfundsøkonomisk gevinst. Da reduktionen i mg/km for varebiler er større end for personbiler, vil der forventeligt opnås en større samfundsøkonomisk gevinst for varebilerne end som beregnet for personbiler.

Miljøstyrelsens beregninger viser desuden, at de samfundsøkonomiske konsekvenser af en eventuel grænseværdi for NO_x fra dieselmotorer til 75 mg/km også er positiv.

3.5 Status for forslaget

Forslaget til nye udstødningsnormer for person- og varebiler har været behandlet på en række møder i Rådets miljøgruppe. På disse møder er der, som nævnt i tidligere afsnit, fremkommet en række ændringsforslag. På mødet i Miljørådet (miljøministrene) den 9. marts 2006 var der flertal for at inkludere Euro 6 standarder i de nye normer. Kommissionen ønsker, at Euro 6 normer først fremsættes på et senere tidspunkt.

Når Rådet og Kommissionen er uenige bliver Parlamentets holdning til forslaget afgørende. Parlamentet skal stemme om forslaget i september, og meget tyder på at Parlamentet vil støtte at Euro 6 kommer med i Euro 5 forslaget. Hvis det er tilfældet, vil forslaget kunne vedtages i løbet af efteråret 2006. Forslaget kan dermed forventes at træde i kraft omkring 2010.

4 Kommende revisioner af Euro-normer

I løbet af 2006 forventes Kommissionen at fremlægge forslag til nye, skærpede Euro-normer for knallerter og motorcykler.

I 2006 forventes der desuden en revision af brændstofkvalitetsdirektivet, hvor det eksisterende direktiv er fra 2003. Forslaget forventes kun at indeholde mindre betydelige ændringer af brændstofkvalitet, dog vil et af elementerne være af større interesse, nemlig procentsats for iblanding af biobrændstoffer (bioethanol og biodiesel). Hvor der nu må tilsættes 5%, kan der forventes et forslag om at hæve procentsatsen til 10%.

På lidt længere sigt kommer der forslag om Euro 6 standarder for tunge køretøjer (evt. forår 2007).

Fuel use and emissions for non road machinery in Denmark 1985-2020

Morten WINTHER, Ole-Kenneth Nielsen

National Environmental Research Institute, Frederiksborgvej 399, 4000 Roskilde, Denmark

Fax: +45 4630 1212 - e-mail: mwi@dmu.dk

Abstract

This paper explains the new Danish 1985-2020 emission inventory for non road machinery. Stock and operational data are from different statistical sources, research institutes, relevant professional bodies and machinery manufacturers. Updated fuel use and emission factors originate from various measurement programmes. Future factors are tailored to the current EU emission legislation. Beyond the basic calculation approach, the emission computations take into account the effects from engine deterioration, transient loads and gasoline evaporation. The major source of NO_x and PM emissions are diesel engines. Most of the HC and CO emissions come from gasoline machinery. From 1985 to 2020, the total fuel use and the emissions of HC, NO_x and PM decrease by 7, 43, 62 and 87%, respectively, whereas the CO emissions increase by 7%. In the forecast period from 2005-2020, the percentage NO_x and PM emission reductions are almost the same as for road traffic. For HC, the reduction percentage is somewhat smaller, whereas for CO the emission development is so poor, that non road machinery ends up being the largest source of emissions by the end of the forecast period. The availability of new non road emission factors is very useful for other European countries, and work should be done to include these data in the European EMEP/CORINAIR guidebook.

Keys-words: NO_x, HC, CO, PM, Diesel, Gasoline, Agriculture, Forestry, Industry, Household.

Introduction

The emission contributions from non road mobile working machinery and equipment are significant and the non road shares of total transport NO_x, PM, HC and CO emissions were 22, 24, 29 and 36%, respectively, in 2004. Countries are obliged to make annual emission estimates for international bodies such as UNFCCC (United Nations Framework Convention of Climate Changes) and the UNECE CLRTAP (United Nations Economic Commission for Europe Convention of Long Range Transboundary Air Pollutants) conventions and the EU Monitoring Mechanism. The emission inventories for Denmark is made by the National Environmental Research Institute of Denmark (NERI).

Until now, the National Environmental Research Institute of Denmark (NERI) has used background data from separate national studies (Dansk Teknologisk Institut, 1992 and 1993; Bak et al., 2003). The reports documents an emission inventory for agricultural tractors and construction machinery (1992) and small working machinery in industry, household/gardening and recreational craft (1993). The report from Bak et al. (2003) contain updated results for the year 2000, with a special focus on agricultural machinery, fork lifts, household and gardening machinery, and recreational craft. The

NERI source for fuel use and emission factors is the European EMEP/CORINAIR guidebook (EMEP/CORINAIR, 2003). However, the relative importance of the non road emission sources and the fact that much of the operational data and fuel use/emission information is outdated, points out a strong need for a complete inventory revision.

