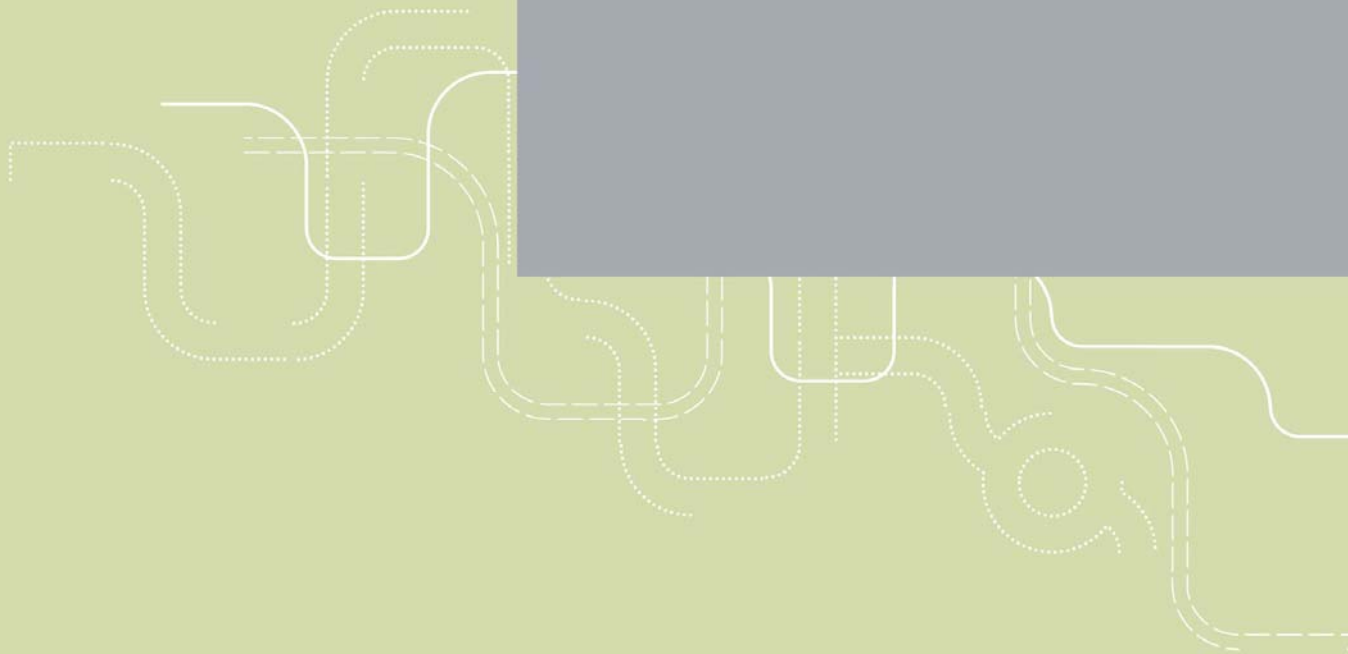




Rutevalg i Regional Transportmodell



Rutevalg i Regional Transportmodell

Christian Steinsland
Farideh Ramjerdi

Transportøkonomisk institutt (TØI) har opphavsrett til hele rapporten og dens enkelte deler. Innholdet kan brukes som underlagsmateriale. Når rapporten siteres eller omtales, skal TØI oppgis som kilde med navn og rapportnummer. Rapporten kan ikke endres. Ved eventuell annen bruk må forhåndssamtykke fra TØI innhentes. For øvrig gjelder [åndsverklovens](#) bestemmelser.

Tittel: Rutevalg i Regional Transportmodell

Forfatter(e): Christian Steinsland, Farideh Ramjerdi

TØI rapport 976/2008
Oslo, 2008-08
38 sider
ISBN 978-82-480-0906-1 Elektronisk versjon
ISSN 0808-1190

Finansieringskilde:
NTPs arbeidsgruppe for transportanalyser

Prosjekt: 3182 RTMrute

Prosjektleder: Christian Steinsland

Kvalitetsansvarlig: Kjell Werner Johansen

Emneord:
Persontransportmodell; nettfordeling;
rutevalgsalgoritme; Dial, Burrell

Sammendrag:
Ulike valg av metode for rutevalg og kapasitetsavhengig netttutlegging gir ikke de store utslagene i trafikfordelingen i de regionale persontransportmodellene. Forskjellene mellom beste og nest beste reiserute er stort sett såpass signifikant at spredningseffekten ved bruk av rutevalgsalgoritmer som Dial og Burrell er forholdsvis liten. Samtidig modelleres det i liten grad trafikkvolumer som gir kapasitetsproblemer i

Rapporten utgis kun elektronisk.

Title: Route choice in the Norwegian Regional Transport Model

Author(s): Christian Steinsland, Farideh Ramjerdi

TØI report 976/2008
Oslo: 2008-08
38 pages
ISBN 978-82-480-0906-1 Electronic version
ISSN 0808-1190

Financed by:
Workgroup for transport analysis, National Transport Plan 2010-2019

Project: 3182 RTMRoute

Project manager: Christian Steinsland

Quality manager: Kjell Werner Johansen

Key words:
Transport model; Traffic assignment; Route choice algorithm; Dial; Burrell

Summary:
There are various different capacity-restrained assignment methodologies and route choice algorithms in the Cube software. In this project we have been evaluating some of them when assigning traffic in the Norwegian Regional Transport Model. Because congestion seems to be underestimated in this version of the transport model, and the difference between the best and second best possible routes between most origins and destinations seems to be significant, the choice of assignment methodology does not affect the results much.

The report is published only electronically.

Language of report: Norwegian

Rapporten kan bestilles fra:
Transportøkonomisk institutt, Biblioteket
Gaustadalleen 21, 0349 Oslo
Telefon 22 57 38 00 - www.toi.no

The report can be ordered from:
Institute of Transport Economics, The library
Gaustadalleen 21, NO 0349 Oslo, Norway
Telephone +47 22 57 38 00 - www.toi.no

Forord

Denne rapporten oppsummerer prosjektarbeid gjennomført for NTP-transportanalyser våren 2006. Prosjektet gikk ut på å evaluere ulike rutevalgsalgoritmer for nettutlegging i de regionale persontransportmodellene og ble opprinnelig dokumentert i form av et arbeidsdokument som etter hvert har fått nummer ØL/2086/2008.

Rapporten består grovt sett av en teoridel skrevet av Farideh Ramjerdi og en modelldel skrevet av Christian Steinsland. I tillegg har Anne Madslie og Kjell Werner Johansen bidratt med kvalitetssikring, mens Laila Aastorp Andersen står for den endelige utformingen av rapporten.

All den tid de regionale persontransportmodellene har gjennomgått omfattende endringer siden prosjektet ble gjennomført og i dag benytter andre nettutleggingsverktøy enn dem som ble evaluert i dette arbeidet, kan man innvende at visse resultater er noe foreldet, men andre deler av rapporten beskriver generelle problemstillinger, og er således uavhengig av verktøy.

Bakgrunnen for at rapporten ser dagens lys såpass lenge etter prosjektets ferdigstillelse, er at oppdragsgiver nå ønsker å gjøre innholdet tilgjengelig som en del av brukerdokumentasjonen til de regionale persontransportmodellene.

Oslo, august 2008
Transportøkonomisk institutt

Lasse Fridstrøm *Kjell Werner Johansen*
instituttssjef avdelingsleder

Innhold

Sammendrag	I
1 Innledning	1
2 Ulike metoder har ulike egenskaper	2
2.1 Metoder for kapasitetsuavhengig nettfordeling.....	2
2.1.1 "All or Nothing Assignment" (AON).....	2
2.1.2 Burrells metode.....	2
2.1.3 Dials metode	4
2.1.4 Oppsummering	6
2.2 Metoder for kapasitetsavhengig nettfordeling.....	7
2.2.1 Incremental assignment.....	7
2.2.2 Suksessive gjennomsnitt (Volume averaging).....	8
2.2.3 Likevektsfordeling	9
2.2.4 Andre muligheter for nettverksfordeling i TRIPS	12
3 Datagrunnlag og beregninger	13
3.1 RTM i CUBE	13
3.2 Uforutsette utfordringer	15
3.3 Områdedefinisjon.....	16
3.4 Kjøringer	22
3.4.1 Navnekonvensjon	22
3.4.2 Nettutlegging og kapasitetsavhengighet.....	23
3.4.3 Dials metode for rutevalg	26
3.4.4 Burrells metode for rutevalg.....	27
3.4.5 Beregninger versus observasjoner	29
4 Konklusjon	36
5 Referanser	38

Sammendrag:

Rutevalg i Regional Transportmodell

Ulike valg av metode for rutevalg og kapasitetsavhengig nettutlegging gir ikke de store utslagene i trafikkfordelingen i de regionale persontransportmodellene. Forskjellene mellom beste og nest beste reiserute er stort sett såpass signifikant at spredningseffekten ved bruk av rutevalgsalgoritmer som Dial og Burrell er forholdsvis liten. Samtidig modelleres det i liten grad trafikkvolumer som gir kapasitetsproblemer i vegnettet.

Denne rapporten oppsummerer prosjektarbeid gjennomført for NTP-transportanalyser våren 2006. Prosjektet gikk ut på å evaluere ulike rutevalgsalgoritmer for nettutlegging i de regionale persontransportmodellene. All den tid de regionale persontransportmodellene har gjennomgått omfattende endringer siden prosjektet ble gjennomført og i dag benytter andre nettutleggingsverktøy enn dem som ble evaluert i dette arbeidet, er det viktig å være klar over at beskrivelsen av hvordan nettfordelingen foregår i de regionale persontransportmodellene er foreldet.

Rapporten inneholder evaluering av rutevalgsalgitmene Dial, Burrell og All-or-Nothing. Disse algoritmene avviker i sine metoder for å spre trafikken mellom ulike, potensielle reiseruter. Rapporten inneholder også evaluering av ulike metoder for kapasitetsavhengig nettfordeling som incremental loading, volume averaging og likevekt. Modellberegningene for de forskjellige metodevalgene er sammenlignet med faktiske trafikktegninger i utvalgte analyseområder.

Resultatene viser at valget av metode for rutevalg og kapasitetsavhengig nettutlegging ikke betyr noe særlig for trafikkfordelingen i de regionale persontransportmodellene. Da prosjektet ble gjennomført, var de regionale persontransportmodellene i en tidlig fase i forhold til kømodellering og kapasitetsavhengighet, og fordi modellene i liten grad opplevde kapasitetsproblemer i vegnettet, var det vanskelig å vurdere effekten av ulike valg for kapasitetsavhengig nettutlegging.

Rutevalgsmetodene for spredning av modellert trafikk mellom ulike, potensielle reiseruter som funksjon av rutenes attraktivitet, ga forholdsvis små utslag, og tyder på at forskjellene mellom beste og nest beste reiserute stort sett er ganske signifikant. Dermed blir spredningseffekten ved bruk av rutevalgsalgoritmer som Dial og Burrell liten.

1 Innledning

NTP Transportanalyser har engasjert TØI til å gjennomføre en evaluering av ulike metoder for rutevalg for bil i de regionale persontransportmodellene. Med bakgrunn i pågående uttesting og utbedring av modellene der det er oppdaget problemer knyttet til rutevalg med bil, ønskes en evaluering av ulike metoder for rutevalg innenfor programvaren Cube Trips.

Det er en rekke grunner til at modellberegnet trafikk kan vise betydelige avvik i forhold til observerte trafikk tall. For det første er det usikkerhet knyttet til selve tellingene. Dette kan vi gjøre lite med, men det er verdt å være oppmerksom på at det ikke er noe mål å få perfekt korrelasjon med alle observasjoner. For det andre er det usikkerhet knyttet til beregning av antall reiser, fordelingen av reiser på sonepar og fordeling på transportmidler. Denne usikkerheten består i den statistiske usikkerheten knyttet til innsamling og bearbeiding av reisevanedata og beregning av transportstandarddata som er benyttet i estimeringen av modellenes parametre i tillegg til at det alltid vil være feil i ulike deler av datagrunnlaget. Disse usikkerhetene er ikke gjenstand for egne analyser i dette prosjektet hvor vi konsentrerer oss om fordelingen av bilturer i det kodede vegnettet og tar de bakenforliggende beregningsresultatene for gitt.

Gitt at modellene beregner rimelig realistiske bilturmatriser, er realismen i fordelingen av disse matrisene i det kodede vegnettet et spørsmål om:

- Kvaliteten på det kodede vegnettet, herunder hvor finmasket det er, lenkelengder, kapasitetsklasser og antall felt
- Hvordan de generaliserte kjørekostnader er beregnet og
- Hvilke algoritmer som benyttes.

Vårt fokus er på det siste punktet, men vi kommer ikke unna også å vurdere de to første.

RTM har fordelt reiseaktivitetene etter reiseformål, men mangler inndeling etter reiseperiode, og inneholder derfor heller ikke delmodeller for valg av reisetidspunkt. Netfordelingen av YrkesDøgnTrafikk (YDT) gjøres ved hjelp av "volume averaging"¹ der "All Or Nothing" algoritmen for kapasitetsavhengig nettfordeling i Trips benyttes. En bygger på en antakelse om at 10% av døgntrafikken foregår i timen med maksimaltrafikk og dermed er dimensjonerende i forbindelse med rutevalget. Lange bilturer (over 10 mil) hentes fra den nasjonale persontransportmodellen, NTM5, og legges ut kapasitetsuavhengig på nettverket og fordeles på nettverket etter korteste kjøretid. Dette betyr at for hvert par av soner med bildistanse over 10 mil vil et og bare et rutevalg benyttes. Dette gir neppe et riktig bilde fordi trafikanter har forskjellig både oppfattelse og vektlegging av distanse, tid og kostnad. En alternativ metode som åpner for at ikke alle trafikanter har lik opplevelse av tid og kostnad ved alternative kjøreruter, bør derfor vurderes implementert.

¹ I SINTEF 2005 s 36 står det riktignok at en likevektsalgoritme er benyttet

For å belyse dette har vi:

- Drøftet de teoretiske egenskapene ved ulike metoder
- gjennomført beregninger med alternative metoder og systematisk validering mot trafikktegninger på et sett av lenker og
- vurdert resultater og anbefalt metodevalg i forhold til validitet og kompleksitet/arbeidsomfang med å implementere alternative metoder.

2 Ulike metoder har ulike egenskaper

I gjennomgangen av metoder har vi benyttet stoff fra brukermanualen for TRIPS supplert med lærebokstoff og kunnskap om hvordan RTM er bygd opp som bakgrunn for egne vurderinger.

2.1 Metoder for kapasitetsuavhengig nettfordeling

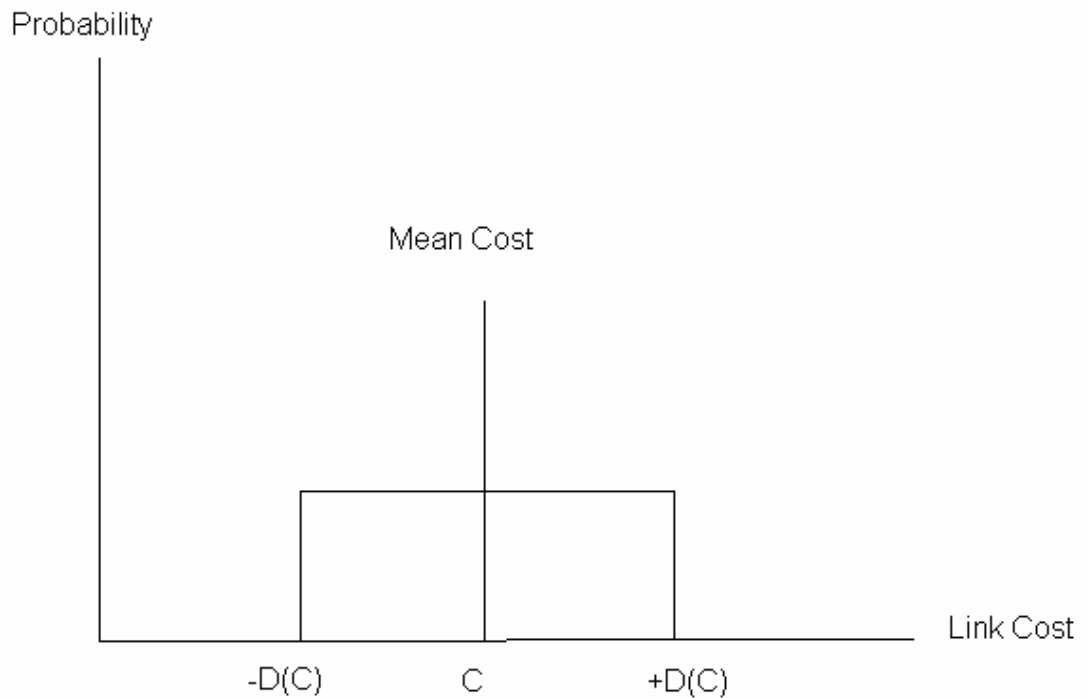
2.1.1 "All or Nothing Assignment" (AON)

AON er den enkleste metoden. Under forutsetning av at det ikke er kapasitetsbegrensninger i nettverket, forutsettes alle trafikanter å velge rute med samme egenskaper (tid, distanse, kostnad eller generalisert kostnad etc) og alle oppfatter kostnadene likt. Siden det ikke er kapasitetsproblemer er kostnadene på hver alternative kjørerute på forhånd gitt. Forutsetningen om at alle oppfatter kostnadene ved å kjøre likt, innebærer da at alle som kjører fra sone i til sone j velger samme kjørerute.

