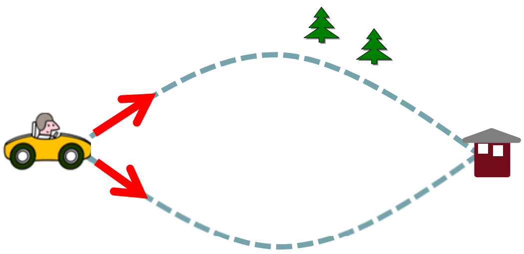
A26650 - Åpen

Rapport

Nettfordelingsmetoder i Regional transportmodell for persontransport

Forfatter

Trude Tørset



SINTEF Teknologi og samfunn

Transportforskning

2015-06-22

SINTEF

SINTEF Teknologi og samfunn

Postadresse:
Postboks 4760 Sluppen
7465 Trondheim

Sentralbord: 73593000
Telefaks:

ts@sintef.no
www.sintef.no
Foretaksregister:
NO 948 007 029 MVA

EMNEORD:
Transportmodeller
Nettfordeling
Nyttekostnadsanalyse

Rapport

Nettfordelingsmetoder i Regional transportmodell for persontransport

Undertittel

VERSJON
1.0

DATO
2015-06-22

FORFATTER
Trude Tørset

OPPDRAGSGIVER
NTP Transportanalyser

OPPDRAGSGIVERS REF.
Oskar Kleven

PROSJEKTNR
102007265

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:
28+ vedlegg

SAMMENDRAG

I denne rapporten er to metoder for nettfordeling i transportmodeller beskrevet og sammenlignet ved hjelp av enkle beregningseksempler.

Frank-Wolfe User equilibrium er til nå benyttet som nettfordelingsmetode i de norske regionale transportmodellene. Metoden har forutsetninger som gir ustabilitet på tvers av relativt like beregningsalternativer ved kapasitetsavhengig nettfordeling, noe som har skapt falske trafikantnytteeffekter.

Incremental loading er en langt enklere metode for nettfordeling, og en metode som har forutsetninger som gjør at man ikke oppnår teoretisk likevekt. Metoden er likevel å foretrekke, hvis resultater fra transportmodeller benyttes til beregning av trafikantnytte, fordi den er svært stabil på tvers av beregningsalternativer.

UTARBEIDET AV
Trude Tørset

SIGNATUR
Trude Tørset

KONTROLLERT AV
Unn Karin Thorenfeldt

SIGNATUR
Unn Karin Thorenfeldt

GODKJENT AV
Roar Norvik

SIGNATUR
Roar Norvik

RAPPORTNR	**ISBN**	**GRADERING**	**GRADERING DENNE SIDE**
A26650	9788214058017	Åpen	Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBESKRIVELSE
1.0	2015-06-22	Endelig rapport

Forord

Denne rapporten er skrevet for å forklare hvordan nettfordelingsalgoritmene Frank-Wolfe User equilibrium og Incremental loading virker. Det som vanligvis anbefales for bruk i transportmodeller er den første av disse, og det er denne som inntil versjon 3.4 (april 2014) ble benyttet i den Regionale persontransportmodellen (RTM).

Ved utgivelse av RTM versjon 3.4, ble metoden Frank-Wolfe User equilibrium erstattet med Incremental nettfordeling. Hovedårsaken til at en valgte å gå over til ny nettfordelingsalgoritme var at en ønsket å få bukt med den såkalte "langt-borte-problematikken". Bruken av resultatene fra transportmodellen inn i trafikantnytteberegninger krever stabile resultater mellom beregningsalternativer for sonerelasjoner utenom influensområdet til tiltak som skal analyseres. I denne rapporten er det forklart nærmere hvorfor dette kan være problematisk ved bruk av Frank-Wolfe User equilibrium nettfordeling.

Arbeidet er utført som en del av rammeavtalen om brukerstøtte og vedlikehold av RTM mellom SINTEF og NTP Transportanalyser, et prosjekt som er ledet av Oskar Kleven. Dr. Ing. Trude Tørset har skrevet rapporten blant annet basert på prosjektarbeid der Olav Kåre Malmin har bidratt til avdekking av problemet. Han har også bidratt til verifisering av tolkningene av beregningsmetodikken med tilsvarende eksempler i Cube. Unn Karin Thorenfeldt er SINTEFs prosjektleder for rammeavtalen og har kvalitetssikret rapporten.

Sammendrag

I nettfordelingen fordeles reiser mellom alle sonerelasjoner på ruter. Turene blir produsert av etterspørselsmodellen i form av turmatriser fordelt på reisemiddel, reisehensikter og eventuelt tidsperioder. Nettfordeling av bilturmatrisene kan foregå kapasitetsavhengig og da vil flere ruter kunne være aktuelle mellom sonene.

I den regionale transportmodellen for persontransport er Frank-Wolfe User equilibrium benyttet som nettfordelingsmetode, men denne har vist seg å gi ulike resultater for sonerelasjoner som ligger utenfor influensområdet mellom ulike scenario. Dette skyldes at beregningsmetoden innebærer å refordele turer fra ruter som gir høye generaliserte kostnader til ruter som gir lavere generaliserte kostnader, slik at man oppnår likevekt etter Wardrops prinsipper. Omfordelingen bestemmes ved å finne en parameter som angir hvor stor andel som skal omfordeles slik at alle brukte ruter får samme generaliserte kostnader. Parameteren er global for modellområdet. Dette gjentas inntil man når et forhåndsbestemt likevektskriterium. Andelene bestemmes for hvert scenario som beregnes, og disse vil kunne variere mellom ulike scenario.

Omfordelingen av ulike andeler turer i iterasjonene er en av grunnene til at man kan få utslag på antall turer og reisetiden mellom sonepar som ligger utenfor influensområdet til det eller de tiltakene som analyseres. Problemet vil bli mindre med økende antall iterasjoner, men spesielt for modellområder med mange sonerelasjoner vil dette kreve svært lang beregningstid. Det er også en nedre grense for hvor strengt konvergenskriterium man kan definere i CUBE.

For en enkelt beregning med transportmodellen vil dette kun slå ut i form av en veldig liten unøyaktighet i beregnet trafikk på lenkene, men ikke skape noe problem. Ved bruk av turmatriser og generaliserte kostnadsmatriser til trafikantnytteberegninger, vil små forskjeller på tvers av to relativt like scenarier kunne føre til at beregningen gir nytteverdier som ikke er reelle.

Incremental loading er en annen metode for rutevalg som deler matrisene inn i forhåndsbestemte like andeler og fordeler en andel for hver iterasjon etter billigste rute gitt ut fra generaliserte kostnader bestemt av forrige iterasjon. Metoden innebærer at man vil fordele turer på en rute som på grunn av den ekstra trafikken dermed blir dyrere enn den billigste, og dermed kan vil man ikke oppnå konvergens. Ved små nok matrisedeler kommer man imidlertid til en løsning som er relativt nær konvergens likevel. Fordelen med denne metoden er at sonerelasjonene er uavhengig av hverandre. Da blir trafikken fordelt til de samme rutene i to ulike scenario for sonerelasjoner som ikke blir påvirket av tiltaket. Vi anbefaler derfor at rutevalget foregår etter denne metoden.

Summary

In the traffic assignment step, all trips between all zone pairs are distributed on routes. The trips are produced by the demand model as trip matrices for specific modes, trip purposes and sometimes time periods. The traffic assignment of the car trip matrices can be done capacity dependent, and if so more routes can potentially be used between each zone pair.

Up until now the Frank-Wolfe User equilibrium assignment method has been used, assigning car trips to the routes in the regional transport model for passenger transport. Using this assignment method has however shown to produce different results for zone pairs on the outside of the influential area for different scenarios. This has happened because the calculation method implies redistribution of trips from routes with higher generalized costs to routes with lower generalized costs, in order to achieve equilibrium according to Wardrop's criteria. The share of trips for redistribution is decided through finding a global parameter that gives the equal level of generalized cost for used routes. This is repeated until the equilibrium criterion is met. The shares to be redistributed are calculated for each scenario separately, and thus might vary between scenarios.

The redistribution of different shares of the trip matrices is one of the reasons for getting fluctuations in the number of trips on different routes and different time use between scenarios outside of the influential area. The problem could be decreased with an increasing number of iterations, but getting satisfactory results would require a very time consuming calculations. The lowest level for the equilibrium criteria in CUBE could also represent a limitation in this situation.

Calculations using the transport model to estimate traffic volumes would give similar results no matter which of these two traffic assignment method were used. But using trip matrices and generalized cost matrices for consumer surplus calculation, might cause noise in the (consumer surplus) impact calculations.

