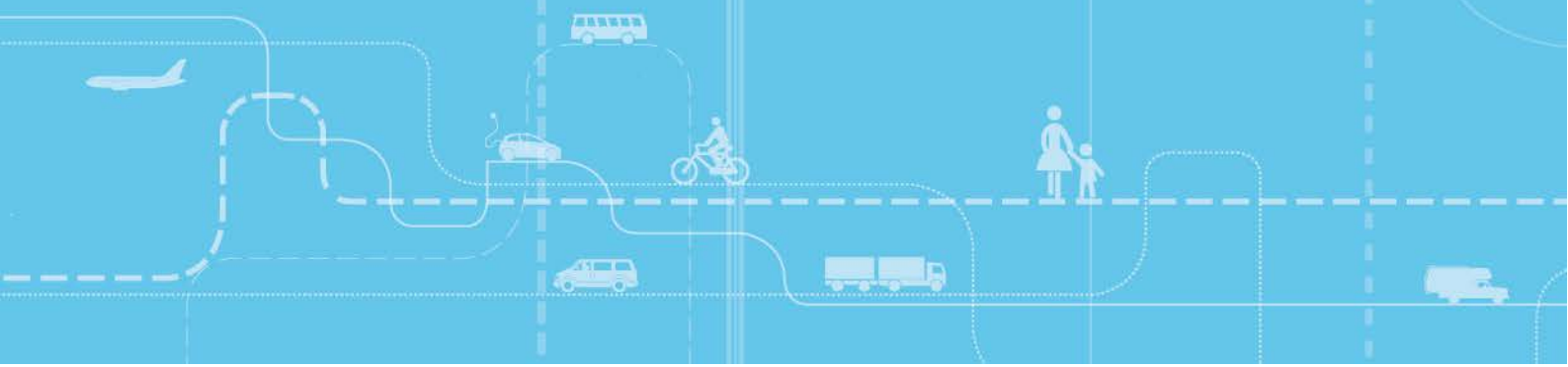


Jørgen Aarhaug
Elise Caspersen
Nils Fearnley
Farideh Ramjerdi
Patrick Ranheim
Christian Steinsland

Dokumentasjonsrapport: Inkrementell etterspørselsmodell



Dokumentasjonsrapport: Inkrementell etterspørselsmodell

Jørgen Aarhaug
Elise Caspersen
Nils Fearnley
Farideh Ramjerdi
Patrick Ranheim
Christian Steinsland

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: Dokumentasjonsrapport: Inkrementelle etterspørselsmodell

Forfattere: Jørgen Aarhaug
Elise Caspersen
Nils Fearnley
Farideh Ramjerdi
Patrick Ranheim
Christian Steinsland

Dato: 12.2013

TØI rapport: 1283/2013

Sider 44

ISBN Elektronisk: 978-82-480-1469-0

ISSN 0808-1190

Finansieringskilde: Jernbaneverket

Prosjekt: 3941 - JBV-ramme inkrementell elastisitetsmodell

Prosjektleder: Nils Fearnley og Jørgen Aarhaug

Kvalitetsansvarlig: Frode Longva

Emneord: Elastisitetsmodell
Jerbane

Sammendrag:

Jernbaneverket har i samarbeid med TØI utviklet en ny inkrementell etterspørselsmodell – Trenklin. Dette er en elastisitetsmodell, basert på faktisk trafikk og elastisiteter av generaliserte kostnader. Modellen inkluderer også trengselsulemper. Formålet med modellen er å gjøre enkle beregninger tidlig i planprosessen. Modellen er under bearbeiding. Uten å gjøre modellen betydelig mer komplisert er det flere momenter som kan inkluderes i verktøyet for å øke realismen og å modellere flere forhold som spiller inn på etterspørselen.

Title: Documentation report: Incremental demand model

Author(s): Jørgen Aarhaug
Elise Caspersen
Nils Fearnley
Farideh Ramjerdi
Patrick Ranheim
Christian Steinsland

Date: 12.2013

TØI report: 1283/2013

Pages 44

ISBN Electronic: 978-82-480-1469-0

ISSN 0808-1190

Financed by: The Norwegian National Rail Administration

Project: 3941 - JBV-ramme inkrementell elastisitetsmodell

Project manager: Nils Fearnley and Jørgen Aarhaug

Quality manager: Frode Longva

Key words: Elasticity model
rail

Summary:

The Norwegian National Rail Administration (NNRA) have developed a new incremental passenger demand model, in cooperation with the institute of transport economics. This model is a simplified model, designed to be used early in the planning process, and to augment the existing models. This report documents the model and point at further possibilities for developing the model.

Language of report: Norwegian

Rapporten utgis kun i elektronisk utgave.

This report is available only in electronic version.

Transportøkonomisk Institutt
Gaustadalleen 21, 0349 Oslo
Telefon 22 57 38 00 - www.toi.no

Institute of Transport Economics
Gaustadalleen 21, 0349 Oslo, Norway
Telefon 22 57 38 00 - www.toi.no

Forord

Denne rapporten dokumenterer jernbaneløst arbeid med å utvikle en ny forenklet transportmodell for persontransport på jernbane. Rapporten er skrevet i fellesskap mellom Jernbaneløst og Transportøkonomisk institutt (TØI). Resultater av modellkjøringene blir presentert i en egen rapport, publisert av jernbaneløst. Arbeidet med denne nye transportmodellen har vært fordelt slik at jernbaneløst primært har hatt ansvaret for utvikling av modellen, mens TØI har bidratt med støtte, innspill, kvalitetssikring, testing og feilsøking.

Denne rapporten er basert på innspill fra forskerne Nils Fearnley, Farideh Ramjerdi, Christian Steinsland, Elise Caspersen og Jørgen Aarhaug fra TØI samt Patrick Ranheim fra Jernbaneløst. Redigering av rapporten er gjort av Jørgen Aarhaug og Elise Caspersen. Ansvarlig prosjektleder hos Jernbaneløst har vært Per Jorulf Overvik. Nils Fearnley og Jørgen Aarhaug har fungert som prosjektledere hos TØI. Avdelingsleder Frode Longva har fungert som kvalitetssikrer for rapporten.

Oslo, desember 2013
Transportøkonomisk institutt

Gunnar Lindberg
direktør

Frode Longva
avdelingsleder

Innhold

Sammendrag

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Introduksjon | 1 |
| 1.1 | Bakgrunn..... | 1 |
| 1.2 | Formål..... | 1 |
| 1.3 | Rapportgjennomgang..... | 2 |
| 2 | Modellens oppbygging | 3 |
| 2.1 | Kort beskrivelse av modellen | 3 |
| 2.1.1 | Avgrensinger | 4 |
| 2.2 | Trengsel..... | 5 |
| 2.2.1 | Verdsettinger og antagelser..... | 5 |
| 2.2.2 | Metode for beregning av trengsel | 9 |
| 3 | Elastisiteter | 10 |
| 3.1.1 | Generelt om GK-elastisiteter | 10 |
| 3.2 | Vurdering av GK-elastisiteter i modellen | 10 |
| 3.2.1 | Ta utgangspunkt i kjente elastisiteter og faktorenes andel i GK...11 | |
| 3.2.2 | Forventede elastisiteter | 11 |
| 3.2.3 | Variasjoner mellom reisehensikter..... | 12 |
| 3.2.4 | Relasjoner med null passasjerer i basissituasjonen | 12 |
| 3.2.5 | Prosedyre for vasking av elastisiteter..... | 14 |
| 3.3 | Elastisiteter fra nettverksmodellene..... | 14 |
| 3.3.1 | Vurdering av metode | 15 |
| 3.3.2 | Valg av GK-elastisiteter beregnet med ulike RTM-kjøringer | 15 |
| 3.4 | Nettverksmodell versus elastisitetsmodell?..... | 16 |
| 4 | Bruk av modellen | 19 |
| 4.1 | Beregninger | 19 |
| 5 | Veien videre | 22 |
| 5.1 | Forslag til videre forskning | 22 |
| 5.1.1 | Langsiktige endringer..... | 22 |
| 5.1.2 | Endret arealbruk | 22 |
| 5.1.3 | Estetiske faktorer og andre myke etterspørselsdrivere | 22 |
| 5.1.4 | Isolering av myke etterspørselsdrivere i norsk kontekst..... | 23 |
| 5.2 | Videreutvikling av modellen | 23 |
| 5.2.1 | Benytte elementene som inngår i GK | 23 |
| | Referanser | 25 |
| | Vedlegg 1 Stasjonenes tilfangsområde og befolkning | 26 |
| | Vedlegg 2 Beregning av elastisiteter fra RTM | 28 |
| | Vedlegg 3 Formel utregning av totale tidsverdivekter av trengsel for en strekning | 41 |

Sammendrag:

Dokumentasjonsrapport: Inkrementell etterspørselsmodell

TØI rapport 1283/2013

Forfattere: Jørgen Aarhaug, Elise Caspersen, Nils Fearnley,
Patrick Ranheim, Farideh Ramjerdi, Christian Steinsland

Oslo 2013 44 sider

Jernbaneverket har i samarbeid med TØI utviklet en ny inkrementell etterspørselsmodell – Trenklin. Dette er en elastisitetsmodell, basert på faktisk trafikk og elastisiteter av generaliserte kostnader. Modellen inkluderer også trengselsulemper. Formålet med modellen er å gjøre enkle beregninger tidlig i planprosessen. Modellen er under bearbeiding. Uten å gjøre modellen betydelig mer komplisert er det flere momenter som kan inkluderes i verktøyet for å øke realismen og å modellere flere forhold som spiller inn på etterspørselen.

Bakgrunn

Modellverktøyet Trenklin er utarbeidet for å gjøre enkle analyser av tiltak uten å kjøre de formelle transportmodellene. Disse er tunge å kjøre og krever derfor mye tid.

Inkrementell modell for jernbane

Modellen Trenklin er utviklet som en inkrementell etterspørselsmodell. Det vil si at den baserer seg på reelle trafikkmatriser, som er stilt til rådighet av NSB, kombinert med elastisiteter hentet fra nettverksmodellene og litteraturen.

Trengsel er tatt inn som et sentralt element i modellen. Dette er gjort fordi trengsel oppleves å være et reelt problem for jernbanetrafikken i Norge i dag, særlig knyttet til rushtidene.

I modellen blir trengsel beregnet med utgangspunkt i at trengselsulempe oppstår ved 70 prosents belegg. Trengselsulempen kommer både for sittende og stående, men er større for stående. Trengselsulempen for hvert enkelt individ blir også større dess fullere toget er, denne funksjonen er gjort lineær opp til maks kapasitet, som er satt til seks personer per kvadratmeter ståareal.

Tidsulempen som benyttes for stående er hentet fra en britisk metastudie.

Elastisiteter i modellen

Modellen er basert på elastisiteter hentet fra tre kjøringer av RTM/NTM. Disse er henholdsvis doblet frekvens, 10 prosent frekvensøkning og 10 prosent reisetidsreduksjon. Det er tatt høyde for ulike elastisiteter for ulike reisehensikter. Videre er det benyttet elastisiteter av generaliserte kostnader (GK) for endringer i forutsetningene som følge av tiltak.

Tilnærmingen med uttak av elastisiteter for hvert enkelt stasjonspar har medført at noen elastisiteter fremstår som noe usannsynlige, dette er løst ved å gjennomføre en traktning, det vil si at vi har satt en øvre og nedre grense for hva verdiene kan være. Ulik elastisitet på retning, passer godt med intuisjonen og er derfor inkludert i modellen.

