

VEJFORBINDELSE MELLEM LYNGBYVEJ OG GITTERVEJ – ET EKSEMPEL PÅ BRAESS PARADOX

Otto Anker Nielsen¹, Professor, [oan@ctt.dtu.dk](mailto: oan@ctt.dtu.dk)

Alex Landex¹, Civilingeniør, [al@ctt.dtu.dk](mailto: al@ctt.dtu.dk)

¹Center for Trafik og Transport (CTT), Danmarks Tekniske Universitet (DTU)

Bygning 115, st.tv. Bygningstorvet, 2800 Lyngby

1 Introduktion

I rutevalgmodeller antages det ofte, at bilister vælger rute for at minimere deres egen nyttefunktion, der f.eks. kan bestå af længde, tid og trængsel. Herved opstår den såkaldte brugerligevægt. Systemligevægten er derimod den tilstand, hvor alle bilister organiserer sig, så den samlede tid (nytte) er optimal i systemet. Dette er som regel urealistisk at opnå, da det forudsætter, at nogle bilister vælger mindre attraktive alternativer, ”ofrer sig”, for at andre kan opnå en fordel. Brugerligevægten resulterer således normalt i større (samlede) systemomkostninger end systemligevægten - i meget sjældne, simple tilfælde er de lig hinanden.

I vejnet med kapacitetsproblemer kan der i særlige tilfælde opstå situationer, hvor en ny vejforbindelse medfører, at det samlede tidsforbrug for bilisterne stiger. Dette skyldes, at den nye vej får bilisterne til at ændre adfærd på en u hensigtsmæssig måde. Første gang dette paradox blev påvist var i 1968 af Braess, deraf navnet Braess paradox.

Braess paradox kan let påvises for simple vejnet, eksempelvis som i afsnit 3. Imidlertid er paradoxet sjældent påvist for virkelige trafiknet. I artiklen vises det imidlertid, at Braess paradox også kan forekomme ved anlæg af en nye vejanlæg – i dette tilfælde en forbindelse fra Lyngbyvej til Gittervej i København (afsnit 4). Før disse to eksempler giver artiklen indledningsvis en kort introduktion til den teoretiske baggrund for rutevalgmodeller.

2 Teoretisk baggrund for rutevalgmodeller

Teorigrundlaget for rutevalgmodeller udviklede sig fra 1960'erne til 80'erne sig fra rent heuristiske metoder, til modeller baseret på et mere genarbejdet teorigrundlag. Udviklingen er nærmere beskrevet i Nielsen (2000) fra hvilken, der gives et kort resumes i det følgende.

2.1 Alt-eller-intet

Den simpleste rutevalgmodel er ”alt-eller-intet”-modellen, der bygger på følgende princip:

Den enkelte trafikant minimerer den deterministiske rejsemodstand.

Rejsemodstanden kan bestå af en sammenvægtning af forskellige variable vedr. trafiknettet, f.eks. hastighed og længde. Alt-eller-intet modellen rummer en række begrænsninger, herunder følgende implicite antagelser:

- Trafikken afvikles frit og uden nogen form for forsinkelser og trængsel.
- Trafikanterne har fuldt kendskab til trafiknettet.
- Alle trafikanter er ens og har samme præferencer.

2.2 Kapacitetsafhængige modeller - brugerligevægt

De første udvidelser af ovennævnte meget simple rutevalgsmodel skete i 1960'erne, hvor man ønskede at kunne tage hensyn til kapacitetsproblemer i trafiknettet. Trafikken fra rutevalgsmodellerne skulle derfor påvirke rejsetiderne i trafiknettet, der igen ville medføre en reallokering af ruterne.

I den forbindelse blev der udviklet en række forskellige algoritmer, f.eks. 'incremental loading' og 'capacity restraint' (se Nielsen, 1994). Fælles for disse algoritmer er, at de ikke er særligt stabile, at de ikke nødvendigvis konverger mod en entydig løsning, og at de ikke bygger på et egentligt teorigrundlag, der kan forklare løsningen. En mere generel formulering af kapacitetsafhængige modeller er den såkaldte *bruger ligevægt*¹:

En ligevægt opnås, hvor ingen trafikants deterministiske rejsemodstand kan formindskes ved, at den pågældende alene skifter rute.

Det er værd at bemærke, at brugerligevægt ikke er det samme som systemligevægt, hvor den samlede nytte i hele systemet maksimeres (Wardrop, 1952). Et af formålene med mange mindre justeringer af trafiknet - og på sigt måske også road pricing - er implicit at påvirke brugerligevægten mod en systemligevægt.

Idet formuleringen af brugerligevægt som et egentligt matematisk program, samt løsningen heraf, er ganske omfattende, henvises der til Sheffi (1995) for en komplet gennemgang og Nielsen (1994) for en mere oversigtsmæssig. Det bemærkes, at den mest benyttede løsningsalgoritme, Succesive gennemsnits metode (Method of Succesive Averages, MSA), er benyttet til løsning af samtlige udvidelser af rutevalgsmodellerne, beskrevet i det følgende. For ren brugerligevægt, kan algoritmen optimeres på forskellig vis, hvorved den konvergerer ret hurtigt (Ibid.).

2.3 Stokastiske modeller

Stokastiske modeller antager i deres simpleste form, at der er en vis tilfældig variation mellem forskellige trafikanters nyttefunktioner, eller rettere opfattelse og kendskab til trafiknettet:

Den enkelte trafikant minimerer sin opfattede (stokastiske) rejsemodstand.

¹ User Equilibrium (UE). Se Sheffi (1985) og Nielsen (1994) for en grundigere gennemgang.

Fordelen ved stokastiske modeller er, at de fordeler trafikken mere jævnt på ruter med næsten ens rejsemodstande. Hvis der eksempelvis ikke optræder kapacitetsproblemer, vil en deterministisk model allokere al trafik på én af ruterne på figur 1, mens en stokastisk model vil fordele trafikken på forskellige ruter. Sidstnævnte kan formuleres med en nyttefunktion, hvor rejsemodstanden (her blot tiden t) adderes et stokastisk led ε_a :

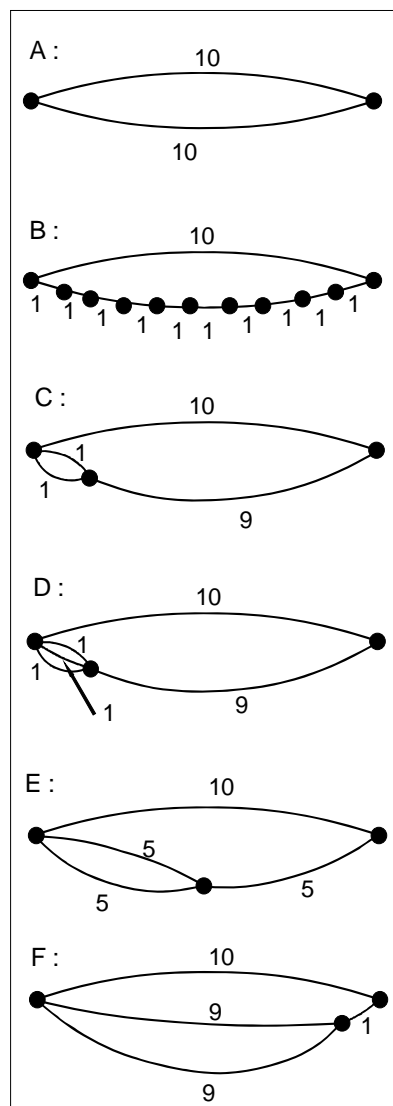
$$U_a = -(t_a + \varepsilon_a) \quad (1)$$

Dial (1971) formulerede en stokastisk model som et matematisk program, hvor nyttefunktionen betragtede de samlede ruter. De stokastiske led på ruteniveau blev antaget at være uafhængigt identisk Gumbelfordelt, hvorved en matematisk bekvem model, *logitmodellen*, kunne udledes. Dial fandt en effektiv løsningsalgoritme, der undgik simulering.