This paper explains the new Danish fuel use and emission inventory of NO_x, HC, CO and PM for non road mobile machinery from 1985-2020. The inventory has been made in a research project upon request from the Danish Environmental Protection Agency, and detailed documentation is given by Winther et al. (2006), which also include recreational craft. In this paper, fuel use and emission results are grouped into the subsectors agriculture, forestry, industry and household/gardening (supporting national emission reports), and are further analysed by single source and as totals in cross-sectoral comparisons.

1. Method

Emission legislation and emission factors

The emission directives agreed by the EU relates to both diesel and gasoline fuelled non road machinery, and list specific emission limit values for NO_x, HC (or NO_x + HC), CO and PM. The limit values (g/kWh) depend on engine size (kW for diesel, ccm for gasoline) and date of implementation (referring to engine market date).

For diesel engines, the EU directives 97/68 (emission stage I and II) and 2004/26 (emission stage IIIA, IIIB and IV) regards non road machinery other than agricultural and forestry tractors, whereas for tractors the relevant directives are 2000/25 (emission stage I and II) and 2005/13 (emission stage IIIA, IIIB and IV). For gasoline engines, the EU directive 2002/88 (emission stage I and II) distinguishes between hand held (SH) and not hand held (NS) types of machinery.

The emission factors used in the Danish inventory are grouped into EU emission legislation categories. However, for engines older than directive first level implementation dates three additional emission level classes, <1981, 1981-1990 and 1991-stage I, are added so that a complete matrix of fuel use and emission factors underpins the inventory.

Fuel use and emission factors for stage II engines and prior technologies come from various emission measurement programmes and type approval tests (gasoline stage I and II), see IFEU (2004). The latter source also suggests factors for deterioration, transient engine loads and gasoline evaporation which are used in the present inventory.

The determination of emission factors for future diesel machinery is based on own judgement, taking into account today's emission factors for new machinery and future EU emission legislation limits. If the emission factor constructed as 90% of the emission legislation value is higher than the stage II value, the stage II value is used. Otherwise, the 90% figure of the legislation value is used.

Table 1 shows the basis factors for fuel use, NO_x and PM in g/kWh used for diesel engines.

	Engine size [kW]	<1981	1981- 1990	1991- Stage I	Stage I	Stage II	Stage IIIA	Stage IIIB	Stage IV
Fuel use	P<19	300	285	270	270	270	270	270	270
	19<=P<37	300	281	262	262	262	262	262	262
	37<=P<56	290	275	260	260	260	260	260	260
	56<=P<75	290	275	260	260	260	260	260	260
	75<=P<130	280	268	255	255	255	255	255	255
	130<=P<560	270	260	250	250	250	250	250	250
NO _x	P<19	12.0	11.5	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2
	19<=P<37	18.0	18.0	9.8	9.8	6.5	6.2	6.2	6.2
	37<=P<56	7.7	8.6	11.5	7.7	5.5	3.9	3.9	3.9
	56<=P<75	7.7	8.6	11.5	7.7	5.5	4.0	3.0	0.4
	75<=P<130	10.5	11.8	13.3	8.1	5.2	3.4	3.0	0.4
	130<=P<560	17.8	12.4	11.2	7.6	5.2	3.4	3.0	0.4
PM	P<19	2.8	2.3	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
	19<=P<37	2	1.4	1.4	1.4	0.4	0.4	0.4	0.4
	37<=P<56	1.8	1.2	0.8	0.4	0.2	0.2	0.02	0.02
	56<=P<75	1.4	1	0.4	0.2	0.2	0.2	0.02	0.02
	75<=P<130	1.4	1	0.4	0.2	0.2	0.2	0.02	0.02
	130<=P<560	0.9	0.8	0.4	0.2	0.1	0.1	0.02	0.02

Table 1: Basis factors for fuel use, NO_x and PM for diesel engines (g/kWh)

In all years, most fuel is used by 75<=P<130 kW engines; in 2004 their fuel use share is 45%. However, during the inventory period relatively more and more fuel is being used by the two largest engine groups. From 1985 to 2020 their total fuel use share increase from 40 to 67%, mainly due to engine size increases for tractors and harvesters.