Bruk av modellen

Modellen, slik den framsto høsten 2013, versjon 1.8, er bygd opp rundt to trinn: Beregning av elastisitetene som skal inngå i modellen og beregning av tiltakene. Dette medfører endel manuelt arbeid med inntasting av forutsetninger som er eksogent gitt, og utarbeidelse av elastisitetene som inngår i beregning av tiltakene.

Utvikling av modellen

Trenklin kan med fordel gjøres mer brukervennlig ved at regnearkene samles, slik at både beregning av elastisiteter og tiltak gjøres i samme operasjon. Det vil gjøre det manuelle arbeidet betydelig enklere.

I den foreliggende versjonen av modellen er rushtidene tre timer, med rushtidstrafikken jevnt fordelt over denne perioden. Dette er urealistisk og gir for lite trengsel. De faktiske trafikktoppene er smalere. Dette kan løses ved å skrive om modellen til en timesmodell, hvor trafikken fordeles på timer i stedet for høy og lavtrafikk perioder. Dette vil øke realismen.

En observasjon fra empiriske elastisitetsstudier er at etterspørselastisiteten og ulempeelastisiteten av de ulike elementene som inngår i generaliserte kostnader er ulike. Typisk vil en forsinkelse medføre en betydelig ulempe for de det gjelder, men det medfører i mindre grad endret adferd. Det betyr at etterspørselastisiteten som blir utledet av generaliserte kostnader blir gal. Løsningen på dette problemet er å benytte elastisitetene for elementene som inngår i generaliserte kostnader hver for seg. Slik kan en bruke ulike elastisiteter for etterspørselseffekter og ulempevurderinger.

Forskningsspørsmål med utgangspunkt i modellarbeidet

Framtidssenarioene modellen benyttes på, er basert på svært forenklede anslag for befolkningsendringer ved de ulike stasjonene. Langt mer presise befolkningsframskrivninger kan gjøres ved hjelp av mer detaljerte vurderinger av kommunenes planer. Særlig viktig er koblingen mellom hvor befolkningsveksten er planlagt lokalisert og hvor nye arbeidsplasser blir lokalisert.

En inkrementell modell tar utgangspunkt i dagens trafikk. For å studere framtidige utfordringer kan det være fornuftig å utarbeide ulike framtidssenarioer som kan analyseres, snarere enn å se på rene framskrivinger.

Modellen kan utvides ved å trekke inn myke etterspørselsdrivere som komfort på toget, internettilgang og god design. Dagens elastisiteter av de ulike elementene som inngår i generaliserte kostnader er i hovedsak basert på utenlandske (britiske) studier. Videre vil den kunne forbedres ved å ta inn flere norske elastisiteter. Omleggingen i forbindelse med ruteplan 2012 vil kunne gi mer forståelse av drivkreftene bak etterspørsel etter togtrafikk i Norge.

1 Introduksjon

Denne rapporten dokumenterer arbeidet med å utvikle en ny forenklet transportmodell for persontransport på jernbane. Rapporten er skrevet i felleskap mellom Jernbaneverket og Transportøkonomisk institutt. Resultater av modellkjøringene presenteres i en egen rapport utgitt av jernbaneverket.

1.1 Bakgrunn

Jernbaneverket arbeider med å utvikle en modell for å analysere effekter av endringer i togtilbudet. Motivet for dette arbeidet er at dagens nettverksmodeller, som består av nasjonal og regional persontransportmodell, ikke gir tilfredsstillende resultater sammenlignet med passasjerstatistikken til NSB. Dagens nettverksmodeller har dessuten relativt lang beregningstid, og for kortere reiser under 100 kilometer beregner modellene kollektivtransporten samlet. Dette vanskeliggjør uttak av spesifikke resultater for jernbane alene.

Den nye modellen skal bruke trafikkdata fra NSB kombinert med elastisiteter fra dagens nettverksmodeller. Dette danner forutsetningene for beregningen av etterspørselseffekter som følge av tilbudsendringer. Tanken er at dagens nettverksmodeller gir et fornuftig bilde av effekter av tilbudsendringer, til tross for at trafikkvolumene ikke gir tilfredsstillende resultater. Kombinerer man elastisiteter fra nettverksmodellene med reelle passasjertall fra NSB, får man et hensiktsmessig verktøy for å beregne effekter av tiltak inkrementelt.

1.2 Formål

Modellen er utformet for å gjøre enkle beregninger av effekten tilbudsendringer har på bruken av jernbane som transportmiddel. Den er tenkt brukt i en tidlig fase av arbeidet med R2027¹, for å gjøre raske beregninger av mange tiltak, som videre skal brukes til å grovsortere aktuelle tiltak. Utover å være en enkel, inkrementell modell inkluderer den også trengsel. Dette med bakgrunn i at trengsel er et viktig kvalitetsaspekt ved tilbudet, som i liten grad er ivaretatt i eksisterende modeller. Denne dokumentasjonsrapporten viser til modellen slik den foreligger i versjon 1.8, høsten 2013. Rapporten blir brukt som innspill til videre arbeid med modellen.

Vi benytter i stor grad fagterminologi i dokumentasjonen, og presenterer derfor kort noen av nøkkelbegrep som benyttes i dokumenteringen og kan være nyttige å ha definert:

- Headway: er antall minutter mellom hver avgang, og er det inverse av frekvens. Redusert headway mellom togene betyr høyere frekvens, det vil si flere tog i timen.

¹ Jernbaneverkets nye hovedruteplan, planlagt implementert 2027.

- Belegg: antall reisende i forhold til antall sitteplasser. Dersom det er 100 % belegg på toget, har alle reisende sitteplass og alle sitteplassene er tatt.
- Generaliserte kostnader (GK): summen av ikke-monetære og monetære kostnader ved en reise.
- Stated Preference: brukes til å forklare at preferansene som benyttes som forutsetninger i modellen gis av hva utvalget sier de ville gjort dersom de ble stilt overfor et dilemma, framfor hva de faktisk gjør, som er revealed preferences.

1.3 Rapportgjennomgang

Ettersom dette er en dokumentasjonsrapport, er rapporten strukturert rundt modellens oppbygging. Kapittel 2 starter med en beskrivelse av den generelle strukturen på modellen, kort om hvilke verktøy som brukes samt avgrensninger ved modellen. Her diskuterer vi også trengsel, som er en ny komponent i persontransportmodellen, og bidrar til å skille Trenklin fra eksisterende nettverksmodeller. Kapittel 3 gir en nærmere innføring i elastisiteter. I dette kapitlet er valg og vasking av GK-elastisiteter viktig, da elastisiteter er med på å legge grunnlaget for endringer i etterspørselen etter togreiser i Trenklin. Kapittel 4 beskriver bruk av modellen, og kapittel 5 avslutter med en diskusjon av svakheter og videre arbeid.

2 Modellens oppbygging

2.1 Kort beskrivelse av modellen

Trenklin er utviklet etter ønsket om å etablere en etterspørselsmodell som tar hensyn til betydningen av trengsel på reisen, samtidig som den er enkel å bruke, basert på inkrementell trafikkvekst². Modellen beregner effekter av tilbudsrelaterte tiltak, og benytter faktisk reiseinformasjon sammen med elastisiteter til generaliserte kostnader for å finne endringen i togtrafikk og trafikantnytte for ulike strekninger. Metoden skiller seg ut fra andre modeller, blant annet ved at disse beregner trafikken også i utgangssituasjonen. En annen ulikhet er at Trenklin tar hensyn til trengsel, fordi trengsel medfører betydelig ulempe for passasjerene, og dermed økte generaliserte kostnader (GK).

Modellen er implementert i Excel og Visual Basic, og består av to regnebøker som sammen gir effekten av en tilbudsending. Dette, kombinert med en enkel modelloppbygging, gjør at beregningstiden for en typisk kjøring er redusert til om lag ett minutt. På den andre siden er det behov for en del manuelt arbeid med å legge inn riktige forutsetninger og inndata i modellen. Inndata til modellen gis ved hjelp av stasjon-til-stasjon-matriser, og hvilke stasjoner som inkluderes i matrisen og hvordan matrisen deles opp, avhenger av egne vurderinger. Det eneste kravet for bruk i Trenklin er at matrisen er kvadratisk med maksimalt 47 stasjoner, og at oppsettet er likt innenfor samme strekning. Modellen trenger stasjon-til-stasjon-matriser for trafikk, reisetid, generaliserte reisekostnader og elastisiteter på strekningen. Ved hjelp av inndata og forutsetninger om fordeling av passasjerene på retning, formål og mellom avganger, beregner Trenklin turmatriser, som danner bakgrunnen for beregning av trafikk både før og etter tiltakene. Forutsetningene sørger for at disse er fordelt på nettopp retning, formål og tidsperiode. Trenklin skiller mellom tre reiseformål, som er arbeid, tjeneste og fritid. Hvert reiseformål har ulik tidsverdi.

Som nevnt består modellen av to regnebøker, som fyller hver sin funksjon. Regneboken *Trenklin_GKberegning* brukes til å beregne utgangspunktet til reisende på strekningen. Inndata her er stasjon-til-stasjon-matriser over antall reisende, tidsbruk og generaliserte kostnader for ulike grupper reisende i rush og lavtid. I tillegg legger man inn forutsetninger som fordeler de reisende på reisehensikt og når på døgnet de reiser, samt tidsverdier og setekapasitet på strekningen i utgangspunktet. Produktet er tre regneark med generaliserte kostnader, som tar hensyn til kostnaden ved trengsel, samt trafikkfordelingen på de ulike stasjonene på strekningen, fordelt på retning og fire tidsperioder. Trafikkfordelingen gir også trengselskostnaden i utgangspunktet, før det har blitt innført noen endringer. Denne informasjonen benyttes som utgangspunkt for tiltaksberegningene i den andre regneboken, *Trenklin_Tiltaksberegning*.

² At modellen er basert på inkrementell trafikkvekst menes at en tar utgangspunkt i eksisterende trafikk og beregner endringer basert på dette.

Beregningen i regneboken Trenklin_Tiltaksberegning benytter samme prosedyre som Trenklin_GKberegning, men tar for seg situasjonen etter at man har innført tiltak. Før beregningen endres setekapasiteten i tråd med tiltaket, samt at man legger inn stasjon-til-stasjon-matrise for elastisiteter. Dette kommer i tillegg til beregningene fra Trenklin_GKberegning og øvrig informasjon om trafikk, reisetid og generaliserte kostnader (etter et evt. tiltak). Ettersom redusert trengsel medfører økt etterspørsel som igjen forventes å øke trengselen, er det implementert en iterasjonsprosess i tiltaksberegningen. Dette sikrer at resultatet er konsistent, i den forstand at endelig etterspørsel stemmer overens med endelig endring i generaliserte kostnader, inkludert trengsel og GK-elastisiteten som er benyttet.

For hver stasjon-til-stasjon-relasjon må det beregnes generaliserte kostnader. Trenklin_GKberegning beregner generaliserte kostnader knyttet til trengsel, mens øvrige generaliserte kostnader må beregnes utenfor modellen. Dette blir gjort ved å beregne en matrise over kostnadene knyttet til trafikken på/mellom stasjonene på strekningen ved hjelp av rutetabeller, ventetider, tidsverdier og andre forutsetninger. I utgangspunktet ble det beregnet matriser for de tre reisehensiktene for morgenrush, en periode midt på dagen med lav trafikk, ettermiddagsrush og kveldstrafikk. Matrisene viser at de generaliserte kostnadene stort sett er like innenfor rushtid, og tilsvarende for lavtrafikk, slik at det kun er matriser for rushtrafikk og lavtrafikk som inkluderes i modellen. Dette gir seks GK-matriser per strekning. Ettersom tiltakene kan endre noen av variablene som inkluderes i de generaliserte reisekostnadene, er det behov for å beregne GK-matriser for både referansesituasjon og situasjon etter tiltaket. Et scenario der noen av GK-variablene endres, krever med andre ord 12 GK-matriser, som alle må beregnes utenfor modellen.