2.1.2 Burrels metode

Denne bygger på en stokastisk tilnærming, dvs at en tar hensyn til at det er variasjon mellom trafikantenes opplevelse eller preferanser for ulike kjøreruter. Dette betyr at noen trafikanter vil velge det som andre trafikanter opplever som neste beste ruter mellom hvert sonepar. De vanligste metodene for å ta hensyn til dette er basert på simulering eller beregning av andeler. Burrels metode er basert på simulering og bruker Monte Carlo simulering til å ta hensyn til variabilitet i opplevde kostnader mht rutevalget. En forutsetter at hver lenke har en "objektiv" kostnad og at det er en rektangulær fordeling av opplevde kostnader rundt denne for hver lenke. Fordelingen av trafikantenes opplevde kostnader er forutsatt uavhengige, og hver trafikanter velger ruten som minimerer egne kostnader.

Figur 1 viser en slik rektangulær fordeling.



Figur 1. Rektangulær fordeling med Burrells metode

$D(C)$ i figur 1 er beskrevet ved følgende likning:

$$D(C) = W * \sqrt{C} \text{ når } C > W^2$$

ellers

$$D(C) = C$$

hvor

C = gjennomsnittlig lenkekostnad

W = Spredningsparameter (SPREAD/100 i TRIPS)

Denne formuleringen sikrer samme gjennomsnittlige varians per lenke uavhengig av om en rute er sammensatt av få lenker med høy kostnad eller mange lenker med lave kostnader på hver. Typiske verdier på W ligger i intervallet fra 20 til 70.

I TRIPS er lenkekostnadene tilfeldig generert for hver frasone, som gir et utvalgt sett av kjøreruter for hvert startsted. Det er også mulig å bygge flere sett av kjøreruter for å få et statistisk mer stabilt gjennomsnittlig sett av ruter.

Brukeren bestemmer antall ruter (N) i TRIPS ved NPATH parameteren i MVHWAY & LOAD blokkene. Turene lastes likt til hver rute. Typiske verdier på NPATH ligger i intervallet fra 3 til 6. NPATH = 4 impliserer at 25% av turene fra hver sone er fordelt til hvert sett av ruter.

Stabilitet i nettfordelingen ved gjentakende fordelinger med Burrells metode er sikret gjennom en *pseudo random number generator*. Som hjelp til å sikre stabilitet i rutevalg mellom nettverk med marginale forskjeller, er mønsteret for

tilfeldige utvalg av ruter fast for hver rute ut fra nodenummereringen. TRIPS brukeren kan sjekke denne stabiliteten ved gjentakende kjøring med MVHWAY der bare BSEED parameteren endres. Denne parameteren gir et "frø" for generering av tilfeldig tall og ved å endre denne får en ulike mønstre av tilfeldig variasjon. (BSEED parameteren brukes også under kapasitetsavhengig nettfordeling for å generere alternative kjøreruter mellom soner). En måte å omgå begrensninger som følger av generering av tilfeldige alternativer, er å øke verdien på N.

Hvis et bredt utvalg av ruter er nødvendig, kan en øke verdien på N og / eller SPREAD parametre i fordelingen av lenkekostnader. Burrells metode har fordelene av å generere billige ruter oftere enn dyrere. Dette betyr at om en rute er dyr er det mye mindre sannsynlig at den opptrer som billigst som resultat av den stokastiske variasjonen i lenkekostnader som metoden bygger på. Den rektangulære fordelingen er ganske effektiv i regnetid, man lite realistisk. En normalfordeling med varians proporsjonal med gjennomsnittet er et bedre alternativ, men krever langt mer CPU tid i praktisk bruk.

Med formuleringen av D(C) som beskrevet over, unngår en skjevfordeling av lenker med høy eller lav kostnad, men samtidig vil nettoforstyrrelsen bli utliknet ved mange lenker fordi noen lenker har høyere kostnader og andre lavere. Kostnadene ved potensielt alternative ruter som involverer mange lenker vil derfor tendere til å bli mer stabile enn ruter med få lenker. Resultatet av dette er at ruter med mange lenker får større stivhet mht å komme med eller ikke i det mulige utvalget av ruter enn ruter med få lenker.

En innvending mot metoden er at opplevde lenkekostnader i realiteten ikke er uavhengig mellom ruter, fordi bilister ofte har preferanser f eks for å kjøre på motorvei, hovedvei mv. Forutsetningen om uavhengighet i opplevde kostnader kan medføre urealistisk bytte mellom parallelle ruter som er forbundet med hverandre med mindre vegger.

2.1.3 Dials metode

Dials metode er basert på at en fordeler andeler av trafikantene på alternative kjøreruter mellom hvert par av soner. En parameter i en logit likning beskriver spredningen av turer mellom alternative ruter. Dial beskrev en ganske effektiv algoritme sammen med logitformuleringen for nettfordeling. Algoritmen tenderer til å fordele mest trafikk til de korte rutene i "tette" deler av nettverk².

Dials metode skiller seg fra de øvrige rutebyggingsmetodene i TRIPS ved å ha innebygget "multi routing," mens de andre metodene (AON, Burrells og kapasitetsavhengige) danner sett av ruter fra enkeltruter. De andre metodene fordeler alltid turene til ruten med minimum kostnad (selv om Burrells randomisering og kapasitetsavhengig fordeling kan endre hvilken rute dette er). Rutene har en "tre" struktur dvs at det bare er en tillatt rute fram til hver node. Dial på den annen side, fordeler bare en andel turer til ruten med de laveste kostnadene og turer kan komme inn til noder fra andre ruter enn den som har de laveste kost-

² Med tette deler av nettverket menes her der lenkene ligger tett på hverandre og alternative kjøreruter er mange

nadene. Dials metode minner slik sett om rutebyggingsalgoritmen i kollektivtransportmodulen i TRIPS.

Dial fordeler turene ut fra kostnadene på en rute relativt til kostnaden på rutene med lavest kostnader. Slik vil to ruter med like kostnader bli likt belastet; effekten av differanser i kostnader blir styrt ved THETA parameteren i MVHWAY & LOAD. Logit ligningen er utgangspunkt for fordelingen:

$$p(r) = \frac{1}{1 + e^{-\theta(C^* - C^r)}}$$

hvor

$p(r)$ = relativ andel turer som bruker rute r

C^* = kostnader på ruten med de laveste kostnadene

C^r = kostnader på alternativ rute, r

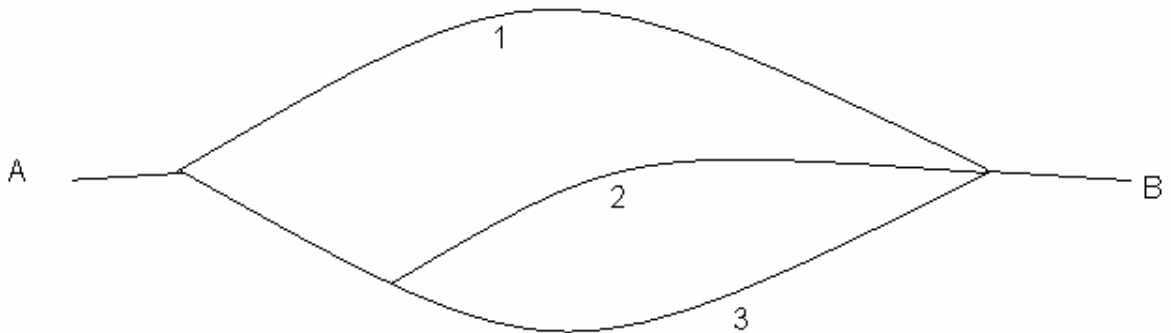
θ = spredningsparameter (THETA)

I prisnippet tas alle mulige ruter mellom start og endepunkt med i vurderingen. Av praktiske årsaker begrenser en seg til bare å ta i betraktning "effektive" ruter.

Disse er definert som ruter der man hele tiden kommer nærmere reisemålet og/eller lengre vekk fra startonen. Denne begrensningen reduserer antall tillatte ruter selv der rutekostnadene ikke er mye høyere enn for ruten med de laveste kostnadene. Førerne skal altså hele tiden unngå ruter som underveis leder bort fra målet. Dette kan godt være en realistisk forutsetning, men en må være oppmerksom på at dette kan gi utilsiktede virkninger der f eks kryss er kodet med flere lenker inn til en ellers rask og effektiv motorveg.

Et spørsmål i tilknytning til denne metoden er å avgjøre hvordan en separat rute er bygd opp. I TRIPS brukes en "single pass" metode. Turene fordeles på alternative valg som kommer opp mens man beveger seg mot reisemålet. Denne tilnærmingen gjør at en kan unngå potensielt alvorlige forstyrrelser som for eksempel hvis en enkeltlenke er omkjøringsveg rundt et byområde med mange lenker: ellers ville Dials metode vurdere omkjøringsveien opp mot de mange rutene gjennom byområdet og medføre at lite trafikk fordeles på omkjøringsveien. (Dette medførte tidligere at Dials metode ikke var særlig populær blant de som planla omkjøringsveger).

Karakteristika ved "single pass" metoden kan beskrives i tilknytning til figur 2 som viser et nettverk for turer mellom A og B med ruter 1, 2 og 3.



Figur 2: Rutevalg med Dials Metode.

Hvis vi for enkelthets skyld antar at alle rutealternativene er like lange (mht generalisert kostnad), vil en med "Single pass" metoden vurdere det til at det er 2 hovedruter mellom A og B, og fordele turene 50:50 mellom dem. Imidlertid er det nytt valg på den nederste ruten mellom lenke 2 og 3 sånn at her vil turene igjen fordeles 50:50 (eller 25:25 av alle reiser mellom A og B).

En viktig egenskap som kommer fram her, er at metoden ikke er symmetrisk. Ved fordeling av turer fra B til A, følger det av det som står over at turene vil fordeles 33:33:33 selv om strømmene fra rute 2 og 3 slås sammen senere. Resultatet er at rute 1 har 50% av turene fra A til B, men bare 33% av turene fra B til A.

Denne asymmetrien ved Dials metode kan være forvirrende siden denne egenskapen normalt ikke er til stede i øvrige trafikkfordelingsmetoder. Fordi føreradfærd mht rutevalg er relativt komplisert og det er vanskelig å samle data om rutevalg, er det ikke godt å si så mye om hva denne mangelen på symmetri har å si når modellene anvendes i praksis. Et argument er f.eks at når mange alternative rutevalg som løper sammen mot et mål i et bysentrum for eksempel, er ikke dette de samme rutene som velges fra bysenteret til en sone utenfor og rutevalgsadferden er også forskjellig.

Asymmetrien i Dials metode har mest å si når THETA er lav, dvs når det er større spredning på ruter.

2.1.4 Oppsummering

Disse metodene vil som det kommer fram over, i utgangspunktet ha forskjellige fordeler og ulemper;

1. AON er veldig enkel og effektiv, men er kanskje ikke veldig realistisk mht å beskrive spredningen av trafikken i et nettverk med alternative kjøreruter, selv i situasjoner uten kø.
2. De øvrige metodene tar hensyn til dette og kan spre trafikken på alternative ruter. Imidlertid kan det være en krevende oppgave å kalibrere spredningsparameteren i Dials metode og fordelingsfunksjonen i Burrells metode.

3. Hvordan de siste metodene virker i forhold til AON mht til å spre trafikken, avhenger kritisk av hvor "tett" nettverket er kodet.

2.2 Metoder for kapasitetsavhengig nettfordeling

Anvendbare metoder for kapasitetsavhengig fordeling tar ikke hensyn til variasjon i trafikantenes opplevelse eller preferanser mht kjørekostnader på ulike ruter. Derimot tar en hensyn til sammenhenger mellom trafikkvolum og kjørekostnader på lenker når det bygges opp kø. 3 ulike typer algoritmer er anvendbare i TRIPS;

1. *Incremental assignment*
2. *Suksessive gjennomsnitt* (volume averaging)
3. *Likevektsfordeling*

2.2.1 Incremental assignment

Dette er en tilnærming der en O/D matrise splittes ved å bruke et sett proporsjonalitetsfaktorer. Disse matrisene fordeles så suksessivt. I en fordeling brukes kostnadene fra foregående fordeling med de akkumulerte trafikkvolumene som grunnlag. Algoritmen vil vanligvis konvergere til en Wardrops likevekt i de siste trafikkfordelingene.

Andelen av trafikken som fordeles per iterasjon blir kontrollert i TRIPS med MVHWAY & LOAD PC parametre. Det er 2 varianter av denne metoden:

Bruk av ett eller flere volum felt

I hver iterasjon er PC satt til en prosentstørrelse for denne iterasjonen (f.eks. 20%) og "Option" ADD=T. MVHWAY & CAPRES kjøres da alltid i iterativt modus. Ved bruk av flere volumfelt settes ADD=F og første iterasjon kjøres i iterativt modus, mens iterasjoner fra og med iterasjon 2 kjøres i incremental modus (INCR =T).

Metoden har en fordel i forhold til hvordan trafikksystemet fungerer i det virkelige liv, f.eks. i morgenrushet i et byområde; til å begynne med går det meste av trafikken på de raskeste hovedvegene, men etterhvert som køer oppstår og begynner å redusere framkommeligheten på disse lenkene begynner sidevegene å bli mer attraktive og trafikken sprer seg til disse.

En ulempe med metoden er at trafikken lastes på nettet progressivt og det finnes ikke effektive mekanismer som sørger for at senere iterasjoner bøter på uheldige lenkebelastninger i tidligere iterasjoner. Dette er spesielt viktig der det er kodet svingbevegelser i kryss og det ikke er forsinkelser i tidlige iterasjoner fordi volumene da er små mens det får større betydning i senere iterasjoner. Dette betyr at de endelige kjøretidene og forsinkelsene ikke nødvendigvis korresponderer med de fordelte trafikkstrømmene i overensstemmelse med hastighets-/volum funksjonene. Dette gjør det vanskelig å utføre ulike former for økonomisk analyse basert direkte på modellresultatene.

I praksis er det mange som foretrekker denne metoden fordi den gir en mer intuitiv tilnærming til modellering enn de øvrige tilnærmingene.

2.2.2 Suksessive gjennomsnitt (Volume averaging)

En metode med *Suksessive gjennomsnitt* (volume averaging) er en iterativ tilnærming for å unngå å fordele for mye trafikk på lenker med lite kapasitet. Tilførselen av trafikk på en lenke blir beregnet som en lineær kombinasjon av trafikken fra foregående iterasjon og fordelingen fra en AON. Iterasjonen stoppes når forskjellene i fordeling mellom to påfølgende iterasjoner er mindre enn en ønsket størrelse.

I forhold til den enkle iterative tilnærmingen over tar denne metoden hensyn til foregående iterasjon som igjen tar hensyn til den foregående osv. Hvis den siste iterasjon brukte rute 1, og den foregående rute 2 ut fra minimum kostnad, så vil denne metoden i motsetning til den foregående som ville fordelt alt til rute 2, bare fordele en andel av turene på den nye ruten og beholde resten av turene på samme rute som tidligere.

Andelen turer fordelt i hver iterasjon er definert ved antall iterasjoner. Første iterasjon fordeler 100%, andre iterasjon fordeler 50% og henter 50% fra foregående iterasjon. I tredje iterasjon bidrar hver iterasjon med 33.33% av lenkebelastningene. Dette betyr at stort skift i fordelingen i f eks fjerde iterasjon, får mindre effekt enn tilsvarende skift i tidligere iterasjoner. Dette innebærer at metoden har innebygget konvergens egenskaper. Etter f eks 20 iterasjoner er maksimal endring i lenkevolum fra en iterasjon til den neste 5%.

I TRIPS krever MVHWAY at brukeren spesifiserer volumfelt for gjeldende iterasjon (parameter VOLUME), og for siste iterasjon (parameter OLDVOL). VOLUME parameteren som default er tilstrekkelig såfremt en ikke vil overstyre den suksessive bruken av Volume felt.

Trafikkstrømmen som hører til OLDVOL er alltid uendret, men MVHWAY &CAPRES korrigerer strømmen med VOLUME. Denne er først fastsatt av &LOAD, og representerer 100% den fordelte trafikkstrømmen i henhold til følgende likning:

$$V_{new} = V_{old} \cdot (1 - \lambda) + (F_{new} + \lambda)$$

der

V_{new} = ny strøm som brukes til kapasitetsbegrensning

V_{old} = strøm fra siste iterasjon

F_{new} = strøm fra &LOAD block fordeling, erstattes av V_{new}

λ = 1/iterasjonsnummer.

Manipulation Instructions kan brukes til å opprettholde strømmen fra &LOAD block, F_{new} . Skrivning av volumfelt i &CAPRES block (REPORT=4), vil vise trafikkstrømmen brukt i hver kapasitetsbegrensede iterasjon.

En konvergensindikator for forrige iterasjon i en trafikkfordeling skrives ut i resultatfilen generert av MVHWAY. Denne indikatoren kalles “*gap statistic*”, δ .