Incremental loading is a different method for traffic assignment, which splits the trip matrices in predefined shares and distributes each share on the cheapest route in following iterations. The link costs are determined by the previous iteration. The method results in distributing one share of the matrix to a route which then gets higher costs than the cheapest, and this way one cannot reach equilibrium theoretically. But, if the shares are small enough, the solution would still be very close to equilibrium. The advantage of using this method is that the zone relations are independent of each other. The traffic from one zone to another would be assigned to the same routes in two different scenarios if they are both on the outside of the influential area. We recommend that the traffic assignment in the regional transport model is carried out using this method.

Innholdsfortegnelse

BILAG/VEDLEGG

[Skriv inn ønsket bilag/vedlegg]

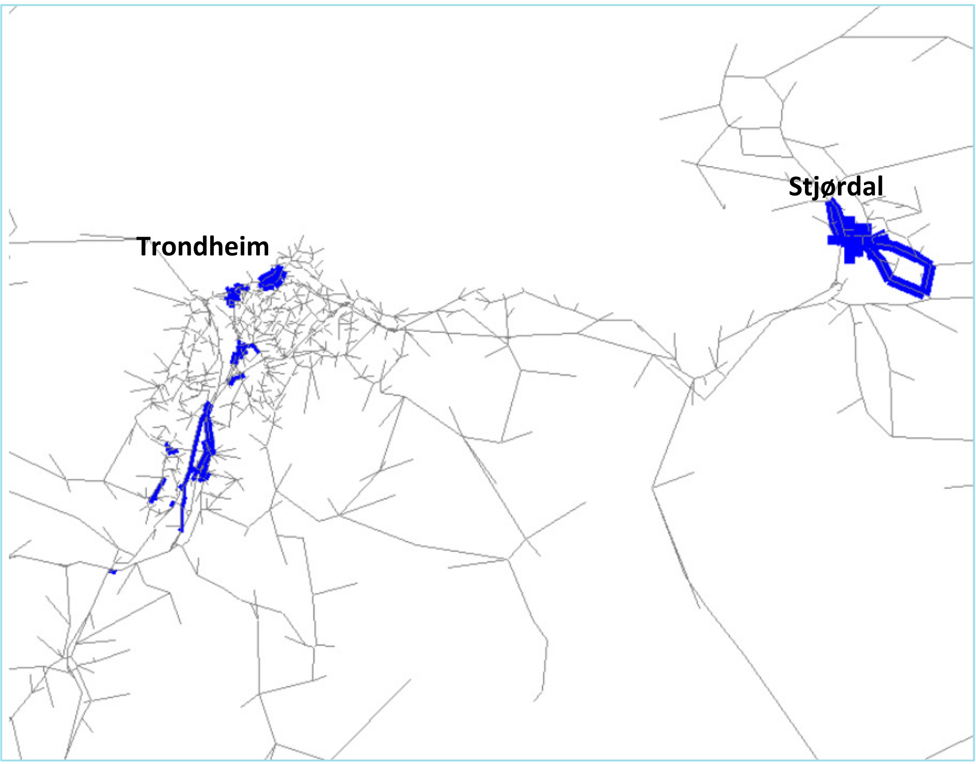
1 Innledning

1.1 Struktur for denne rapporten

Denne rapporten er primært viet nettfordelingsmetoder. Kapittel 1 gir en innføring i problemstillingen. Kapittel 2 behandler Nettfordelingstrinnet i strategiske transportmodeller. Deretter går vi i kapittel 3 inn på hvordan resultater fra transportmodellen inngår i beregning av trafikantnytte. Dette er avgjørende for hvilken nettutleggingsmetode som anbefales brukt. Nettfordelingsmetode gjennomgås i detalj og med eksempler i kapittel 4. I kapittel 5 drøftes hvilken nettutlegginsrutine som bør brukes.

1.2 Transportmodellberegninger og langt-borte-problemer

Transportmodeller blir ofte benyttet til analyser av tiltak i transportsystemet. Ved enkelte tilfeller har dette ført til beregninger av urimelige virkninger langt unna tiltaksstedet. Et eksempel på en slik situasjon oppsto i forbindelse med analyser av en ny vegstrekning i Stjørdal. Beregningene viste utslag på beregnet trafikantnytte for trafikk mellom soner, godt over 3 mil unna tiltaket som innføres i Trondheim (se Figur 1). Problemet oppstår generelt i områder der det i utgangspunktet er kapasitetsproblemer og ustabile trafikkavviklingsforhold for alternativ 0. Når det gjøres beregninger av et tiltak som iverksettes langt unna dette området, kan det oppstå forstyrrelser i en ustabil situasjon og utløse virkninger som må oppfattes som urimelige. Ved kontroll av trafikkvolumene på lenkene, vil stort sett trafikktallene ligge på samme nivå, og derfor er det ikke uten videre enkelt å avsløre visuelt at dette er problematisk, eller hvor man får slike problemer. Det er først og fremst ved bruk av resultatene fra transportmodellen inn i trafikantnytte-beregninger at dette blir problematisk, fordi det beregnes falske nytteeffekter av tiltaket som skal analyseres.



Figur 1: Eksempel på langt-borte problematikk. Tiltak i Stjørdal som gir utslag på trafikkvolumene i Trondheim

1.3 Utelate områder fra trafikantnytteberegningen

En midlertidig løsning har vært å utelate resultater fra områder utenfor influensområdet. Det er derfor lagt til rette for å kunne spesifisere fylker og kommuner i brukergrensesnittet til trafikantnyttemodulen, der resultatene for de spesifiserte områdene blir utelatt. I eksempelet vist i Figur 1 er det åpenbart urimelige resultater, og disse har fått stor oppmerksomhet. Tiltak i Trondheim vil ikke påvirke interne turer i Stjørdal sentrum. Benevnelsen "langt borte" kom inn fordi en avdekket virkninger langt unna det etablerte tiltaket. Gjennom arbeidet med temaet, har vi erkjent at noe av årsaken til problemet er beregningsmetoden for nettfordelingen, og da måtte vi erkjenne at "Langt borte" problematikk like gjerne kan oppstå nært tiltaket og dermed være svært vanskelig å skille fra den virkelige effekten av tiltakene.

1.4 Hva er årsakene til langt-borte-problemet?

Det har vært søkt etter forklaringer på problemet, blant annet:

1. Tramod_by skriver ut matriser med turer for alle reisemidler og reisehensikter når turene er tur-retur-reiser. For rundturer (turkjeder med tre reisedeler) skrives bare kollektiv- og bilmatrisene ut. De øvrige turene blir det konstruert turmatriser for ved å blåse opp tur-retur matrisen slik at antall turer stemmer med rammetallsfilen. Endringer i det totale turantallet for et modellområde kan dermed påvirke oppblåsningen i hele modellområdet og gi effekter langt unna.
2. Avrundingsproblemer for LoS data og i antall turer fra etterspørselsmodellen Tramod, noe som blant annet er avhengig av antall kjerner som brukes i beregningsprosessen.
3. Lange reiser kan endre rutevalget nært tiltaket, noe som kan påvirke rutevalget også lenger unna tiltaket og skape forskyvninger i rutevalget for andre trafikanter også.
4. Generaliserte kostnader i rutevalget har relative vekter mellom tid, avstand og kostnader som avviker fra vektene i trafikantnyttemodulen. Det gjør at to rutevalg med like generaliserte kostnader kan ha forskjellig trafikkvolum i to scenario, noe som kan gi utslag på trafikantnytten fordi sammensetningen av komponentene i generaliserte kostnad er endret.
5. Antall iterasjoner med Equilibrium nettfordeling er for få til å oppnå stabil konvergens, enten fordi man har satt antall iterasjoner for lavt eller konvergenskriteriet for slapt.

Alle disse punktene kan føre til forskjellige resultat etter nettfordelingen. Forskjellene kan være svært små hvis man sammenligner trafikkvolum på enkeltlenker, men likevel skape ulogiske resultater i trafikantnytte-beregningen. De to første punktene er knyttet til forskjeller i turmatrisene, og vil ikke slå inn ved bruk av faste turmatriser.

I tilknytning til det siste punktet er det også foreslått å slå sammen bilmatriser med ulike reisehensikter til én matrise som så nettutlegges, med felles vekter for sammensetning av generaliserte kostnader. I praksis har det vist seg at dette ikke vil ha noe å si. Vi kommer tilbake til dette under gjennomgangen av Equilibrium nettfordeling.