I tillegg til generaliserte kostnader benyttes elastisiteten til de generaliserte kostnadene for enhver relasjon. Dette gir den prosentvise endringen i togtrafikk som følge av en prosentvis endring i GK. Modellen kan brukes med en og samme GK-elastisitet, eller med en matrise for GK-elastisiteter. Beregning av elastisitetsmatrisene diskuteres i kapittel 3.

2.1.1 Avgrensinger

- Modellen er partiell idet den kun ser på egenskaper og endringer i jernbanelmarkedet. Alle andre forhold eller politikk rettet mot lokal kollektivtransport og/eller bil, forutsettes uendret. Dette innebærer at for eksempel økt samordning mellom buss og tog (det vil si tilbringer transport) ikke tas inn i beregningene. Dersom muligheten for tilbringer til toget øker, forventes flere passasjerer og økt trengsel på toget. Disse effektene undervurderes av modellen.
- Modellen ser på hver strekning for seg. Dette innebærer at effekter av forbedret nettverk, ved bedre samordning mellom togene, slik at generaliserte reisekostnader ved overgang reduseres, ikke blir tatt med.
- Rutevalg og destinasjonsvalg inngår ikke i modellen, men tas som gitt. Dette innebærer at modellen ikke inkluderer endring i rute og destinasjonsvalg som følge av endret trengsel på toget.
- Modellen beregner ikke velferdsendringer for andre enn togtrafikanter. Den tar heller ikke inn kostnader verken til infrastruktur eller endrede driftskostnader. Dette medfører at modellen ikke kan benyttes til nyttekostnadsanalyser direkte.

2.2 Trengsel

Trenklin inkluderer kostnader knyttet til trengsel på reisen i modelleringen av togtrafikken. Dette er nytt i forhold til eksisterende regionale og nasjonale transportmodeller, og vi finner det av den grunn nødvendig med en noe grundigere presentasjon av trengsel på togreisen.

2.2.1 Verdsettinger og antagelser

Trengsel om bord påvirker opplevelsen av reisen i negativ retning. Både sittende og stående får ulempe og derigjennom høyere generaliserte kostnader når det er mange mennesker på toget, det vil si høyt belegg, slik at man må stå eller sitte trangt. For å fange opp denne ulempen er det ønskelig å implementere trengsel inn i etterspørselsmodeller. Trenklin gjør dette ved at de generaliserte kostnadene øker dersom det er trangt om sitteplassene eller man må stå på toget. Effekten av trengsel er vanskelig å anslå. I arbeidet med Trenklin er det valgt å benytte en tilnærming hvor kostnaden av trengsel på reisen gis i form av en tidsverdivekt. For å finne riktige vekter har det vært nødvendig å se på tidligere forskning og empiri.

For verdsettinger av selve reisetiden knyttet til reisen er modellen basert på input fra den nasjonale verdsettingsstudien (Samstad mfl. 2010). Rapporten presenterer verdsetting av sitteplass på hele eller deler av reisen, men dette formatet egner seg ikke som input i Trenklin. Istedenfor å endre formatet, er det valgt å benytte andre kilder. Rapporten av Wardman og Whelan (2011) oppsummerer resultater fra 17 britiske studier av verdsettingen av trengsel på jernbane, utført de siste tjue årene, og gir dermed et godt grunnlag for beregninger av tidsverdivekter. En vesentlig styrke ved rapporten er bredden i resultatene som presenteres, og at verdsettingen framstilles som en tidsverdivekt istedenfor en verdi i seg selv. Det vil si at verdien av spart reisetid er ulik og avhenger av trengsel. Utgangspunkt for sammenlikning av kostnaden ved trengsel er en reisende med sitteplass og ingen opplevd trengsel, som gir en vekt lik 1,00. Slike vekter er, som forfatterne argumenterer for, mer overførbare mellom ulike forhold og steder enn tidsverdier, i tillegg til at de er mer anvendbare.

Metoden som er benyttet i de ulike verdsettingsstudiene er nesten utelukkende Stated Preference. Samlet viser verdiene fra de ulike studiene at vekten av trengsel for passasjerer som har sitteplass varierer, og det oppgis verdier mellom 1 og 1,78. Tidsverdien av trengsel øker også jo færre ledige sitteplasser som er igjen på strekningen. Også her er det noe ulik fordeling mellom studiene. Bropraten rapporterer maksimale vekter i underkant av 1,4, mens det er flere som rapporterer maksimale vekter som kun er litt over 1. To studier finner maksimale vekter som er over 1,46. Dersom alle sitteplassene er tatt, er tidsverdivekten enda høyere. For situasjoner der alle sitteplassene er opptatt, men det er fortsatt god plass blant de stående, rapporteres det om trengselsvekter mellom 1,23 og 1,66 for de som sitter. For fullt tog er de to høyeste vektene som er rapportert henholdsvis 2,25 og 2,28. De resterende studiene som skiller på graden av trengsel finner vekter mellom 1,5-1,69 for sittende, når det er et helt fullt tog.

For passasjerer som må stå på reisen er tidsverdivekten generelt noe høyere enn for de som sitter. Wardman og Whelan (2011) rapporterer om trengselsvekter fra 1,36 til 2,52 for ståplasser, når det er god plass på toget. For studiene som skiller på grad av trengsel ligger de laveste vektene (når man har god plass, til tross for at man må stå)

mellom 1,36 og 2,51, mens de høyeste vekten ligger mellom 1,84 og 3,47, og gjelder for stående på et helt fullt tog.

Wardman og Whelan (2011) utfører i tillegg en egen metaanalyse, hvor de inkluderer resultatene fra alle studiene som er inkludert i rapporten. De tester tre modellformuleringer, og foretrekker en modellvariant der de har gjort forskjellige grep for å kontrollere for antatte svakheter ved utføringen av de forskjellige britiske studiene. Her skiller det mellom arbeidsreise og fritidsreise når tidsvektene presenteres. Et utvalg av resultatene for tidsverdivektene gis i tabell 2.2.

Tabell 2.2 *Vekter, Wardman og Whelan (2011).*

| Sittende | | | Stående | | |
|----------|---------|--------|---------|---------|--------|
| Belegg | Pendler | Fritid | Belegg | Pendler | Fritid |
| 50 | 0,86 | 1,04 | | | |
| 100 | 1,05 | 1,26 | 100 | 1,62 | 1,94 |
| 150 | 1,27 | 1,53 | 150 | 1,99 | 2,39 |
| 200 | 1,55 | 1,86 | 200 | 2,44 | 2,93 |

Metodene og resultatet fra studien har gitt et utgangspunkt for beregning av trengselskostnader i Trenklin. Det har vært nødvendig å gjøre noen tilpasninger, blant annet å kompromisere i forhold til tid og analysevennlighet, og det er valgt å benytte en lineær funksjon. Under beregningen av trengselsvekter skiller det ikke på reisehensikt, dels av praktiske hensyn og dels at resultatene for ulike formål ikke er veldig ulike. Resultatet fra eget arbeid med trengselsvektene er som følger:

For sittende finner vi et skille ved et belegg på 70 %. Dersom belegget er under 70 % er det ingen ekstra kostnad som følge av trengsel, og trengselsvekten for sittende antas lik 1. Ved et belegg over 70 % begynner de sittende å merke trengselen, og trengselsvekten gis av en lineær sammenheng gitt av konstantledd, som er satt lik 0,65 ved hjelp av ovennevnt empiri, og påslaget av belegg, der påslaget gis av en verdi, b . Påslaget avhenger av togtypen, ettersom ulike togtyper har forskjellig mengde gulvplass i forhold til antall sitteplasser (se tabell 2.3). Dette gir følgende funksjon for beregning av tidsverdivekter av trengsel for sittende passasjerer.

$$\text{Hvis belegg} < 70 \% : \text{Vekt}_{\text{sittende}} = 1$$

$$\text{Hvis belegg} > 70 \% : \text{Vekt}_{\text{sittende}} = 0,65 + b \cdot \text{belegg i prosent}$$

For at funksjonen skal bli operasjonell er den angitt i sitteplasser i stedet:

$$\text{Hvis antall passasjerer} < \text{Antall sitteplasser} \cdot 0,7 : \text{Vekt}_{\text{sittende}} = 1$$

$$\text{Hvis belegg} > 70\% : \text{Vekt}_{\text{sittende}} = 0,65 + b \cdot \frac{\text{passasjerer}}{\text{sitteplasser}} \cdot 100$$

Merk at med denne funksjonen starter trengselsulempen før alle sitteplassene er tatt, samt at trengselsvekten alltid vil være over 1, gitt et belegg over 70 %. For stående passasjerer får vi følgende funksjon, hvor 1,76 er konstantleddet fra metoden over, og c er påslaget på belegg for stående:

$$\text{Vekt}_{\text{stående}} = 1,76 + c \cdot \left(\frac{\text{passasjerer} - \text{sitteplasser}}{\text{sitteplasser}} \right) \cdot 100$$

Konstantleddet for stående er høyere enn for sittende. Det antas med andre ord å være en ulempe av å stå framfor å sitte, uavhengig av trengselen. Videre øker ulempen lineært med graden av stående passasjerer i forhold til antall sitteplasser. Vi

har antatt at et helt fullt tog inntreffer ved 6 personer per kvadratmeter. Dersom dette er tilfellet, er tidsverdivekten 2,7 for stående og 1,7 for sittende.

Vi benytter et eksempel for å illustrere utregningen av trengselsvekt for sittende og stående passasjerer:

Vi tar utgangspunkt i togtype 69 A – BM 69 A fra tabell 1. Denne togtypen har 96 seter med et stå-areal lik 22,80kvm. Under forutsetning om at toget er fullt med 6 personer per kvadratmeter får vi maks 137 stående, som gir et maksimalt belegg på 2,43. Informasjon om togtypen benyttes til å beregne påslaget for økt belegg om bord i toget, b og c . Beregningene som er gjort presenteres i tabell 2.3. Påslaget er ganget opp med 100, slik at belegget kan oppgis som en andel istedenfor prosent. Påslaget er hhv 0,43 og 0,64 for sittende og stående (gitt i tabell 2.3). Verdiene settes inn i funksjonene for trengselsvekt, og vi får følgende likninger for å beregne den ekstra kostnaden av trengsel, til ulike belegg på togtype 69 A – BM 69:

$$\text{Sittende} : 0,65 + \text{belegg} * 0,43 ; \text{min } 1$$

$$\text{Stående} : 1,79 + (\text{belegg} - 1) * 0,64$$

Ettersom et belegg på 2,43 medfører fullt tog, kan vi for eksempel finne trengselsvekten for stående og sittende ved et nesten fullt tog. Vi benytter et belegg lik 2. Dette gir:

$$\begin{aligned} \text{Vekt}_{\text{sittende}} &= 0,65 + 2 * 0,43 ; \text{min } 1 \\ &= 0,65 + 0,86 = 1,51 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vekt}_{\text{stående}} &= 1,79 + (2 - 1) * 0,64 \\ &= 1,79 + 0,64 = 2,43 \end{aligned}$$

Merk at trengselsfunksjonen er den samme for ett eller flere sett vogner, så lenge antall sitteplasser og gulvarealet er det samme i hver vogn. Det er også verdt å merke seg at trengselsfunksjonen bygger på antakelser som er gjort om passasjerenes opplevelse av trengsel og egenskaper ved jernbane som transportmiddel. Dersom man endrer antakelser og forutsetninger vil man oppnå andre verdier i trengselsfunksjonen.