2.2.3 Likevektsfordeling

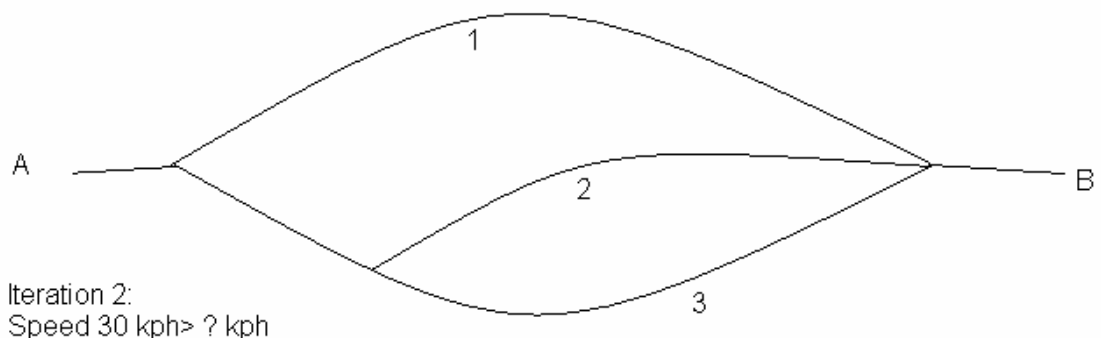
Med *likevektsfordeling* (eller equilibrium assignment) spres trafikken i et nettverk med forsinkelse pga trafikk tetthet, på en slik måte at ingen enkelt trafikant kan redusere sine kostnader ved å endre rute. Da har man brukerlikevekt. Metoden bygger på Wardrops prinsipp. Ulike algoritmer er utviklet for å finne brukerlikevekt i henhold til Wardrops prinsipp.

Volume averaging sikrer at det gis et stabilt resultat selv om det ikke nødvendigvis er riktig fordi den viktige parameteren som bestemmer antall iterasjoner, kan virke tilfeldig fastsatt. En foredlet utgave av denne metoden er likevektsfordelingen. Her kalkuleres optimal vektfaktor, λ , i stedet for å basere den på antall iterasjoner.

Likevektsmetoden aktiveres gjennom å sette MVHWAY & CAPRES valg EQUIL = T. Prosedyren som hører til med behandling av volumfelt, er identisk med Volume averaging.

Prinsippet med likevektsfordeling kan forstås med referanse til rutevalgseksempelet beskrevet for å illustrere Dials metode. I figuren under er situasjonen etter første iterasjon beskrevet. 100% av 1000 turer fra A til B er fordelt på rute 1 som er raskest. Her er hastigheten i utgangspunktet 40 km/t, men med en gitt sammenheng mellom volum og fart reduseres denne til 20 km/t med 1000 kjøretøyer. De andre rutene med en hastighet på 30 km/t er nå mer attraktive. Her ville Volume averaging metoden i andre iterasjon rett og slett fordelt 50% av turene (500 turer) til rute 1 og 50% på rute 2 eller 3. Dette vil gi nye lenkehastigheter, f eks 35 km/t på rute 1 og 20 km/t på rute 2/3 osv.

Iteration 1:
1000, trips
Speed 40 kph > 20kph



Figur 3. Fastsettelse av nivåer for fart og flyt ved likevektmetoden.

Likevektsmetoden søker å finne den fordelingen av trafikk mellom første og andre iterasjon som gjør kostnadene like på rutene. Idet vi antar at distansen er den samme på samtlige ruter, kan vi regne i hastigheter. Herav følger det at metoden

søker å finne en fordeling som gir samme hastighet på de ulike rutene, f.eks. 27 km/t som oppnås (avhengig av hastighets-volumkurvene), med en fordeling på f.eks. 750 kjøretøy på rute 1 og 250 på rute 2. Den optimale verdien på vektfaktoren i dette tilfellet, blir dermed 0.25 som sier at vi skal ta 25% fra siste iterasjon og 75% fra den foregående.

Dette er en stabil løsning fordi enhver tur som flytter over fra rute 1 til rute 2 eller omvendt vil bruke lengre tid enn før. Likevel vil vi selv i dette enkle eksemplet trenge flere iterasjoner for å undersøke om rute 3 endrer situasjonen, men prinsippet gjelder fortsatt.

Selv om det er enkelt å bestemme et optimalt rutevalg for et par ruter, er dette opplagt ikke tilfelle når en har mange ruter i nettverket. Likevektsmetoden tar derfor i bruk en formalisert *målfunksjon* som brukes til å bestemme den beste verdien på λ når en tar hensyn til alle lenkene i nettverket. Det trengs et antall iterasjoner for å finne fram til en konvergerende løsning, men målfunksjonen sikrer at løsningen kan nås, gitt bibetingelser vi skal se nærmere på nedenfor. Målfunksjonen Z kan beskrives matematisk ved:

$$Z = \sum_a \int_0^{v_a} C_a(V) d(V) + \sum_{a-b} C_{a-b} V_{a-b}$$

der

$c_a(v)$ = kostnad på lenke a som ikke-avtakende funksjon av volumet, v

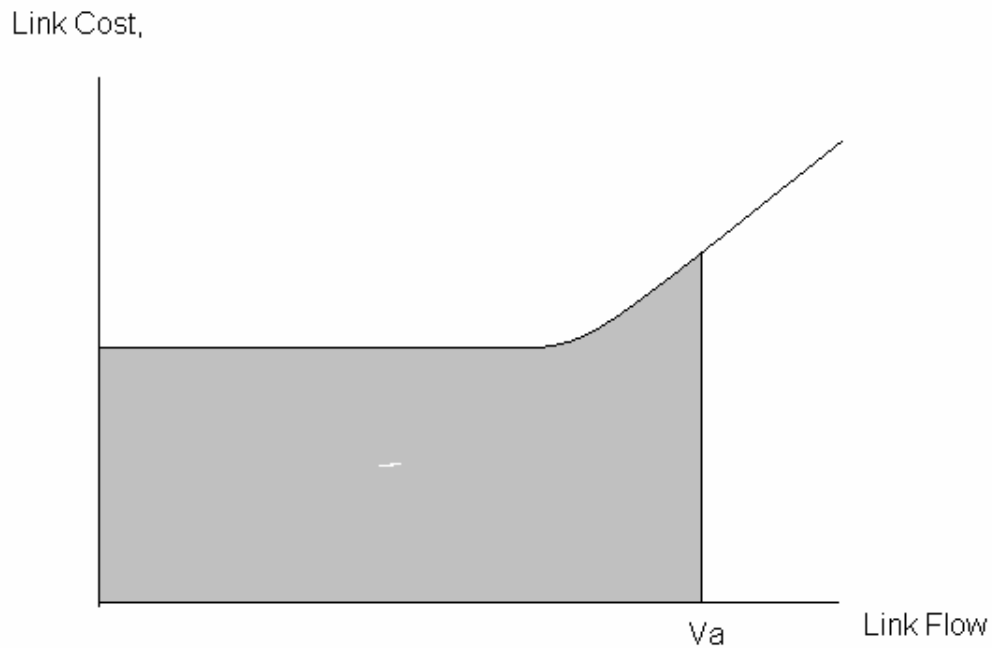
c_{a-b} = kostnad ved å flytte fra a til b

v_{a-b} = volum som flytter fra a til b

v_a = gjeldende iterasjons volum (fra MVHWAY &LOAD block) for lenke a

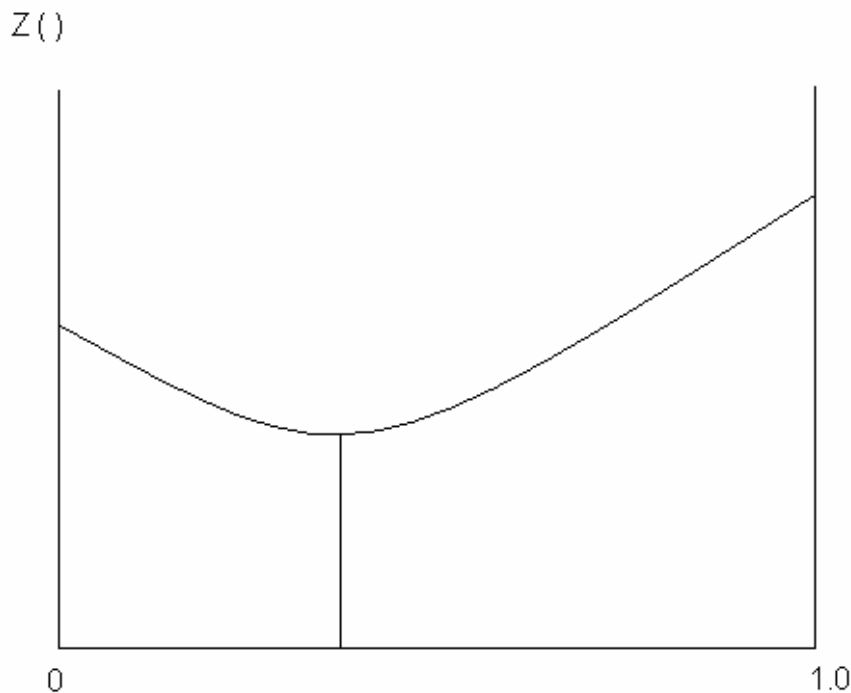
Første ledd i likningen er relatert til hastighetsvolumkurvene, andre ledd til svingstraff. Denne målfunksjonen har den egenskapen at minimumsverdien svarer til en Wardrop likevektsløsning for et nettverk.

For å forklare likningen ytterligere kan den illustreres med en figur der hastighetsvolumkurven er konvertert til en kostnadsvolumsammenheng.



Figur 4. Typisk kostnad – volumkurve med integral (grått areal).

Når man har hastighetsvolumkurver og faste svingstraffer i en modell, er det mulig å utvikle en analytisk løsning på integralet. Dette integralet trengs for hver lenke i nettverket og blir svært tungt å regne ut. TRIPS konverterer integralet fra 0 til V_a til diskrete elementer gjennom approksimasjon. Resultatene av vurderingen av målfunksjonen summert over hver lenke og for variasjonsbredden i volumer fra siste fordeling, V_a , ($\lambda=1.0$) til volumer fra alle tidligere iterasjoner ($\lambda=0.0$), kan illustreres grafisk i en figur.



Figur 5. Likevektsmålfunksjon Z som funksjon av λ .

Verdien av λ som svarer til minimumsverdien av målfunksjonen Z , λ^* , gir det sett av volumer fra siste og foregående iterasjoner som er nærmest til en Wardrops likevektsløsning. Dette blir bestemt ved et kvadratisk uttrykk tilpasset Z -kurven med differensiering og gir minimumsverdien.

Likevektsmetoden er utvilsomt den mest tilfredsstillende metoden teoretisk sett av de vi har sett på. Den er også adferdsmessig rimelig siden den forutsetter at bilførerne fordeler seg mellom mulige kjøreruter ved at hver finner den ruten som gir lavest generaliserte kostnader for seg selv. Likevel er metoden restriktiv i den forstand at den forutsetter at lenkekostnadene bare er en funksjon av trafikken på lenken. Dette gjelder ikke når forsinkelser kodes i kryss istedenfor faste tillegg til tidsbruken ved svingbevegelser. For slik modellering kan Volume averaging være bedre egnet.

Implementeringen av likevektsfordeling i MVHWAY innebærer en matematisk approksimering med ”diskretisering” av integreringen og tilpasning av en kvadratisk funksjon til målfunksjonen. Dette er effektivt mht regnetid og gir ganske presise resultater sammenlignet med den analytisk korrekte løsningen (typisk innenfor 1% fra denne). Likevel kan noen nettverk være ekstremt følsomme for små endringer i volumer. Dette kan være tilfelle ved parallelle rutevalg der likevektsfordeling vil bidra til å gjøre kostnadene like på rutene. Små endringer i kostnader kan da gi vilkårlige utslag på fordelingen mellom rutene.

2.2.4 Andre muligheter for nettverksfordeling i TRIPS

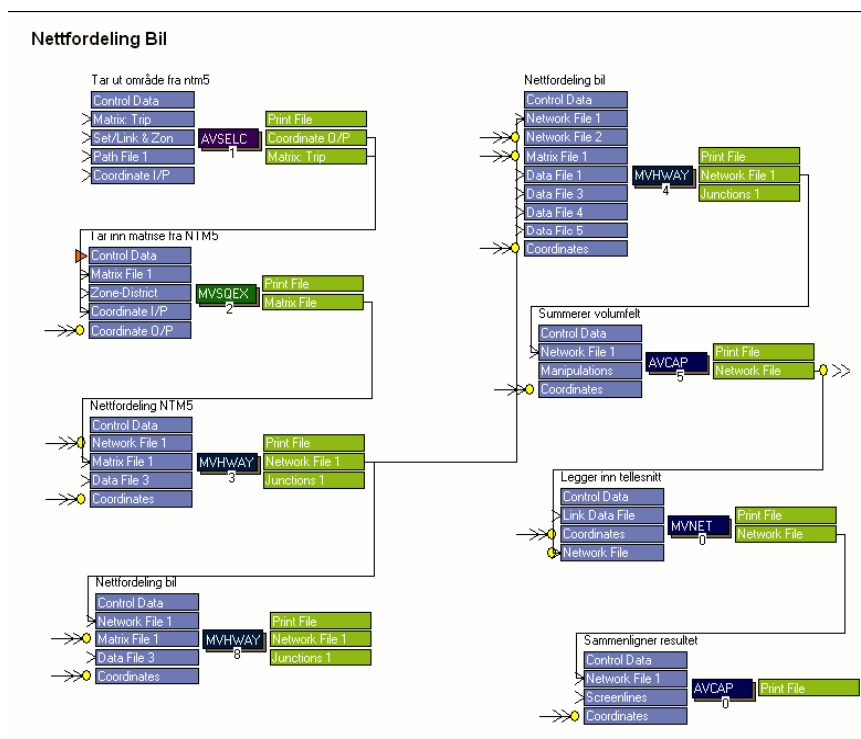
Ved å kombinere Burrel eller Dial med likevektsfordeling kan en utvikle metoder for stokastisk brukerlikevekt for trafikkfordeling i TRIPS. Dette vil vi imidlertid ikke se nærmere på her.

3 Datagrunnlag og beregninger

3.1 RTM i CUBE

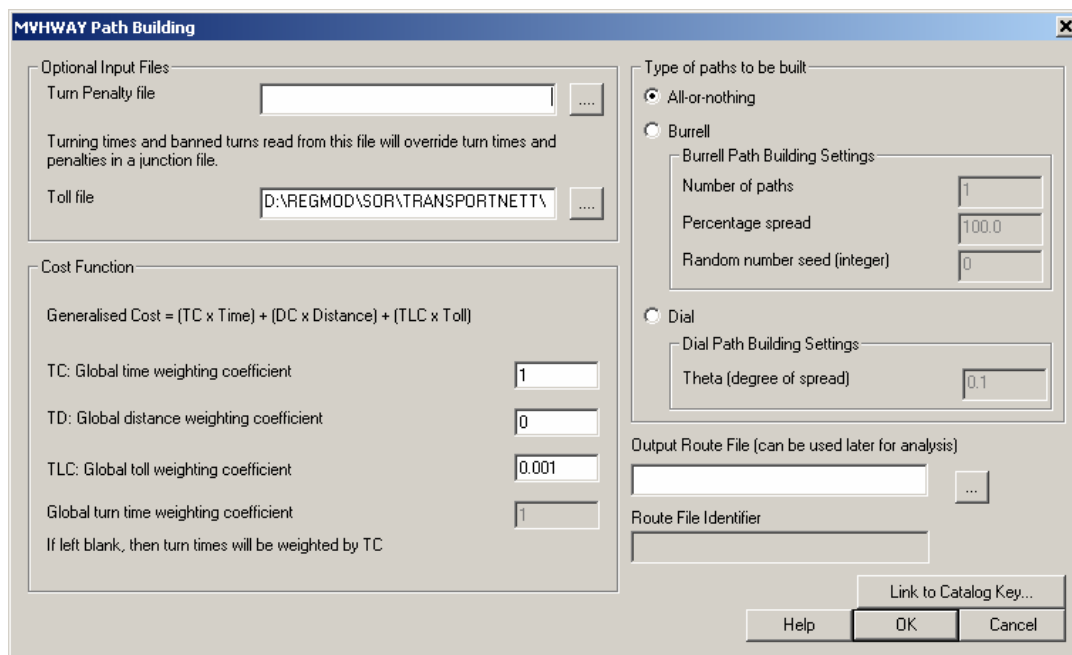
Som omtalt i innledningen, omhandler dette prosjektet et studium av genererte trafikkstrømmer i RTM ved ulike metoder og parametre for rutevalg, ulike metodevalg for kapasitetsberegninger, endringer i koeffisienter for generaliserte kostnader, endringer av bompengesatser etc. Resultatene som følger i denne rapporten, er basert på analyser i region sør.

Figur 6 viser modellstrukturen for nettfordelingen for Bil i RTM. Vi har konsentrert oss om MVHWAY4-boksen, og gjort en rekke kjøringene av denne med ulike metode- og parametervalg.



Figur 6. Modell nettfordeling bil

Alle kjøringene bygger på den samme kjøringen av programmet MVHWAY3. Dette programmet fordeler NTM5-trafikken som representerer de lange reisene over 10 mil. Programinnstillingene er presentert i figur 7.