Table 2 shows the basis factors for fuel use, HC and CO in g/kWh used for the most commonly used gasoline engines in the inventory. Most fuel is used in the SN4 (around 50%; predominantly riders) and the SN3 (around 25%; mostly lawn movers and cultivators) groups.

	Engine type	SH/SN	Engine size [cm3]	<1981	1981-1990	1991-Stage I	Stage I	Stage II
Fuel use	2-stroke	SH2	20<=S<=50	882	809	735	720	500
		SH3	S>=50	665	609	554	529	500
	4-stroke	SH3	S>=50	496	474	451	406	406
		SN1	S<66	603	603	603	475	475
		SN3	100<=S<225	601	573	546	546	546
		SN4	S>=225	539	514	490	490	490
HC	2-stroke	SH2	20<=S<=50	305	300	203	188	44
		SH3	S>=50	189	158	126	126	64
	4-stroke	SH3	S>=50	33	27.5	22	22	22
		SN1	S<66	26.9	22.5	18	16.1	16.1
		SN3	100<=S<225	19.1	15.9	12.7	11.6	9.4
		SN4	S>=225	11.1	9.3	7.4	7.4	7.4
CO	2-stroke	SH2	20<=S<=50	695	579	463	379	379
		SH3	S>=50	510	425	340	340	340
	4-stroke	SH3	S>=50	198	165	132	132	132
		SN1	S<66	822	685	548	411	411
		SN3	100<=S<225	525	438	350	350	350
		SN4	S>=225	657	548	438	438	438

Table 2: Basis factors for fuel use, HC and CO for gasoline engines (g/kWh)

The deterioration and transient factors used are not shown. Deterioration effects are assumed for diesel machinery (all size classes) and for gasoline equipment except not hand held 4-stroke machinery. Transient factors (diesel only) are used for engines prior to stage IIIB, since the EU type approval test procedure for stage IIIB and IV takes into account transient engine loads.

For diesel engines the total impact from deterioration and transient corrections is marginal for fuel use and NO_x whereas corrected PM emissions are generally 50-60% higher than baseline emissions. The deterioration adjustment of fuel use is marginal for gasoline engines, whereas corrected HC and CO emissions are 30-50% and 60-80% higher, respectively, than the baseline emissions. The difference between baseline and adjusted emissions increase during the time period, since stage I and II deterioration factors are generally the highest.

Stock and operational data

The types of machinery comprised in the Danish non road inventory are shown in Table 3.

Sector	Diesel	Gasoline/LPG
Agriculture	Tractors, harvesters, machine pool, other	ATV's (All Terrain Vehicles), other
Forestry	Silv. tractors, harvesters, forwarders, chippers	-
Industry	Construction machinery, fork lifts, building and construction, Airport GSE, other	Fork lifts (LPG), building and construction, other
Household/ gardening	-	Riders, lawn movers, chain saws, cultivators, shrub clearers, hedge cutters, trimmers, other

Table 3: Machinery types comprised in the Danish non road inventory

For agricultural tractors and harvesters, historical fleet numbers and new sales/engine size figures are provided by Statistics Denmark (1965-1981; 2005) and The Association of Danish Agricultural Machinery Dealers, respectively. The latter organisation has also provided new sales numbers for the most important types of construction machinery. Data regarding fork lift new sales/lifting capacity are provided by The Association of Producers and Distributors of Fork Lifts in Denmark (IFAG). For household and gardening equipment, total stock numbers and engine sizes per machinery type have been established through detailed discussions with relevant professional bodies, large engine manufacturers, research institutes etc.

The engine types for which new stock data has been obtained, cover most of the fuel use and emissions from Danish non road machinery. Stock data for the remaining machinery types, and data for load factors, annual working hours and engine lifetime are repeated from the previous inventory. In some cases, however, data have been updated and/or new data added after discussions with external non road experts. Future year's (2005+) stock data have been produced by assuming new sales or total stock data as in 2004, and engine lifetimes control the phase-out of old technology.

Figure 1 shows the stock development in emission level groups from 1985 to 2020 for the three most important types of diesel machinery and the largest single source of gasoline fuel use and emissions. For diesel tractors, harvesters and fork lifts the new sales year determines the emission level for each

vehicle. For tractors and harvesters the total stock has decreased considerably since the beginning of the 1990's, due to structural changes in the agricultural sector. A gradual shift is made towards fewer vehicles with larger engines, and this trend is likely to continue in the future.