Tabell 2.3: Påslag i trengselsfunksjonen for de ulike togtypene (JBV, 2013). Beregnet påslag er ganget opp med 100 i tabellen.

| Hovedtype | Undertype | Seter (eks. klappseater) | Ståareal (kvm) | Maks ståplasser | Beleggsfaktor ved crunch | Påslagsfaktor sittende, beregnet | Påslagsfaktor stående, beregnet |
|---------------|-----------|--------------------------|----------------|-----------------|--------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| TYPE 69 A | BM 69 A | 96 | 22,80 | 137 | 2,43 | 0,0043 | 0,0064 |
| | BS 69 A | 93 | 22,80 | 137 | 2,47 | 0,0042 | 0,0062 |
| TYPE 69 B | BM 69 B | 96 | 22,80 | 137 | 2,43 | 0,0043 | 0,0064 |
| | B 69 B | 104 | 15,70 | 94 | 1,91 | 0,0055 | 0,0100 |
| | BS 69 B | 108 | 18,60 | 112 | 2,03 | 0,0052 | 0,0088 |
| TYPE 69 CII | BM 69 CII | 96 | 22,80 | 137 | 2,43 | 0,0043 | 0,0064 |
| | B 69 CII | 107 | 27,00 | 162 | 2,51 | 0,0042 | 0,0060 |
| | BS 69 CII | 89 | 24,40 | 146 | 2,64 | 0,0040 | 0,0055 |
| TYPE 69 DI-IV | BM 69 D | 96 | 21,70 | 130 | 2,36 | 0,0045 | 0,0067 |
| | B 69 D | 114 | 24,60 | 148 | 2,29 | 0,0046 | 0,0070 |
| | BS 69 D | 93 | 21,80 | 131 | 2,41 | 0,0044 | 0,0065 |
| TYPE 69 E | BFM 69 E | 36 | 12,80 | 77 | 3,13 | 0,0034 | 0,0043 |
| | B 69 E | 76 | 24,60 | 148 | 2,94 | 0,0036 | 0,0047 |
| | BCS 69 E | 60 | 21,80 | 131 | 3,18 | 0,0033 | 0,0042 |
| TYPE 70 | BFM 70 | 40 | 8,00 | 48 | 2,20 | 0,0048 | 0,0076 |
| | B 70 | 80 | 15,80 | 95 | 2,19 | 0,0048 | 0,0077 |
| | AB 70 | 38 | 10,50 | 63 | 2,66 | 0,0040 | 0,0055 |
| TYPE 72 | BMA | 76 | 9,90 | 59 | 1,78 | 0,0059 | 0,0116 |
| | BMB | 76 | 9,90 | 59 | 1,78 | 0,0059 | 0,0116 |
| | BP | 84 | 15,10 | 91 | 2,08 | 0,0051 | 0,0084 |
| | BC | 69 | 9,90 | 59 | 1,86 | 0,0056 | 0,0106 |
| TYPE 73A | BM 73 | 56 | 11,10 | 67 | 2,19 | 0,0048 | 0,0077 |
| | BFR 73 | 36 | 5,10 | 31 | 1,85 | 0,0057 | 0,0107 |
| | BMU 73 | 78 | 11,50 | 69 | 1,88 | 0,0056 | 0,0103 |
| | BFM 73 | 38 | 8,80 | 53 | 2,39 | 0,0044 | 0,0065 |
| TYPE 73B | BM 73B | 46 | 6,50 | 39 | 1,85 | 0,0057 | 0,0107 |
| | B 73B | 74 | 11,80 | 71 | 1,96 | 0,0054 | 0,0095 |
| | BMU 73B | 78 | 11,50 | 69 | 1,88 | 0,0056 | 0,0103 |
| | BFM 73B | 44 | 9,50 | 57 | 2,30 | 0,0046 | 0,0070 |
| TYPE 74 | BMa | 54 | 13,10 | 79 | 2,46 | 0,0043 | 0,0063 |
| | BMb | 54 | 13,10 | 79 | 2,46 | 0,0043 | 0,0063 |
| | BCMU | 46 | 13,50 | 81 | 2,76 | 0,0038 | 0,0052 |
| | BPa | 66 | 14,60 | 88 | 2,33 | 0,0045 | 0,0069 |
| | BPb | 53 | 13,00 | 78 | 2,47 | 0,0042 | 0,0062 |
| TYPE 75 | BMa | 56 | 12,90 | 77 | 2,38 | 0,0044 | 0,0066 |
| | BMb | 56 | 12,50 | 75 | 2,34 | 0,0045 | 0,0068 |
| | BCMU | 48 | 11,80 | 71 | 2,48 | 0,0042 | 0,0062 |
| | BPa | 69 | 14,60 | 88 | 2,27 | 0,0046 | 0,0072 |
| | BPb | 66 | 14,20 | 85 | 2,29 | 0,0046 | 0,0070 |
| TYPE 92 | BM | 68 | 11,40 | 68 | 2,01 | 0,0052 | 0,0090 |
| | BS | 68 | 11,40 | 68 | 2,01 | 0,0052 | 0,0090 |
| TYPE 93 | BM | 48 | 8,50 | 51 | 2,06 | 0,0051 | 0,0086 |
| | BCM | 30 | 14,50 | 87 | 3,90 | 0,0027 | 0,0031 |

2.2.2 Metode for beregning av trengsel

For å ta hensyn til effekten av en endring i trengsel på strekningen som følge av innførte tiltak, er vi nødt til å implementere trengsel i modellen. Dette gjør vi ved å beregne en matrise med totale tidsverdivekter for alle relasjoner, som avhenger av belegget på strekningen, og inkluderer dette med de generaliserte reisekostnadene på strekningen. Ettersom passasjerer kan gå fra stående til sittende passasjerer, kreves en mer omfattende utregning av totale tidsverdivekter mellom stasjoner på en strekning. Utledningene i forbindelse med betydningen av trengsel tar utgangspunkt i den kjente reisematriksen, det kjente antallet seter, den kjente reisetiden samt variablene for vektning av trengsel for sittende og stående fra trengselsfunksjonen (kapittel 2.3.1). Beregningen baserer seg på følgende tre forutsetninger:

Forutsetning 1: De som får sitteplass blir sittende fra og med det tidspunkt de får plass, til de stiger av toget.

Forutsetning 2: Når sittende passasjerer går av toget fyller stående passasjerer opp sitteplassene. Dersom det er flere ledige seter får eventuelt nye påstigende muligheten til å kapre et sete.

Forutsetning 3: Alle sitteplasser opptas før passasjerer begynner å stå. Dette avviker i noen grad fra observert adferd, men anses som en akseptabel tilnærming. Dersom en passasjer velger å stå, til tross for at det er ledige sitteplasser, må det antas at passasjerens ulempe av å stå er mindre enn av å sitte.

Metoden for beregning av total tidsverdivekt av trengsel blir gjort for alle tidsperioder og retninger, samt på alle relasjoner i reisematriksen. Vi utnytter tall for antall av- og påstigende på stasjonene på en strekning, og beregner belegget på hver strekning og videre sannsynligheten for å få sitteplass på toget eller ikke. Teorien bak utregningen er nærmere beskrevet i vedlegg 2, sist i rapporten. Oppsummert vet vi at en person som går på toget har to muligheter. Vedkommende kan enten gå på som sittende, eller som stående. Går man på som stående har man ved hver nye stasjon mulighet til å ta en sitteplass, noe som må tas hensyn til i beregningene. Vi kan altså uttrykke den totale tidsverdivekten av trengsel som et sannsynlighetsveid gjennomsnitt av tidsverdivekten for å sitte og stå:

$$TV^{ij} = TV_{sit}^{ij} \cdot p_{sit}^i + TV_{stå}^{ij} \cdot p_{stå}^i$$

Likningen gir den total tidsverdivekten av trengsel mellom stasjon i og j, som avhenger av sannsynligheten for å stå eller få sitteplass når man stiger på. Hvor TV_{sit}^{ij} er tidsverdivekten av trengsel for sittende og $TV_{stå}^{ij}$ er tidsverdivekten av å stå på strekningen. I formelen bak $TV_{stå}^{ij}$ er det også inkludert en sannsynlighet for å kapre sitteplasser underveis. Teorien bak tidsverdivekten for trengsel diskuteres nærmere i vedlegg 3.

3 Elastisiteter

Trenklin benytter elastisiteter av generaliserte kostnader (GK) som endringsvariable for beregningen av effekten av innførte tiltak. Begrunnelsen for dette er at i hvilken grad tiltakene som blir modellert får innvirkning på trafikken, avhenger av hvordan tiltakene slår inn på GK. Dette gis av elastisiteten til de generaliserte kostnadene. Elastisitetene som benyttes i modellen er basert på elastisiteter fra nettverksmodellene RTM og NTM. Disse har blitt hentet inn gjennom en spesiell applikasjon som er utviklet av SINTEF.

3.1.1 Generelt om GK-elastisiteter

GK-elastisiteter varierer med hvilke og hvor mange komponenter som inngår i GK. GK-elastisitetene er hentet fra RTM/NTM, hvor billettpris, tilbringertid, ventetid, reisetid og byttekostnad inngår som komponenter. I Trenklin tekkes vi også inn trengsel i de generaliserte kostnadene. Dette endrer måten GK er definert, og GK-elastisiteten endrer seg tilsvarende.

GK-elastisitetene er ikke nødvendigvis velegnet for å beregne effekter av trengsel. Generelt vil å inkludere flere komponenter i GK-definisjonen øke GK-elastisiteten, noe som illustreres via et tenkt eksempel i tabellen under. For at en prisendring skal ha samme etterspørselseffekt uansett hvordan GK defineres, må GK-elastisiteten justeres, som beskrevet foran. Når man i denne første fasen av modellutviklingen benytter de samme GK-elastisiteter uten trengselseffekten (GK-elastisiteten skulle vært høyere hvis trengsel inngår), kan vi si at trengselsmodellen beregner konservative etterspørselseffekter av trengsel.

Tabell 3.1: Eksempel på hvordan GK-elastisitet øker jo flere komponenter som inngår i GK

| GK-definisjon.. | ..gir GK lik | GK-elastisitet |
|------------------------------|--------------|----------------|
| GK = pris | 50 | -0,9 |
| GK = pris+tid | 100 | -1,8 |
| GK = pris+tid+bytte | 150 | -2,7 |
| GK = pris+tid+bytte+trengsel | 175 | -3,85 |

I Trenklin benyttes billettpris, tilbringertid, ventetid, reisetid og byttekostnad, som komponentene i GK.

3.2 Vurdering av GK-elastisiteter i modellen

Modellen benytter GK-elastisiteter som er beregnet ved hjelp av linje- og buelastisiteter. Disse beregnes med grunnlag i GK_0 , GK_1 , Q_0 og Q_1 , hvor GK er generaliserte reisekostnader, Q er etterspørsel, 0 er basissituasjonen og 1 er med tiltaket. Det er regnet GK-elastisiteter med utgangspunkt i tre modellkjøringer: halvert headway, 10 prosent frekvensforbedring og 10 prosent reisetidsforbedring.

Bueelastisitet beregner en konstant elastisitet mellom basis- og ettersituasjonen, mens linjeelastisitet beregner en gjennomsnittlig elastisitet mellom punktene.

$$\text{Bueelastisitet: } \frac{\ln Q_1 - \ln Q_2}{\ln GK_1 - \ln GK_2}$$

Vi ser at bueelastisitet ikke er definert for observasjoner av 0 (null) fordi $\ln(0)$ ikke er definert. Derfor kan ikke bueelastisiteter beregnes hvis GK eller etterspørsel er null i basis- eller ettersituasjonen.