Figur 7. Innstilling for nettfordeling av NTM5.

Figur 7 viser at NTM5-trafikken legges ut med AON og at den generaliserte kostnadsfunksjonen er gitt som:

$$\text{Generalisert kostnad} = TC \cdot \text{tid} + DC \cdot \text{distanse} + TLC \cdot \text{avgift},$$

hvor

TC = vektkoeffisienten for kjøretid

TD = vektkoeffisienten for distanse

TLC = vektkoeffisienten for avgift, f eks bompengavgift.

Koeffisientene for den generaliserte kostnadsfunksjonen er $TC=1$, $TD=0$ og $TLC=0,001$, noe som gir følgende generalisert kostnadsfunksjon for NTM5-trafikken:

$$\text{Generalisert kostnad} = \text{kjøretid} + 0,001 \cdot \text{avgift}.$$

Dette betyr at tidsforbruket relativt sett er vektet svært høyt for nettfordeling av NTM5-trafikken. Distansekostnaden er strøket fra kostnadsfunksjonen, og bompeng/toll-kostnaden er vektet svært lavt. For reiser over 10 mil antas det altså at den reisende i hovedsak velger ruten som minimerer kjøretid uavhengig av distanse og med lite hensyn til eventuelle bompengavgifter. Videre er nettfordeling av NTM5 kapasitetsuavhengig. All den tid alle kjøringene av nettfordelingen for RTM er gjort med samme input fra NTM5, vil trafikkbidraget fra NTM5 være likt for alle kjøringensdata presentert i denne rapporten.

Når det gjelder nettfordelingen av RTM, så har vi her tatt utgangspunkt i det som var oppgitt å være standardinnstillingene for den generaliserte kostnadsfunksjonen som presentert i figur 8:

$$\text{Generalisert kostnad} = \text{kjøretid} + \text{distanse} + 0,8 \cdot \text{avgift}.$$

Men vi har også gjort endringer underveis for å se på hvordan ulik vektning påvirker rutevalget.

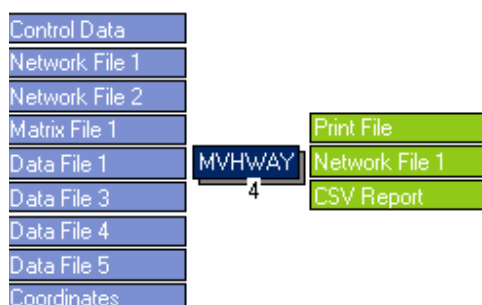
Generalised Cost = (TC x Time) + (DC x Distance) + (TLC x Toll)

TC: Global time weighting coefficient	<input type="text" value="1"/>
TD: Global distance weighting coefficient	<input type="text" value="1"/>
TLC: Global toll weighting coefficient	<input type="text" value="0.8"/>
Global turn time weighting coefficient	<input type="text" value="1"/>

If left blank, then turn times will be weighted by TC

Figur 8. Original innstilling for vektning av generaliserte kostnader for nettfordeling av RTM

Ulike metodevalg for nettfordeling og rutevalg stiller ulike krav til minne og prosessorkapasitet. Spesielt var beregninger ved hjelp av DIALs metode svært ressurskrevende, og denne krevde i visse tilfeller mer minne enn hva kompilatoren i TRIPS-programmet kunne håndtere (700Mb). Dette ble i samråd med bruker-støtte hos Citilabs løst ved en mindre modellendring ved at man fjernet resultat-filen for junction-data. Junction-datafilen er standard resultatfil i MVHWAY men ble ikke brukt videre i modellen i vårt tilfelle, og ble derfor fjernet for å spare minne. Det ble også lagt til en rapportfil for uttrekk av lenkedata som vist i figur 9.



Figur 9. Modellendring for å bedre ytelse.

3.2 Uforutsette utfordringer

Prosjektet har dratt ut i tid, og krevd langt større arbeidsinnsats enn antatt pga en del uforutsette problemstillinger. TØI har ved flere anledninger vært nødt til å forkaste tallmateriale og starte simuleringene på nytt fordi det har blitt oppdaget feil i RTM, men enkelte erfaringer og tall fra tidligere kjøringene kan kanskje gi utfyllende informasjon om rutevalgsalgoritmene fordi feilene har skapt ekstreme forhold. Blant annet viser figur 16b kapasitetsavhengige beregninger ved et feilaktig overbelastet nettverk. Dette kapittelet gir en kort oppsummering av problemene som har krevd ekstra ressurser:

Ved første kjøring av modellen for region sør ble det oppdaget to feil, en i selve modellskallet og linking til en nøkkel samt en feil i en kommandofil. Disse ble raskt rettet med hjelp fra Statens Vegvesen. I tillegg var det en del trøbbel knyttet

til å kjøre region vest og region sør i samme modellskall, fordi skallet inneholdt forskjellige sonetall enn på regionalt nivå, men dette ble løst ved å opprette to separate kataloger som deler de samme NTM5-filene.

Kjøring av DIALs metode for nettutlegging krevde mer ressurser enn hva TRIPS kunne takle. TRIPS feiler dersom man allokterer mer enn 700 Mb minne. Det er en feil i kompilatoren i TRIPS. Dette tok det lang tid og mye frustrasjon å finne ut av, men med hjelp av support hos Citilabs ble det funnet en vei utenom som omtalt over i forbindelse med figur 9.

Det ble senere oppdaget feil i kostnadsfunksjoner for generering av LOS-data og også nettutlegging av NTM5-data for både region sør og vest. Hele region sør måtte kjøres på nytt sammen med nettutleggingsvariantene omtalt i denne rapporten. Videre arbeid med region vest ble skrinlagt fordi det samtidig også ble oppdaget feil som hadde betydelige konsekvenser for fergetrafikken.

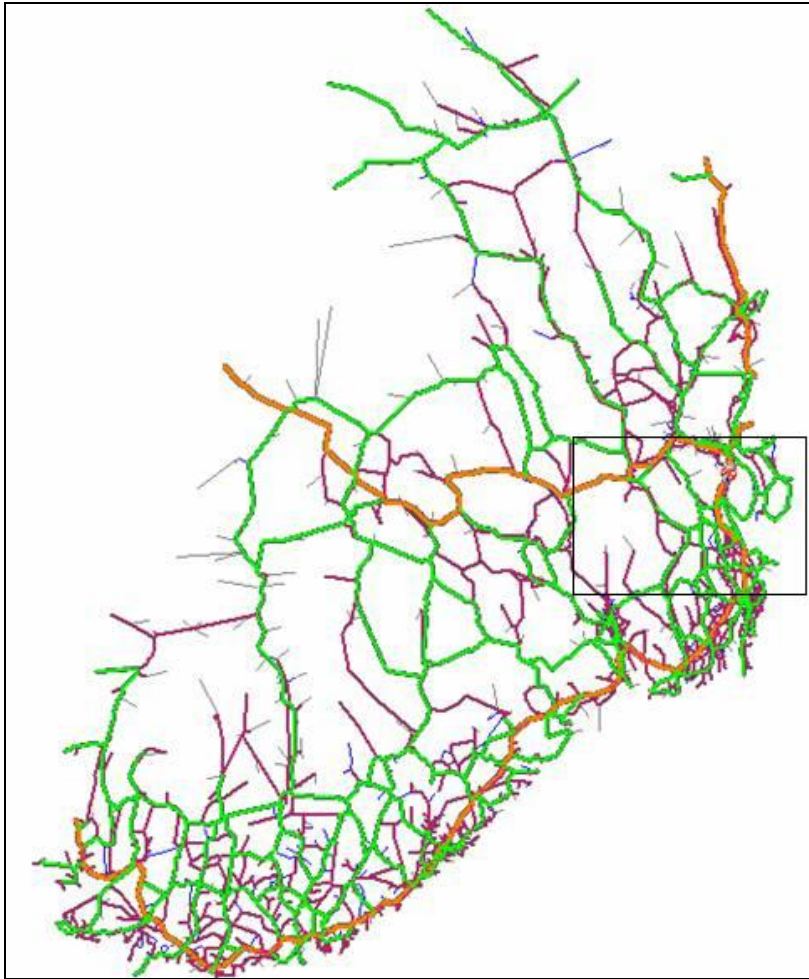
Det ble oppdaget en rekke feilkodete enveiskjorte lenker i hele region sør som medførte kraftig asymmetri i beregnet trafikkmengde. TØI mottok ny lenke- og nodefil fra ViaNova, men denne passet ikke inn i øvrige modellskall, og kunne bare brukes som utgangspunkt for en manuell utbedring av den originale node- og lenkefilen. Hele region sør måtte kjøres på ny sammen med nettutleggingsvariantene omtalt i denne rapporten.

Det ble oppdaget at kapasitetene i lenkefilen overstyrte kapasitetsindeksen til tross for at feltet i følge Sintefs rapport ikke lenger var i bruk. Dette medførte et høybelastet nettverk på laveste hastighet. Kapasitetene måtte fjernes fra lenkefilen og hele region sør måtte kjøres på ny sammen med nettutleggingsvariantene omtalt i denne rapporten.

3.3 Områdedefinisjon

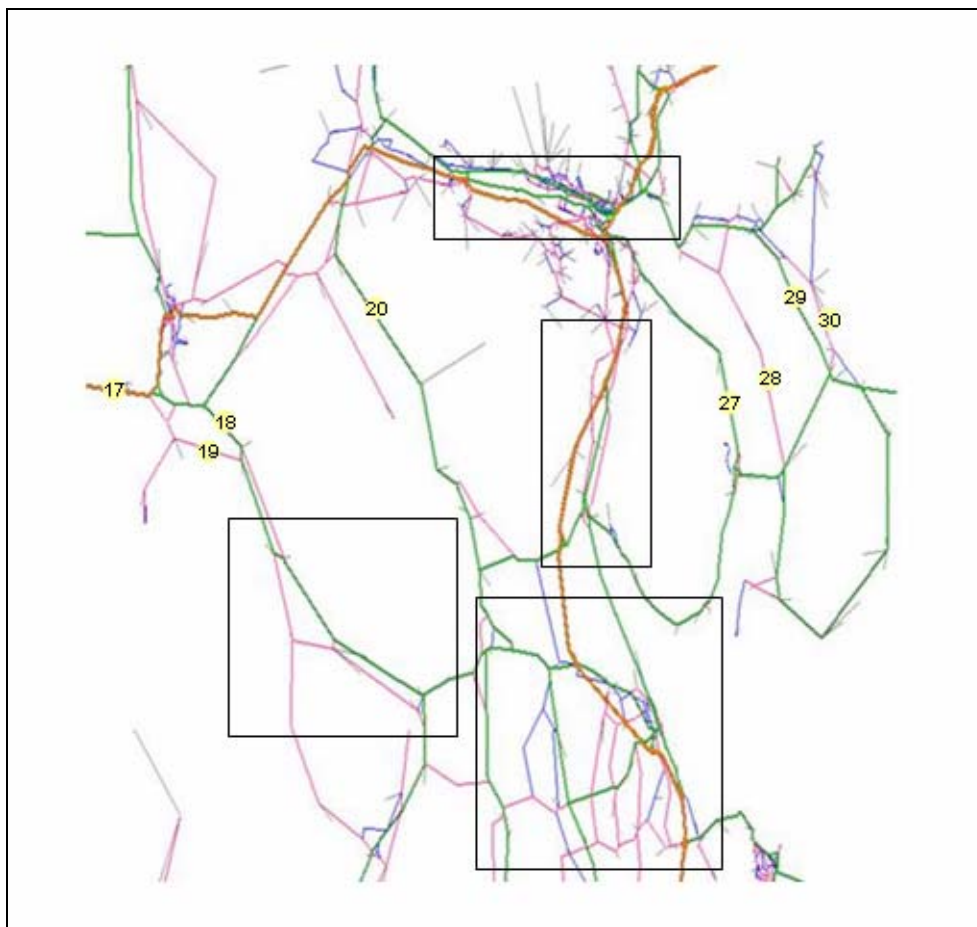
Figur 10 viser vegnettet for region sør, der den tykke oransje fargen symboliserer europavei, den grønne fargen symboliserer riksvei, den lilla fargen illustrerer fylkesvei, mens øvrige veier er tegnet i blått. De grå lenkene er fiktive veglenker som binder sammen sentroidene med vegnettet.

Den rektangulære firkanten i kartet omfatter det området vi har sett nærmere på, studieområdet.



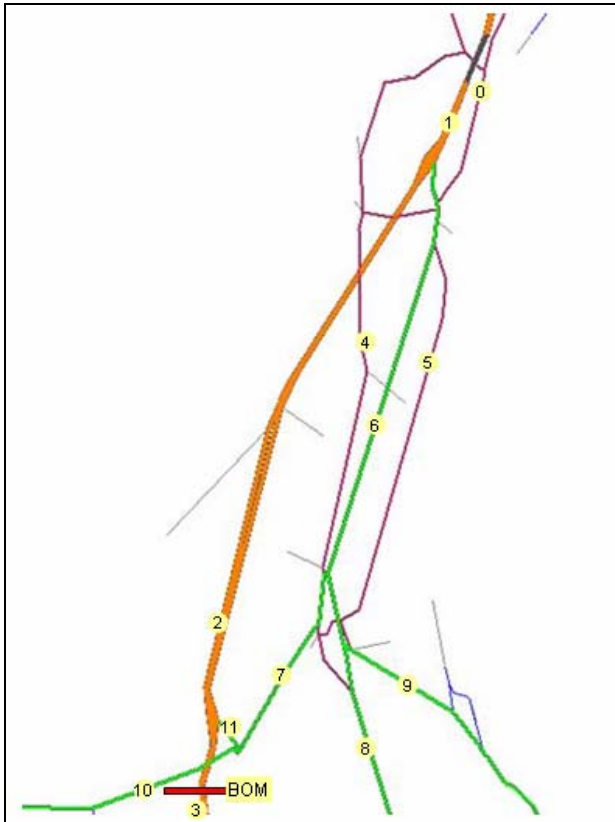
Figur 10. Vegnett region sør

Figur 11 viser studieområdet. De gule nummerne angir kontrollpunkter der vi måler trafikstrømmen som legges ut i RTM. Slik fanger vi opp endringer av rutevalg som følge av ulike metodevalg og innstillinger i RTMs nettutlegging. Kontrollpunktene sammenfaller med SVVs egne tellepunkter der dette foreligger, og vi har hovedfokus på trafikk i vertikal retning. Grovt sett dekker dette et geografisk område der nordligste kontrollpunkt, 24, ligger ved Drammen, vestligste kontrollpunkt, 17, ligger ved Kongsberg, østligste kontrollpunkt, 30, ligger syd for Røyken, mens sydligste kontrollpunkt, 16, ligger ved Kopstad i Vestfold. Kontrollpunkt 24 er stedfestet i figur 14 som er en forstørrelse av området omsluttet av den nordligste firkanten i figur 11. Kontrollpunkt 16 er stedfestet i figur 13, som er en forstørrelse av området omsluttet av firkanten lengst syd i figur 11. Området omsluttet av den vestligste firkanten, er presentert i figur 15, mens området omsluttet av den siste firkanten, er presentert i figur 12.



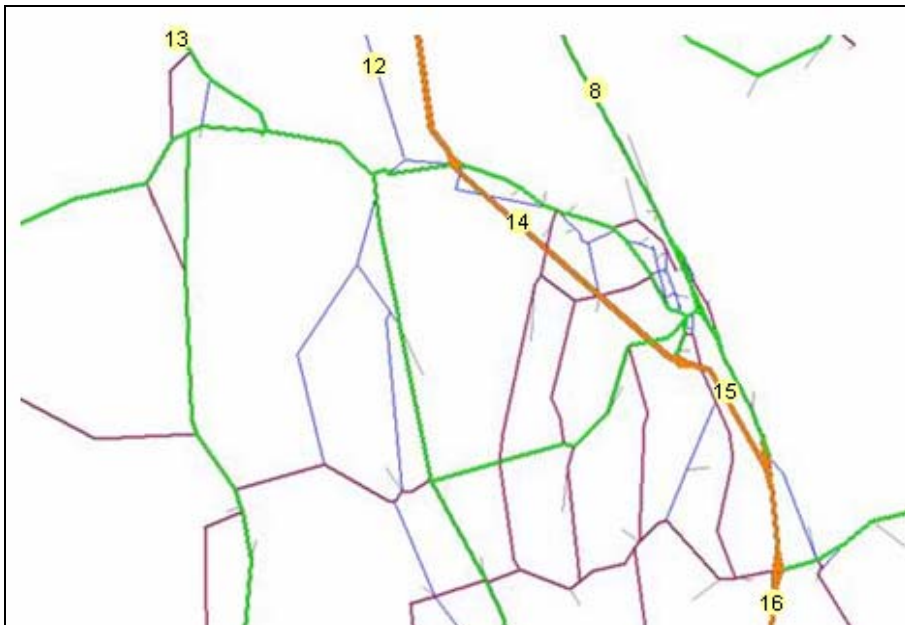
Figur 11. Analyseområde for rutevalgskjøringer

Figur 12 viser et utsnitt av området rundt bomstasjonen på E18 i Vestfold. Dette er et interessant område å se nærmere på fordi man da kan analysere trafikkmønsterets variasjon med bompengavgiften.