Antagelsen om uafhængighed fører imidlertid til en række problemer i net, hvor der er overlappende ruter. Eksempelvis vil logit-modellen fordele trafikken ligeligt på ruterne i alle nettene i figur 1. Derved vil få varianter af principielt samme rute medføre mere trafik på denne rute. Typisk er der en lang række forskellige mulige ruter gennem trafik- og lokalvejnet i byområder, mens en omfartsvej eller motorvej kun repræsenterer én rute. Således vil logit-modeller ofte undervurdere trafik på det overordnede vejnet, og overvurdere trafikken på mindre trafikveje og andre veje i byområder.

For at komme dette problem til livs foreslog Daganzo & Sheffi (1977) at benytte probit-baserede rutevalgmodeller². Og de viste, at sandsynligheden for, at en given strækning eller rute benyttes, kan beskrives med en multinomial normalfordeling (probit-model), under følgende forudsætninger:

- Ikke overlappende strækninger opfattes uafhængigt.
- Strækninger med samme gennemsnitlige rejsemodstand har samme fordeling af opfattede modstande.



Figur 1. Test af overlappende ruter med forskellige rejsemodstande.

² En probitmodel vil allokere halvdelen af trafikken på hver hovedrute i net A og B i figur 1, lidt mere på den anden hovedrute i net C og D (går mod 50% des mere overlap), ca. 1/3 på de tre ruter i net F (lidt mere på den første rute), og noget midt imellem på net E (se Nielsen, 1994, for grundigere tests).

- De opfattede rejsemønstre, $c_{a(\epsilon)} = t_{a(\epsilon)}$, er normalfordelte med middelværdi lig rejsemønstret og varians proportional hermed, $c_{a(\epsilon)} \in N(c_a, \text{err} \cdot c_a)$.

Sheffi & Powell (1981) fremlagde en operationel løsningsalgoritme, der blev udledt under disse forudsætninger - igen den successive gennemsnits metode. Denne er bl.a. præsenteret i Nielsen (1996b). I forhold til den logit-baserede model, konvergerer løsningsalgoritmen betydeligt langsommere, idet den involverer simulering.

2.4 Stokastiske kapacitetsafhængige modeller – stokastisk brugerlige vægt

I mange trafiknet, er der både områder med kapacitetsproblemer, f.eks. indfaldsvejene til København og områder uden kapacitetsproblemer, hvor der er mulighed for flere rutevalg, f.eks. trafik mod pendlingsretningen, yderområder, trafik uden for myldretiden. Det vil således som regel være nødvendigt at kombinere principperne om brugerlige vægt (afsnit 2.2) med stokastisk rutevalg (afsnit 2.3) til en stokastisk bruger lige vægt (Stochastic User Equilibrium, SUE):

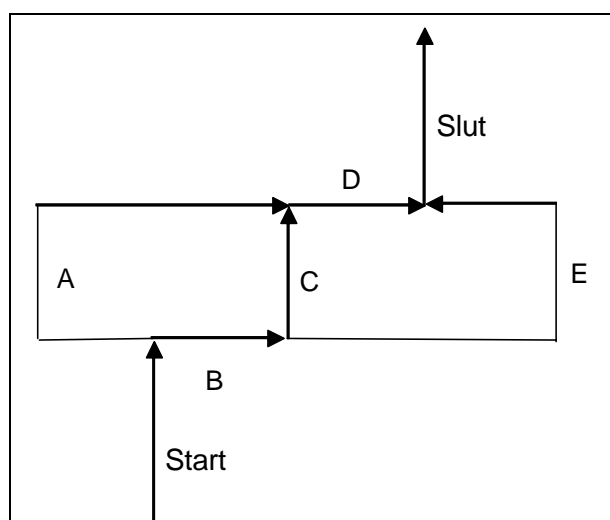
En lige vægt opnås hvor ingen trafikants opfattede rejsemønstre kan formindskes ved, at den pågældende alene skifter rute

Daganzo og Sheffi (1977) formulerede SUE som princip og matematisk program, mens Powell & Sheffi (1982) fandt en operationel løsningsalgoritme hertil (igen successive gennemsnits metode). Løsningsalgoritmen kan bygge på såvel logit- som probit-baseret rutevalg. I sidstnævnte tilfælde benyttes simulering. Som for den probit-baserede model, er der ikke fremkommet brugbare alternativer til simulering, når store vejnet modelleres.

3 Simpelt eksempel på Braess Paradox

I forskellige af hovedforfatterens forelæsninger, er Braess Paradox testet på et lille vejnet, der er gengivet i figur 2. For fuldstændighedens skyld vil det også blive testet på tilhørerne ved Trafikdage, og efterfølgende blive lagt op på hjemmesiden sammen med overheadene.

Testnettet består i udgangssituationen af to forskellige ruter fra en vej (for neden i figuren) til en anden (for oven), hhv. A->D og B->E. Begge går en omvej uden om C, der f.eks. kan være en sø, et bjerg eller en anden fysisk



Figur 2. Testnet til Braess Paradox.

forhindring. Begge ruter har begrænset kapacitet, og er derfor ramt af forsinkelser. For at opnå mere kapacitet i nettet bygges derfor en ny vej, C, der både er både kortere og hurtigere, og jo samtidigt lægger mere kapacitet til nettet.

I eksemplet er benyttet den såkaldte BPR-formel³ (2) til at beskrive forsinkelser på strækingsniveau⁴, idet dette er den mest udbredte formel. Det understreges dog, at Braess paradox kan optræde i alle situationer med en speed flowkurve, der er ikke-lineær.

$$t_a = t_{(0)a} \cdot \left(1 + \alpha \cdot \frac{T_a}{T_{(cap)a}} \right)^\beta \quad (2)$$

Hvor T_a er trafikken på strækning a , $T_{(cap)a}$ er den praktiske kapacitet, $t_{(0)a}$ den 'frie' rejsetid uden forsinkelser (0 trafikniveau), og α og β parametre.

Tabel 1 viser forudsætningerne som udgangspunkt i testnettet. Det antages at der er et transportbehov på 18.000 biler, der fordeler sig ligeligt på de to ruter. Med de antagelser, samme kapacitet samt alfa- og betaværdier for alle strækninger, kan tiden ad de enkelte strækninger udregnes. Samlet betyder det, at bilisterne gennemsnitligt benytter 66,4 minutter for at køre gennem nettet. I dette særlige tilfælde er tiden også ens for alle bilister.

Vej	Tid 0	Kapacitet	Trafik	Tid	Alfa	Beta
A	40	10000	9000	53,1	0,5	4
B	10	10000	9000	13,3	0,5	4
C	5	10000	0	5,0	0,5	4
D	10	10000	9000	13,3	0,5	4
E	40	10000	9000	53,1	0,5	4

Tabel 1. Forudsætninger i testnettet

Eksperimentet starter med at vej C åbnes. I eksperimentet vælger deltagerne derefter rute ved håndsoprækning, hvorved de dynamisk kan tage stilling til deres valg. De har således fuld information om de andre deltagers valg, men kan dog ikke fortryde før næste iteration. Alle, der ikke vælger rute 1 (A->D) og 2 (B->C->D) antages at bruge rute 3 (B->E). Deltagerne opskaleres, så de svarer til de 18.000 bilister. Resultatet for et hold bachelor studerende ved CTT fremgår af tabel 2.

³ Se f.eks. i den amerikanske 'Highway Capacity Manuals' (1994). Formlen blev i 1950'erne anbefalet af det daværende amerikanske 'Bureau of Public Roads', men stammer fra 1930'erne (se Nielsen, 1994).

⁴ Nielsen (1996a & b) beskriver en række fordele ved denne formel: 1) Den er lig den frie hastighed når trafikken er nul, 2) den kan omskrives til en hastighedsfunktion uafhængig af længden, hvorved parametrene kan estimeres generelt, 3) den indeholder to uafhængige parametre, α og β , hvor den første beskriver niveauet af forsinkelsen og den anden formen på hastighedskurven, og 4) den er ikke begrænset af strækingskapacitet.