3.2.1 Ta utgangspunkt i kjente elastisiteter og faktorenes andel i GK

En vanlig måte å beregne elastisiteter som ikke er kjent, er implisitte elastisiteter. Kjenner man for eksempel ikke til etterspørselseffekten av trengsel, men av reisetid, kan man beregne effekten av trengsel implisitt ved hjelp av forholdstallet mellom trafikantenes verdsetting av trengsel og verdsetting av tid. Denne metoden har imidlertid noen svakheter. I rapporten *Tilbuds- og etterspørselsammenhenger i jernbanesektoren* påviste Fearnley mfl. (2013) at etterspørselseffekter ikke nødvendigvis reflekteres i GK eller verdsetting. Forsinkelser er en stor belastning for de reisende, og vil vanligvis ha en høy vekt i verdsettingsstudier og i GK-beregninger. Samtidig er den begrensede empirien relativt klar på at punktlighet ikke slår ut i endret etterspørsel i samme grad.

En tilsvarende tilnærming vil dermed være å benytte en kjent elastisitet (for eksempel priselastisitet) og denne faktorens (prisens) andel av beregnet GK, slik at

$$\frac{P}{GK} = \frac{\epsilon_p}{\epsilon_{GK}} \Rightarrow \epsilon_{GK} = \epsilon_p \frac{GK}{P}$$

Der p er pris, ϵ_p er priselastisitet, ϵ_{GK} er elastisitet med hensyn til GK.

To eksempler:

$$p=80, \epsilon_p = -0,7, GK \text{ er } 300. \epsilon_{GK} = -0,7 * 300/80 = 2,625$$

$$p=80, \epsilon_p = -0,7, GK \text{ er } 600. \epsilon_{GK} = -0,7 * 600/80 = 5,25$$

Vi kan dermed anslå størrelsen på GK-elastisiteten implisitt ved hjelp av andre, kjente elastisiteter. Fearnley mfl. (2012,) oppsummerer en del elastisiteter som er beregnet for norske og utenlandske togmarkeder. De fleste studier anslår priselastisiteter mellom -0,6 og -1,2. Priselastisitet på -1,0 synes å være et midtpunkt. Dette kan benyttes inn i formelen over, og brukes som pekepinn for våre forventninger. GK-elastisitetsestimater som gir utledet priselastisitet mellom -0,6 og -1,2 kan anses som innenfor forventet spenn, mens priselastisitet mellom -0,4 og -1,5 kan anses som akseptable.

På samme måte kan elastisiteter for de enkelte elementene som inngår i GK beregnes "baklengs". $\epsilon_{\text{trengsel}}$ kan beregnes som $\epsilon_{GK} * GK_{\text{trengsel}}/GK$, altså multiplisere GK-elastisiteten med trengselens andel av total GK.

3.2.2 Forventede elastisiteter

GK-elastisiteten varierer med hvordan GK er definert. Derfor gir det ingen mening å søke i litteraturen etter empiriske studier og bruke allerede beregnede GK-elastisiteter som forventningsverdi. For å illustrere dette kan vi bruke et eksempel hvor vi antar at priselastisiteten i et marked er -1,1. En takstreduksjon på 5 prosent vil da gi

passasjervekst på 5,6 prosent. Prisen inngår i GK sammen med andre elementer, omgjort til tidsverdi. En tenkt reiserelasjon kan beskrives med GK lik 200, når GK er definert som pris+ventetid+reisetid. I tillegg inkluderer vi en trengselsulempe i GK-definisjonen, slik at GK på den samme reisen, men inkludert trengsel, blir lik 300. For at en fem prosents takstreduksjon skal ha samme etterspørselseffekt (5,6 prosents økning), må GK-elasticiteten være forskjellig avhengig av om trengselsulempe inngår i GK-beregningen eller ikke.

I prinsippet kan det søkes i litteraturen og i prosjekter etter situasjoner der GK er definert på nøyaktig samme måte som i dette prosjektet. I praksis er dette en stor jobb som bare delvis tilfredsstillende behovene våre, ikke minst fordi konteksten ikke vil være perfekt overførbart.

3.2.3 Variasjoner mellom reisehensikter

Det generelle bildet i togmarkedet, både i Norge og utlandet, er at fritidsreiser har en noe mer elastisk etterspørsel enn arbeidsreiser, og at tjenestereiser er lite prisfølsomme. Bildet er imidlertid ikke like tydelig som innen lokal kollektivtransport. Regelmessige, lange reiser med tog innebærer at endringer får stor betydning for en families tids- og økonomiske budsjett. Togpendlere er derfor relativt sensitive til endringer i tilbud og takster. Når det gjelder forretningsmarkedet, vil antakelig forbedringer i reisetid og punktlighet ha større etterspørselseffekt enn redusert pris. Dette reflekteres i høyere verdsetting av reisetid, frekvens og bytte.

Det er lite empiri å bygge på for å finne forventninger om tjenestereisendes priselastisitet. Vi bygger derfor på PDFH³-tall som er gjengitt i TØI-rapport 1244/2012, samt på metaanalyse av britiske studier gjengitt i vedlegg til «The Demand for public transport: a practical guide» (Wardman og Shires, 2004). Fra første kilde kan det beregnes at prisfølsomheten til tjenestereisende i snitt er 0,64 ganger prisfølsomheten til fritidsreisende. Metaanalysen til Wardman og Shires viser at tjenestereiser har prisfølsomhet som er 0,54 ganger prisfølsomheten til fritidsreisende. Vi benytter gjennomsnittet av disse faktorene, slik at prisfølsomheten til tjenestereisende settes lik 0,59 ganger prisfølsomheten til fritidsreisende.

For øvrig kan vi forvente liten variasjon i elasticiteter mellom reisehensiktene arbeidsreiser og fritidsreiser.

Anbefalte elasticiteter som legges til grunn for beregning av elasticiteter til modellen blir da:

Tabell 3.2 Forventet priselastisitet

| | Arbeidsreiser | Tjenestereiser | Fritidsreiser |
|---------------------------|---------------|----------------|---------------|
| Forventet priselastisitet | -0,9 | -0,65 | -1,1 |

Vår metode gjør at de beregnede elasticitetene er asymmetriske, altså at GK-elasticiteten fra A til B er ulik den fra B til A.

3.2.4 Relasjoner med null passasjerer i basissituasjonen

Tabellen under viser et eksempel på arbeidsreiser i basissituasjonen på Oslo-Ski, slik de inngår i beregningen av elasticiteter. De røde cellene inneholder tallet null. Særlig

³ Passenger Demand Forecasting Handbook

stasjonene Rosenholm og Ljan er preget av nuller, men også et par andre stasjoner er røde.

Tabell 3.3 Eksempel på antall arbeidsreiser (årlig).

| Reiser før | Skøyen | Oslo S | Nordstrand | Ljan | Hauketo | Holmlia | Rosenholm | Kolbotn | Solbråtan | Myrvoll | Greverud | Oppegård | Vevelstad | Langhus | Ski | |
|------------------|---------|-----------|------------|-------|---------|---------|-----------|---------|-----------|---------|----------|----------|-----------|---------|--------|---------|
| Skøyen | - | 1 094 635 | 397 120 | 5 406 | - | 16 505 | 39 712 | - | 20 491 | 5 895 | 2 960 | 9 512 | 11 410 | 17 633 | 1 263 | 31 762 |
| Nationaltheatret | 617 215 | - | 44 238 | - | - | 48 801 | 124 100 | - | 43 399 | 18 403 | 9 140 | 30 339 | 34 160 | 59 970 | 4 088 | 37 194 |
| Oslo S | 166 294 | 60 554 | - | 2 387 | - | 118 370 | 309 995 | - | 113 187 | 42 961 | 24 532 | 73 986 | 85 374 | 143 117 | 10 669 | 437 270 |
| Nordstrand | 4 971 | - | 6 617 | - | - | 405 | 1 836 | - | 843 | 398 | 303 | 675 | 872 | 1 088 | 332 | 2 015 |
| Ljan | - | - | - | - | - | - | 945 | - | 124 | 117 | 73 | - | 350 | 274 | 69 | 909 |
| Hauketo | 21 915 | 41 245 | 113 150 | - | - | - | 2 011 | - | 5 643 | 2 624 | 1 270 | 3 011 | 4 566 | 5 395 | 358 | 4 891 |
| Holmlia | 35 555 | 91 652 | 213 744 | 1 814 | - | 1 566 | - | - | 6 150 | 3 489 | 1 314 | 2 621 | 4 066 | 4 657 | 281 | 19 093 |
| Rosenholm | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 110 |
| Kolbotn | 19 564 | 50 078 | 135 634 | 548 | - | 4 413 | 7 826 | - | 5 486 | 2 997 | 5 793 | 7 457 | 8 545 | 456 | 31 883 | |
| Solbråtan | 1 215 | - | - | 548 | - | 1 672 | 1 705 | 237 | - | 1 646 | 2 040 | 4 281 | 4 336 | 281 | 6 413 | |
| Myrvoll | 354 | 1 037 | 2 800 | 237 | 55 | 332 | 387 | 99 | 106 | 277 | - | 694 | 2 070 | 1 960 | 139 | 4 595 |
| Greverud | 16 334 | 42 815 | 102 018 | 734 | - | 3 464 | 2 957 | - | 4 132 | 1 033 | - | 6 731 | 4 176 | 270 | 13 688 | |
| Oppegård | 16 257 | 46 903 | 100 777 | 916 | - | 5 508 | 3 964 | - | 7 227 | 1 562 | 916 | 6 658 | - | 6 749 | 1 029 | 23 313 |
| Vevelstad | 25 462 | 81 797 | 173 375 | 1 237 | - | 7 435 | 4 855 | - | 10 337 | 1 471 | 1 267 | 5 026 | 7 274 | - | - | 24 448 |
| Langhus | 1 843 | 5 993 | 13 366 | 420 | 37 | 464 | 285 | 183 | 515 | 442 | 380 | 245 | - | - | - | 1 066 |
| Ski | 32 540 | 34 562 | 494 575 | 1 478 | - | 4 960 | 16 589 | - | 35 369 | 3 508 | 1 701 | 14 363 | 22 243 | 20 998 | 1 212 | - |

Med null passasjerer i basissituasjonen, som åpenbart er galt tall, kan ikke elastisiteter beregnes med utgangspunkt i Q_0 . Vi anbefaler å benytte beregningsmetoden som for med kjent priselastisitet for alle disse cellene.

Nedre og øvre grenser

Null-beregninger, altså GK-elasiteter som er lik eller svært nær null, er antakelig gale⁴. En pragmatisk måte å sette nedre grense for GK-elasiteter er å ta utgangspunkt i laveste forventede priselastisitet. Vi har nevnt at lokal kollektivtransport har mindre følsom etterspørsel enn (regionale) tog. Gjeldende anbefaling, eller tommelfingerregel for lokal kollektivtransport, er priselastisitet lik -0,4 (Ruud, Fearnley mfl. 2005). Setter vi det inn i formelen foran, får vi

$$\varepsilon_{GK} \geq \left| -0,4 \frac{GK}{P} \right|$$

Som spesifisert litt annerledes sier at absoluttverdien av priselastisiteten skal være minst 0,4:

$$\varepsilon_p = \varepsilon_{GK} \frac{P}{GK} \geq |-0,4|$$

Å definere en øvre grense for elastisitetene er vanskeligere, da det er mindre empiri å lene seg på. En pragmatisk tilnærming er å forutsette at GK-elasiteten ikke kan defineres slik at priselastisiteten blir større enn et visst nivå, for eksempel -1,5, jamfør foran:

$$\varepsilon_{GK} \leq \left| -1,5 \frac{GK}{P} \right|$$

som spesifisert litt annerledes gir kriteriet om at absoluttverdien av priselastisiteten skal være maks 1,5.

$$\varepsilon_p = \varepsilon_{GK} \frac{P}{GK} \leq |-1,5|$$

⁴ Skjønt, med stor, undertrykket etterspørsel eksempelvis på grunn av fulle tog, kan en takstendring resultere i uendret etterspørsel (fortsatt fulle tog) og tilsynelatende ingen etterspørselseffekt. Negative elastisiteter kan være riktige, hvis folk bytter stasjon. Dette fanges ikke opp i modellen, da alle tilpasninger gjøres samtidig. Elastisitetene er dermed prosentvis endring i etterspørsel på relasjon som følge av prosentvis endring i GK på hele nettet.