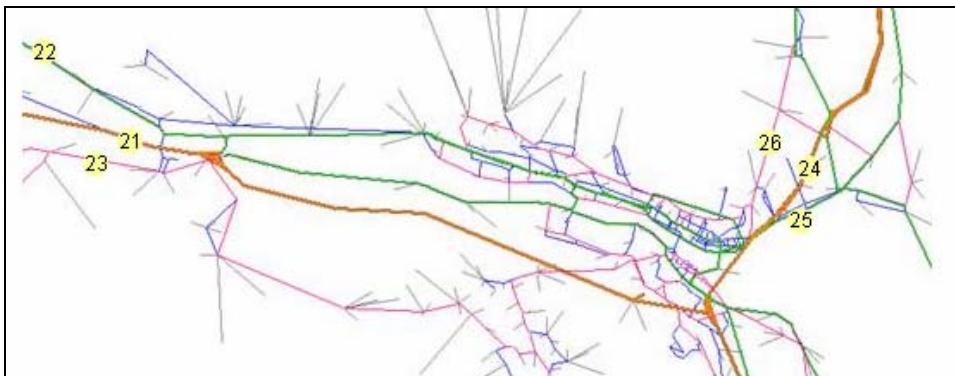
Figur 12. Vegnett i området rundt bommen på E18 i Vestfold

Figur 13 viser området rundt E18 syd for bommen.



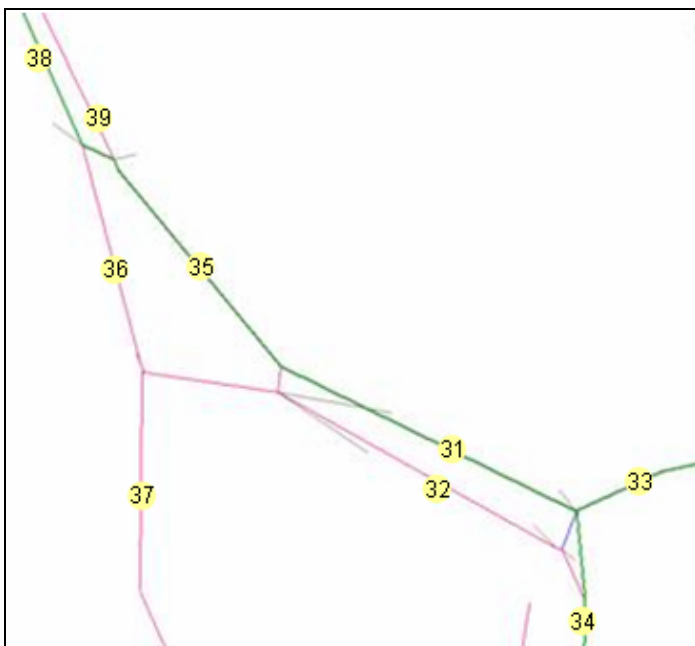
Figur 13. Vegnett i området syd for bommen på E18 i Vestfold

Figur 14 viser området rundt Drammen, der E18 og E134 møtes, og kontrollpunktene vil vise hvor stor andel av trafikken som skal vestover på E134 mot Kongsberg og nordover på E18 mot Oslo.



Figur 14. Vegnett i området rundt Drammen og europavei 18 og 134

Figur 15 viser en del av nettverket der alternative ruter er korte og er kodet med få lenker og noder. Området er interessant for å se på forskjellene mellom Dials og Burrells metoder.



Figur 15. Eksempel på tettkodet nettverk

Tabell 1 viser en oversikt over de 40 kontrollpunktene som er vist i kartbildene over, med stedsnavn, tellenivå og antall observasjoner der kontrollpunktet sammenfaller med et tellepunkt. I tillegg inneholder tabellen informasjon om vegkategori for alle kontrollpunkter, samt hvor mye NTM5-trafikk som ligger på lenken. NTM5-trafikken er uavhengig av valgte metoder og parametre for nettutlegging i RTM.

Tabell 1. Oversikt over kontrollpunkter med tilhørende tellinger, tellenivå, vegkategori og NTM5-trafikk.

Navn	Vegkat	TELLING		OBS		Tellenivå	A-Node	B-Node	NTM5
		ÅDT	YDT	ÅDT	YDT				
0 KONTROLLPKT0	FV					1702359	1702358	28	
1 SKOGER	EV	19500	20400	4267	4464	1 1700987	1601108	5483	
2 BOLSTAD TUNNEL	EV	16500	16300	2833	2799	1 1701100	1701334	5417	
3 HANEKLEIV TUNNEL S	EV	18500	19000	3811	3914	1 1701347	1700993	5439	
4 KONTROLLPKT4	FV					1702329	1702330	0	
5 KONTROLLPKT5	FV					1702324	1702323	0	
6 GUNNESTAD	RV	17000	18000	8418	8913	1 1703193	1702321	82	
7 SANDE	RV	1500	1700	706	800	2 1703197	1703196	44	
8 KONTROLLPKT8	RV					1703053	1702317	53	
9 KONTROLLPKT9	RV					1700739	1702320	82	
10 KONTROLLPKT10	RV					1700124	1703204	23	
11 KONTROLLPKT11	RV					1703218	1703219	51	
12 KONTROLLPKT12	KV					1700126	1700124	0	
13 HOF KRK	RV	3500	3500	1629	1629	1 1702559	1703207	121	
14 BOTNETUNNELEN	EV	16500	17300	6937	7273	1 1701138	1701120	1313	
15 BREKKE TUNNEL	EV	17000	18000	7204	7628	1 1701151	1701002	1296	
16 KOPSTAD SYD	EV	13200	13500	5474	5598	1 1701003	1701166	1126	
17 MEHEIA	EV	3900	3850	318	314	2 1600403	1600406	1632	
18 HOSTVEDT	RV	3600	3600	1580	1580	2 1601710	1602560	220	
19 KONTROLLPKT19	FV					1601712	1601714	78	
20 V/EIKEREN	RV	1100	1200	436	476	2 1702566	1702567	114	
21 STEINBERG	EV	13500	14000	4745	4921	2 1600700	1600697	2005	
22 LERBERG	RV	9000	8700	4284	4141	2 1600674	1602933	216	
23 KONTROLLPKT23	FV					1600696	1601678	0	
24 FRYDENLUND	EV	34000	37000	9529	10370	2 1601090	1601088	7471	
25 LIERSTRANDA	RV	17500	20000	8635	9869	2 1602721	1600717	115	
26 KONTROLLPKT26	FV					1600714	1601389	12	
27 TØRKOPP	RV	3800	4000	1877	1976	2 1702379	1703150	23	
28 KONTROLLPKT28	FV					1601304	1601303	9	
29 ELGSKAUÅSTUNNEL	RV	6000	6300	2994	3144	2 1602339	1602346	6	
30 ÅROS	FV	2800	3000	1389	1488	2 1601332	1601310	11	
31 KVELDE NORD	RV	2500	2300	952	876	1602552	1601705	298	
32 KONTROLLPKT31	FV					1601696	1601703	0	
33 ISLAND	RV	4000	4200	-790	-830	2 1602416	1702518	2790	
34 SKJERVEN	RV	3300	3400	1288	-1327	2 1702585	1601702	2938	
35 KONTROLLPKT34	RV					1601705	1602553	298	
36 KONTROLLPKT35	FV					1601695	1601694	0	
37 KONTROLLPKT37	FV					1702286	1601708	0	
38 KONTROLLPKT38	RV					1601694	1601712	298	
39 KONTROLLPKT39	FV					1601711	1601710	0	

Tellingene i tabell 1 gjelder trafikk i begge kjøreretninger. I kontrollpunktene måles RTM-generert nordgående trafikk. For å gi rimelig sammenligningsgrunnlag mellom trafikken modellert i RTM og observerte trafikk tall, er tellingene halvert og fratrukket NTM5-trafikken gjennom kontrollpunktene:

$$OBS_{\text{ÅDT}} = \frac{1}{2} * TELLING_{\text{ÅDT}} - NTM5$$

Korrigerte tellinger er lagt inn i kolonnen som heter OBS (ÅDT) for observasjoner av kjøretøy pr årsdøgn. I kolonnen med navn OBS (YDT) er disse korrigerte tellingene omregnet til YDT, kjøretøy pr yrkesdøgn, siden RTM modellerer trafikken i YDT. Omregningen er gjort som følger:

$$OBS_{\text{YDT}} = OBS_{\text{ÅDT}} * \frac{TELLING_{\text{YDT}}}{TELLING_{\text{ÅDT}}}$$

For kontrollpunkt 33 og 34 er observasjonstallet negativt fordi trafikkmengden fra NTM5 alene er høyere enn observert trafikk fra tellinger.

3.4 Kjøringer

Dette avsnittet presenterer tall for kjøringer med ulike metodevalg og parameterinnstillinger for RTM region sør. Tallene som presenteres viser kjøreretning sør-nord. Innstillinger og parametervalg skal i hovedsak være forklart i forbindelse med hver figur, men navnekonvensjon for de ulike grafene er kort fortalt som følger:

3.4.1 Navnekonvensjon

Burrells metode

Navn på grafer som illustrerer kjøringer med Burrells metoder består av maksimalt fire bokstaver og starter alltid med BU. Deretter følger en kode som angir parametervalg, der første siffer sier antall alternative ruter, neste 2-3 siffer sier spredningsvinkel fra 10-100, og siste siffer angir verdi på tilfeldig tall. Videre følger kode for kapasitetsavhengighet, dvs EQ for likevekt (equilibrium), VOL for volume averaging og UAV for kapasitetsuavhengighet. Til slutt legges det på kode dersom det er gjort endringer i vekt av kostnadsfunksjon eller satser på bomstasjon.

Eksempel1: *BU3501_EQ_BOM0* der *BU* står for Burrells metode, *3* er antall rutealternativer, *50* er spredningsvinkel, *1* er verdi på tilfeldig tall, *EQ* står for likevekt og *BOM0* står for at bomavgiften er satt til null.

Eksempel2: *BU51003_VOL_10001* der *BU* står for Burrells metode, *5* er antall rutealternativer, *100* er spredningsvinkel, *3* er verdi på tilfeldig tall, *VOL* står for volume averaging og *10001* står for at vektene i kostnadsfunksjon er satt til henholdsvis 1 for tid, 0 for distanse og 0,01 for bom.

Dials metode

Grafer som illustrerer kjøringer med Dials metode følger samme navnekonvensjon som vist for Burrell og starter alltid med Dial. Deretter følger kode for spredningsvinkel, kode for kapasitetsavhengighet og til slutt endringer i vekt av kostnadsfunksjon eller satser på bomstasjon.

Eksempel3: *DIAL01_EQ_BOM0* der *DIAL* står for Dials metode, *0,1* er spredningsvinkel, *EQ* står for likevekt og *BOM0* står for at bomavgiften er satt til null.

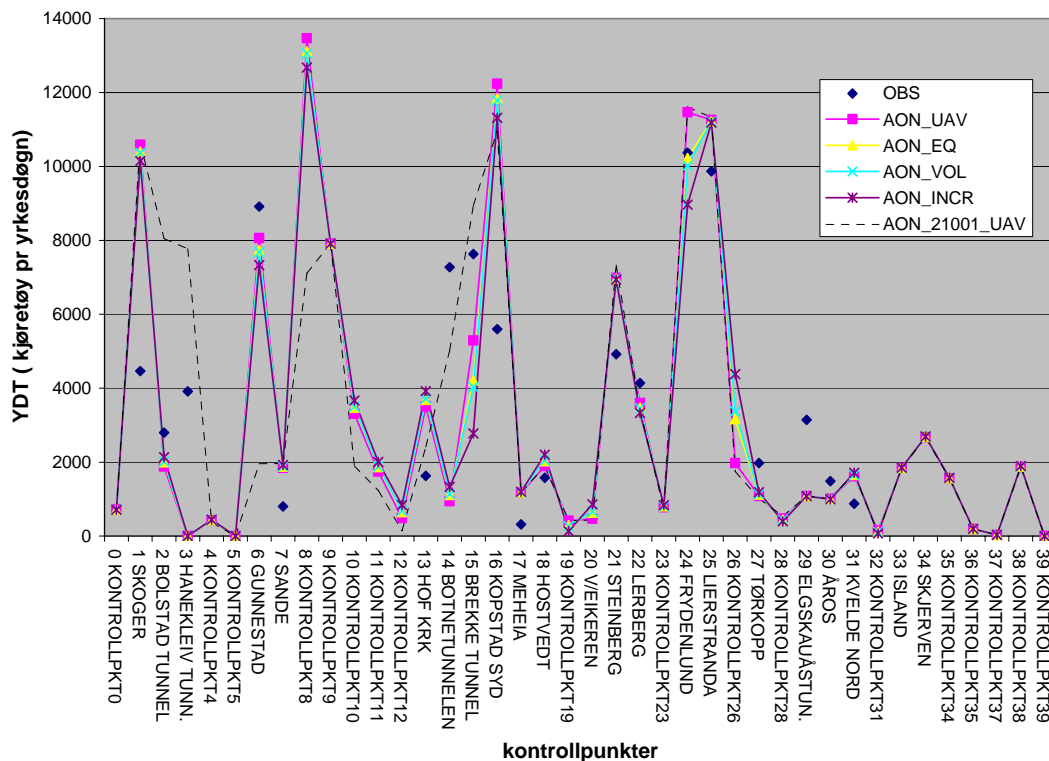
All or nothing

Grafer som illustrerer kjøring med AON-metoden starter alltid med AON. Dersom det er gjort endringer i vektning av kostnadsfunksjonen, følger koden for endringen etter koden for metodenavnet. Deretter følger kode for kapasitetsavhengighet og til slutt kode for eventuell endring av satser på bomstasjon.

Eksempel4: *AON12001_VOL* der *AON* står for All or Nothing, *12001* står for at vektene i kostnadsfunksjon er satt til henholdsvis 1 for tid, 2 for distanse og 0,01 for bom, mens *VOL* står for volume averaging

3.4.2 Nettutlegging og kapasitetsavhengighet

Figur 16 viser hvordan trafikken fordeler seg over de ulike kontrollpunktene ved metode All Or Nothing, AON. Den rosa grafen viser hvordan trafikken er fordelt dersom man velger kapasitetsuavhengig nettfordeling, den gule viser resultatet ved bruk av likevekt, den lyseblå grafen viser nettfordeling ved volume averaging og den lilla grafen viser nettfordelingen ved incremental loading. Stiplet linje viser kapasitetsuavhengig nettfordeling med dobbel vektning av tidskostnader og sterkt redusert vektning av bompenger, og er tatt med for å vise effekten av vektning av kostnadsfunksjonen kontra effekten av metodevalg for kapasitetsberegning. De mørkeblå punktene viser observasjoner, dvs trafikktellinger normalisert for antall kjøreretninger og NTM5-trafikk.



Figur 16. Nettutlegging ved AON med ulike kapasitetsmetoder.

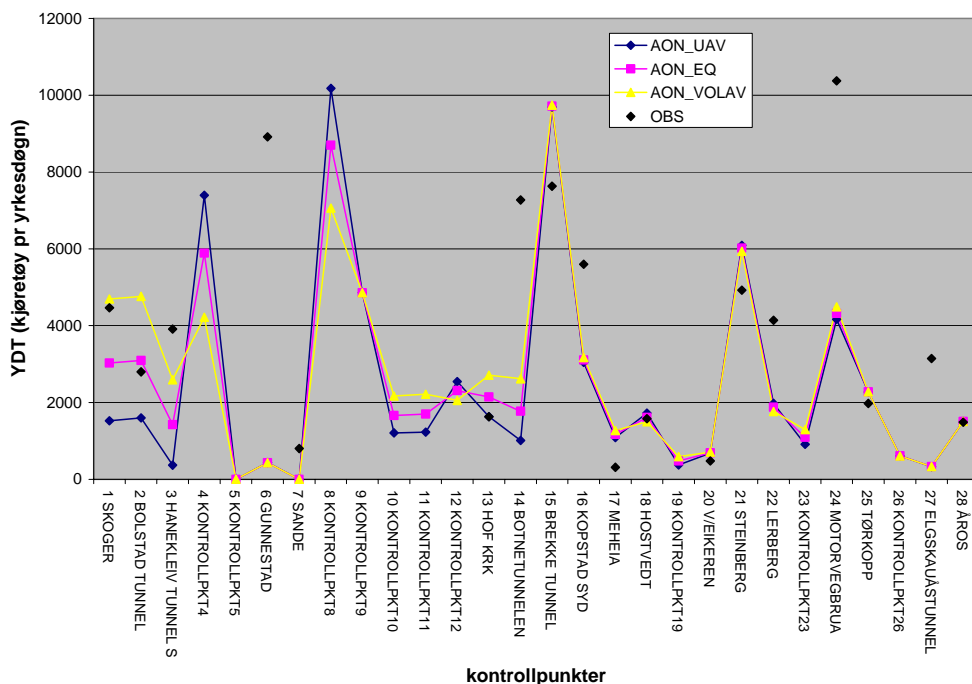
Figur 16 viser at likevekt og volume averaging gir nær eksakt samme nettfordeling for samtlige kontrollpunkter i studieområdet. Også forskjellen mellom bruk av kapasitetsuavhengig og de to kapasitetsavhengige nettfordelingene er marginal med unntak av to områder, nemlig kontrollpunkt 24-26 og kontrollpunkt 15. Kontrollpunkt 24 får markert lavere trafikkmengde når man går fra kapasitetsuavhengig nettutlegging til kapasitetsavhengig nettutlegging, og nedgangen fører til en tilsvarende økning for den alternative ruten som går gjennom kontrollpunkt 26. For kontrollpunkt 15 er det ikke mulig å se hvor nedgangen i trafikkmengde tar veien.