For å isolere de ulike delene av langt-borte-problemer, er studier av nettfordelingsalgoritmene som oftest gjort med faste matriser, slik at endringer i etterspørselen er holdt utenom. Det er også gjort i forbindelse med arbeidet som ligger til grunn for denne rapporten. Resultatene visualiseres ved er å lage differanseplott med høy oppløsning, og slik få fram endringer både nært tiltaket og utenfor det naturlige influensområdet til tiltaket, slik det er vist i Figur 1. Når man finner slike effekter, må man kontrollere matrisene som gir tid, avstand og direktekostnader mellom alle sonerelasjoner, for da kan det være endringer i disse for sonerelasjoner som i virkeligheten ikke skulle hatt det.

1.5 Krav til resultatene fra nettutleggingen

Enhver modell er en forenkling av virkeligheten. Det er nødvendig for å få gjennomført beregninger eller for å få gjort beregninger innenfor rimelige tidsrammer. I RTM er det gjort forenklinger både i kodingen av vegnettet, i hvordan forsinkelser beregnes på strekninger og i kryss, hvordan kjøretøyparken er sammensatt, hvordan trafikketterspørselen er gitt og hvordan kø og forsinkelser er modellert. Trafikkavviklingen er i utgangspunktet dynamisk og stokastisk av natur, mens vi modellerer trafikken for en gjennomsnittssituasjon som er deterministisk bestemt.

Selv om de metodene som brukes alltid må vurderes ut fra analysebehovet, kan det være riktig å si noe om hvilke egenskaper som er ønskelig ved beregningen av vegnettsfordelingen i en transportmodell. Egenskapene som er trukket fram her, er foreslått av Bliemer mfl. (2013), og de er:

1. Realistiske resultat
2. Robuste resultat
3. Konsistente resultat
4. Pålitelige og logiske resultat
5. Enkel å bruke

Under punkt 2, **robuste resultat**, ligger også ønsket om stabile resultat på tvers av scenarier, beskrevet som at marginale endringer i vegnettet skal gi tilsvarende marginale endringer i etterspørselen.

Bruk av resultater fra transportmodeller til beregning av trafikantnytte innebærer at vi tar tids-, avstands- og kostnadsmatriser fra nettfordelingen og turmatrisene fra etterspørselsmodellen for to beregningsalternativ, sammenligningsalternativet (SA) og tiltaksalternativet (TA). Disse brukes i trafikantnyttemodulen (TNM) til beregning av endring i trafikantnytte. En slik bruk av resultatene fra transportmodellen stiller spesielt strenge krav til stabile resultater på tvers av beregningsalternativer. Vi må kunne forutsette at beregningene gir helt like verdier for områder som ikke blir påvirket av tiltaket. For at det skal skje, må beregningen gi en likevektsløsning som er helt lik i to beregningsalternativ. Likevekt eller konvergens- er nærmere beskrevet i neste delkapittel.

1.6 Konvergens

Konvergens eller likevekt er et mål på hvor godt tilbud og etterspørsel er avpasset. Konvergens- eller likevektskriterium er en operasjonalisering av et slikt krav i tallverdi. I transportmodellene er det to former for likevektsvurderinger, og disse to henger til dels sammen. Det første gjelder likevekt mellom transporttilbudet, gitt ved alle tilgjengelige valgmuligheter og etterspørselen etter reiser, gitt ved etterspørselsmatriser. Den andre likevektsbetraktningen har vi i nettfordelingen, hvor turmatrisene for biltrafikk fordeles på ulike ruter i vegnettet kapasitetsavhengig. Det er den siste av disse likevekts-betraktningene som er viktigst i denne sammenhengen. I tillegg til å drøfte hvilket konvergenskrav vi har til en beregning, må vi også vurdere hvilket krav vi har til stabil konvergens.

Forskjellen på konvergens og stabil konvergens kan defineres slik:

- Konvergens er oppnådd når ingen trafikant alene kan endre rute og komme bedre ut av det (i hht. Wardrop 1. prinsipp)

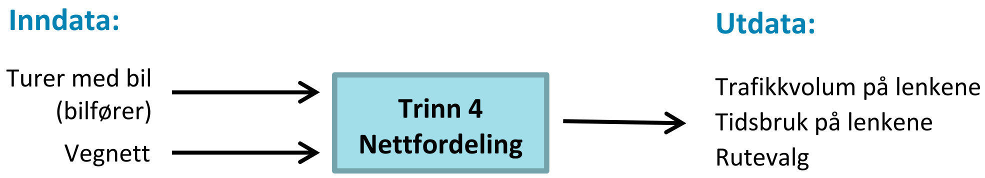
- En stabil konvergens i denne sammenhengen er oppnådd når konvergensløsningen ikke endrer seg utenfor influensområdet til tiltaket. En annen måte å se det på er at når beregningene har iterert til konvergens er oppnådd, da er trafikantnytteberegningen stabil for like alternativ. Dette samsvarer noenlunde med kriteriet foreslått av Boyce med flere (2004). De definerte konvergens som stabile lenkevolum, det vil si at rutevalget ikke fluktuerer over flere ruter for ulike scenarier.

2 Nettfordeling i transportmodeller

2.1 Nettfordeling – trinn fire i firetrinnsmetodikken

Nettfordelingen er trinn fire i den tradisjonelle fire-trinns-metodikken (Ortùzar og Willumsen, 2011). Inngangsdata til dette trinnet for vegtrafikken er, foruten kodet vegnett, turmatriser fordelt på reisemiddel, reisehensikter og eventuelt tidsperioder. Resultatet fra nettutlegginen er rutevalg, lenkebelastning, reisetid eventuelt reisehastighet på lenkene. Dette gir igjen grunnlag for sammenligning mot trafikktellinger og beregninger av for eksempel bompengeinntekter og transportarbeid eller trafikkarbeid for enkeltgrupper eller for totaltrafikken.

For alle andre reisemåter enn bil er det foreløpig forutsatt at kapasiteten er uendelig og ikke påvirker tidsbruken eller rutevalget for trafikantene[1]. For reise med bil er det tatt hensyn til at kapasitetsutnyttelsen påvirker tidsbruken på veglenkene og dermed rutevalget mellom sonerelasjoner.



Figur 2: Nettfordelingstrinnet med inndata og utdata

I den gjeldende versjonen av RTM er gjennomsnittlig forsinkelse i rush og lavtrafikk lagt til som fast forsinkelse i kryss (Levin m.fl, 2015).

I RTM er det tilrettelagt for en inndeling av bilmatrisene i enten døgnmatriser, to perioder som består av lavtrafikk og rush, eller fire perioder med to lavtrafikkperioder; midt på dagen og kveld, og to tretimers rushperioder; 6-9 og 15-18. Matrisene for rushperiodene splittes i matriser for enkelttimer og deretter fordeles disse på transportnettet, for hver time separat. Man kan velge om trafikken skal legges ut kapasitetsavhengig eller ikke, men det gir i praksis ikke noen mening å splitte døgntrafikken i flere tidsperioder uten at deler av trafikken skal legges ut kapasitetsavhengig.

2.2 Kapasitetsavhengig eller kapasitetsuavhengig nettfordeling

Ved en kapasitets**u**avhengig nettutlegging vil den kodede hastigheten for lenkene være utgangspunktet for beregning av reisetid på lenken. Uansett hvor mye trafikk som legges på en lenke, vil den fortsatt ha samme hastighet.

I en kapasitetsavhengig nettfordeling vil reisetiden på lenkene øke når trafikkmengdene øker. Dette er en sammenheng som kan observeres i virkeligheten også. Interaksjonen mellom trafikantene gjør at de tilpasser seg ved å sette ned hastigheten. I virkeligheten er det også mer uforutsigbart hva hastigheten til trafikken blir når trafikkvolumene nærmer seg kapasitetsgrensen.

[1] I RTM finnes det en mulighet for å tilføre kollektivtrafikken forsinkelse fra biltrafikken på lenker. Denne metoden er ikke verifisert eller validert.