I dette arbeidet legges følgende maks- og min-priselastisiteter til grunn:

Tabell 3.4 priselastisiteter.

| | Arbeidsreiser | Tjenestereiser | Fritidsreiser |
|---------------------------|---------------|----------------|---------------|
| Forventet priselastisitet | -0,9 | -0,65 | -1,1 |
| Maks priselastisitet | -1,5 | -0,89 | -1,5 |
| Min priselastisitet | -0,4 | -0,24 | -0,4 |

3.2.5 Prosedyre for vasking av elastisiteter

Prosedyren for å vaske elastisitetene defineres på følgende måte i regnearkene (her arbeidsreiser), der $\bar{\varepsilon}_{GK}$ er GK-elastisiteten som er beregnet med formelen for linjeelastisitet og med utgangspunkt i GK_0 :

Hvis $Q_0 = 0$ er $\varepsilon_{GK} = \varepsilon_p \frac{GK_0}{P}$, der ε_p er anbefalt verdi jf foran.

Dersom

$$\text{Hvis } \bar{\varepsilon}_{GK} > -0,4 \frac{GK_0}{P} \text{ er } \varepsilon_{GK} = -0,4 \frac{GK_0}{P}$$

Eller:

$$\text{Hvis } \bar{\varepsilon}_{GK} < -1,5 \frac{GK_0}{P} \text{ er } \varepsilon_{GK} = -1,5 \frac{GK_0}{P}$$

Ellers:

$$\varepsilon_{GK} = \bar{\varepsilon}_{GK}$$

Med ord kan dette beskrives slik:

Hvis etterspørsel i basissituasjon er null, beregnes GK-elastisitet som forventet elastisitet, med utgangspunkt i anbefalt priselastisitet.

Hvis beregnet GK-elastisitet innebærer at priselastisiteten er utenfor min- og maksområdene som vi anser akseptabelt, justeres GK-elastisiteten til hhv min og maks aksepterte nivå.

Ellers:

Behold beregnet GK-elastisitet.

Med denne prosedyren og med eksempelet halv headway for arbeidsreiser Oslo-Ski blir ca 25 prosent av elastisitetsberegningene justert opp og 33 prosent justeres ned, mens de resterende ca 43 prosentene oppfyller $\varepsilon_{GK} = \bar{\varepsilon}_{GK}$, altså at beregnet elastisitet er innenfor akseptert intervall og beholdes. Å øke grensen for priselastisitet til -2,0 vil medføre at halvparten av beregningene aksepteres.

Prosedyren er laget med primært formål å finne en pragmatisk løsning på problemet med at mange GK-elastisitetsberegninger blir veldig høye eller veldig lave. Det er betydelig rom for å forbedre prosedyren, både i form av tilnærming og ved nærmere drøfting av terskel-elastisitetene (avledet priselastisitet må ligge mellom -0,4 og -1,5).

3.3 Elastisiteter fra nettverksmodellene

SINTEF har utviklet en applikasjon som benytter resultater fra nettverksmodellene og produserer etterspørsel og tilbudsdata mellom jernbanestasjoner. Når denne

applikasjonen brukes for ulike scenarioer og tilbudsendringer, får man data som kan benyttes til å utlede elastisiteter på relasjonsnivå. Utgangspunktet for alle elastisitetsberegninger er kjøring av basisscenario og tiltaksscenario i regional persontransportmodell for Dom IC. I tiltaksscenarioet er frekvensen for tog doblet i forhold til frekvensen i basisscenarioet.

Elastisitetene som utledes varierer imidlertid betydelig, og mange av dem befinner seg utenfor intervallet som kan anses som rimelig. Det er store retningsskjevheter og påfallende store variasjoner mellom elastisiteter for etterspørsel som funksjon av generalisert reisekostnad og elastisiteter som funksjon av frekvens. I de neste kapitlene diskuteres det litt nærmere hvorfor disse variasjonene forekommer, inkludert et forslag til tilpasning for å utbedre dette.

3.3.1 Vurdering av metode

RTM beregner beste rute mellom grunnkretser, og nettutlegger trafikken i all hovedsak på denne beste ruten. Grunnkretsens geografiske plassering vil være avgjørende for hvilke holdeplasser og transportformer som velges. Det er derfor viktig at LOS⁵-data inneholder beste rutevalg og gir et konsistent datagrunnlag fra trafikantnyttberegningene. Fordi nettverksmodellene inneholder en meget finmasket sonestruktur, vil nok overordnet fordeling mellom ulike transportformer være rimelig jevn der det er en reell konkurranseflate mellom tog og buss. På enkeltrelasjoner vil modellene derimot være følsomme, og passasjertallene kan variere betydelig med litt tilfeldige variasjoner i grunnkretsens geografiske plassering i nettverket og kvaliteten på det kodete kollektivtilbudet. For å sikre at passasjertallene ikke blir altfor følsomme for små endringer i tilbudet, kan det derfor være hensiktsmessig å åpne opp modellen for mer utstrakt bruk av alternative ruter. I tillegg kan man bruke en logitbasert fordeling av passasjerer på ulike ruter, når man har som mål å beregne relasjonsbaserte etterspørselastisiteter.

3.3.2 Valg av GK-elastisiteter beregnet med ulike RTM-kjøringer

I utviklingsarbeidet ble det gjort tre ulike RTM-kjøringer: halvert headway, 10 prosent frekvensforbedring og 10 prosent rutetidsforbedring, og forhåpningene var at elastisitetene skulle ligge i samme område, uavhengig av hvilken kjøring de ble beregnet med. Så er ikke tilfelle, av ulike grunner. Stasjoner som betjenes av ulike togtilbud, eksempelvis både lokaltog og regiontog, er én utfordring ved beregning av GK. Modellens håndtering av valg mellom ulike kollektive transportmidler, er en annen. Passasjertallgrunnlaget og fordeling mellom stasjoner – særlig mellom nærliggende stasjoner i Oslo sentrum – er antakelig også en kilde til feil og avvik.

Slik etterspørselastisiteter vanligvis beregnes og tolkes, skal de ta utgangspunkt i *små endringer*. Halvering av tid mellom avganger er utenfor hva vi kan kalle en marginal endring. Likevel er det GK-elastisitetene som beregnes med denne kjøringen som er mest troverdige. Kjøringen med 10 prosent frekvensforbedring på arbeidsreiser Oslo-Ski gir med bare noen få unntak GK-elastisitetsberegninger på 0, og et relativt stort antall beregninger med null passasjertall også etter forbedringen. Gjennom vaskeprosedyren beskrevet foran, blir *alle* elastisitetene justert for arbeidsreiser Oslo-Ski. Den tredje RTM-kjøringen med 10 prosent redusert rutetid, produserer også et stort antall $Q_1 = 0$, altså null etterspørsel på en del relasjoner etter

⁵ Level of Service

forbedringen. Ca tre fjerdedeler av GK-elasticitetene faller utenfor det som er definert som akseptabelt nivå, og blir justert i vaskeprosedyren. Dette er heller ikke tilfredsstillende.

Summa summarum benyttes GK-elasticiteter beregnet med RTM-kjøringen med halv headway og med vaskerutinen som beskrevet foran.

Under alle omstendigheter gir de sprikende GK-elasticitetsberegningene utslag i at enten øvre eller nedre terskel for aksepterte elasticitetsnivåer slår inn, jf. foran. Ofte virker dette vilkårlig, men det har stor betydning om det er øvre eller om det er nedre nivå som slår inn: Øvre og nedre aksepterte grense skiller seg med en faktor på 3,75 (-0,4 versus -1,5). Problemet er illustrert i tabellene under, som viser forventet, beregnet og vasket GK-elasticitet for arbeidsreiser på strekningen Nationaltheatret-Ski. Den forventede GK-elasticiteten er utledet med utgangspunkt i ϵ_p lik -0,9. Ved beregning av GK-elasticiteter slår både maks- og min-beregningene inn. Vårt valg med å legge RTM-kjøring med halv headway til grunn gjør at det videre modellarbeidet benytter GK-elasticitet på -3,6. Hadde vi valgt å legge ”10% headway”-kjøringen til grunn, ville det videre modellarbeidet til sammenlikning benyttet en GK-elasticitet lik -1,0, som er resultatet av vasking av kjøringen med ”10% headway”, hvor minimumsnivået slår inn.

Tabell 3.4: Eksempel GK-elasticitetsberegninger Nationaltheatret - Ski

| | Halv headway | 10% headway | 10 % reisetid |
|---------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Forventet ϵ_{GK} | -2,2 | -2,2 | -2,2 |
| Beregnet ϵ_{GK} (line) | -18,4 | -0,1 | -23,4 |
| Vasket ϵ_{GK} | -3,6 (max slår inn) | -1,0 (min slår inn) | -3,6 (max slår inn) |

3.4 Nettverksmodell versus elasticitetsmodell?

Trenklin beregner togtrafikken og effekten av tiltak ved hjelp av elasticitetene av generaliserte kostnader, som er beskrevet i dette kapitlet, og defineres av den grunn som en elasticitetsmodell. Eksisterende nasjonale (NTM) og regionale transportmodeller (RTM) er derimot nettverksmodeller, som generelt baserer sine beregninger på trafikkmatriser og informasjon om transportnett. Nettverksmodeller og elasticitetsmodeller er dermed to ulike modelltilnærminger for beregning av etterspørselen etter jernbane. Dette delkapitlet vil ta for seg en sammenlikning av modelltypene, og gi en begrunnelse på hvorfor elasticitetsmodeller, og dermed Trenklin, ansees som en bedre «fit» enn eksisterende modellversjoner.

Som nevnt faller eksisterende nasjonale og regionale transportmodeller inn under kategorien nettverksmodeller. I en nettverksmodell legges OD-matrisen for reiseetterspørsel over på jernbanenettet, og produktet er en fordeling av trafikkvolumet over deler av nettverket, gitt per tidsenhet. I tillegg kan man hente ut noe informasjon om ”load factors” på ulike deler av nettverket, det vil si informasjon om antall av- og påstigende på ulike stasjoner, og liknende. Nettverksmodeller kan baseres på ulike algoritmer, avhengig av hvilken software som benyttes (CUBE, EMME). Ulike programmer kan gi grunnlag for noe ulike resultat.