Resultatene for kapasitetsavhengig nettfordeling med incremental loading avviker fra de øvrige metodene i de samme kontrollpunktene, men gir en klart større effekt, noe som understøtter teorien som sier at incremental loading er en grov kapasitetsavhengighetsberegning som overkompenserer for kapasitetsbegrensninger.

Begge kontrollpunktene som mister trafikk pga kapasitetsbegrensninger ligger på E18, har separate kjørefelt og trafikkmengdene burde intuitivt sett ikke være større enn at trafikantene skulle kunne opprettholde friflythastighet. For kontrollpunkt 15 kan det virket som om lenkene her er tilordnet en kunstig lav kapasitetsindeks.

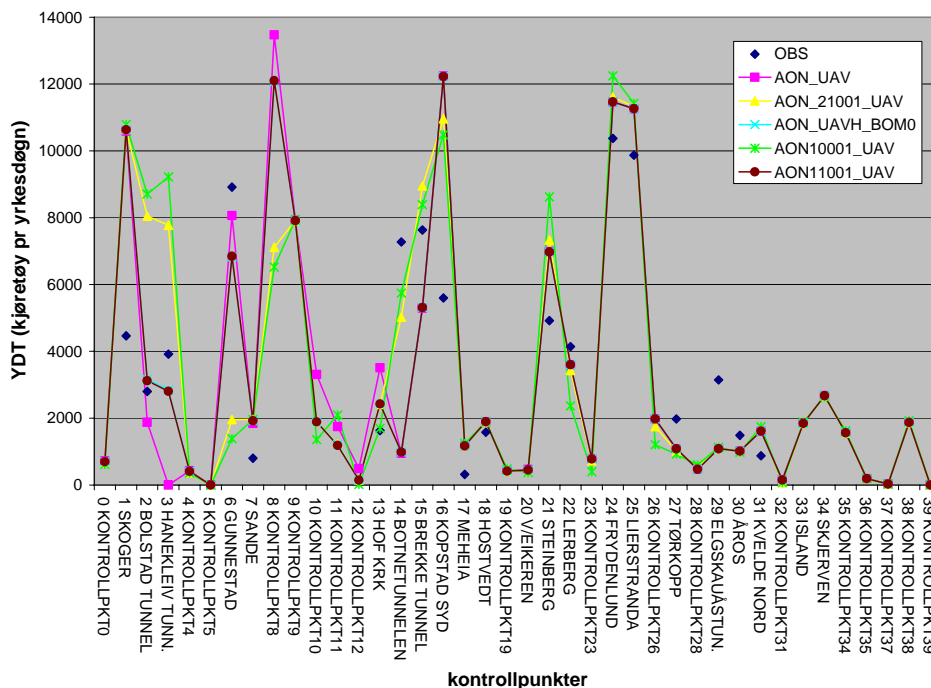
For øvrig virker det som om lenkene generelt sett er kodet med for høy kapasitet all den tid kapasitetsavhengig beregning ikke gir særlige utslag sammenlignet med kapasitetsuavhengig nettutlegging. Blant annet er det slik at NTM5-trafikken ikke tas med når man beregner belastning på veinettet, og NTM5-trafikken utgjør et betydelig bidrag på de mest trafikkerte veiene i studieområdet, og det ville nok gitt økte kostnader og kapasitetsbegrensninger dersom denne trafikken hadde blitt tatt hensyn til.

Figur 16b viser tilsvarende kjøring som illustrert i figur 16, gjort på et tidligere tidspunkt i prosjektet før vi oppdaget en del alvorlige feil i modellen. En av feilene gikk på at nettverket var overbelastet fordi man brukte lenkenes kapasitetsfelt i stedet for kapasitetsindeks. Figuren viser betydelig større forskjeller mellom valg av ulike kapasitetsavhengige metoder og valg av kapasitetsuavhengig metode enn hva figur 16 gjør, og selv om kodingen av kapasitet er feil, er det klart at likevektmetoden plasserer seg midt mellom kapasitetsuavhengighet og volume averaging. Av det kan man slutte at likevektmetoden som er anbefalt for lenkebaserte modeller, har mindre effekt enn volume averaging, som på sin side kan overkompensere for belastning i vegnettet.



Figur 16b. Nettutlegging ved AON med ulike kapasitetsmetoder.

Endring av vekt på kostnadsfunksjonen har svært stor effekt på veivalg sammenlignet valg av ulike metoder for kapasitetsavhengighet, noe som gjenspeiles i figur 17:



Figur 17. Trafikkfordeling som funksjon av ulik vektning av kostnadsfunksjon

Figur 17 viser hvordan endringer i vektning av generaliserte kostnader virker inn på nettutleggingen. Alle kurvene illustrerer kapasitetsuavhengig nettutlegging ved

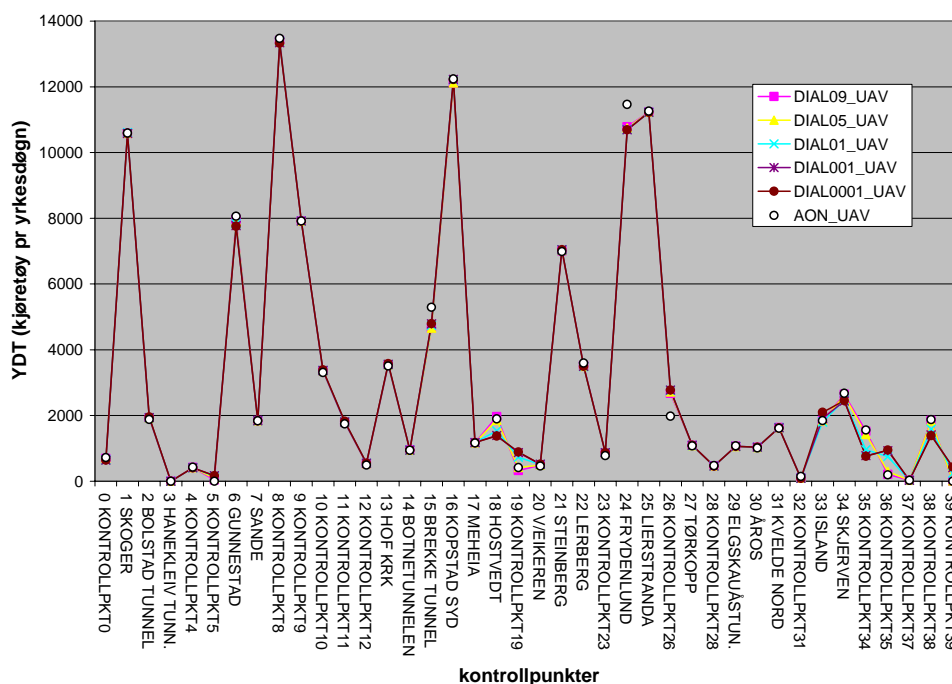
AON. Den rosa kurven er den samme som for figur 16 og er med for å gi sammenligningsgrunnlag mellom de to figurene, mens den gule kurven tilsvarer dobbel vekt på tidskostnader og lav vektning av bomkostnader slik som den stiplede i figur 16. Den blå kurven tilsvarer samme generaliserte kostnader som den rosa kurven, men bomavgiften på E18 i Vestfold er satt til null. Den grønne kurven viser hva som skjer om man setter vektning av distansekostnader til null og bomkostnader lavt, mens den brune kurven viser en nedjustering av vektningen av bomkostnaden alene.

Figuren viser at en kraftig nedjustering av vekten av bomkostnaden alene som forventet er det samme som å sette bomavgiften til null. Dette vises ved at den blå og brune grafen er sammenfallende. Vi ser også at dette flytter trafikk til kontrollpunktene 2 og 3 som ligger på den bompengefinansierte E18 i Vestfold fra den alternative ruten forbi kontrollpunkt 8. Men ruten forbi kontrollpunkt 8 er fremdeles foretrukket blant majoriteten, så det er ikke bompengeavgiften alene som holder trafikken borte fra E18.

Ved økt vektning av tidskostnader sammenlignet med distansekostnader og fortsatt lav vektning av bomkostnader, flyttes imidlertid svært mye av trafikken over fra kontrollpunkt 8 til kontrollpunktene 2 og 3 spesielt og til europavei generelt. Den grønne kurven tilsvarer vektning av kostnader lik hva som er benyttet for nettutlegging av NTM5-trafikken, mens den rosa altså tilsvarer verdiene angitt for RTM. Dermed er det naturlig at forskjellene er størst langs de store hovedveiene som binder sammen regionen.

3.4.3 Dials metode for rutevalg

Figur 18 viser hvordan fordelingen endrer seg ved ulike valg av spredningsvinkel for Dials metode.



Figur 18. Trafikkfordeling som funksjon av ulike spredningsvinkel ved Dials metode og likevektskapasitetsavhengig nettfordeling.

Samtlige av disse kurvene tilsvarer kapasitetsuavhengige simuleringer utført med Dials metode for nettutlegging, men de hvite punktene viser kapasitetsuavhengig AON for sammenligningens skyld. Kurvene viser trafikk tall for spredningsvinkler fra 0,001 til 0,9, og som formelen for Dials metode i teoridelen viser, er spredningen størst ved lave spredningsvinkler.

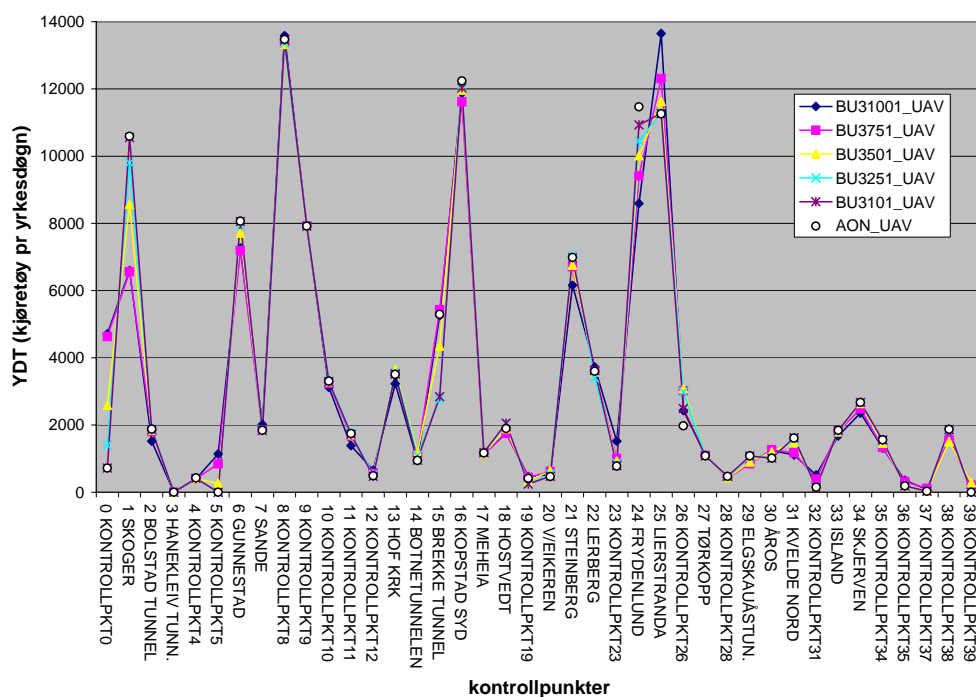
Figuren viser stor grad av sammenfall for kurvene for Dials metode og punktene for trafikk tall generert med AON. De eneste områdene der forskjellene er såpass store at man kan se endringer i kurvene som funksjon av spredningsvinkel er kontrollpunktene 18 og 19 samt 34 til 39, som er illustrert i kartet i figur 15.

Dette viser med tydelighet at Dials metode er mest effektiv i tette nettverk der de alternative rutene er kodet med et lite antall noder og lenker.

3.4.4 Burrells metode for rutevalg

Burrells metode for nettfordeling tar som nevnt inn tre parametere, nemlig spredningsprosent, antall alternative rutevalg og en integerverdi som brukes til å generere tilfeldige tall for den stokastiske fordelingen og sikrer stabilitet.

Figur 19 viser ulike kjøringene av Burrells metode for rutevalg der alle kjøringene benytter kapasitetsuavhengig nettutlegging. Spredningsprosenten varierer fra 10 til 100.

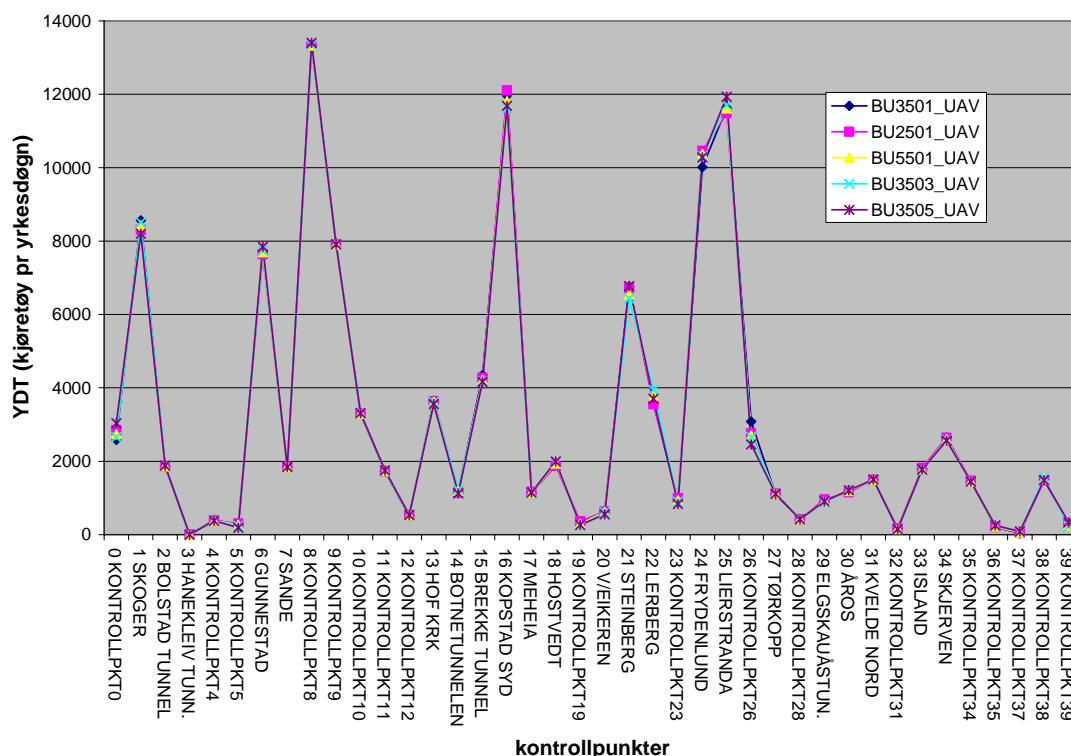


Figur 19. Burrells metode som funksjon av ulike spredningsprosenten.

Figuren er analog med figur 18 som tar for seg tilsvarende variasjoner som følge av spredningsvinkel med Dials metode, og viser at spredningseffekten er større ved bruk av Burrells metode enn ved bruk av Dial. Mens Dials metode stort sett kun hadde effekt i tette nettverk, ser man klare forskjeller i trafikk mengde som funksjon av spredningsvinkel over hele studieområdet ved bruk av Burrell.

Spesielt ser man at bruk av Burrells metode flytter en betydelig andel trafikk fra kontrollpunkt 1 til kontrollpunkt 0, noe hverken de ulike kapasitetsavhengige metodene, ulik vektning av kostnadsfunksjon eller Dials metode har evnet å gjøre i grafene presentert over.

Figur 20 viser bruk av Burrells metode med ulike parametervalg for antall alternative ruter og inputverdi for tilfeldig-tall-generatoren. Alle simuleringene er kjørt med kapasitetsuavhengig nettutlegging og spredningsvinkel på 50 grader.



Figur 20. Burrells metode som funksjon av antall alternative rutevalg og verdi for tilfeldig-tall-generator.

Den blå, rosa og gule grafen viser generert trafikkmengde gjennom de ulike kontrollpunktene ved bruk av Burrells metode med henholdsvis 3, 2 og 5 alternative rutevalg som inputparameter. De tre grafene er nærmest identiske, noe som viser at behovet for mange alternative rutevalg er lite for modelleringen av områder som vårt studieområde. Ved to rutealternativer, spres trafikken fra det beste alternativet til de nest beste alternativet som funksjon av spredningsprosent og generaliserte kostnader forbundet med de to alternative rutene. Ved fem rutealternativer, spres trafikken fra beste til de fire neste alternativene med nest lavest kostnader. Figur 20 tyder på at den tredje beste reiseruten stort sett er for svak til å attrahere trafikk i vårt studieområde, og at det i de fleste tilfeller er tilstrekkelig å kjøre Burrell med to alternative ruteberegninger.