For gasoline riders (as well as for many other types of gasoline working machinery) the total stock has increased significantly in the later years, mainly because of economic growth. The stock curves for gasoline riders (and other gasoline types) appear more artificial since the only data available are total stock estimates from key experts. Subsequently, emission level distributions are made by assuming equal shares of yearly new sales during the machinery lifetime.

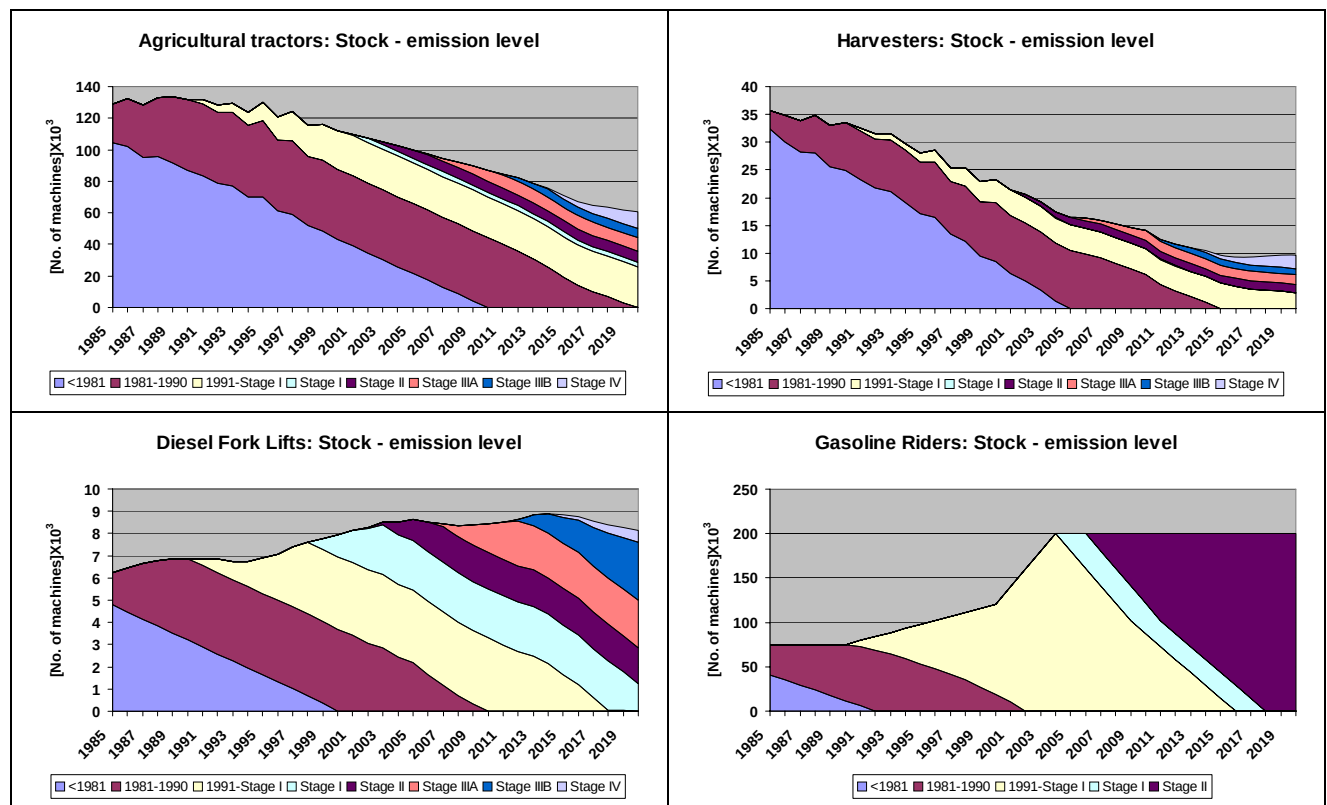


Figure 1: 1985-2020 stock per emission level for tractors, harvesters, diesel fork lifts and riders.

Calculation method

Prior to adjustments for deterioration effects and transient engine operations, the fuel use and emissions in year X, for a given machinery type, engine size and engine age, are calculated as:

$$E_{\text{Basis}}(X)_{i,j,k} = N_{i,j,k} \cdot \text{HRS}_{i,j,k} \cdot P \cdot \text{LF}_i \cdot \text{EF}_{y,z} \quad (1)$$

Where E_{Basis} = basis fuel use/emissions, N = number of engines, HRS = annual working hours, P = average rated engine size (kW), LF = load factor, EF = fuel use/emission factor (g/kWh), i = machinery type, j = engine size, k = engine age, y = engine size class and z = emission level.