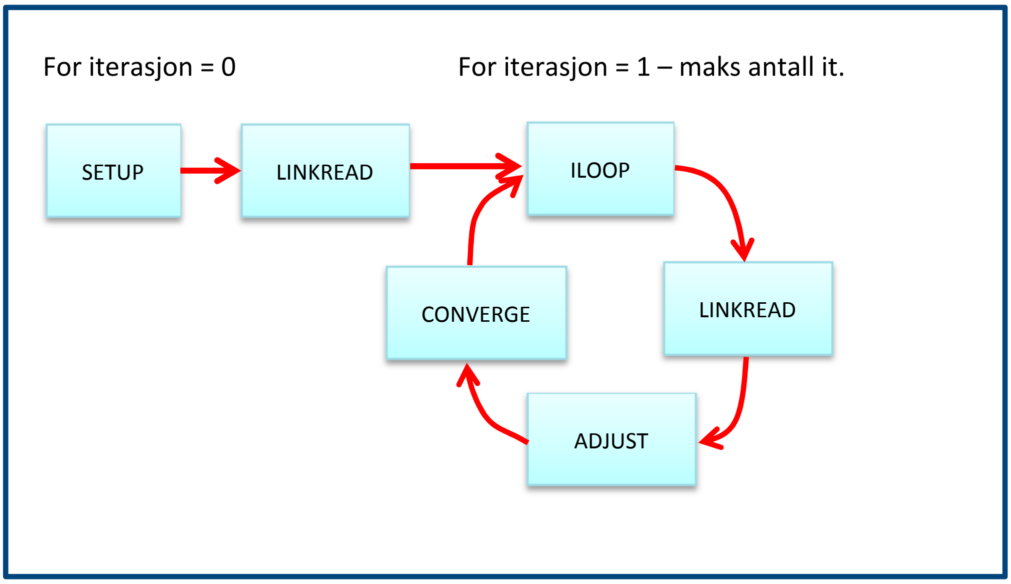
2.3 Iterasjoner mellom tilbud og etterspørsel

Trengsel og uforutsigbare reisetider påvirker hvilke ruter trafikantene velger. Økte reisetider som følge av trengsel kan også gi andre virkninger på etterspørselen. Trafikantene velger andre reisemiddel, andre reisemål eller andre reisetider, om de da fortsatt velger å gjennomføre reisen. For å ta hensyn til andre virkninger av trengsel enn rutevalgsendringer, blir reisetidene fra nettutleggingen benyttet (LoSdatamatrise) som inngangsdata til en ny etterspørselsberegning. Dette kan også gjøres i flere runder slik at man oppnår likevekt mellom tilbud og etterspørsel.

2.4 Iterasjoner i nettfordelingen i Cube Voyager

Nettutleggingen gjøres i flere omganger slik at rutevalget optimaliseres i forhold til reisetidene på nettverket.

I Cube Voyager gjøres en kapasitetsavhengig nettfordeling rent praktisk i flere faser.



Figur 3: Faser i nettfordelingen i Cube Voyager (Cube Help)

- I SETUP defineres verdier og beregningsformler som generaliserte kostnader osv. Her defineres også valg av algoritme, antall iterasjoner og konvergenskriterium.
- I LINKREAD leses lenkeegenskapene inn, og de defineres for hver iterasjon
- I ILOOP foregår selve nettutlegginen hvor beste rute finnes og matrisene lastes på denne
- I ADJUST endres reisetidene på nettverkes som følge av nye volum
- CONVERGE sjekker om det er nødvendig med flere iterasjoner eller om det er oppnådd konvergens. Denne fasen gir mulighet til å definere egne konvergenskriterier utover de innebygde kriteriene som settes i SETUP-fasen.

3 Trafikantnytte

3.1 Inngangsdata fra transportmodellen

Trafikantnyttemodulen bruker matriseresultater fra transportmodellen sammen med et sett av verdsettingsparametre for å beregne trafikantenes besparelser/ eller ekstrakostnader hvis det skjer en endring i transporttilbudet. Besparelsene inkluderer da innkorting i tidsbruk eller reiseavstand eller reduksjon i utlegg ved reisen. Differansen mellom reisetid, utkjørt avstand og utlegg får vi ved å sammenligne kostnadsmatriser for to scenario; et uten tiltaket og et med tiltaket, etter nettutleggingen i den regionale transportmodellen.

Endringer i etterspørselen som følge av at det enten ble mer eller mindre attraktivt å reise, beregnes ved å sammenligne turmatriser for to scenario, uten og med tiltaket. Det er egne turmatriser for hvert reisemiddel og for hver reisehensikt. Det er forskjell på inndelingen i reisehensikter i transportmodellen og de "offisielle reisehensiktene" benyttet i trafikantnyttemodulen, derfor aggregeres turmatrisene fra den regionale transportmodellen noe før de brukes i trafikantnytteberegninger.

3.2 Beregning av trafikantnytte

Trafikantnytten beregnes ved bruk av trapesreglen som er vist under.

$$TN = \frac{1}{2}\sum_{w\in W}(g_w^{SA} - g_w^{TA})\,(x_w^{SA} - x_w^{TA}) \,,$$

der TN står for trafikantnytte, g_w^{SA} **og** g_w^{TA} er generalisert reisekostnad for henholdsvis sammenligningsalternativet (SA) og tiltaksalternativet (TA) for **reiserelasjon w** og x_w^{SA} **og** x_w^{TA} uttrykker etterspørsel etter reiser for de to samme alternativene mellom reiserelasjonene w.

I praksis splittes beregningen i tre operasjoner, en for hver av kostnadskomponentene tid, avstand og direkteutgifter.

4 Nettfordelingsalgoritmer

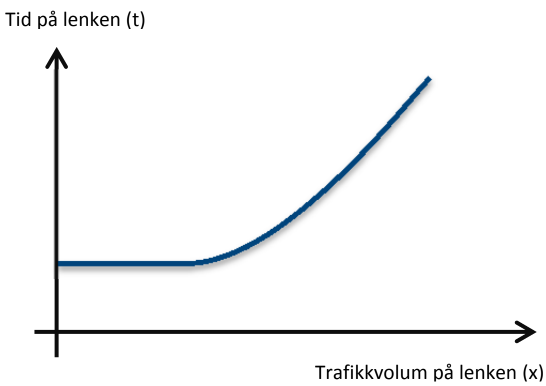
4.1 Aktuelle nettfordelingsmetoder

De ulike metodene for nettfordelingen defineres etter hvilke operasjoner som omfordeler trafikk i hver iterasjon. Alle metodene har med sammenhengen mellom trafikkvolum og reisetid på lenkene som er forklart i neste delkapittel. Denne justerer reisetidene på hver lenke mellom hver iterasjon.

Evalueringer av nettfordelingsmetoder har sett spesielt på beregningstid og hvor nært man har kommet en likevekts-situasjon (Perederieieva mfl., 2015). Stabilitet i resultatene på tvers av beregningsalternativer er nevnt som et viktig kriterium, uten at det er gått i detalj på eventuelle konsekvenser av dette kravet. Incremental loading er ikke vurdert som et alternativ i denne evalueringen, og det skyldes sannsynligvis at metoden ikke kan gå til en teoretisk likevekt. Andre metoder omfordeler trafikk fra «dyreste» til «billigste» rute for å oppnå bedre likevekt (Dial, 2006). Da vurderes ett sonepar av gangen, eller så omfordeles trafikk for segmenter av et rutevalg, hvor et segment er avgrenset av felles noder for alternative rutevalg for ett eller flere sonepar (Bar-Gera, 2010).

4.2 Sammenhengen mellom trafikkvolum og tidsbruk på lenkene

Når trafikkvolumet på en veglenke øker opp mot kapasitetsgrensen for lenken, vil gjennomsnittshastigheten synke fra friflythastighet til et nivå som er avhengig av trafikkvolumet. Dette er representert med *volum-delay-function* (VDF) kurver som angir sammenhengen mellom trafikkvolum og hastighet eller indirekte sammenhengen mellom trafikkvolum og reisetid på lenken (se Figur 4).



Figur 4: Sammenhengen mellom trafikkvolum og reisetid på lenkene

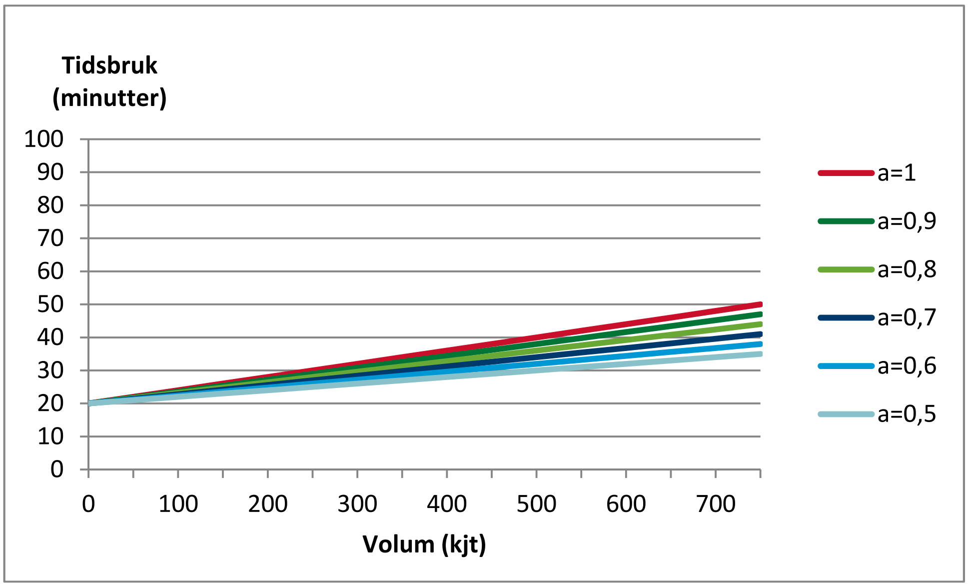
I Figur 4 er kurven stigende. Empiriske forsøk viser at kurven går bakover igjen når kapasitetsutnyttelsen er så stor at vi får et sammenbrudd i avviklingen. Da får vi avviklet lavere trafikkvolum med høy tidsbruk. I transportmodellene er det umulig å gjenskape sammenbrudds-situasjoner, hvor en og samme reisetid gir flere forskjellige trafikkvolum, derfor forutsetter vi at kurven er stigende utover.