Forskjellen på grafene tegnet i blått, lyseblått og lilla, er valget av verdi for tilfeldig tall. Disse grafene er også nær sammenfallende, og tyder på at resultatet er forholdsvis uavhengig av denne inputverdien.

3.4.5 Beregninger versus observasjoner.

Det er ikke uten videre hverken enkelt eller nødvendigvis hensiktsmessig å sammenligne beregnet trafikkmengde med observasjoner gjort i tellinger. I hvilken grad beregnet trafikkmengde reflekterer virkeligheten, er vanskelig å vurdere fordi trafikktellingene omhandler totale trafikktall, mens modellen er for persontransport.

Kvalitetsmålet er også åpent for diskusjon. Hvorvidt en jevn differanse mellom simuleringer og observasjoner er uttrykk for en bedre eller dårligere modell enn nærmere sammenfall i majoriteten av tellepunkter avbrutt av enkelte betydelig avvik i enkelte tellepunkter, er et åpent spørsmål.

Som en enkel tilnærming til en tallfesting av i hvilken grad beregnet RTM-trafikk sammenfaller med observasjoner gjort i trafikktellinger, kan man definere et mål for avvik S :

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_n \left(\frac{\text{obs}_n - v_n}{\text{obs}_n + v_n} \right)^2,$$

hvor

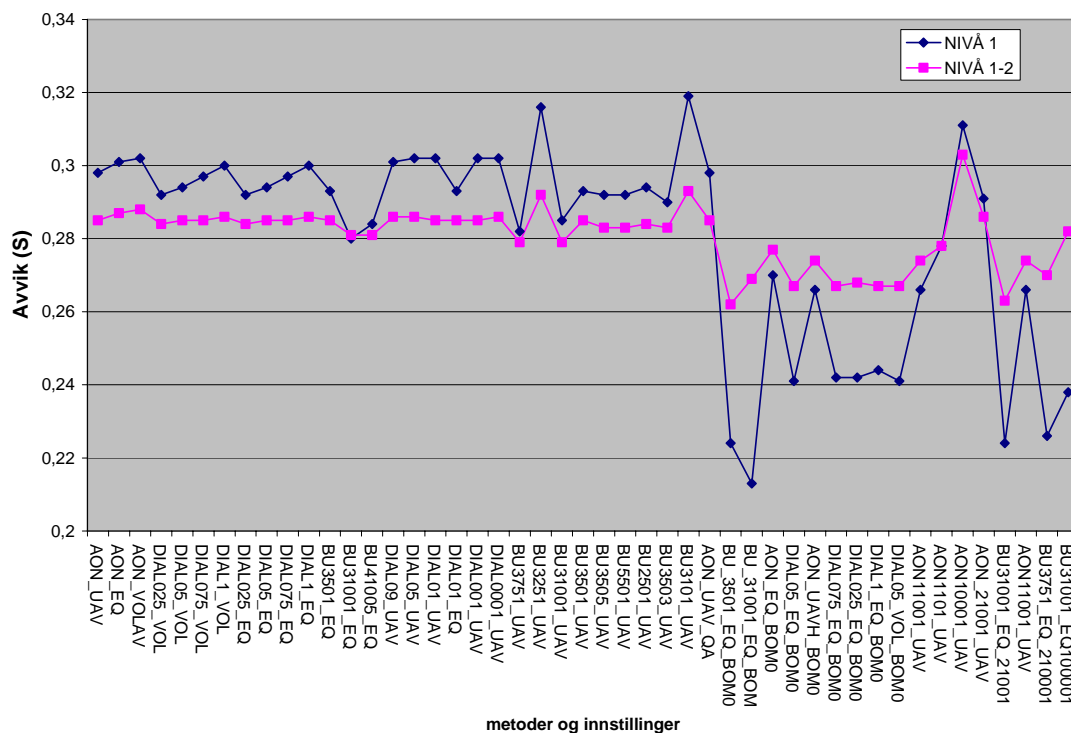
n = antall tellinger

obs_n = observert trafikkmengde i tellepunkt n

v_n = beregnet trafikkmengde i tellepunktet.

Forholdet mellom differansen og summen av beregnet og observert trafikk i et tellepunkt vil alltid være et tall mellom 0 og 1. Om differansen relativt sett er liten i forhold til summen, vil avviket være nær null. Når den relative differansen øker, vil avviket gå mot en. Summert over alle tellepunktene og dividert på antall tellepunkt, vil derfor S være et avviksmål mellom 0 og 1, der 0 tilsier lite avvik mellom observasjoner og beregninger, mens 1 tilsier stort avvik mellom observasjoner og beregninger.

Figur 21 viser verdien av S summert over tellingene angitt i tabell 1 som funksjon av de forskjellige valgene av metode for nettutlegging. Den rosa kurven viser S summert over samtlige tellepunkt, mens den blå kurven viser S summert over tellepunkt av nivå 1.



Figur 21. Avvik mellom beregnet og observert trafikk i alle tellepunkter

Figuren viser at ulike metodevalg for nettutlegging har marginale effekter på avviksmålet, men at endringer i vektingen av kostnadsfunksjonen og bomavgiften kan gi betydelige effekter. Å sette bomavgiften til null er jo ingen akseptabel måte å kalibrere RTM på, men effekten av å sette bomavgiften til null er bedre samsvar mellom beregnet trafikk og observasjoner, noe som tyder på kostnaden ved å passere bommen på E18 gjennom Vestfold er for høy i modellen.

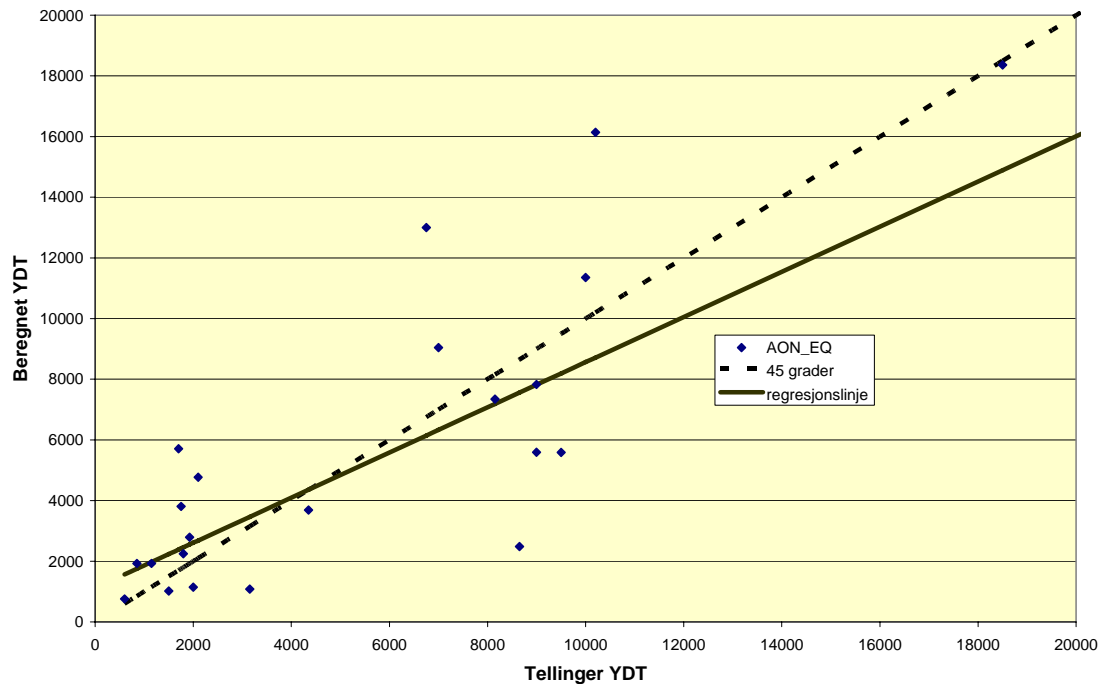
Alternativt til å sette bomavgiften til null, kan man nedjustere vektingen av bomkostnaden i den generaliserte kostnadsfunksjonen. Som beskrevet i innledningen, er vektingen for de generaliserte kostnadene for utleggingen av NTM5-trafikken satt til 1, 0 og 0.001 for henholdsvis tidskostnader, distansekostnader og bomkostnader, mens tilsvarende for RTM er satt til 1, 1 og 0.8, dvs nær samme vekt for alle leddene.

Ved å kombinere Burrells metode for nettutlegging med 3 alternative rutevalg og 75% spredning, med å sette vektingen av bomkostnadene for RTM lik NTM5, og doble vektingen av tid, får man kanskje det beste resultatet for grafene i figur 21, gitt at bompengavgiften på 30 kroner skal være uendret. Dette støttes også av regresjonsanalyse.

I figur 22 har vi plottet observerte tall for YDT fra de 22 tellepunktene i tabellen langs den horisontale akse og beregnet trafikk med AON_EQ langs den vertikale akse. Videre har vi plottet 45-graderslinjen stiplet der alle punktene ville ligget dersom beregnet og observert trafikk var helt like i hvert tellepunkt. Til slutt har vi plottet en heltrukket regresjonslinje som viser den statistiske sammenhengen mellom observert og beregnet trafikk i tellepunktene ved likningen:

$$\text{Beregnet YDT} = B + A \cdot \text{Tellinger YDT}$$

der A er stigningstallet og B er konstantleddet.



Figur 22. Regresjonslinje mellom observert og beregnet trafikk for likevektsskapitets-avhengig nettutlegging med metoden all or nothing.

Av figuren ser vi at det er relativt store avvik i forhold til 45 graders linjen. Imidlertid synes det ikke å være klare tendenser til at punktene ligger over eller under linjen eller at punkt med mye trafikk systematisk ligger over og punkt med lite trafikk systematisk ligger under eller vice versa. Vi kan ellers merke oss at tellepunktet med mest trafikk (Frydenlund) ligger omtrent på linjen.

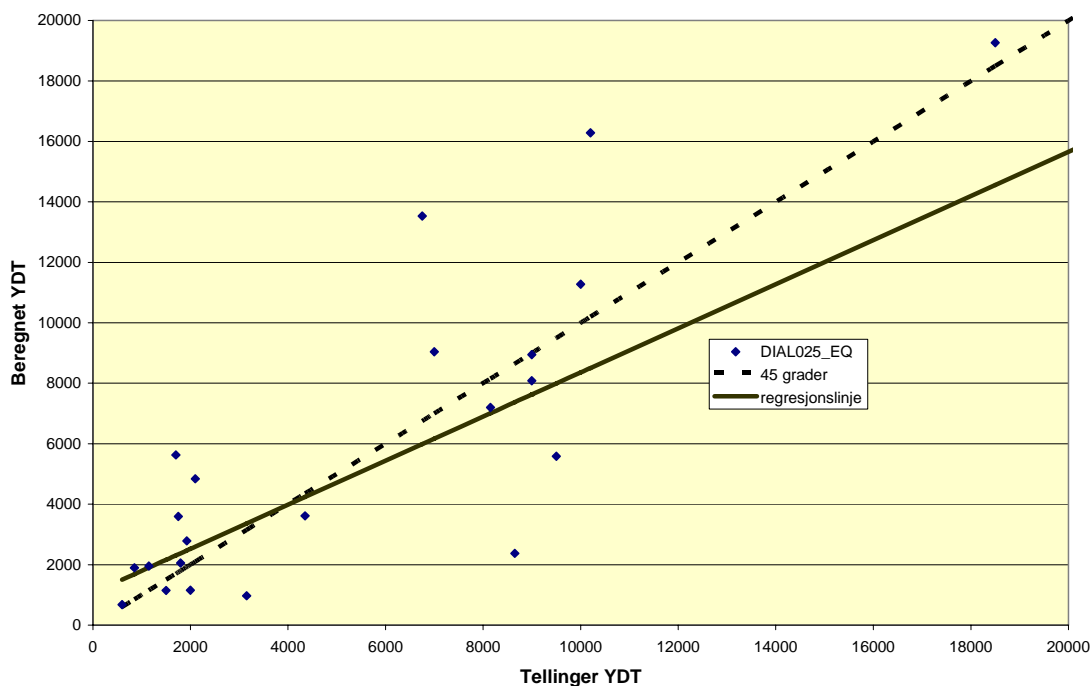
Den enkle regresjonsanalysen som er utført med minste kvadraters metode i Excel, viser imidlertid at beregningene gjennomgående gir litt for mye trafikk på lenker med lite trafikk og litt for lite på lenker med mer trafikk. Dersom trafikkberegningene hadde vært forventningsrette ville regresjonslinjen ligge oppå 45 graders linjen, altså ha konstantledd (B)= 0 og stigningstall (A)=1.

I tabellen under har vi sammenstilt resultatene for regresjonsanalyser mellom observert trafikk og beregnet trafikk for 5 alternative beregningsmåter.

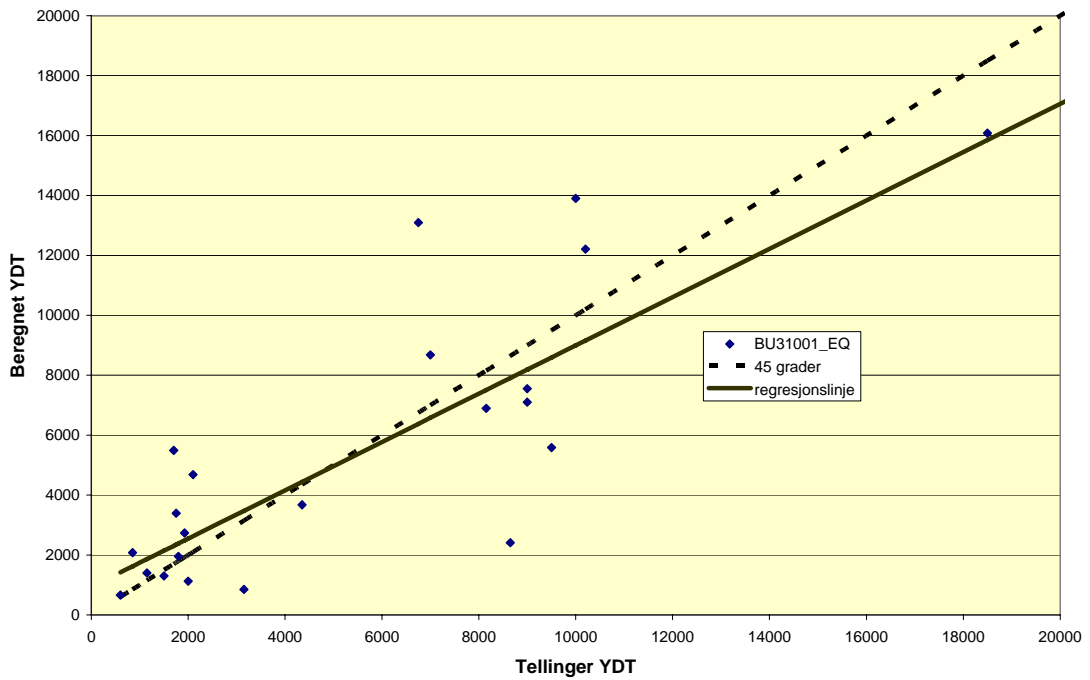
Tabell 2. Regresjonsanalyse for fem rutevalgsmetoder og innstillinger.