The deterioration factor for a given machinery type, engine size and engine age in year X, depends on the engine size class (only for gasoline) and the emission level. The deterioration factors for diesel and gasoline 2-stroke engines are found from:

$$DF_{i,j,k}(X) = \frac{K_{i,j,k}}{LT_i} \cdot DF_{y,z} \quad (2)$$

Where DF = deterioration factor, K = engine age, LT = lifetime.

For gasoline 4-stroke engines the deterioration factors are calculated as:

$$DF_{i,j,k}(X) = \sqrt{\frac{K_{i,j,k}}{LT_i}} \cdot DF_{y,z} \quad (3)$$

No deterioration is assumed for fuel use (all fuel types) or for LPG engine emissions, and hence DF = 1 in these situations.

The transient factor for a given machinery type, engine size and engine age in year X, only rely on emission level and the load factor, and is denominated as:

$$TF_{i,j,k}(X) = TF_z \quad (4)$$

No transient corrections are made for gasoline and LPG engines, and hence $TF_z = 1$ in these cases.

The final calculation of fuel use and emissions in year X then becomes:

$$E(X)_{i,j,k} = E_{Basis}(X)_{i,j,k} \cdot TF(X)_{i,j,k} \cdot (1 + DF(X)_{i,j,k}) \quad (5)$$

The evaporation of gasoline hydrocarbon emissions is also estimated from the fuelling procedure and because of tank evaporation. The tank loading emissions are calculated as the product of total gasoline fuel use and evaporation factors (g NMHC/kg fuel), whereas tank evaporation emissions are found as the product of engine numbers and evaporation factors (g NMHC/year).

2. Results

The calculated fuel use and NO_x, HC, CO and PM emission results for 2004 are shown in Table 4 per sector and fuel type, together with the sectoral 2004-2020 percent reduction figures.

	Subsector	Fuel type	Fuel use [PJ]	NO _x [tons]	HC [tons]	CO [tons]	PM [tons]
2004	Agriculture	Diesel	13.4	11811	1367	6393	991
		Gasoline	0.3	27	362	8649	7
	Forestry	Diesel	0.2	131	11	58	7
		Gasoline	0.1	4	500	1233	6
	Industry	Diesel	11.2	9297	1297	5372	1029
		Gasoline	0.2	32	261	2116	2

	LPG	1.1	1415	164	112	5
	Household Gasoline	4.1	317	9022	114073	87
	Total	30.5	23033	12983	138005	2135
%-change	Agriculture	-10	-72	-63	-42	-82
2004-2020	Forestry	-4	-86	-45	-1	-49
	Industry	-3	-55	-53	-34	-70
	Household	-4	19	-34	12	3
	Total	-8	-70	-38	6	-75

Table 4: Fuel use and NO_x, HC, CO and PM emission results for 2004 (sector and fuel type) and sectoral 2004-2020 percent reduction figures.

The diesel fuelled machinery in agriculture and industry are the most important sources of fuel use and emissions of NO_x and PM in 2004. Agricultural tractors is the most dominant single source, with fuel use and NO_x and PM emission totals of around one third of the grand totals for non road machinery. Most of the HC and CO emissions come from gasoline fuelled working machinery. The largest single HC emission share is calculated for chain saws used in forestry and household/gardening (25%), and for CO the emission share for riders (private/professional) is 53%. From 1985 to 2004 the total non road fuel use and HC and PM emissions decrease by 1, 4 and 52%, respectively, whereas the emissions of NO_x and CO increase by 3%.

From 2004 to 2020, the total energy use decreases by 6% (20% for LPG, 6% for diesel, 5% for gasoline). The diesel fuel use decline is mainly due to a 16% reduction of the fuel use for tractors. This is visible from Figure 2, where the course of the fuel use curve for tractors is the result of the development towards fewer tractors, with larger and more fuel efficient engines. The main reason for the large emissions decreases for NO_x and PM are the gradually strengthened diesel emission standards during the period (Table 1). The total emission reductions from 2004 to 2020 are 63 og 72% for NO_x and PM, respectively, and the largest absolute emission reductions are noted for diesel machinery in agriculture and industry.

The strengthened emission standards also cause PM emission reductions before 2004, whereas for NO_x, the general emission lift in the 1990's is caused by the somewhat higher 1990-stage I emission factors compared to older technologies, for the engine size groups with large fuel consumptions.