I praksis kan disse kurvene beskrives gjennom en generell formel: $\mathbf{t=t_0 \cdot (1 + a(V/K)^b)}$

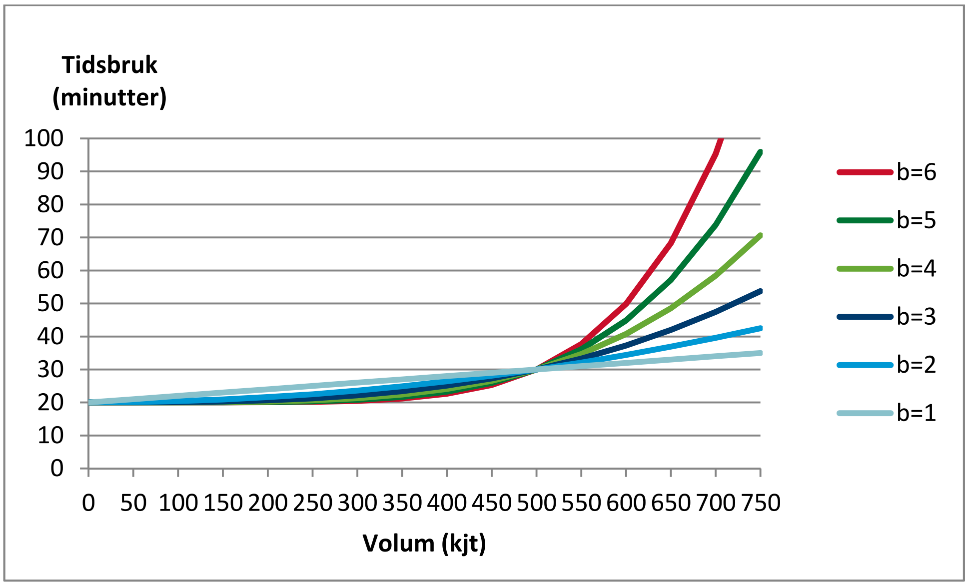
hvor **t** er tidsbruken, $\mathbf{t_0}$ er tidsbruken ved friflythastighet, **V** er trafikkvolum, **K** er kapasiteten og **a** og **b** er lenkespesifikke konstanter.

Eksempel 1: Sammenhengen mellom trafikkvolum og tidsbruk på lenkene

t_0 =20 minutter
K= 500 kjøretøy



Figur 5: Kurveforløp for ulike verdier av a når b=1



Figur 6: Figur 7: Kurveforløp for ulike verdier av b når a=1

Kurvene i Figur 5 og Figur 6 viser at økende a løfter kurven ved høyere trafikkvolumvertikalt, mens økende b krummer kurven mer.

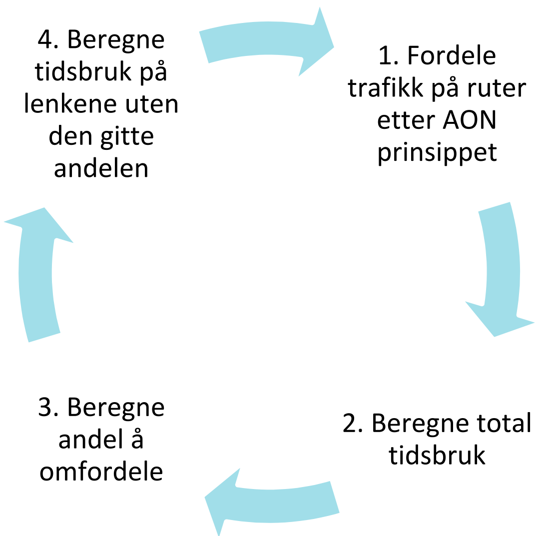
4.3 Kapasitetsuavhengig nettutlegging

Dersom man legger ut bilturene kapasitetsuavhengig, er a=0, dvs kurven i Figur 4 er helt flat og tidsbruken på lenkene blir uforandret av økt trafikkvolum. Da vil rutevalget bestemmes av laveste generaliserte kostnader. I praksis vil det da velges én rute for hver sonepar; et **All-or-nothing** (AON) rutevalg, hvor all trafikk for hvert sonepar legges på den billigste ruten.

4.4 Equilibrium assignment

Teorien bak metoden er beskrevet i Sheffi (1985). Man starter med å fordele all trafikken på korteste rute. Deretter omfordeles en andel av trafikken til andre ruter inntil alle anvendte ruter har samme tidsbruk. I praksis gjelder dette generaliserte reisekostnader, men innledningsvis kan vi forutsette at de bare består av tidsbruk. For enhver rute mellom et bestemt sonepar, er tidsbruken lik. Denne tidsbruken er også minimum for ruter mellom denne sonerelasjonen. Ruter som ikke brukes for sonerelasjonen må derfor ha høyere tidsbruk.

Målet er å minimere den samlede tidsbruken i nettverket.



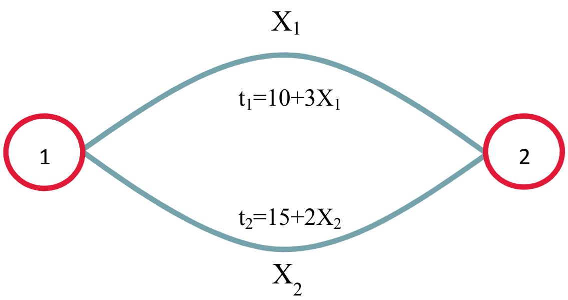
Figur 8:Prinsippet med omfordeling av trafikk

Ved **første** iterasjon fordeles alle turer i et ubelastet transportnettverk ved bruk av en all-or-nothing algoritme. Deretter beregnes nye, kapasitetsavhengige reisetider i transportnettverket basert på denne første, innledende nettfordelingen.

Ved neste iterasjon omfordeles en andel (λ) av trafikken. Rutevalget gjøres som funksjon av de nye, kapasitetsavhengige reisetidene. Andelen trafikk som omfordeles i hver iterasjon bestemmes ved å løse likninger slik at reisetiden på allerede valgte ruter og aktuelle nye ruter skal bli like.

Eksempel 2: Beregning av likevektsløsning for Equilibrium assignment

I eksemplet under er det to soner 1 og 2, med mulighet for å velge 2 ruter fra sone 1 til sone 2, den øvre ruten og den nedre ruten. Antall som velger den øvre ruten er X1, og antall som velger den nedre ruten er X2. Totalt trafikkvolum fra sone 1 til sone 2 vil velge enten den øvre eller den nedre ruten. I tråd med prinsippet om at økende trafikk på en veglenke vil gi lavere hastighet og dermed høyere tidsbruk, er det oppgitt en sammenheng mellom trafikkvolumet på lenkene og tidsbruken, gitt ved henholdsvis t1 og t2.



Figur 9: Eksempel med 2 ruter fra sone 1 til sone 2

I vårt eksempel er det totalt **12 turer** som skal fra sone 1 til sone 2.

$$X_1 + X_2 = 12$$

Kostnadsfunksjonene som angir tidsforbruket på lenkene t_1 og t_2, for de to rutene kan også skrives slik:

$$t_1 = 10 \cdot (1 + \frac{3x_1}{10})$$

$$t_2 = 15 \cdot (1 + \frac{2x_2}{15})$$

Iterasjon 1:

Rute 1 har t_1= 10 før det fordeles trafikk på ruta
Rute 2 har t_2 =15 før det fordeles trafikk på ruta
$X_1 = 12$
$X_2 = 0$

Etter at trafikken er fordelt, og alle 12 turene ligger på rute 1, endres tidsbruken slik:
Tidsbruk $t_1 = 10 + 3 \cdot 12 = 10 + 36 = \underline{46}$
Tidsbruk $t_2 = 15 + 2 \cdot 0 = \underline{15}$
Total tidsbruk = $46 \cdot 12 = 552$

I første iterasjon er det ikke trafikk som skal flyttes over til billigere ruter. Da velger all trafikken samme rute.