	A	t verdi A	B	t verdi A	Justert R-kvadrat	Standardfeil
AON_EQ	0.74	6.3	1119	1.26	0.65	2699
DIAL025_EQ	0.73	6.8	1063	1.26	0.68	2568
BU31001_EQ	0.81	6.4	936	1.03	0.65	2690
BU_31001_EQ_BOM0	0.79	7.4	644	0.78	0.72	2421
BU3751_EQ_210001	0.76	7.8	710	0.90	0.74	2339

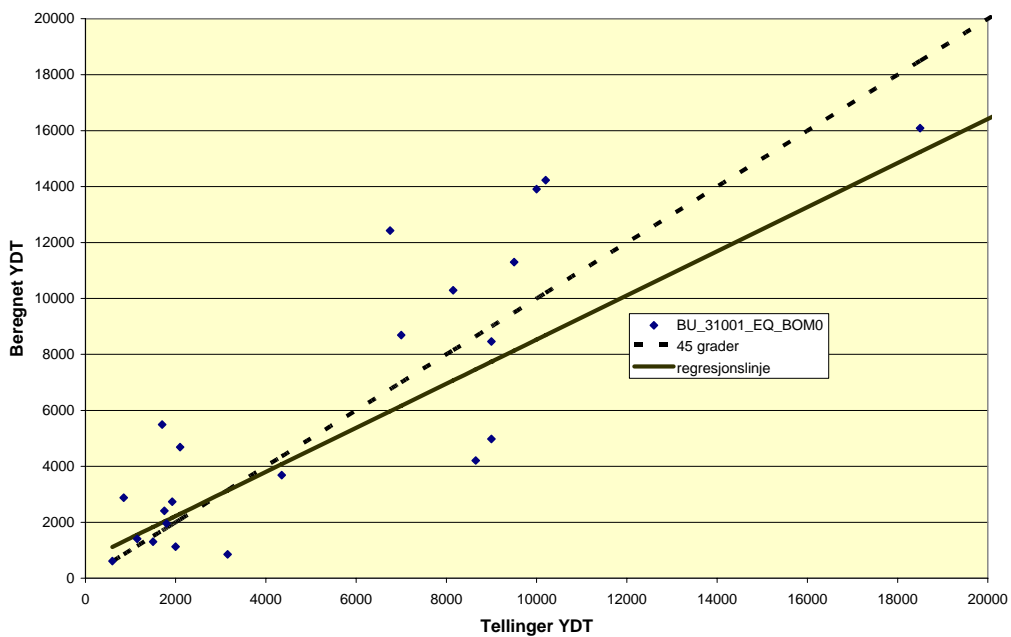
Plottene for de fire siste alternative beregningsmåtene er vist hver for seg under:



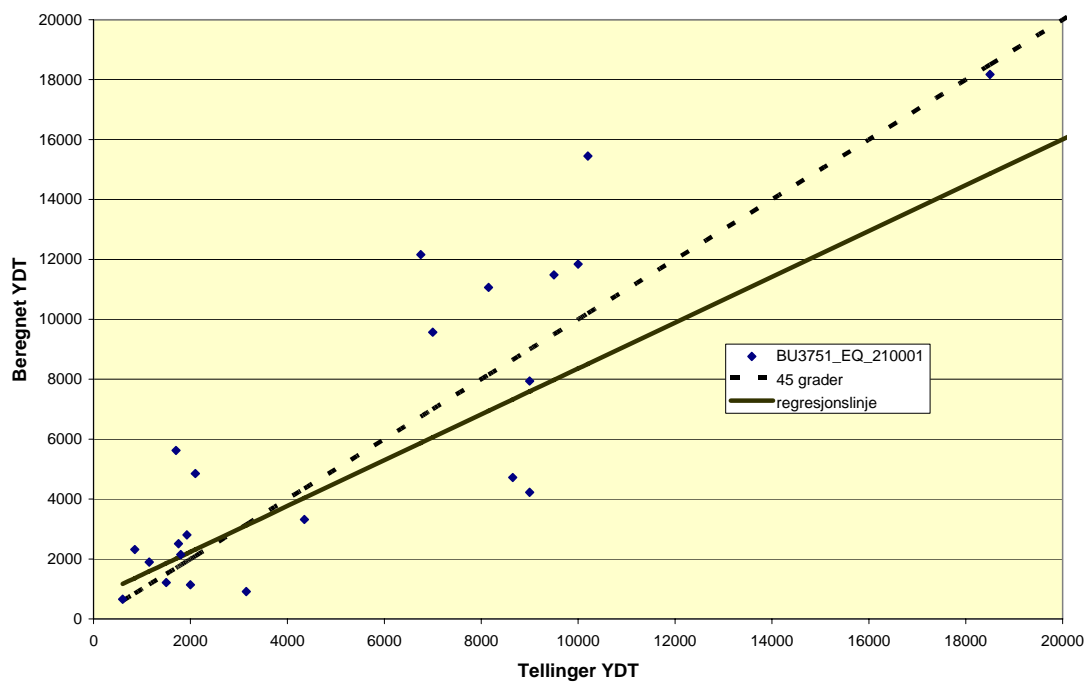
Figur 23. Regresjonslinje mellom observert og beregnet trafikk for likevektsskapitets-avhengig nettutlegging med Dials metode og spredningsvinkel på 0,25.



Figur 24. Regresjonslinje mellom observert og beregnet trafikk for likevektskapitets-avhengig nettutlegging med Burrells metode, 3 alternative rutevalg og spredningsvinkel på 100.



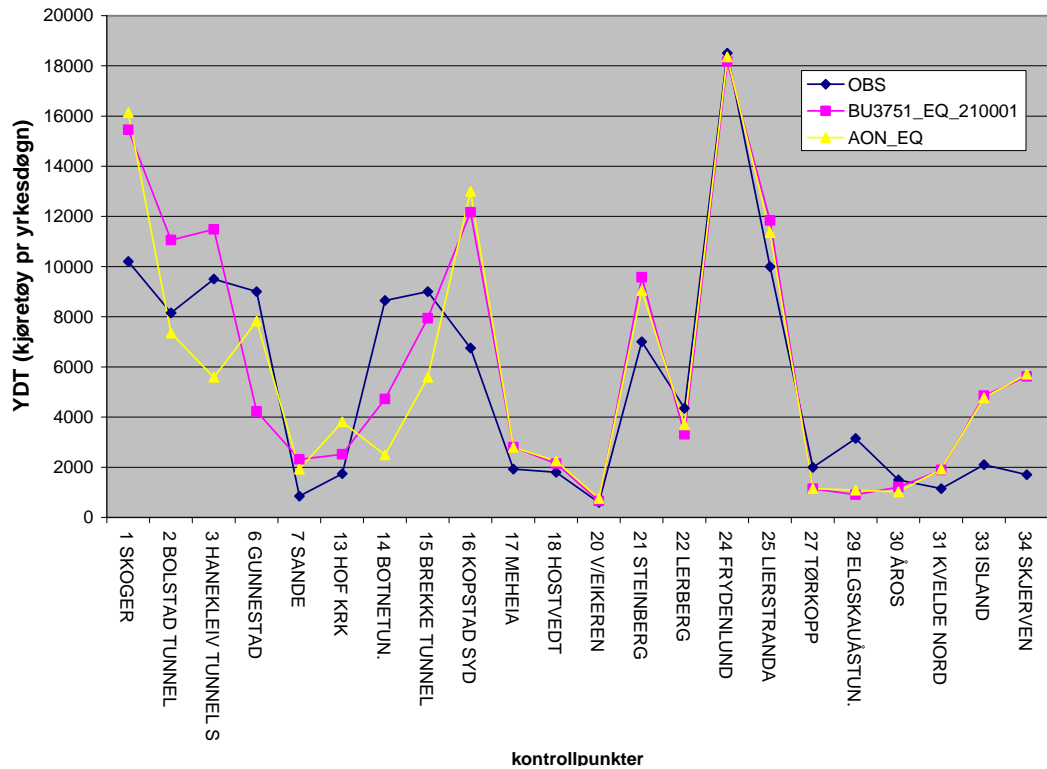
Figur 25. Regresjonslinje mellom observert og beregnet trafikk for likevektskapitets-avhengig nettutlegging med Burrells metode, 3 alternative rutevalg, spredningsvinkel på 100 og bomavgift på 0 NOK på E18 i Vestfold.



Figur 26. Regresjonslinje mellom observert og beregnet trafikk for likevektskapasitetsavhengig nettutlegging med Burrells metode, 3 alternative rutevalg, spredningsvinkel på 75, dobbel vektning av tidskostnader og lav vektning av bomkostnader.

Regresjonsgrafenes kjerneinformasjon er samlet i tabell 2. Ut fra disse tallene er det åpenbart relativt store avvik mellom observert og beregnet trafikk. Studerer man stigningstallet for de ulike plottene, ser man at ut fra tabellen at figur 24 gir best sammenfall mellom observasjoner og beregnet trafikk, med 0,81. Figur 25 gir beste sammenfall mhp konstantleddet, med 644, mens figur 26 gir lavest standardfeil med 2339. Alle disse figurene representerer beregnet trafikk med Burrells metode, tre alternative rutevalg og høy spredningsvinkel.

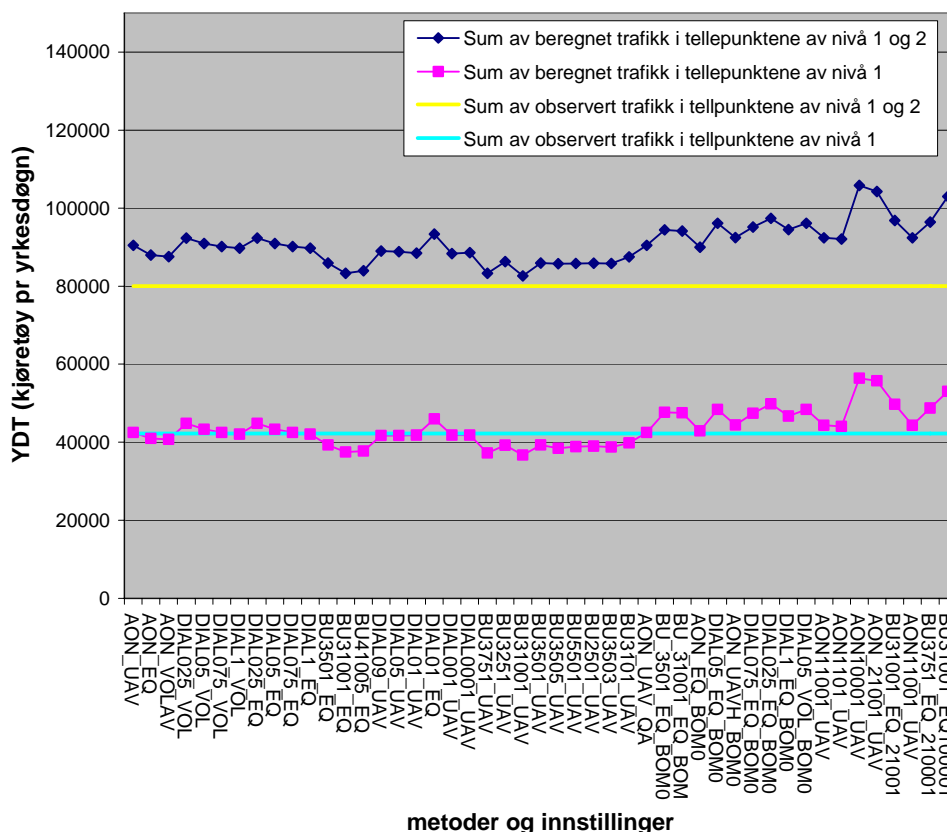
Figur 27 viser innstillingene fra figur 26 i rosa sammen med grafen for kapasitetsavhengig likevektsfordeling med All Or Nothing tegnet i gult, og grafen for observasjoner tegnet i blått. Beregnet trafikk er her summen av RTM og NTM5. Den gule grafen for all or nothing tilsvarer parameterverdier og metodevalg som var valgt som standard ved installasjon av RTM for region sør.



Figur 27. Observasjoner, beregnet trafikk med defaultinnstillinger og beregnet trafikk med kalibrert vektning av kostnadsfunksjon og metode for nettutlegging.

Figur 27 viser at den rosa kurven i stor grad faller sammen med den gule fra og med tellepunkt 17, men at den rosa kurven for majoriteten av de øvrige kontrollpunktene gir bedre samsvar med observerte verdier enn hva tilfellet er for den gule grafen som illustrerer standardinnstillingene for region sør.

Sammenligning av totalt observert trafikkvolum summert over alle tellepunkter og modellert trafikkvolum summert over alle tellepunkter gir et alternativt kvalitetskriterium for hvor godt beregnet trafikk i RTM reflekterer virkeligheten. Figur 28 viser dette:



Figur 28. Beregnet og observert totaltrafikk summert over alle tellepunkter

Figur 28 viser at totalt beregnet trafikkvolum er større enn totalt observert trafikkvolum dersom man summerer over trafikktegninger av nivå 1 og nivå 2. Nedjustering av bompengeravgiften og økt vekt på tidskostnaden øker totalt trafikkvolum i tellepunktene.

Vektingen av den generaliserte kostnadsfunksjonen kombinert med de innstillingene som minimerte avviket S i figur 21-26, øker altså forskjellen på observert og beregnet totalvolum for tellepunktene i studieområdet.

4 Konklusjon

Ulike valg av metode for rutevalg og kapasitetsavhengig nettutlegging gir ikke de store utslagene i trafikkfordelingen. I analyseområdet vårt har åpenbart forskjellen på beste og nest beste reiserute stort sett vært såpass signifikant at spredningseffekten av Dial og Burrell har vært forholdsvis liten.

Alternativene for kapasitetsavhengig nettutlegging avviker i svært liten grad fra hva som er tilfelle for kapasitetsuavhengig nettutlegging simpelthen fordi det ikke virker som man når kapasitetsgrensen for tellepunktene i studieområdet. Et par unntak er nevnt, men disse virker på sin side kodet med påfallende lav kapasitet. Denne analysen har derfor ikke fått sett ordentlig på samspillet mellom ulike metoder for kapasitetsuavhengig nettutlegging som AON, Dial og Burrell og

kapasitetsberegninger som incremental loading, volume averaging og likevekt. At kapasitetsavhengigheten beregnes uten å ta hensyn til hvor mye NTM5-trafikk som ligger på lenkene, virker intuitivt rart, og det hadde vært spennende å ha sett hva slags konsekvenser det ville fått å inkludere NTM5 i kapasitetsavhengighetsberegningene.

Endring av vektning av generaliserte kostnader, feil i vegnett og uriktig lenkeinformasjon kan gi store konsekvenser for den beregnede trafikken på enkelte strekninger, og nøkkelen til å få på plass en modell som i størst mulig grad reflekterer virkelige strømmer ligger nok først og fremst i å få på plass riktige bakgrunnsdata. Metodevalg for nettutlegging og rutevalg virker å være en langt finere tuning av modellen enn for eksempel vektning av kostnadsfunksjonen.

Teoretisk sett skal likevektsmetoden være beste alternativ for kapasitetsavhengig nettfordeling, men all den tid denne analysen i liten grad har gitt kapasitetsbegrensninger, er det ikke grunnlag for å konkludere med at likevekt er best for nettfordelingen i RTM. Likevel virker simuleringene å understøtte teorien om at de øvrige metodene er grovere, da disse gir større utslag.

Når det gjelder metodene for kapasitetsuavhengig nettutlegging, så virker Burrell å ha størst effekt i området vi har studert, og det må relativt store spredningsvinkler til for at effekten skal bli synlig. Antall alternative rutevalg virker å kunne holdes lavt uten begrensninger i fordelingen. Dials metode er best i tettere nettverk, men man kan anta at Burrell er best slik vegnettet for regionene i RTM er kodet.

Vektingen av de generaliserte kostnadene er veldig forskjellig for nettutlegging av NTM5 og RTM. Det kan virke som om en justering av vektene for RTM i retning vektene benyttet for NTM5 gir bedre samsvar mellom trafikktegninger og beregnet trafikkvolum. Men på den annen side er dette med på å øke forskjellene mellom beregnet og observert totalvolum summert over tellepunktene i vårt studieområde.

5 Referanser

Ortuzar, J de D & L G Willumsen (2001) Modelling transport, 3rd edition, Chichester: Wiley.

Sheffi, Y. (1992) Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods, Prentice-Hall, Inc.

Sintef ved Ness, Malmin, Skjetne (2005) NTP regionale modeller for persontransport. Modellbeskrivelse og brukerveiledning.

Van Vliet, D. and Dow P.D.C (1979) Capacity Restrained Road Assignment, Traffic Engineering & Control, pp296-305.

TRIPS Brukerveileder

**Sist utgitte TØI publikasjoner under program:
Samfunnsøkonomiske analyser**

Samfunnsøkonomisk vurdering av vedlikeholdsstrategier, oppgradering og standardutforming i vegnettet	957/2008
Regionale virkninger av olympiske vinterleker i Tromsø 2018	937/2008
Bakgrunn for lønnsomhetsstrategien i Nasjonal Transportplan 2010-2019	931/2007
Følsomhetsberegninger for persontransport basert på grunnprognosene for NTP 2010-2019	924/2007
Nyttekostnadsanalyse for tunnel mellom Horn og Andalsvåg i Sør-Helgeland	917/2007
Godstransport på veg: Lastebilnæringens betydning for vekst, velferd og bosetning. Sammendragsrapport	901b/2007
Godstransport på veg: Lastebilnæringens betydning for vekst, velferd og bosetning	901/2007
Køprising i Bergen og Trondheim - et alternativ på 20 års sikt?	895/2007
Evalueringsrapport av OPS i vegsektoren	890/2007
Virkningsberegning av tiltak for raskere og mer pålitelig godstransport - en ny metode	825/2006
Vegprising, kollektivtiltak og sosial ulikhet	815/2005
Nyttekostnadsanalyse av Redningsselskapets arbeid for årene 1999 - 2004	812/2005
Nyttekostnadsanalyser i transportsektoren: Rammeverk for beregningene	798/2005
Nyttekostnadsanalyse i transportsektoren: parametre, enhetskostnader og indekser	797/2005
Nyttekostnadsanalyse i samferdselssektoren: Risikotillegget i kalkulasjonsrenta	796/2005
Utvikling av regionale modeller for persontransport i Norge	766/2005

Besøks- og postadresse:

Transportøkonomisk institutt
Gaustadalléen 21
NO 0349 Oslo

Telefon: 22 57 38 00
Telefaks: 22 60 92 00
E-post: toi@toi.no

www.toi.no



**Transportøkonomisk institutt
Stiftelsen Norsk senter for samferdselsforskning**

- utfører forskning til nytte for samfunn og næringsliv
- har rundt 70 forskere med høy, flerfaglig samferdselskompetanse samarbeider med en rekke samfunnsinstitusjoner, forsknings- og undervisningssteder i Norge og i utlandet
- gjennomfører forsknings- og utredningsoppdrag av høy kvalitet innen områder som trafiksikkerhet, kollektivtransport, miljø, reisevaner, reiseliv, planlegging, beslutningsprosesser, transportøkonomi og næringslivets transporter
- driver aktiv forskningsformidling gjennom TØI-rapporter, Internett, tidsskriftet Samferdsel og andre nasjonale og internasjonale tidsskrifter
- deltar i CIENS, Forskningscenter for miljø og samfunn, i Forskningsparken nær Universitetet i Oslo