Iteration	0	1	2	3	4	5	6
Split (% B->C->D)	0	66,7	50	41,7	50	33	50
Samlet tid	66,4	83,4	78,5	60,3	67,2	57,3	63,6
Rute A-D	66,4	66,6	93,4	69,2	77,9	63,0	67,4
Rute B-C-D	0	83,9	69,8	52,8	62,3	46,1	59,9
Rute B-E	66,4	87,9	56,1	61,2	60,5	63,0	67,4

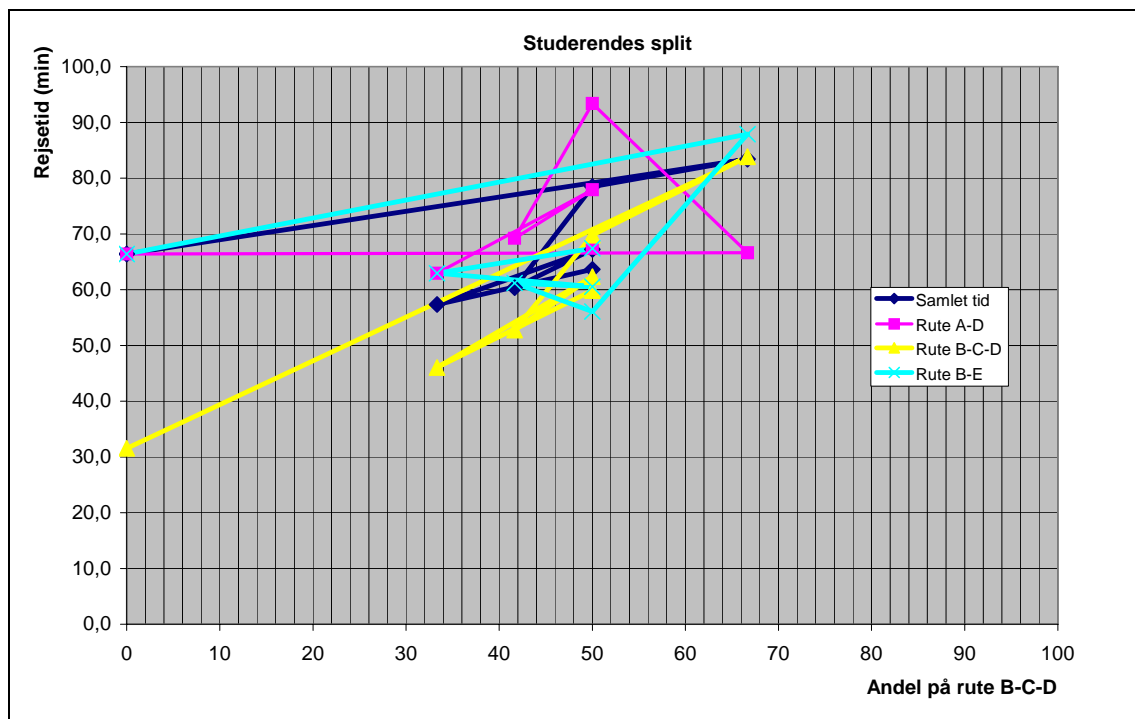
Tabel 2. Rejsetider i testnettet.

Før start blev det antaget at halvdelen valgte rute 1 og halvdelen 3, og derved at rejsetiden var 66,4 min. Split i tabellen angiver hvor mange, der valgte rute 2 (før start nul).

Efter at den nye vej åbnede, valgte særligt mange (66,7 %) denne rute (B->C->D), idet man ud fra de initiale tider (13,3 min + 5 min + 13,3 min = 31,6 min), måske kunne mn foranlediges til at antage, at den var meget hurtigere end 1 og 3 (der før tog 66,4 min). Nogle særligt vakse deltagere havde dog gennemskuet, at da vej C "kun" har en kapacitet på 10.000 biler, og der i alt skal rejse 18.000, så var der risiko for sammenbrud – hvilket netop også skete. Således endte det med at tage 83,9 minutter ad denne rute.

De to gamle ruter tog imidlertid nu også længere tid, nemlig hhv. 66,6 minutter og 87,9 minutter. Grunden til dette er, at trafikken på hhv. B og D vil være større eller lig før, hvis bilerne fordeler sig ligeligt mellem de to gamle ruter, fordi flowet på den nye rute er taget fra begge gamle ruter, og det lægges til den trafik, der er tilbage på den gamle rute. Og derved øges rejsetiden også på strækning B og D.

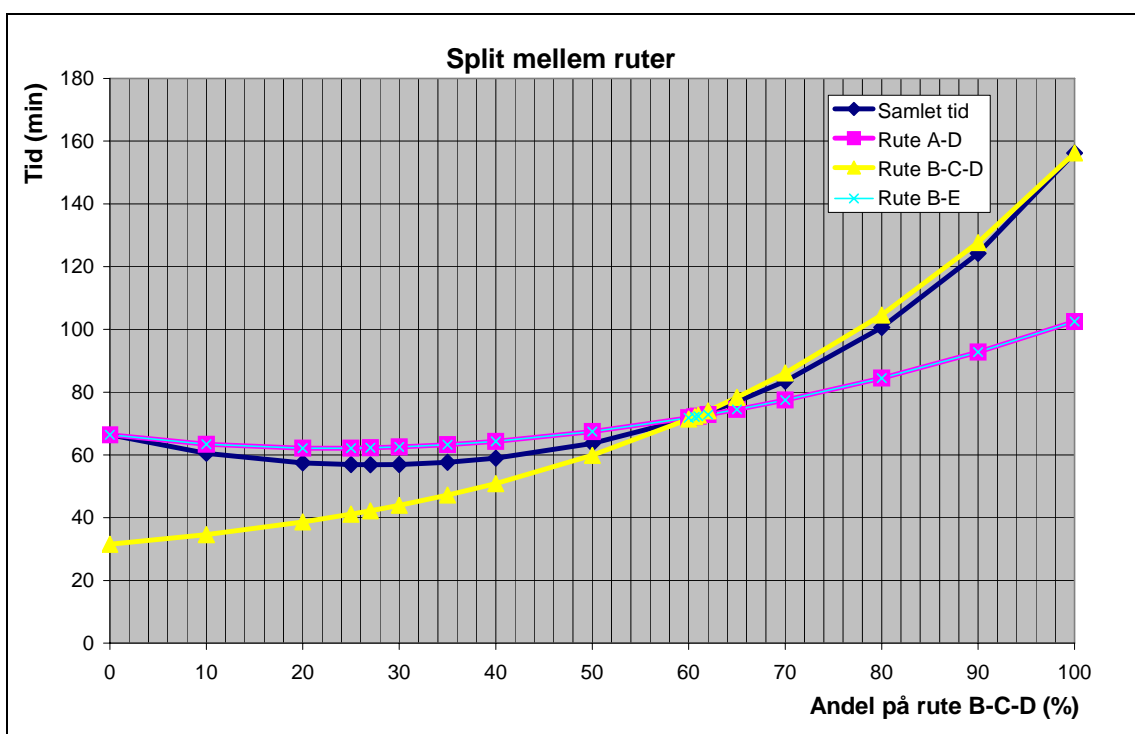
Efter første iteration kunne deltagerne se, at dem der havde valgt rute 1 kom hurtigere frem end dem der havde valgt rute 2 og 3. Derfor skete der nu et nyvalg, så der var for meget trafik



Figur 3. Eksempel på rejsetider mellem de tre rute. Punktet med andel 0 på rute B-C-D er starten af eksperimentet.

ad rute 1. Det justeredes så næste gang, og så fremdeles. Forløbet kan også illustreres som vist på figur 3, hvor det fremgår at løsningerne svinger frem og tilbage, men nærmer sig en ligevægt. Eksperimentet er tidligere gennemført ved kandidatstuderende ved CTT og et hold internationale ph.d.-studerende (på kursus i Molde, Norge) med lignende resultater. Lader man eksperimentet køre fuldt ud, ender man tilnærmelsesvist på en ligevægt, hvor ingen af deltagerne kan spare tid ved at skifte rute.