Iterasjon 2:
Først finnes λ (andelen som skal omfordeles) slik at den totale tidsbruken i nettverket minimeres. Endringer i totale kostnader for en rute blir da:

$$Y(\lambda) = \sum (Vol_k - Vol_{k-1}) \cdot TC$$

Vol_k er All-Or Nothing volumet (totalvolumet) som ville velge denne ruta i gjeldende iterasjon.
Vol_{k-1} er volumet denne ruta fikk i forrige iterasjon. TC er kostnadsfunksjonen for hver rute, og for å følge Cube Voyagers notasjon blir trafikkvolumet som skal omfordeles, dvs. flyttes fra den enkelte ruten, V':

$V' = Vol_{(k-1)} + \lambda \cdot (Vol_k - Vol_{(k-1)})$

For at $\Sigma Y_n(\lambda)=0$ skal være oppfylt, må følgende være oppfylt $Y_1(\lambda) + Y_2(\lambda) = 0$. Da er kostnadene ved å benytte de to rutene helt like, noe som er en konsekvens av konvergenskriteriet. Totalkostnadene ved å reise på rutene kan defineres slik:

For Rute 1: $Y_1(\lambda) = 0 - 12 \cdot 10(1 + 3\frac{12-\lambda \cdot 12}{10})$

For Rute 2: $Y_2(\lambda) = 12 \cdot 15\left(1 + 2\frac{0+\lambda \cdot 12}{15}\right) - 0$

Når det bare er to ruter, kan λ finnes med det samme eksakt:

$\lambda = \frac{31}{60} = 0{,}5167$

Det er altså 51,67 % av trafikken som ble fordelt i første iterasjon som skal omfordeles i andre iterasjon.

$$x_k = (1 - \lambda_k) \cdot x_{k-1} + \lambda_k \cdot x_k$$

Denne formelen uttrykker omfordelingen. Andelen som skal være igjen på tidligere ruter er $(1-\lambda_k)$. Den resterende andelen λ_k skal så fordeles på ny rute X_k.

For rute 1 blir antall turer : <u>$X_1 =$</u> (1 - 0,5167) · 12 + 0,5167 · 0 = 5,8 ⇒ <u>$X_1 = 5{,}8$</u>
For rute 2 blir antall turer : <u>$X_2 =$</u> (1 – 0,5167) · 0 + 0,5167 · 12 = 6,2 ⇒ <u>$X_2 = 6{,}2$</u>

<u>Tidskostnader for rute 1</u> = 10 + 3 · 5,8 = 10 + 17,4 = <u>27, 4</u>
<u>Tidskostnader for rute 2</u> = 15 + 2 · 6,2 = 15 + 12,4 = <u>27, 4</u>

Eksempel 2 viser hvordan man finner λ. I vanlige nettverk vil man ha mange flere sonerelasjoner med trafikk til fordeling, mange mulige rutevalg for hvert sonepar og hver lenke kan være del av rutevalgsmulighetene til mange sonerelasjoner.

I Cube settes funksjonene $\Sigma Y_n(\lambda)$ opp for hver lenke. Så finner programmet en λ som tilfredsstiller kravet $\Sigma Y_n(\lambda)=0$.

4.5 Incremental loading

Ved incrementell loading deles turmatrisen inn i incrementer (små biter), og disse fordeles en etter en på nettverket. Prosessen ligner på den som er illustrert i Figur 8, bare at med denne metoden er andelen som fordeles forhåndsbestemt og tidsbruken på lenkene bestemmes etter hver iterasjon.

Eksempel 3:

La oss bruke samme situasjon som er illustrert i Figur 9 og forutsette 3 iterasjoner. Turmatrisen består av 12 turer fra sone 1 til sone 2. Hvert increment blir da 12/3 = 4 turer.

Iterasjon 1:
Trafikken, dvs 4 turer velger rute 1 siden denne tar kortest tid uten trafikk.
Tidsbruken på rute 1 etter første iterasjon er $t_{11} = 10 + 3 \cdot 4 = 10 + 12 = 22$

Iterasjon 2:
Trafikken velger rute 2 siden den nå tar 15, mens rute 1 tar 22.
Tidsbruken på rute 2 etter andre iterasjon er $t_{22} = 15 + 2 \cdot 4 = 15 + 8 = 23$

Iterasjon 3:
Trafikken velger rute 1 siden den tar 22 mens rute 2 tar 23.
Tidsbruken på rute 1 etter tredje iterasjon er $t_{13} = 10 + 3 \cdot 8 = 10 + 24 = 34$
Tidsbruken på rute 2 etter tredje iterasjon er fortsatt 23 siden denne ruten ikke fikk mer trafikk.

Oppsummert blir da antall turer, som var 12, fordelt slik: **8 turer** på rute 1 og **4 turer** på rute 2.

Eksemplet illustrerer også problemet med incrementell loading; at incrementene blir for store når antall iterasjoner er få, og at det kan bli relativt stor forskjell i tidsbruken mellom de to rutealternativene.

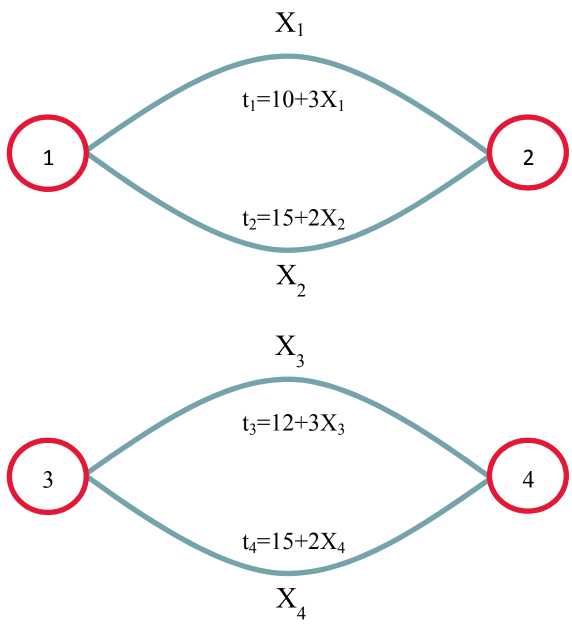
4.6 Langt-borte-problem fra nettfordelingen

Langt-borte-problem er blitt et begrep som brukes om at man får virkninger av et tiltak utenfor det naturlige influensområdet til tiltaket. Det finnes mange norske eksempler på at det har oppstått virkninger langt-borte i transportmodellene, for eksempel er det funnet virkninger av tiltak i Trondheim sentrum for trafikk til og fra soner i Stjørdal. Det er en betingelse som må være til stede for at vi skal oppdage langt-borte virkninger, og det er:

Modellområdet må være stort nok til at det kan være flere deler av modellområdet som har kapasitetsproblemer. Med kapasitetsproblemer menes at man er på den stigende delen av kurven (se Figur 4), der hvor tidsbruken vil øke dersom trafikkvolumet øker. Hvis man er på den flate delen av kurven (friflyt) vil omfordelt trafikk bare tilordnes den samme ruten i hver iterasjon, og da unngår man virkninger av at det er forskjellige andeler som blir omfordelt.

Årsaken til at man oppdaget langt borte-problemer er at det var kapasitetsproblemer i flere deler av modellområdet. At man får endret rutevalg i det området der man har gjort et tiltak, er forventet og naturlig. Men det som gir det såkalte langt-borte-problemet er at λ er lik for hele modellområdet i hver iterasjon. Når nettverket endrer seg vil λ få forskjellige verdier i alternativet **med** tiltak sammenlignet med alternativet **uten** tiltak. I prinsippet skal ikke dette ha noe å bety for den omfordelte andelen λ skal jo bli mindre og mindre og stadig vekk omfordele trafikk til gunstigere ruter. Problemet er at det finnes en nedre grense for hvor liten andel som omfordeles, og det endelige resultatet er avhengig av hvor denne minste andelen havner.