The growth in gasoline fuel use is 39% from 1985 to 2004, and is more powerful after 2000, especially due to the increased use of riders (Figure 2). The fuel use by lawn movers and chain saws is smaller, significant fuel use inclines are, however, also noticed for these machinery types after 2000. From 1985-2004 an almost total phase out of the use of gasoline fuelled tractors is also expected. After 2004, the gasoline fuel use is almost constant since total stock figures and operational data remain unchanged in the forecast period. Though, the 5% reduction in gasoline fuel use from 2004 to 2020, is the benefit from the improved fuel efficiency for 2-stroke engines.

CO and HC emissions predominantly come from gasoline engines, and between 1985 and 2004 their gradual emission factor improvements (Table 2) more than outbalances the emission deterioration, giving smaller growth rates for emissions compared to fuel use. This is also the case for riders where significant emission increases are found. Between 2004 and 2020, the total emissions of HC and CO decrease by 41% and increase by 4%, respectively (Table 4). Small or zero emission factor reductions for stage I and II engines in combination with higher deterioration factors cause the CO emissions for

gasoline machinery to increase even after the time of stage I (2005) and II (2007) engines entering the market (most visible for riders). For HC, the same explanation applies for chain saw and lawn mover stage I engines; their emissions continue to increase until the emission efficient stage II engine technology enter into the market in 2008.

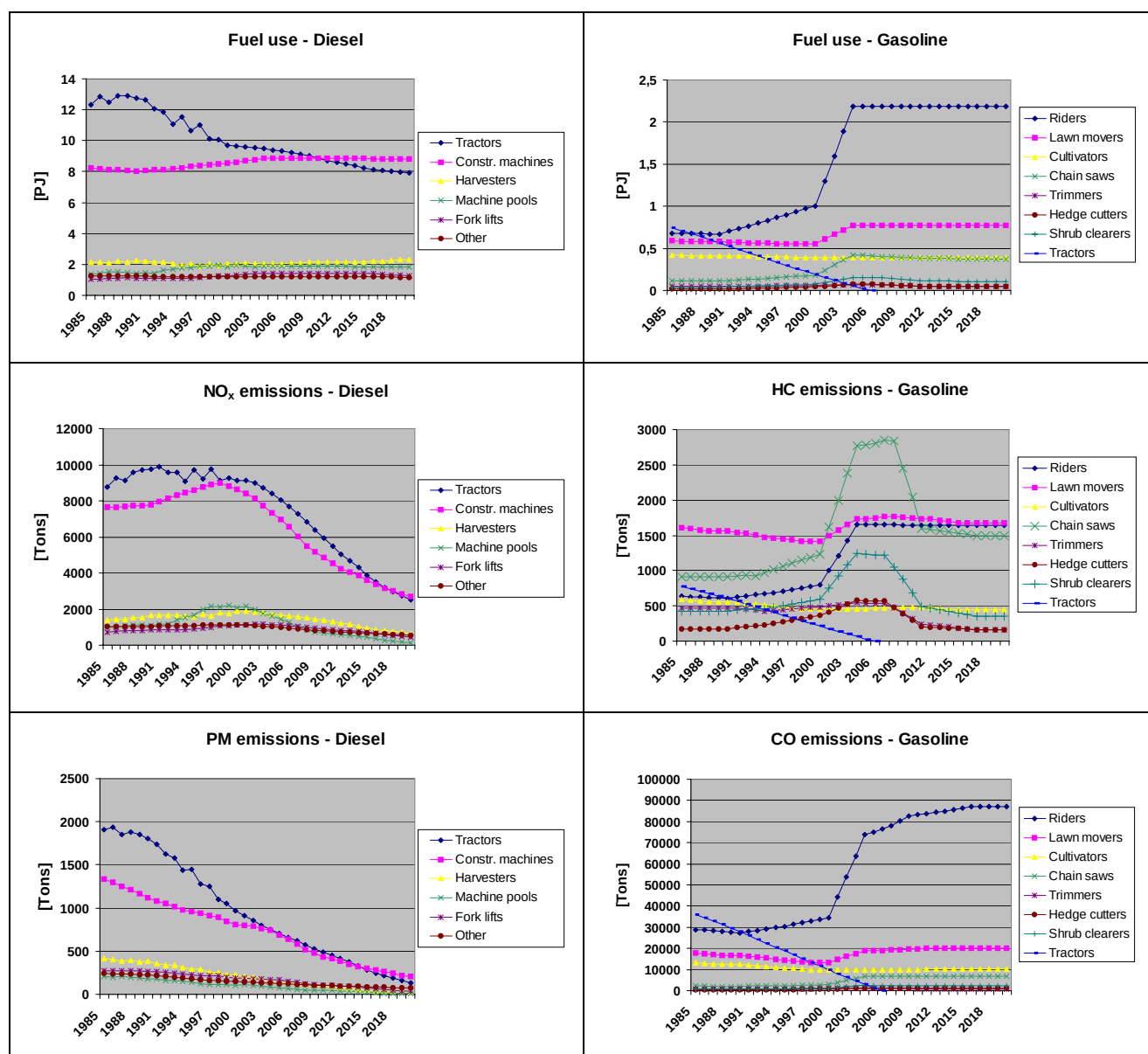


Figure 2: 1985-2020 Fuel use and emissions of NO_x, PM, HC and CO in sub sectors of diesel and gasoline non road machinery in Denmark