For at illustrere mulige valg er alle løsninger med andele på rute 2 (B-C-D) fra 0% til 100% vist på figur 4 (for detail-tal se endvidere tabel 3). Løsningen uden strækning C er som med nul andel på rute B-C-D. Her vil rute B-C-D imidlertid være meget hurtigere, og brugerne vil derfor starte med at flytte hertil fra de to gamle ruter. Bilisternes valg bevæger sig således mod højre i figuren. Ved en sandsynlighed på 27% er den samlede gennemsnitlige tid i systemet mindst; i dette tilfælde 56,8 minutter, hvilket er mindre end før (66,4 minutter). Dette er således systemligevægten. Imidlertid er rute 2 stadig langt hurtigere end 1 og 3, og bilisterne vil således stadig flytter over til denne rute.



Figur 4. Rejsetider ad de tre ruter med alle mulige valgsandsynligheder for rute B-C-D.

Først ved en valgsandsynlighed for rute 2 på 60,63% opnås en ligevægt, hvor alle tre ruter tager samme tid, nemlig 72,2 minutter. Dette er netop brugerligevægten, som dels er dårligere end systemligevægten, dels i dette specielle tilfælde også dårligere end situationen uden den nye vejstrækning.

Split	0	10	20	25	27	30	35	40	50	60	60,63	61	62	65	70	80	90	100
Samlet tid	66,4	60,5	57,5	56,9	56,8	56,9	57,6	58,9	63,6	71,6	72,2	72,6	73,6	77,0	83,5	100,6	124,2	156,2
Rute A-D	66,4	63,4	62,2	62,2	62,3	62,5	63,2	64,3	67,4	71,8	72,2	72,3	72,9	74,5	77,5	84,5	92,8	102,5
Rute B-C-D	31,6	34,6	38,6	41,1	42,2	44,0	47,2	50,9	59,9	71,4	72,2	72,7	74,1	78,3	86,1	104,6	127,7	156,2
Rute B-E	66,4	63,4	62,2	62,2	62,3	62,5	63,2	64,3	67,4	71,8	72,2	72,3	72,9	74,5	77,5	84,5	92,8	102,5

Tabel 3. Alle valgsandsynligheder i eksemplet.

3.1 *Hvornår optræder Braess Paradox*

Braess paradox optræder typisk i situationer, hvor et nyt vejanlæg afhjælper en flaskehals (i dette tilfælde vej A og E), men flytter trafikken på en uheldig måde, så der opstår nye flaskehalse (i dette tilfælde de tidligere veje B og D såvel som den nye vej C). Dette er typisk i særlige situationer, hvor der både er flaskehalse og nærved-flaskehalse i vejnettet – altså typisk i vejnet med forholdsvis store trafikbelastninger.

Generelt er forklaringen, at nogle af bilisterne vælger ruter, som gør at de sparer tid. Men deres marginale tidsbesparelse overstiger den ekstra tid, som de påfører alle andre bilister. Dette forekommer typisk hvor hældningskoefficienten på speed-flow kurven er relativt stor.

Hvis eksemplet fra før benyttes med samme data, bortset fra at vej B og D har en kapacitet på 13.000 biler i stedet for 10.000, så er tiden før den nye vej næsten den samme (63,8 min, i stedet for 66,4 min.). Men kurven flytter sig, så systemligevægten ligger ved 45% split og 47,3 min i snit (mod 27% og 56,8 min før), og brugerligevægten ligger ved 82,6% split og 62,8 min (mod 60,63% og 72,2 min før). Med denne større kapacitet i nettet er brugerligevægten således bedre end uden den nye vej (62,8 min mod 63,8 min), og Braess paradox optræder ikke mere. Men systemligevægten er stadig markant bedre end brugerligevægten.

3.2 *Fortolkninger vedrørende stokastik*

Figur 3 viste, at der er en stor grad af stokastik i personers rutevalg, idet iterationerne ellers ville have gået hurtigt og uden svingninger frem til løsningen. Således er der en klar indikation på, at bilister også har et vist grad af stokastik i deres valg.

Betragtes figur 4, vil en stokastisk brugerligevægt bevæge sig omkring systemligevægten. Hvis den ligger til venstre herfor, er rejsetiderne ad de tre rute forholdsvis ens. Er den til højre herfor er der større forskel, og derfor vil valget - forudsat konstant varians af fejlløbet – hurtigere bevæge sig mod mindre andele på rute B-C-D. Således må den stokastiske brugerligevægt anses for med større (eller mindst samme) sandsynlighed at ligge til venstre for brugerligevægten på figuren end til højre. Og dermed vil den samlede rejsetid i den stokastiske brugerligevægt med større sandsynlighed være mindre end større end brugerligevægten i dette simple net.

Det primære argument for trafikinformatik er ofte, at bilisterne derved kan agere mere rationelt set i forhold til deres individuelle rutevalg og valgkriterier. I eksemplet ovenfor vil det således rykke den stokastiske brugerligevægt nærmere den deterministiske brugerligevægt, hvilket med større sandsynlighed vil øge den samlede rejsetid i systemet end reducere den.

Dette forhold gælder både i eksemplet med Braess paradox og i eksemplet uden (med den lidt større kapacitet på vej B og D).

I vejnet med trafikbelastninger tæt på kapacitetsgrænsen vil trafikinformatik således ikke nødvendigvis medføre forbedringer, men ofte med større sandsynlighed øgede rejsetider.

Omvendt viser figuren, at man med rette prissætning (vejafgift, roadpricing) på rute (B-C-D) kan påvirke systemet, så valgsandsynlighederne flyttes til systemligevægten. Overstiger tidsbenefit således transaktionsomkostningerne (det det koster at drive vejafgiftssystemet), så vil det være en fordel, hvis man alene ser på tidsforbrug.

4 Test på Gittervejsforbindelsen

I praksis er vejnet og rutevalg sjældent så simple som i det nævnte eksempel, og ofte vil nye vejprojekter være så gavnlige, at Braess paradox ikke optræder. Eksempelvis har de studerende på CTT's kursus i ArcGIS og trafikplanlægning (www.ctt.dtu.dk/Uddannelse/Kurser.aspx?coursecode=13003, 2/8-2005) igennem de sidste 3 år regnet på en række forskellige projekter i Hovedstadsområdet uden at Braess paradox optrådte. Imidlertid viste paradokset sig tilsyneladende i en opgave i år vedrørende anlæg af en forbindelse fra Lyngbyvej til Gittervej (se figur 5). For at bekræfte dette har forfatterne gennemført en række yderligere og mere detaljerede beregninger af dette projekt.



Figur 5. Forbindelsen mellem Lyngbyvej og Gittervej. (Trafikministeriets hjemmeside, www.trm.dk, 2/8-2005)

Forbindelsen fra Lyngbyvej til Gittervej er et af de højt prioriterede projekter i Hovedstadsområdet. Forbindelsen er en forudsætning for en Havnetunnel – langsgående såvel som tværgående. På det seneste har projektet været meget omtalt, fordi det indgår i den skitserede aftale vedrørende en metroring i København; Gittervejsforbindelsen skal sikre bedre adgang til Nordhavn, hvis grundudvikling skal være med til at finansiere metroen. Regeringen har forudsat at Københavns kommune finansierer Gittervejsforbindelsen.

4.1 Beregningsforudsætninger

Modelberegningerne til artiklen er udført med hhv. en ren brugerligevægts rutevalgsmodel (UE) og en stokastisk version af samme (SUE). For at være sikker på, at algoritmen var konvergeret, benyttedes 250 iterationer. Både for UE og SUE modelleredes situationen før og

efter Gittervejsforbindelsen. Ud over selve Gittervejsforbindelsen er der i modelnettet anlagt nye ramper mellem Lyngbyvej fra syd og Motorringvejen fra vest.