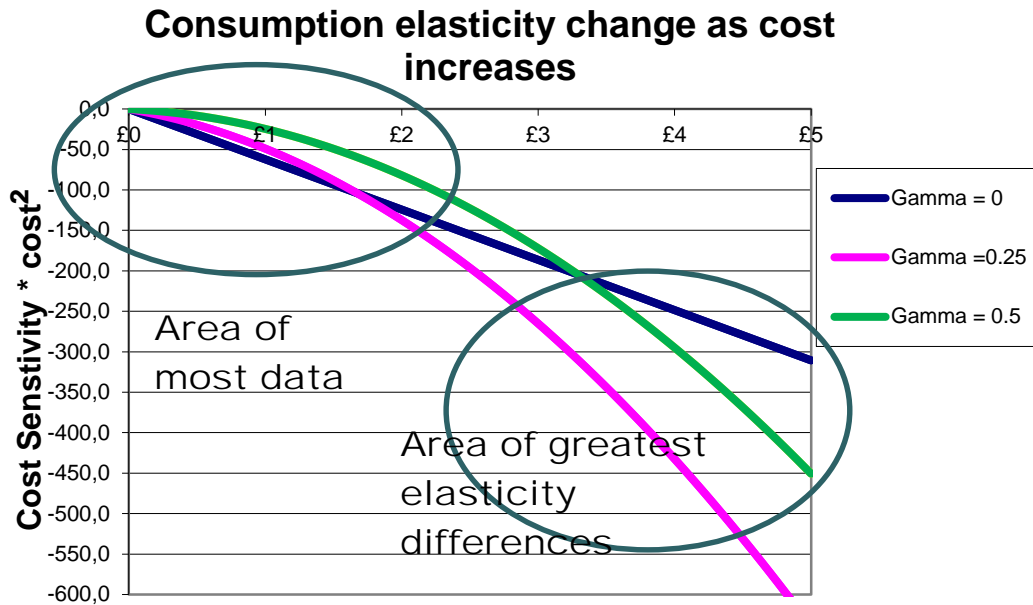
OD-matrisen, eller etterspørselen etter et transportmiddel, blir vanligvis estimert med bakgrunn i en firetrinns tilnærming⁶, som gis av reisefrekvens, destinasjonsvalg, tilgjengelige transportmidler, og fordeling mellom transportmidlene. Siden tilgang til bil er en viktig variabel for beskrivelse av reiseatferd, inkluderer de fleste nettverksmodeller variabler for bileierskap eller førerkortinnehav. Slik informasjon blir samlet inn gjennom reisevaneundersøkelser, og gjort tilgjengelige for øvrige analyser.

Selv om det har skjedd viktige utviklinger i både nasjonale og regionale transportmodeller, som for eksempel inkludering av avreisetidspunkt, har strukturene på disse modellene blitt holdt konstant. Et felles kjennetegn for NTP-modellene (NTM og ulike RTM) er at:

- 1) De er partielle likevektsmodeller, og endringer i arealbruk, befolkning osv er eksogent definert. Det betyr at modellen ikke tar hensyn til sammenhengen mellom arealplanlegging og transport.
- 2) Modellene er basert på dagens reisendes preferanser og verdsettinger. Disse preferansene kan forandres over tid. For eksempel ved at reisende i økende grad legger seg til en mer miljøvennlig adferd, for eksempel ved å vente med å ta førerkort (Hjorthol, 2012). Beregningene av framtidig reisemønster innenfor modellene er med andre ord framskrivinger av dagens adferd, og tar ikke hensyn til endrede preferanser. Dette gir en del usikkerhet, som kan adresseres med scenarioanalyser. Det finnes også andre tilnærminger for å ta høyde for dette.
- 3) Viktige etterspørselsvariable, særlig for kollektivtransport, er ikke inkludert i modellene. Dette er særlig viktig for jernbane. Dette inkluderer pålitelighet/punktlighet, og såkalte myke etterspørselsfaktorer som informasjon, sikkerhet, kvalitet på tilbudet, trengsel osv.

De ovenfor nevnte faktorene er generelle utfordringer for den konvensjonelle firetrinnsmodellen. En annen svakhet er at all rutegående trafikk er samlet i sekken kollektivtransport. Studier som Daly, (2013) viser at etterspørselen etter lokal og regional kollektivtransport er strukturelt ulike, noe som implisitt gir behov for separate modeller for disse tjenestene. Når dette ikke blir gjort, vil en antakelse om at etterspørselsfølsomheten er lik for alle kollektive transportmidler ligge til grunn for beregninger. Dette er en viktig årsak til problemene med å beregne elastisitetsverdier med bakgrunn i disse modellene. Et annet problem er å separere jernbanenettverket fra de andre nettverkene. Dette er vanskelig med bakgrunn i hvordan de ulike kollektivtransportnettverkene er lagt ut. Ytterligere et problem med NTM og RTM er at elastisitetene for lange distanser blir feil, noe som er særlig viktig for jernbane. Dette illustreres blant annet i Figur 3.1 (fra Daly, 2013).

⁶ Omtales av den grunn gjerne som en firetrinnsmodell.



Figur 3.1 Mest data er tilgjengelig for korte reiser, mens ulikhetene i elastisitetene er størst for lange reiser (Daly, 2013).

Figuren illustrerer at dataene som er tilgjengelige for elastisiteter for bruk i modeller ofte tar utgangspunkt i mindre endringer, disse blir ekstrapolert videre. Samtidig er det kjent at elastisitetene endres med for eksempel distanse. Her er variasjonen imidlertid større, illustrert ved ulike verdier for gamma. Slik at feilmarginen i beregningene øker.

En alternativ tilnærming til nettverksmodellene til å beregne etterspørsel for jernbane er som nevnt elastisitetsmodeller. En elastisitetsmodell benytter elastisiteter til å kartlegge endringer. For jernbanetjenester blir elastisiteten vanligvis beregnet ut i fra ulike elementer av generaliserte kostnader, som normalt er estimert med utgangspunkt i tidsserie eller tverrsnittsdata. Fox mfl. (2010) beskriver metode og empiriske studier som er gjennomført. Denne tilnærmingen tar normalt mindre tid enn nettverksmodeller, men den er mer følsom overfor elastisitetsverdiene. Det er også viktig å påpeke at elastisitetene som blir gitt, ikke fanger opp endringer i preferanser over tid. En annen fordel med elastisitetsmodellen er at det er relativt enkelt å inkludere effekter av variabler som vanligvis utelates fra tradisjonelle firetrinns nettverksmodeller, som blant annet forsinkelser, trengsel og andre myke etterspørselsdrivere.

4 Bruk av modellen

I dette kapitlet beskriver vi hvordan beregningene gjennomføres i Trenklin. Resultater av modellkjøringene for de enkelte strekningene blir presentert i en egen rapport, som er publisert av jernbaneverket..

4.1 Beregninger

Beregninger via Trenklin-modellen avhenger som nevnt av en rekke inndata. Inndata kan deles inn i to grupper, de som er eksogent gitt utenfor modellen, og de som må klargjøres og beregnes av analytiker, enten utenfor modellen eller via TrenklinGK_beregning. Som en følge av dette kan man dele arbeidet med Trenklin-modellen inn i **3** steg.

Steg 1: Klargjøre input til TrenklinGK_beregning

Før vi kan begynne å gjøre beregninger i Trenklin kreves det noe manuelt arbeid med å forberede datainput. GK-matriser, kjøretidsmatriser og matriser for total togtrafikk mellom stasjoner på en strekning er nødvendig for referanse, og matrisene klargjøres utenfor modellen ved hjelp av hhv forutsetninger for reisekomponenter, rutetabellen til NSB og faktiske tall fra NSB eller framskrevet estimat. I tillegg trenger man verdier for setekapasitet per periode, fordeling av trafikk på hensikt, retning og tidsperiode, samt tidsverdier fordelt på reisehensikt. Disse komponentene utgjør forutsetninger for beregningen. Et eksempel på forutsetninger som må inkluderes gis av tabell 4.1 og tabell 4.2. Tabellen viser fordelingen av trafikken gjennom døgnet, og skiller mellom ulike forhold og retning for reisen. Tallene ble brukt i første fase av R2027:

Tabell 4.1: Fordeling over trafikke gjennom døgnet. Forutsetninger som ligger til grunn for TrenklinGK_beregning

| | Arbeid | | Fritid | | Forretning | |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|
| | Retning 1 | Retning 2 | Retning 1 | Retning 2 | Retning 1 | Retning 2 |
| Morgen | 0,65 | 0,14 | 0,1 | 0,08 | 0,65 | 0,14 |
| Lavtrafikk | 0,1 | 0,1 | 0,27 | 0,25 | 0,1 | 0,1 |
| Ettermiddag | 0,14 | 0,65 | 0,23 | 0,25 | 0,14 | 0,65 |
| Kveld | 0,11 | 0,11 | 0,4 | 0,42 | 0,11 | 0,11 |

Tabell 4.2: Tidsverdier og fordeling på hensikt for reisende på strekning x. Forutsetninger som ligger til grunn for TrenklinGK_beregning.

| | Tidsverdier | Fordeling på hensikt |
|-------------------|-------------|----------------------|
| Arbeid | 69,98 | 0,558 |
| Fritid | 54,2 | 0,409 |
| Forretning | 468,1 | 0,033 |

Ved hjelp av forutsetningene fordeles de generaliserte kostnadene (GK) på reisemål og tidspunkt for reisen (manuelt), mens modellen selv fordeler totaltrafikken over reisehensikter. Kjøretiden skiller på rush- og lavtrafikk.

Steg 2: Beregninger i TrenklinGK_beregning

Etter at inndata er klargjort og inkludert i regneboken, kan man beregne utgangspunktet for evaluering av tiltak ved å gjøre beregninger i TrenklinGK_beregning. Regnearket er programmert slik at data fra input-matrisene fra steg 1 fordeles etter formål med reisen før de fordeles ytterligere på ulike tidsperioder. Inndelingen er gitt av forutsetningene. Ved gjennomregning regner modellen ut om det oppstår trengsel på strekningen til gitte inndata, og, hvis tilfellet, hvor stor tidsverdivekt som legges til reisetiden som følge av trengselen. Output fra modellen er tre samleark med informasjon om reiser med ulike formål og til ulike tidsperioder, som gir verdier for generaliserte kostnader med trengsel i utgangspunktet, trengselsvekter og totale trengselskostnader, gitt ved hjelp av trengselsvekten. I tillegg gir modellen trafikksituasjonen i utgangspunktet, gitt i et resultatark. Dette innebærer data for belegg på strekningen til ulike tider og retninger, samt totale trengselskostnader før et evt tiltak. Denne informasjonen tas med videre til tiltaksberegningene.

Steg 3: Tiltaksanalyse i Trenklin_Tiltaksberegning

Tiltaksberegningene tar utgangspunkt i samlearkene og resultatarket fra TrenklinGK_beregning, og analyserer så effekten av aktuelle tiltak. Før analysen må man også her legge inn matriser for reisetidskomponentene, og ha riktige forutsetninger til grunn. Disse komponentene på justeres i henhold til endringene som innføres. Aktuelle tiltak er økt setekapasitet på togene eller et ekstra tog på strekningen, som reduserer headway. Dersom tiltak f eks resulterer i halvert headway, reduseres ventetiden, og de generaliserte kostnadene må oppdateres til å ha lavere elementverdier. Dersom det ikke gjennomføres noe tiltak på strekningen, er forutsetningene like som i TrenklinGK_beregning, og man får ingen effekt i analysen. I tillegg til endringene av allerede eksisterende komponenter, må man legge inn elastisitetmatrisene, som gir hvordan de generaliserte reisekostnadene påvirkes av en endring i faktorene som påvirker GK, for alle stasjoner på strekningen.

Beregningene som blir gjort i regneboken Trenklin_Tiltaksberegning er dynamisk, og for hvert element i totalmatrisen beregnes nye turer som tar hensyn til tiltaket.

Beregning av nye turer skjer på relasjonsnivå, der nye turer, T_1^{ij} , beregnes med utgangspunkt i opprinnelige turer, T_0^{ij} . Beregningene følger følgende formel (dette er for arbeidsreiser):

$$T_1^{ij} = T_0^{ij} + \left[\frac{GK_{1,arbeid}^{ij} + \frac{[(TV^{ij} - 1) \cdot K_1^{ij} \cdot Tidsverdi\ arbeid]}{60}}{GK_{0,arbeid}^{ij}} - 1 \right] \cdot EL_{arbeid}^{ij}$$

Her betegner GK generaliserte kostnader uten trengsel, EL er elastisiteten, fotskrift 0 brukes om referansetilstanden og fotskrift 1 brukes om tilstanden etter tiltaket. Nye turer beregnes for alle hensikter, relasjoner og tidsperioder.