In 2004, the fuel use estimate obtained with the new model becomes 10% bigger, compared to the previous model estimate. This is due to an increase of around 300% in the calculated gasoline fuel use. For HC and CO, the new results become 9 and 74% higher, whereas the NO_x and PM emissions become 21 and 22% lower, respectively, than previous model results. The model differences for HC and CO are due to the large gasoline fuel use increase in the new model, since the derived HC and CO emission factors are somewhat lower. The reason for the NO_x and PM differences are the generally lower emission factors in the new model.

Figure 3 shows the total Danish NO_x, PM, HC and CO emissions from mobile sources in the forecast period 2005-2020. In the beginning of the forecast period non road machinery is the second largest emission source, in all four cases. The largest emission decreases are expected for NO_x and PM. Here the non road emissions reduce by 61 and 71%, respectively, from 2005 to 2020, due to the gradually strengthened diesel emission standards (Table 1). The non road emission reductions are almost the same as for road transport, (69 and 77% respectively, for NO_x and PM), and the emission contributions from both sectors become smaller than for internal marine (national sea transport, small boats, fishing vessels). This occurs in 2008 for non road NO_x, and by the end of the forecast period for PM and road traffic NO_x.

The reduction percentage for non road HC emissions are somewhat smaller (40%), whereas for CO the emission development is so poor, that non road machinery ends up being the largest source of emissions after 2015. This is due to small or zero CO emission factor reductions for stage I and II engines (Table 2) and higher deterioration factors for the same emission technology levels.