Vejnettet bygger på en specialversion af KRAKS vejnet, som CTT har arbejdet med i en år-række. Denne er bl.a. forbedret med hastighedsmålinger med GPS fra AKTA forsøget (Nielsen, 2003). Efterspørgslen beskrives af turmatricer fra opskaleret fra OTM (Ørestadstrafikmodellen) til at passe på 2004-tællinger.

Beregningsmodellen benytter tidsværdier og koefficienter fra Havnetunnelprojektet (se Nielsen m.fl. 2002) fordelt på 5 forskellige turformål; pendling og studerende, erhvervsture med personbil, fritid, varebiler og lastbiler. Trafikken er fordelt på vejnettet separat i morgenmyldretiden (herunder spidsen og skuldrene for sig), eftermiddagsmyldretiden (også spids og skuldre for sig) samt resten af dagen – altså 5 perioder hver med 5 turformål. De samlede resultater er vist i bilag 1.1.

4.2 Forbindelse med krydsning

De første beregninger blev gennemført på et projekt fra Lyngbyvej til Gittervej (Standvænget) med et vejkryds (kunne alternativt udføres med ramper) mellem den nye vej og Strandvejen-Østerbrogade. De overordnede resultater heraf er vist i tabel 4. Den frie tid er defineret, som den tid det ville have taget at køre ad den enkelte vejstrækning, såfremt der ikke var trængsel herpå. Trængselstid er den ekstra tid som følge af trængsel. Den samlede frie tid i nettet kan med denne definition også påvirkes af trængsel, idet nogle bilister vil vælge omvejskørsel for at undgå trængsel, hvorved også den ”frie tid” ville øges. Ved beregningen af tidsværdien i tusinde kr. per dag er benyttet samme tidsværdier som i Trængselsprojektet (Nielsen, 2005). Detailtallene fremgår også af bilag 1.1.

Model Tidskomponent	Brugerligevægt (UE)			Stokastisk ligevægt (SUE)		
	Fri tid (timer)	Trængsel (timer)	Tidsværdi (t kr./dag)	Fri tid (timer)	Trængsel (timer)	Tidsværdi (t kr./dag)
Morgen spids	32	-23	1,2	111	194	27,9
Morgen skuldre	26	-33	-1,3	-55	-91	-16,2
Eftermiddag spids	18	3	4,4	5	-68	7,6
Eftermiddag skuldre	37	-37	-1,0	-54	-112	-23,0
Uden for myldretid	300	47	40,7	235	-138	-46,3
Total	413	-42	43,9	242	-215	-50,0

Tabel 4. Forbedringer i timer og kr. per dag som følge af projektet i forhold til basis (minus er en forværring).

Som det fremgår af tabellen, så er effekten af projektet samlet set positivt ifølge brugerligevægten, dog giver projektet et tidsværditab i begge myldretiders skuldre. Således optræder Braess paradox i nogle af tidsperioderne. Set i relation til den samlede rejsetid i systemet samt

trafikmængden på den nye vej, bemærkes derudover, at både forbedringer og forværringer er ret små tal, der langt fra kan give en tilfredsstillende samfundsøkonomisk forrentning af investeringen i projektet set ud fra et tidsbesparelseskriterium.

Betragtes den stokastiske brugerligevægt, der er det mest realistiske princip, og det der reproducerer basis bedst⁵, så ses at projektet også samlet set øger tidsværditabet i Hovedstadsområdet. Således optræder Braess paradox her også for den samlede døgntrafik. Det bemærkes endvidere, at der er stor forskel på de samlede resultater, alt efter om man benytter den ene eller anden model. Med stokastisk brugerligevægt (SUE) er tidsbenefits således negative, og projektet bør således ikke besluttes uanset anlægsomkostningerne.

Samlet set betyder ovenstående, at projektet i bedste fald stort set ikke forbedrer fremkommeligheden i København – i værste fald p.g.a. Braess paradox faktisk forværrer fremkommeligheden. Idet Braess paradox i beregningerne optræder i myldretiderne frem for uden for myldretiden, betyder det også, at projektet formentligt bliver værre og værre, hvis der sker en generel trafikvækst.

Effekterne kan også vises grafisk på differenskort i vejnettet. Det vil være for omfattende at vise alle differenskort i bilaget (de uploades efterfølgende sammen med eksperimentet og overheads på www.trafikdage.dk). Men generelt var forskellen på SUE (stokastisk brugerligevægt) og UE (deterministisk brugerligevægt), at der i SUE flyttedes noget trafik fra det overordnede vejnet på de lidt mindre veje (såkaldt sivetrafik). De overordnede differenser med og uden det nye projekt var dog meget lig hinanden i SUE og UE. Døgnkort lignede også kort for de enkelte tidsperioder.

Bilag 2.1 viser et differenskort for brugerligevægten. Dette illustrerer, at der sker ganske store overflytninger af trafik mellem forskellige veje og ruter. De relative ændringer på vejnettet er således meget større, end totaltallene i tabel 4 måske antyder. Dette er også forklaringen på de store forskelle i UE og SUE's totale tal, idet store ulemper trækkes fra store fordele og så ender i en differens tæt på nul. Det er netop en egenskab ved ligevægte, at der nok sker store omflytninger, men trafikken indretter sig således, at den enkelte bruger udnytter den nye vejkapacitet bedst muligt i forhold til sin nyttefunktion.

Den største effekt er, at der kommer meget trafik på den nye vej. Denne kommer ved overflytninger til ruter fra Motorringvejen-Lyngbyvej, Ring 2-Lyngbyvej og enkelte andre veje - Lyngbyvej, til den nye vej, og derfra videre til Strandvejen, Strandvænget og Østerbrogade. Især Østerbrogade får en kraftig trafikvækst, der er så stor, at der må forventes at komme en ny flaskehals her. Den primære forklaring til at Braess paradox optræder for dette projekt må således antages at være mertrafikken på Østerbrogade.

⁵ Der er her benyttet samme konfiguration af rutevalgsmodellens nyttefunktion, som der blev estimeret i Havnetunnel projektet, jf. Nielsen m.fl. (2002).

De største aflastninger af trafikken sker på den resterende del af Østerbro, samt mindre aflastninger på store dele af det resterende vejnet i et meget stort geografisk område. Sidstnævnte skyldes overflytning af trafik fra trafikvejnettet til Lyngbyvej.

Betragtes de detaljerede tabeller i bilag 1.1 ses at effekterne er noget forskellige for de forskellige turformål, hvilket dels kan skyldes deres forskellige tidsværdier (og derved rutevalg), dels at de kan have forskellige turmønstre (relativ fordeling på celler i OD-matricerne). For brugerligevægten er det tydeligt, at gevinsten er i den del af tiden, der udregnes på basis af den frie køretid (hvilket er rimeligt naturligt, idet den nye vej samlet set både giver mere kapacitet og kortere tid, hvis man ser bort fra netbetragtninger), mens ulemperne især er ekstra trængselstid. Med brugerligevægt optræder Braess paradox rimeligt konsekvent i myldretiderne, men ikke uden for myldretiden, hvilket også var forventeligt, da der her ikke er flaskehalse.

Ses derimod på den stokastiske brugerligevægt i de detaljerede skemaer, så er billedet lidt mere blandet, idet der for nogle af perioderne både sker forværring af trængselstiden og fri køretid. Sidstnævnte kan forekomme, hvis bilisterne kører en omvej i fri tid for at undgå trængselstid, som har højere tidsværdi.

Det fremgår også, at den samlede rejsetid i nettet er lidt større med den stokastiske brugerligevægt, end den deterministiske (461.102 timer i forhold til 448.271 timer – eller 2,8% større). For Hovedstadsområdet er der således noget der tyder på, at der kan opnås en beskedent tidsbesparelse såfremt alle bilister havde fuld information og agerede fuldt rationelt i forhold til deres turformåls nyttefunktion.