Eksempel 4 del 1: Langt-borte-problem med equilibrium assignment



Figur 10: Eksempel på equilibrium assignment hvor man kan få "langt borte problem"

I dette eksemplet er det forskjellige andeler som ideelt sett skal omfordeles.
I det øverste nettverket skal fordelingen være X_1 = 5,8 og X_2 = 6,2.
I det nederste nettverket skal fordelingen være X_3 = 5,4 og X_4 = 6,6

I **første** iterasjon fordeles 12 til rute X_1 og 12 til X_3.

I **andre** iterasjon må λ bestemmes på samme måte som i eksempel 2.

For Rute 1: $Y_1(\lambda) = 0 - 12 \cdot 10(1 + 3\frac{12-\lambda \cdot 12}{10})$

For Rute 2: $Y_2(\lambda) = 12 \cdot 15\left(1 + 2\frac{0+\lambda \cdot 12}{15}\right) - 0$

For Rute 3: $Y_3(\lambda) = 0 - 12 \cdot 12(1 + 3\frac{12-\lambda \cdot 12}{12})$

For Rute 4: $Y_4(\lambda) = 12 \cdot 15\left(1 + 2\frac{0+\lambda \cdot 12}{15}\right) - 0$

For at $\Sigma Y_n(\lambda)=0$ skal være oppfylt, må følgende være oppfylt $Y_1(\lambda) + Y_2(\lambda) + Y_3(\lambda) + Y_4(\lambda) = 0$

Vi tar ikke mellom-regninga her, men kan avsløre at λ blir 0,533333 eller 8/15

I begge nettene vil nå 12 · 8/15 = 24/5 dvs. ca 6,4 bli omfordelt fra øverste rute, altså ca 0,2 for mye i det øverste nettet og 0,2 for lite i det nederste nettet. Legg merke til at en andel (lik λ) av hele turmatrisen omfordeles, og da kan også en fast andel (lik λ) også fjernes fra lenkene slik at reisetidene på lenkene justeres før neste AON iterasjon.

$$x_k = (1 - \lambda_k) \cdot x_{k-1} + \lambda_k \cdot x_k$$

Etter andre iterasjon har vi følgende fordeling:

For rute 1 og 3 blir antall turer : (1 - 0,533) · 12 + 0,533 · 0 = 5,6 ⇒ <u>$X_1 = 5,6$</u>

For rute 2 og 4 blir antall turer : (1 – 0,533) · 0 + 0,533 · 12 = 6,4 ⇒ <u>$X_2 = 6,4$</u>

Vi kan også gjøre en beregning av **tredje** iterasjon for å drille metoden.

$$Y(\lambda) = \sum (Vol_k - Vol_{k-1}) \cdot TC$$

For Rute 1: $Y_1(\lambda) = (12 - 5{,}6) \cdot 10(1 + 3\frac{5{,}6 - \lambda \cdot (12 - 5{,}6)}{10})$

For Rute 2: $Y_2(\lambda) = (0 + 12) \cdot 15\left(1 + 2\frac{6{,}4 - \lambda \cdot (12 - 6{,}4)}{15}\right)$

For Rute 3: $Y_3(\lambda) = (0 - 5{,}6) \cdot 12(1 + 3\frac{5{,}6 - \lambda \cdot (12 - 5{,}6)}{12})$

For Rute 4: $Y_4(\lambda) = (12 - 6{,}4) \cdot 15\left(1 + 2\frac{6{,}4 - \lambda \cdot (12 - 6{,}4)}{15}\right)$

Denne gangen blir λ = 0,033

$$x_k = (1 - \lambda_k) \cdot x_{k-1} + \lambda_k \cdot x_k$$

For tredje iterasjon har vi følgende fordeling:

For rute 1 blir antall turer : (1 - 0,033) · 5,6 + 0,033 · 12 = 5,415 + 0,396 = 5,81 ⇒ <u>$X_1 = 5,81$</u>

For rute 2 blir antall turer : (1 - 0,033) · 6,4 + 0,033 · 0 = 6,19 ⇒ <u>$X_2 = 6,19$</u>

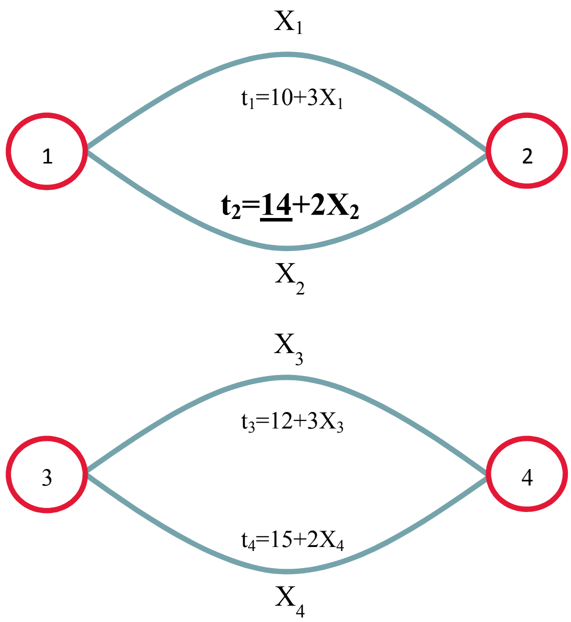
For rute 3 blir antall turer : (1 - 0,033) · 5,6 + 0,033 · 0 = 5,415 = 5,42 ⇒ <u>$X_3 = 5,42$</u>

For rute 4 blir antall turer : (1 - 0,033) · 6,4 + 0,033 · 12 = 6,188+ 0,396 = 6,58 ⇒ <u>$X_4 = 6,58$</u>

Eksempel 4 del 2: Langt-borte-problem

I figuren under er det benyttet samme nettverket som i forrige eksempel i Figur 10, men en forutsetning er endret, og det er at fri-flyts-tida, dvs den reisetiden man har på lenken når det ikke er trengsel, er redusert fra **15 til 14** (understreket i figuren).

Tabell 1 viser fordelingen av de 12 reisene på de to rutene for hver iterasjon i tre iterasjoner. Tallene i parentes er for nettfordelingen fra eksempel 3 del 1.



Figur 11: Endring i vegnettet og virkninger av dette

Tabell 1: Nettfordeling i tre iterasjoner

Rute	Iter 1 λ=1	Iter 2 λ=0,541	Iter 3 λ=0,017
X_1	12	5,5	5,61 (5,81)
X_2	0	6,5	6,39 (6,19)
X_3	12	5,5 (5,6)	5,41 (5,42)
X_4	0	6,5 (6,4)	6,59 (6,58)

Det endelige resultatet for det øverste nettet er forskjellig fra det forrige eksemplet fordi reisetiden er redusert for rute X_2. Da blir det mer trafikk på denne ruta i likevekt slik det bør være.

Det som er mest interessant med dette eksemplet er resultatene for det **nederste** nettet, og det illustrerer hvorfor vi kan oppleve langt-borte-problemer. Dette er situasjonen:

- Nettet har ikke endret seg sammenlignet med eksempel 3 del 1
- Det er det samme trafikkvolumet som skal fordele seg på to ruter, og for begge rutene er t definert slik at reisetidene endrer seg med trafikkvolumet på dem dvs. de har "kapasitetsproblemer" fra første bil som fordeles
- I og med at λ bestemmes som en global faktor for hver iterasjon blir det forskjellige forløp i iterasjonsprosessen sammenlignet med del 1 av dette eksemplet
- Det endelige resultatet blir også forskjellig etter 3 iterasjoner

Dersom vi hadde gjennomført mange flere iterasjoner ville λ blitt mindre og mindre og resultatene for det nederste nettet i de to eksemplene fra del 1 og 2 ville nærmet seg hverandre mer og mer, og med to desimaler ville de blitt like relativt fort. Hvis vi hadde tatt med uendelig mange desimaler i resultatet, er det ikke sikkert at de noen gang ville blitt helt like uansett hvor mange iterasjoner vi hadde gjort.

Dette er et mindre problem for selve nettfordelingen fordi trafikkvolumene på lenkene blir så og si de samme selv med endret nett og dermed endrede λ-verdier for de ulike iterasjonene. Det som skaper problemer er at vi får den lille forskjellen i nettfordelingen mellom to situasjoner som skal være helt like, og det kan gi utslag i trafikantnytteberegningene.

For å bøte på problemet kan vi kjøre så mange iterasjoner at den potensielle forskjellen i nettfordelingen blir ubetydelig, selv når vi bruker resultatene til å beregne trafikantnytte, men det har vist seg at det trengs svært mange iterasjoner for å oppnå tilfredsstillende resultat i noen sammenhenger, og det finnes også en nedre grense i Cube Voyager for hvor liten andel som kan omfordeles i nettet. Denne nedre grensen for λ ligger på $5 \cdot 10^{-7}$. Denne andelen multipliseres så med turmatrisen og gir så antall turer som skal omfordeles. Antall turer i turmatrisen har dermed også noe å si for hvor stor differansen mellom to resultat, som i praksis skulle vært like, kan bli til slutt.