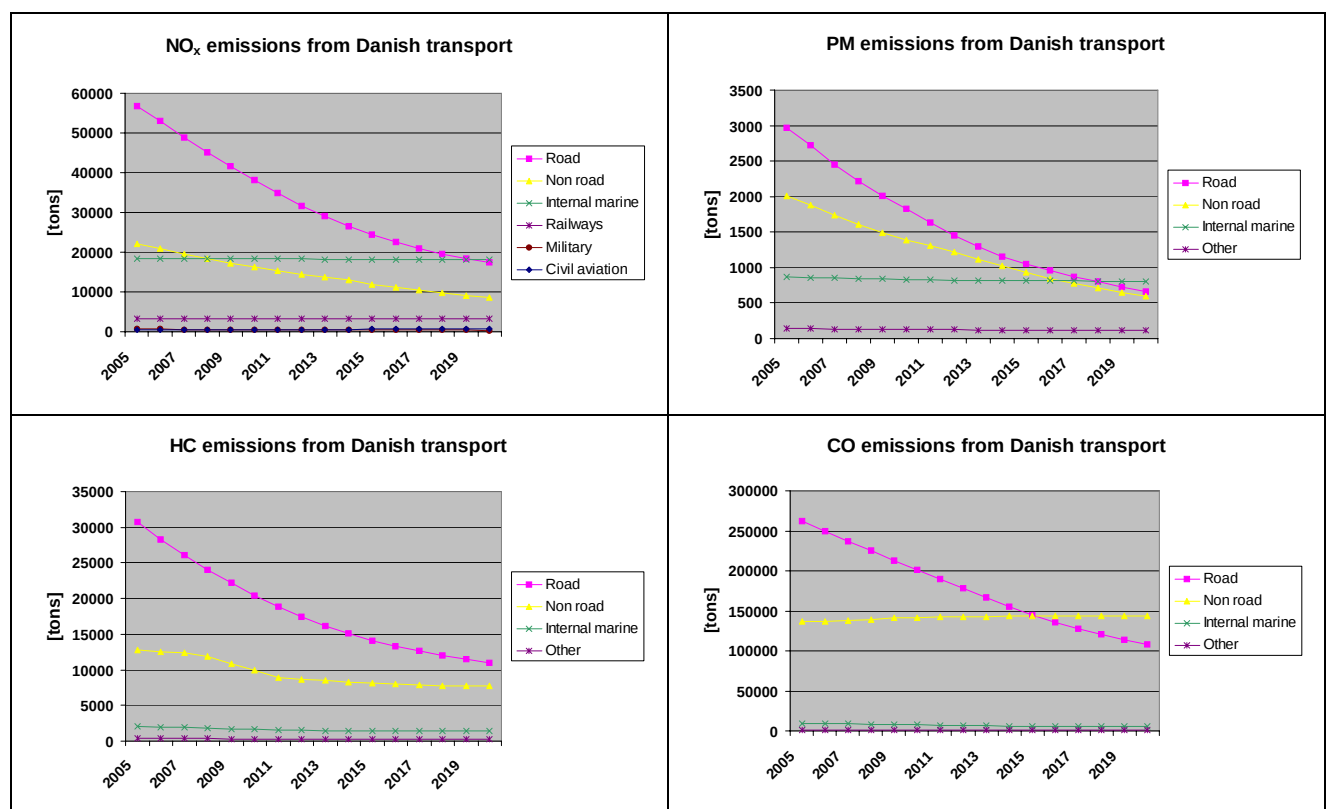


Figure 3: Total Danish NO_x, PM, HC and CO emissions from mobile sources from 2005-2020.

3. Conclusion

The trends in fuel use and emissions rely on the development in stock numbers, operational data and the estimated fuel use and emission factors. From 1985 to 2020, the total fuel use and the emissions of HC, NO_x and PM are expected to decrease by 7, 43, 62 and 87%, respectively. For CO, the emissions are expected to increase by 7%. In 2004, the fuel use estimate obtained with the new model becomes 10% bigger, compared to the previous model estimate. For HC and CO, the new results become 9 and 74% higher, whereas the NO_x and PM emissions become 21 and 22% lower, respectively, than previous model results. In the forecast period from 2005-2020, the non road NO_x and PM emission

reductions are almost the same as for road transport. The emission reduction for non road HC are somewhat smaller, whereas for CO the emission development is so poor, that from 2015, non road machinery becomes a larger emission source than road traffic.

This project has added new important knowledge in terms of stock and operational data, fuel use and emission factors, and total fuel use and emissions for non road machinery and recreational craft in Denmark. Moreover, the project has fostered contacts to Danish statistical experts, research institutions, different professional bodies, large engine manufacturers etc. The new non road model sets up experimental data and future EU emission legislation limits in a data matrix which underpins the calculation of fuel use and emissions, and in addition the model output fulfils the international emission reporting format.

On a European level, the purpose of the European EMEP/CORINAIR guidebook is to provide inventory support for country estimates, however, for non road machinery the guidebook data are more than ten years old. Consequently there is an urgent need for new data which is clearly demonstrated by the present work, looking at the differences in old and new estimates for Denmark. The fuel use and emission data used in the German inventory (IFEU, 2004) and in the present Danish inventory are able to cover the data need, and work should therefore be done to include these data in the EMEP/CORINAIR guidebook.

4. References

- Bak F., Jensen M.G. & Hansen K.F. (2003): Forurening fra traktorer og ikke-vejgående maskiner i Danmark., Miljøprojekt nr. 779, Miljøstyrelsen (in Danish).
- Dansk Teknologisk Institut (1992): Emission fra Landbrugsmaskiner og Entreprenørmateriel., commissioned by the Danish EPA and made by Miljøsamarbejdet in Århus (in Danish).
- Dansk Teknologisk Institut (1993): Emission fra Motordrevne Arbejdsredskaber og –maskiner., commissioned by the Danish EPA and made by Miljøsamarbejdet in Århus (in Danish).
- EMEP/CORINAIR (2003): EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook 3rd Edition September 2003 Update., Technical Report no 20, European Environmental Agency.
- IFEU (2004): Entwicklung eines Modells zur Berechnung der Luftschadstoffemissionen und des Kraftstoffverbrauchs von Verbrennungsmotoren in mobilen Geräten und Maschinen - Endbericht., UFOPLAN Nr. 299 45 113, pp. 122, Heidelberg (in German).
- Statistics Denmark (1965-1981): Agricultural statistics., Statistics Denmark (Danish).
- Statistics Denmark (2005): Agricultural statistics (www.statistikbanken.dk/statbank5a).
- Winther, M., Nielsen O. 2006: Fuel use and emissions from non road machinery in Denmark from 1985-2004 - and projections from 2005-2030. Miljøprojekt 1092. Miljøstyrelsen. 238 pp. (<http://www.mst.dk/udgiv/Publications/2006/87-7052-085-2/pdf/87-7052-086-0.pdf>.)