4.3 Forbindelse uden krydsning

Beregningerne ovenfor viste primært, at Braess paradox optræder i vidt omfang for projektet, der forbinder Gittervej med Lyngbymotorvejen, samt at årsagen hertil måske er den øgede trafik ad den nye vej og videre ad Østerbrogade. For at undersøge dette gennemførtes et nyt sæt beregninger – denne gang med en niveaufri skæring uden forbindelse mellem den nye vej og Strandvejen. Bilag 2.2 viser, at dette projektet undgår væksten på Østerbrogade, og derved den afledte flaskehals, der måske forårsagede Braess paradox.

De overordnede resultater heraf er vist i tabel 5. Som det fremgår, så optræder Braess paradox nu i langt mindre omfang, om end det stadig forekommer i nogle af tidsperioderne, og jf. bilag 1.2 også for nogle af turformålene. En af årsagerne hertil kan være, at der i den anden ende af korridoren – ad Motorringvejen – måske også optræder situationer med Braess paradox.

Model Tidskomponent	Fri tid (timer)			Trængsel (timer)		
	Fri tid (timer)	Trængsel (timer)	Tidsværdi (t kr./dag)	Fri tid (timer)	Trængsel (timer)	Tidsværdi (t kr./dag)
Morgen spids	29	8	5,7	17	-99	-5,2
Morgen skuldre	38	-33	-0,6	-53	-67	-29,4
Eftermiddag spids	21	11	4,5	82	71	42,6
Eftermiddag skuldre	46	-36	-1,0	-77	-137	-13,4
Uden for myldretid	402	44	44,8	687	109	20,0
Total	536	-6	53,5	655	-124	15,5

Table 5. Forbedringer i timer per dag som følge af projektet med niveaufri skæring af Strandvejen i forhold til basis.

Selvom den niveaufrie skæring forbedrede projektet betydeligt, så er der stadig tale om relativt beskedne tidsbesparelser af størrelsesordenen 15 mio. kr. per år med UE og ca 5 mio. kr. per år med SUE, hvilket næppe kan retfærdiggøre en investering i størrelsesorden 1,5 mia. kr. (Københavns kommune, 2004). I særlig grad er det bemærkelsesværdigt, at projektet ifølge udregningerne med SUE er en ulempe i morgenmyldretiden. Ved øgede trafikbelastninger kan man således måske forvente, at projektet bliver mindre gavnligt også i eftermiddagsmyldretiden, og måske endda også uden for myldretiden.

5 Konklusioner

Artiklen gennemgår Braess paradox, der siden 1968 har været kendt i litteraturen (Braess 1968). Paradoxet illustreres på et lille test-vejnet, hvor en ny vej, der intuitivt burde forbedre fremkommeligheden, viser sig at øge den samlede rejsetid for bilisterne. Eksemplet bygger på realistiske trafikmængder, kapaciteter og speed-flowsammenhænge (standardparametre). Det argumenteres at Braess paradox i særlig grad optræder i vejnet, hvis trafikmængder ligger tæt på kapacitetsgrænserne, således at en brugerligevægt eller stokastisk brugerligevægt reelt opnås ved omfordeling mellem forskellige ruter.

Selvom mange måske vil påstå at Braess paradox er en teoretisk konstruktion, så viser artiklen det efterfølgende, at det også kan optræde i virkelige vejnet. Beregningerne er foretaget baseret på en avanceret flerklasse rutevalgsmode, og med turmatricer og turformål, som CTT i en række sammenhænge har brugt i Hovedstadsområdet.

I eksemplet vises at en ny vejforbindelse fra Lyngbyvej til Gittervej (Standvænget) med et veikryds mellem den nye vej og Strandvejen-Østerbrogade kan medføre at det samlede tidsforbrug for bilisterne stiger (Braess paradox). Dette nye og meget kostbare projekt, der står højt på politikernes og mange planlægges dagsorden vil således formentligt forværre fremkommeligheden i Hovedstadsområdet.

Den trafikale forklaring på dette er, at noget af trafikken fra Lyngbyvej ind til byen rykker over til en rute ad den nye vej og Østerbrogade. De pågældende bilister får en lille tidsbesparelse. Men da de belaster en del af nettet, der er tæt på kapacitetsgrænsen (højt oppe på speed flowkurven) betyder det, at den ekstra gene de påfører alle de andre bilister på Østerbrogade overstiger deres egne benefits.

Da Braess paradox især optrådte i myldretiderne, betyder det at projektet bliver ringere og ringere – des mere trafikvækst der er i Hovedstadsområdet⁶.

Artiklen viser også, at hvis forbindelsen bygges ude af niveau (intet kryds ved Strandvejen-Østerbrogade), så optræder Braess paradox i mindre omfang – om end det stadig optræder i nogle tidsperioder og for nogle turformål.

Resultaterne er også interessante i og med, at tidligere beregninger af Havnetunnelprojektet har indeholdt såvel Havnetunnel som Gittervej-Lyngbyvej forbindelsen. Her kunne man forvente, at Braess paradox har optrådt skjult i en del af nettet (jf. overstående), hvilket har gjort at projektet samlet set ikke blev vurderet så positivt, som det måske kunne have været hvis man havde ”fintunet” forbindelsesvejene.

Resultaterne betyder generelt, at man skal være opmærksom på Braess paradox, når der gennemføres projektvurderinger i vejnet med stor trængsel. Rummer et projekt delelementer, kan Braess paradox være skjult blandt andre effekter. Det anbefales således at man, hvis det er muligt, forsøger at beregne på del-elementer af projekterne - i eksemplet Lyngbyvej-Gittervej uden havnetunnel - for at kunne identificere mulige uheldige konsekvenser.

6 Referencer

Braess, D. (1968). Über ein paradoxen der verkehrsplanung. *Unternehmensforschung* 12. pp. 258-268.

Daganzo, C.F. & Sheffi, Y. (1977). On Stochastic Models of Traffic Assignment. *Transportation Science*. No. 11(3), pp. 253-274.

Dial, R. B. (1971). A probabilistic Multipath Traffic Assignment Algorithm which obviates Path Enumeration. *Transportation Research*. No. 5(2). pp. 81-111.

Highway Capacity Manual (1994) Update. Transportation Research Board, Special Report 209, Washington, DC.

Københavns kommune (2004). *Forslag til Trafik- og Miljøplan 2004*. pp. 42.

⁶ Det bemærkes dog, at artiklen fokuserer på Braess paradox og rutevalg, og at artiklen derfor alene har undersøgt det samlede tidsforbrug og den samfundsøkonomiske prissætning heraf. Således kan der dels ske andre trafikale effekter (trafikspring, turfordeling og transportmiddelvalg, der dog typisk er et respons på ændringer i rutevalg, og derfor vil have samme fortegn), samt overflytning mellem ruter, som kan have afledte trafikikkerhedsmæssige og miljømæssige konsekvenser.