5 Anbefalt metodikk

5.1 Kravene til nettfordelingsmetode

I og med at kostnadsmatrisene fra transportmodellen benyttes til å beregne trafikantnytte, vil kravet til konvergens være litt forskjellig enn det ellers ville vært. Det grunnleggende kravet som gjelder konvergens medfører at vi må komme fram til en likevektsløsning som oppfyller Wardrops kriterier. Det vil si at likevektsløsningen må oppfylle kravet om at trafikantene finner den beste ruten gitt ut fra generaliserte kostnader, og at ingen alene kan bytte rute og derigjennom få en mer attraktiv tur. I tillegg må vi ha en likevektsløsning som er stabil på tvers av beregningsalternativ, som betyr at rutevalget mellom sonerelasjoner som ikke påvirkes av et tiltak, skal få eksakt samme løsning med og uten tiltaket.

5.2 Kravene til vdf-kurvene

Forholdet mellom trafikkvolum og tidsbruk på de ulike lenkene er bestemt av volum-hastighets-funksjonene[2]. I transportmodellen er disse pr i dag definert med en flat hale som ikke gir noen forskjell i tidsbruken over kapasitetsgrensen. Det kan føre til at det endelige resultatet på lenkene blir forskjellig i to situasjoner fordi tidsbruken utover i iterasjonene kommer opp i et øvre nivå og ikke øker mer ved høyere trafikkvolum.

VDF kurvene bør derfor endres slik at de ikke har en flat hale, men kanskje heller har en svak helning når kapasitetsgrensen er overskredet.

5.3 Egenskapene til lenkebasert F-W Equilibrium

Tidligere ble Frank-Wolf Equilibrium metode benyttet til rutevalgsberegningen. Som vi har vist gjennom eksempler i denne rapporten, vil metoden innebære at små endringer i nettverket kan føre til forskjellige størrelser på andelene som omfordeles i de enkelte iterasjonene mellom to scenarioer. Ved stadig flere iterasjoner vil metoden gi mindre og mindre trafikk som omfordeles utover i iterasjonene, og hvis det kjøres mange nok iterasjoner, vil man kunne oppnå en situasjon der forskjellene mellom to scenarioer er ubetydelige. Problemet er at det i noen tilfeller må kjøres mange iterasjoner, og i enkelte tilfeller vil man også støte på den nedre grensen som Cube Voyager har for hvor liten andel som kan omfordeles. Andelen er den samme for alle reisehensikter som nettfordeles, slik at det er det samlede antall turer som her multipliseres med λ.

Et annet problem ved å bruke F-W Equilibrium, er at utslagene som kommer frem når vi studerer utslag langt borte, også kan inntreffe for sonerelasjoner nærmere tiltaket. Da vil det være vanskeligere å skille utslag som skal være der, som skyldes prosjekt, fra utslag som ikke skal være der, og som skyldes nettfordelings-algoritmen.

5.4 Egenskapene til Incremental

Incremental loading vil legge ut trafikk på en lenke helt til denne har en høyere generalisert kostnad enn alternative ruter. Man vil derfor kunne få for mye trafikk på enkelte lenker fordi man ikke kan gå tilbake og omfordele trafikk igjen når den først er lagt ut. Med små nok incrementer gir dette likevel en løsning som kan ligge svært nært en teoretisk likevektsløsning. Tester viser at trafikkvolumene på lenkene blir på samme nivå som ved F-W Equilibrium.

[2] Volume delay function curves (VDF)

Den store fordelen med Incremental loading er at trafikken vil velge akkurat samme rute for ulike scenarier hvis de ikke påvirkes av et tiltak. Det betyr at metoden derfor oppfyller kravet som stilles når resultatene brukes i trafikantnytteberegninger. Beregningstiden med Incremental loading er også om lag tilsvarende som ved F-W Equilibrium.

5.5 Anbefaling på kort sikt

De to metodene som er sammenlignet og evaluert for bruk i den norske regionale modellen for persontransport i denne rapporten er 1) tradisjonell lenkebasert Frank-Wolfe Equilibrium nettfordeling og 2) den enkle Incremental loading. En gjennomgang av metodene med beregningseksempler viser at egenskapene til den lenkebaserte F-W Equilibrium gir behov for svært mange iterasjoner for å sikre at resultatene er stabile på tvers av beregningsalternativer, noe som vil gi svært lange beregningstider i mange tilfeller. Man kan også komme i situasjoner der programvaren gir begrensninger slik at likevekt ikke kan oppnås. Incremental loading er en enklere metode som sikrer stabilitet på tvers av beregningsalternativ, men som ikke gir en teoretisk riktig likevektsløsning. Med mange iterasjoner vil likevel nettfordelingsløsningen gi lenkevolumer som er veldig nært en likevektsløsning.

Gjennomgangen av nettfordelingsmetoder vist her viser at ingen av de to metodene vi har testet er ideelle for både å oppnå teoretisk likevekt og stabile løsninger. I valget mellom de to har inkrementell metode den fordelen at den gir trafikkvolum som ligger svært nært opp til det vi får med F-W equilibrium samtidig med at den gir stabile løsninger på tvers av ulike scenarier. De nye metodene som er utviklet virker interessante, men disse vil sannsynligvis kreve mer beregningstid pga. mellomlagring av rutevalg mellom iterasjonene.

Vår anbefaling er at Incremental loading bør velges inntil videre. Antall iterasjoner og dermed størrelsen på inkrementene, bør bestemmes spesielt for hvert analyseområde.

5.6 Videre forskning

De to nyvinningene de siste årene innen nettfordelingsmetoder, rutebasert og segmentbasert omfordeling av turer, virker svært lovende. De kan trolig nå høyere grad av likevekt fortere enn lenkebasert F-W Equilibrium. Segmentbasert metode virker å være den mest effektive av disse to (Vanasse Hangen Brustlin, 2007). Begge metodene krever imidlertid mer beregningstid og beregningskapasitet enn lenkebasert F-W Equilibrium, fordi de krever at rutevalg som er benyttet i en iterasjon mellomlagres i løpet av beregningen. Begge disse metodene burde være mulig å teste for norske forhold i Cube Voyager, ettersom programvaren gir mulighet for å lagre rutevalg.

VDF-kurvene som benyttes i de norske modellene er utarbeidet for nesten 20 år siden. Utgangspunktet for kapasitetskurvene var i sin tid standardkurver fra Department of Environment i England (Skjetne, 2005). Statens vegvesen vil i løpet av 2015 få tilgang på data som kan benyttes som grunnlag for å utarbeide bedre kurver til bruk i transportmodellene.

Trafikkvolum på vegnettet er resultater fra transportmodellene som er grunnlag for mange beslutninger knyttet til investeringer i infrastruktur. Det er viktig med metoder for nettfordeling av biltrafikken som sikrer gode og robuste resultater.

6 Referanser

Boyce, David, Biljana Relevic og Hillel Bar-Gera (2004): Convergence of Traffic Assignments: How Much is enough? Journal of Transportation Engineering. Vol 130.No 1.

Cube Help. www.citilabs.com

Levin, Tomas, Trude Tørset, Olav Kåre Malmin og Ola Rennemo (2015): Data og metoder for modellering av biltrafikkens fart i transportmodeller. SINTEF-rapport A26649. SINTEF Transportforskning. Trondheim.

Ortùzar, Juan de Diaz og Willumsen, 2011: Modelling Transport Ed 4

Sheffi, Yosef (1985): Urban transportation networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods. Prentice-Hall, Englewood Cloffs, N.J. USA.

Steinsland, Christian (2009): Uønskede nytteeffekter utenfor influensområdet i RTM. Arbeidsnotat ØL/2123/2009. Transportøkonomisk institutt. Oslo.

Steinsland, Christian (2013): Oppsett av rutevalgsalgoritme for bil ved bruk av CUBE Voyager i regionale persontransportmodeller. Utkast. Arbeidsdokument 50313. Transportøkonomisk institutt. Oslo.

Malmin og Tørset (2012): Alternativ algoritme for nettfordeling av bilturer i RTM.

Dag Bertelsen (2011): Supplement til Nytte-kostnadsanalyser ved bruk av transportmodeller.

Vanasse Hangen Brustlin (2007): State of the Art in Equilibrium Traffic Assignment. Notat utarbeidet for Metropolitan Washington Council of Governments National Capital Region Transportation Planning Board.

SINTEF

Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no