- Nielsen, O. A. (1994). *Optimal brug af persontrafikmodeller – En analyse af persontrafikmodeller med henblik på dataøkonomi og validitet*. Ph.D.-Afhandling. Rapport nr. 76, IVTB, DTU. 1994.
- Nielsen, O. A.. (1996a). Do Stochastic Traffic Assignment Models Consider Differences in Road Users' Utility Functions? *24th European Transport Forum" (PTRC Annual Meeting)*. Proceedings, Seminar D & E – Part 2, Transportation Planning Methods. Uxbridge, UK. 2-6 September.
- Nielsen, Otto Anker (1996b). Nye modeller for rutevalg. *Trafikdage på AUC'96*. Bind 1, s. 111-124.
- Nielsen, Otto Anker (2000). Udvikling af rutavalgsmodeller – fra heuristiske til teoretisk grundlag. *Prispapir fra Professor Bendtsens mindelegat for Transport Forskere*. Traffic days at AUC (the Annual Danish Traffic Research Conference). *Trafikdage på AUC*, Supplementsbind, side 51-82.
- Nielsen, Otto Anker; Frederiksen, Rasmus Dyhr & Daly, Andrew (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, Otto Anker (2003). Analyser af trængsel og hastigheder baseret på GPS-data. *Trafikdage på AUC*, Supplementsbind (CDROM).
- Nielsen, Otto Anker (2005). *Trængselsprojektet – modellering af trængsel*. Rapport 2004-3. CTT/DTU. 53 sider.
- Sheffi, Y. (1985). *Urban Transportation Networks*. Prentice Hall, Inc, Englewood Cliffs, NJ.
- Powell, W. B. & Sheffi, Y. (1982). The Convergence of Equilibrium Algorithms with Predetermined Step Sizes. *Transportation Science*. No. 16(1), pp. 45-55.
- Sheffi, Y. & Powell, W. B. (1981). A comparison of Stochastic and Deterministic Traffic Assignment over Congested Networks. *Transportation Research B*. No. 15(1), pp. 53-64.
- Wardrop, J. G. (1952). Some theoretical aspects of road traffic research. *Institution of civil engineers*. London.

7 Bilag 1 Tabeller over detaileffekter

7.1 Bilag 1.1 Projekt med krydsnings i niveau med Strandvejen

7.1.1 Brugerligevægt (UE)

BRAESS			BASIS			FORBEDRING		
Periode	KAT	FRI TID	TRÆNGSELS TID	FRI TID	TRÆNGSELS TID	FRI TID	TRÆNGSELS TID	TIDSVÆRDI (KI)
MM	1	23.404	1.511	23.419	1.492	14	-19	-798
	2	12.685	647	12.691	641	5	-6	-991
	3	7.156	331	7.156	327	0	-5	-241
	4	5.780	207	5.783	205	4	-3	166
	5	4.224	89	4.227	88	3	-1	528
	Total	53.250	2.786	53.276	2.753	26	-33	-1.336
PM	1	21.759	4.784	21.777	4.767	18	-17	-389
	2	11.884	2.042	11.890	2.042	6	0	1.587
	3	6.703	1.162	6.707	1.159	4	-2	18
	4	5.479	741	5.480	741	1	0	138
	5	3.975	385	3.978	381	3	-4	-180
	Total	49.800	9.114	49.832	9.091	32	-23	1.174
EM	1	25.234	1.775	25.257	1.754	23	-21	-518
	2	13.707	768	13.713	763	7	-5	-358
	3	7.465	381	7.467	376	2	-6	-227
	4	5.962	230	5.966	227	4	-3	73
	5	4.098	94	4.099	93	1	-1	65
	Total	56.465	3.249	56.502	3.213	37	-37	-964
PE	1	23.456	5.584	23.469	5.579	14	-5	365
	2	12.860	2.467	12.860	2.474	0	7	2.894
	3	6.988	1.328	6.988	1.328	0	-1	-41
	4	5.669	845	5.671	847	2	1	670
	5	3.875	407	3.877	407	2	0	483
	Total	52.848	10.632	52.866	10.635	18	3	4.371
UM	1	100.284	2.262	100.364	2.272	79	10	5.334
	2	66.143	1.104	66.192	1.110	49	5	14.452
	3	193.899	4.161	194.010	4.185	111	24	5.043
	4	54.938	623	54.972	625	34	2	7.241
	5	32.707	268	32.733	273	26	5	8.615
	Total	447.971	8.417	448.271	8.464	300	47	40.685
TOTAL		660.334	34.198	660.747	34.155	413	-42	43.930

Perioder er MM (Morgenmyldretidens skuldre, 7-9 ekskl. PM), PM spidsen (Peak, 7:30-8:10) i morgenmyldretid, EM (15-17 ekskl. PE) og PE (16:20-17:00) samme for eftermiddagsmyldretiden, UM uden for myldretiden (øvrige tid). Kategorierne (turformål) er 1 bolig-arbejde, 2 erhverv, 3 uddannelses-andet, 4 varebiler og 5 lastbiler. Tiden er målt i timer per hverdag. Tiderne er angivet først for det nye projekt, så basis, og derefter forbedringer i forhold til basis (rødt minus er en forværring i forhold til basis)

7.1.2 Stokastisk brugerligevægt (SUE)

BRAESS				BASIS		FORBEDRING		
PERIODE	KAT	FRI TID	TRÆNGSELS TID	FRI TID	TRÆNGSELS TID	FRI TID	TRÆNGSELS TID	TIDSVÆRDI (KR)
MM	1	24.109	1.358	24.047	1.296	-62	-62	-8.741
	2	12.980	615	12.997	609	17	-5	2.312
	3	7.338	307	7.350	297	12	-10	-110
	4	5.942	221	5.943	215	0	-6	-1.105
	5	4.349	105	4.326	97	-23	-8	-8.506
	TOTAL	54.718	2.606	54.663	2.515	-55	-91	-16.151
PM	1	22.317	4.440	22.383	4.590	67	150	16.471
	2	12.173	2.076	12.176	2.079	3	3	1.727
	3	6.872	1.061	6.877	1.097	5	36	2.049
	4	5.595	798	5.629	813	34	15	9.544
	5	4.061	432	4.064	422	3	-10	-1.862
	TOTAL	51.018	8.807	51.129	9.000	111	194	27.929
EM	1	25.979	1.626	25.968	1.560	-11	-67	-6.244
	2	14.039	738	14.047	730	9	-8	-771
	3	7.653	351	7.647	331	-6	-20	-1.262
	4	6.171	257	6.145	247	-26	-10	-7.187
	5	4.210	110	4.190	103	-20	-7	-7.583
	TOTAL	58.051	3.083	57.997	2.971	-54	-112	-23.047
PE	1	24.136	5.370	24.120	5.305	-15	-66	-6.431
	2	13.138	2.491	13.167	2.509	29	17	13.855
	3	7.165	1.264	7.167	1.242	1	-22	-1.120
	4	5.796	913	5.767	900	-29	-13	-8.326
	5	3.946	451	3.966	466	19	15	9.618
	TOTAL	54.182	10.490	54.186	10.421	5	-68	7.596
UM	1	103.319	2.113	103.396	2.059	77	-54	-336
	2	67.559	1.104	67.663	1.098	104	-6	24.033
	3	199.669	3.915	200.022	3.886	352	-29	10.491
	4	56.575	722	56.404	691	-171	-32	-40.156
	5	33.744	335	33.617	317	-127	-17	-40.318
	TOTAL	460.867	8.188	461.102	8.050	235	-138	-46.285
TOTAL		678.836	33.174	679.078	32.958	242	-215	-49.958

Forklaring som for brugerligevægt (UE)

7.2 Bilag 1.2 Projekt med krydsnings ude af niveau med Strandvejen

7.2.1 Brugerligevægt (UE)

UDEN BRAESS (Dvs. uden forbindelse til Østerbrogade)					FORBEDRING			
	KAT	FRI TID	TRÆNGSELS TID	FRI TID	TRÆNGSELS TID	FRI TID	TRÆNGSELS TID	TIDSVÆRDI (K)
MM	1	23.396	1.509	23.419	1.492	23	-17	-182
	2	12.683	648	12.691	641	7	-6	-566
	3	7.154	331	7.156	327	2	-5	-162
	4	5.780	208	5.783	205	3	-4	-10
	5	4.225	89	4.227	88	2	-1	345
	Total	53.237	2.786	53.276	2.753	38	-33	-574
PM	1	21.759	4.767	21.777	4.767	18	1	1.110
	2	11.887	2.033	11.890	2.042	3	8	3.860
	3	6.703	1.159	6.707	1.159	4	0	163
	4	5.479	740	5.480	741	1	1	404
	5	3.975	384	3.978	381	3	-2	204
	Total	49.803	9.082	49.832	9.091	29	8	5.742
EM	1	25.226	1.773	25.257	1.754	31	-19	80
	2	13.706	770	13.713	763	7	-7	-734
	3	7.463	381	7.467	376	4	-5	-129
	4	5.962	231	5.966	227	4	-4	-100
	5	4.098	95	4.099	93	1	-1	-102
	Total	56.456	3.249	56.502	3.213	46	-36	-986
PE	1	23.453	5.578	23.469	5.579	17	1	1.070
	2	12.859	2.469	12.860	2.474	1	6	2.463
	3	6.988	1.325	6.988	1.328	0	3	151
	4	5.670	845	5.671	847	1	1	485
	5	3.876	407	3.877	407	1	0	313
	Total	52.845	10.624	52.866	10.635	21	11	4.482
UM	1	100.250	2.258	100.364	2.272	114	14	7.565
	2	66.134	1.106	66.192	1.110	58	4	16.216
	3	193.835	4.163	194.010	4.185	175	22	7.069
	4	54.942	625	54.972	625	31	0	6.192
	5	32.709	269	32.733	273	25	3	7.785
	Total	447.869	8.421	448.271	8.464	402	44	44.828
TOTAL		660.211	34.161	660.747	34.155	536	-6	53.491

7.2.2 Stokastisk brugerligevægt (SUE)

UDEN BRAESS (Dvs. uden forbindelse til Østerbrogade)

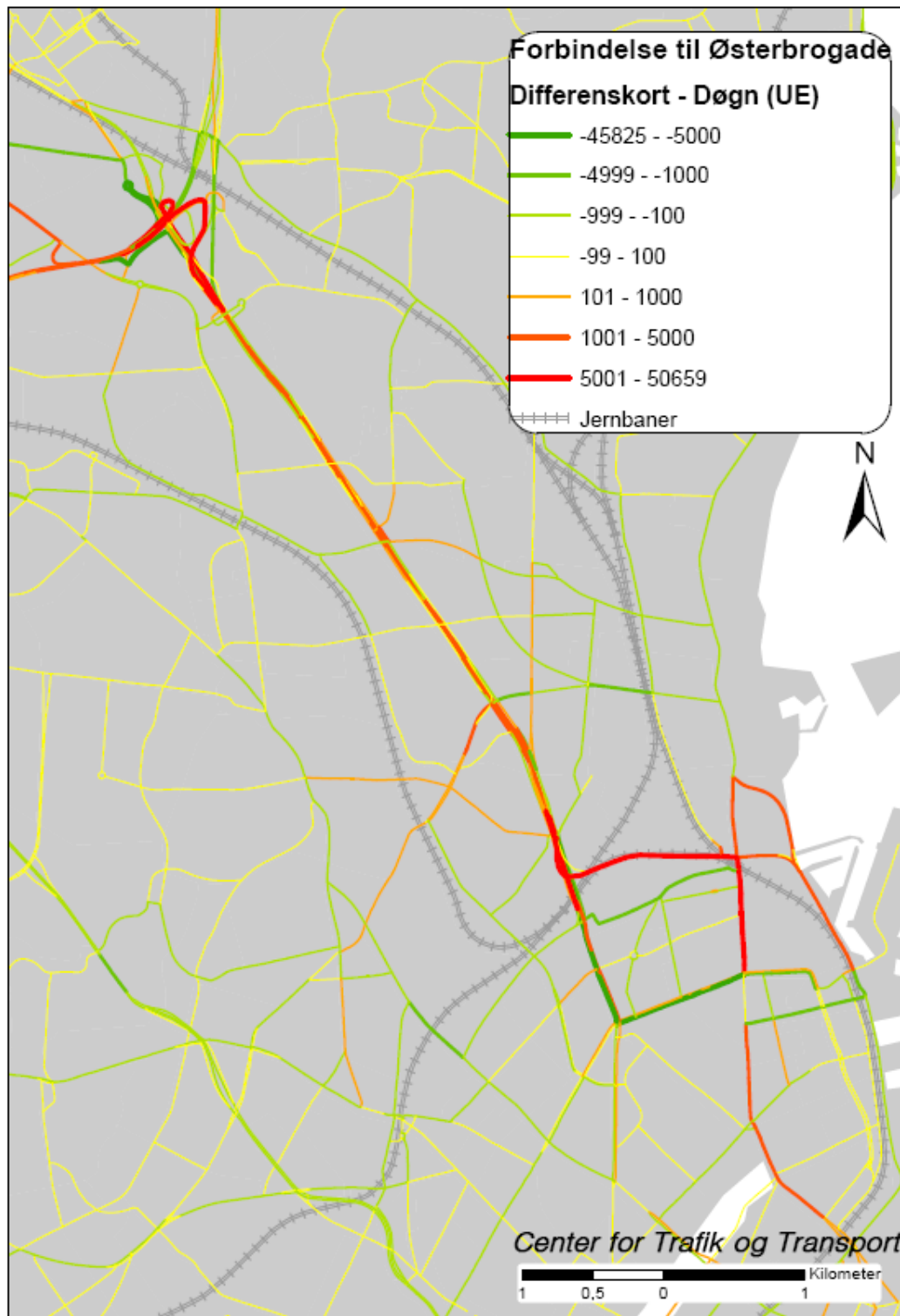
FORBEDRING

	KAT	FRI TID	TRÆNGSELS TID	FRI TID	TRÆNGSELS TID	FRI TID	TRÆNGSELS TID	TIDSVÆRDI (KR)
MM	1	24.044	1.327	24.047	1.296	3	-30	-2.411
	2	13.016	626	12.997	609	-18	-17	-10.953
	3	7.335	303	7.350	297	15	-5	239
	4	5.969	223	5.943	215	-26	-8	-6.785
	5	4.353	104	4.326	97	-27	-7	-9.518
	TOTAL	54.717	2.583	54.663	2.515	-53	-67	-29.428
PM	1	22.381	4.637	22.383	4.590	2	-47	-3.905
	2	12.172	2.092	12.176	2.079	4	-13	-4.158
	3	6.884	1.141	6.877	1.097	-7	-44	-2.506
	4	5.617	811	5.629	813	12	2	2.795
	5	4.058	419	4.064	422	6	3	2.548
	TOTAL	51.112	9.099	51.129	9.000	17	-99	-5.226
EM	1	26.053	1.665	25.968	1.560	-85	-105	-13.631
	2	14.020	734	14.047	730	27	-4	5.438
	3	7.661	351	7.647	331	-15	-21	-1.575
	4	6.144	251	6.145	247	1	-4	-530
	5	4.196	108	4.190	103	-7	-5	-3.117
	TOTAL	58.074	3.108	57.997	2.971	-77	-137	-13.415
PE	1	24.113	5.309	24.120	5.305	7	-4	47
	2	13.146	2.465	13.167	2.509	21	43	21.744
	3	7.161	1.242	7.167	1.242	5	0	168
	4	5.759	899	5.767	900	8	1	1.768
	5	3.925	435	3.966	466	41	31	19.905
	TOTAL	54.105	10.351	54.186	10.421	82	71	43.633
UM	1	103.522	2.120	103.396	2.059	-126	-62	-12.268
	2	67.674	1.099	67.663	1.098	-11	-2	-3.404
	3	199.165	3.714	200.022	3.886	856	172	38.051
	4	56.479	696	56.404	691	-75	-5	-15.851
	5	33.575	312	33.617	317	42	6	13.425
	TOTAL	460.415	7.941	461.102	8.050	687	109	19.952
	678.422	33.082	679.078	32.958	655	-124	15.516	

8 Bilag 2 Differenskort

8.1 Bilag 2.1 Projekt med krydsnings i niveau med Strandvejen

8.1.1 Brugerlige vægt (UE) – Døgnniveau



8.2 Bilag 2.2 Projekt med krydsnings ude af niveau med Strandvejen

8.2.1 Stokastisk brugerligevægt (SUE) – Døgnniveau