Etter beregningen av nye turer finner modellen effekten tiltakene har på trengselen. En tilbudsforbedring vil som forventet gi en økning i antall turer, det vil si økt etterspørsel, men det forventes også å redusere trengselen. Redusert trengsel vil også kunne gi økt etterspørsel, som sammen med den direkte økningen i etterspørselen vil

påvirke trengselen. Simultan avhengighet mellom etterspørsel og trengsel vil dermed medføre at det oppstår et likevektsproblem i modellen. Dette løses ved at det er lagt inn en iterasjonsprosedyre i regneboken `Trenklin_Tiltaksberegning`, som sikrer likevekt i beregningen ved at forskjellen mellom referanse- og tiltakstrafikk er konsistent med generaliserte reisekostnader for trengselen i likevekt. Med dette kan det videre beregnes en rekke resultater. Nye turer for ulike hensikter og tidsperioder får vi via $[T_1^{ij}]$ og $[T_0^{ij}]$. Strekningsbelegg over alle snitt kan hentes ut av disse matrisene. Totale trengselskostnader før og etter tiltak kan beregnes med verdiene $[GK]_0^T$, $[GK]_1^T$, $[GK]_0$, $[GK]_1$, $[T_0]$ og $[T_1]$. De samme matrisene kan også brukes til å regne trafikantnytte, da det er en egen trafikantnyttemodul implementert i `Trenklin`. Nye turer, trengselskostnader og strekningsbelegg er også standard resultatuttak.

5 Veien videre

Dette kapitlet beskriver forhold som ikke fanges opp i Trenklin slik den foreligger, men kan være momenter å trekke inn i et videre arbeid for å utvikle modellverktøyet.

5.1 Forslag til videre forskning

5.1.1 Langsiktige endringer

Slik Trenklin er konstruert tar den utgangspunkt i dagens trafikk. Det betyr at modellen passer best på kortsiktige problemstillinger. Dess lenger ut i framtiden en endring finner sted, dess galere blir modellen. For å gi bedre prediksjoner for framtiden bør modellen kjøres med ulike scenarier.

5.1.2 Endret arealbruk

En viktig driver for etterspørselen etter kollektivtrafikk generelt er arealstrukturen, se for eksempel Engebretsen og Christiansen, (2011). Foreliggende Nasjonale transportplan har som mål at all vekst i trafikken i de store byområdene skal tas med kollektiv, gang og sykkel. Dette fordrer en endret arealbruk, med mer konsentrert lokalisering både av arbeidsplasser og bosteder, og en omlegging av kollektivtransporten i tråd med dette. For togtransporten betyr dette at tog, som det kollektive transportmidlet med størst kapasitet, på lengre distanser, må forventes å ta en enda større andel av den totale trafikken. Dette vil medføre et positivt skift i etterspørselskurven slik at enhver inkrementell modell vil undervurdere etterspørselen kraftig.

De foreliggende vurderingene av trafikkvekst baserer seg på svært enkle beregninger av trafikkgrunnlaget for tog (Vedlegg 1). En bedre måte å gjøre slike beregninger på vil være å ta hensyn til foreliggende kommunale arealplaner og gjøre en vurdering for hver enkelt stasjon. Sentralt i slike vurderinger vil det være å utarbeide en prognose av utviklingen av arbeidsreiser. Da dette er de reisene som i størst grad foregår i rushtiden.

5.1.3 Estetiske faktorer og andre myke etterspørselsdrivere

Cascetta & Carteni (2012) presenterer et naturlig eksperiment som fant sted i Napoli som følge av utbyggingen av en ny metro. Utbyggingen førte til at flere av de nye reisemulighetene for metroen også ble dekket av det konvensjonelle togtilbudet, til samme pris og med tilnærmet lik reisetid. Forskjellene mellom tilbudene lå først og fremst i estetiske faktorer. Cascetta & Carteni (2012) gjennomførte en reisevaneundersøkelse blant reisene som ut i fra konvensjonelle faktorer ville forventes å være indifferente mellom tilbudene, eventuelt ha en svak preferanse for tog, med hensyn på reisetid. Blant disse reisende fant de at en klar overvekt likevel

foretrakk å reise med metroen, og at forklaringen på dette i hovedsak var den estetiske opplevelsen.

Dette er faktorer som helt klart kan ha relevans for jernbane i Norge også.

Andre viktige faktorer, som bør studeres nærmere er verdien av ombordtiden. I dagens nyttekostnadsanalyser er det kun en ulempe, men et pågående TRANSNOVA-prosjekt om bruk av ombordtiden peker på at dette kan være en grov overforenkling.

5.1.4 Isolering av myke etterspørselsdrivere i norsk kontekst.

Datamateriale i forbindelse med omlegging til rutetabell 2012, burde kunne utnyttes til å isolere flere tiltak, som bytte av kvalitet på togmateriell og frekvensendringer. Samtidig kan det være interessant å på forhånd sikre data og beskrivelser av tilbudet slik at en kan dekomponere effektene på tilbudet på de resterende punktene i R2012, etter hvert som de blir implementert.

Dette datamaterialet vil kunne brukes til å gi bedre elastisiteter som input til modellen, slik at denne kan bruke norske data, i stedet for britiske. Samtidig vil datamaterialet kunne gi en oversikt over et utvalg av andre variable, knyttet til endring i togmateriel og standard på dette.

5.2 Videreutvikling av modellen

For tiden pågår det en utvikling av modellen for å gjøre modellen mer brukervennlig, ved å adressere problemet med mye manuelt arbeid for inntasting av data.

I tillegg arbeides det med å fordele trafikken på timer snarere enn perioder av tre timer, slik som tilfellet er i dag. Dette for å gi en mer realistisk fordeling av rushtidstrafikken på ulike avganger, som igjen vil danne grunnlaget for mer realistiske trengselsvurderinger.

Slik resultatene fra modellen er formulert er det også mulig å utvikle modellen videre for å gi innspill til utbyggingsalternativer. Dette må i så fall gjøres indirekte.

Et annet alternativ er å inkludere en mer realistisk modellering av tilbringertid. Kombinert med utskrivning i kart vil dette kunne brukes i forhold til stasjonsnær arealplanlegging, særlig i bynære områder. (se Strand mfl. 2012 og Fearnley mfl. 2012).

5.2.1 Benytte elementene som inngår i GK

Et alternativ til den GK baserte metoden som er benyttet i Trenklin, er å gå bort fra GK-elastisitet og heller benytte elastisiteter for hvert av elementene som inngår i GK. Alternative spesifikasjoner inkluderer:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\varepsilon_P} \left(\frac{F_2}{F_1}\right)^{\varepsilon_F} \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^{\varepsilon_S} \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\varepsilon_T} \dots$$

og

$$Q_2 = Q_1 * e^{\left[\varepsilon_P \frac{P_2 - P_1}{P_1} + \varepsilon_F \frac{F_2 - F_1}{F_1} \dots\right]}$$

der fotskrift 2 er ettersituasjonen og 1 er førsituasjonen, Q er etterspørsel, P er pris, F er frekvens, S er tilbudt setekapasitet / trengsel og T er reisetid. ϵ er etterspørselastisitet. Modellene stiller krav til detaljert kjennskap til etterspørsel og til elastisiteter for hvert av elementene som inngår. Igjen kan man i mangel på bedre estimater beregne implisitte elastisiteter basert på forholdstall mellom trafikantenes vektlegging av ulike aspekter ved reisen og fra verdsettingsstudier.

Referanser

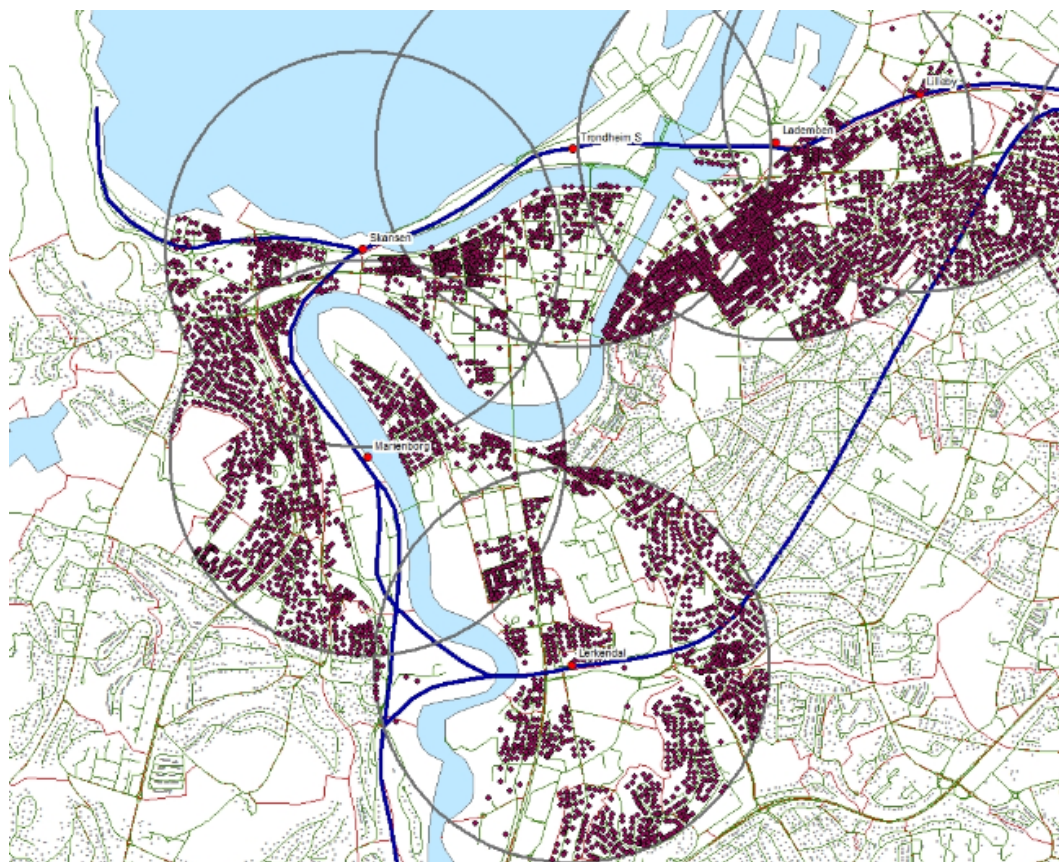
- Cascetta & Carteni 2012: "The value of aesthetics in public transportation: A quantitative analysis of perceived quality for railways travel". *Proceedings Latsis Symposium 2012 -1st European Symposium on Quantitative Methods in Transportation Systems* 5-7 September 2012 Lausanne, Switzerland
- Daly, A 2013. "The role of choice modelling in travel demand forecasting". Personlig kommunikasjon med utgangspunkt i presentasjon på KTH, 4.september 2013.
- Engebretsen, Øystein og Petter Christiansen 2011. "Bystruktur og Transport", TØI-rapport 1178/2011.
- Fearnley, Nils, Jørgen Aarhaug, Jon Martin Denstadli, Øystein Engebretsen og Liva Vågane 2012. "Tilbuds- og etterspørselssammenhenger i jernbanesektoren". TØI-rapport 1244/2012.
- Fox, James, Andrew Daly & Bhanu Patrui, 2010. "IMPROVING THE TREATMENT OF COST IN LARGE SCALE MODELS", working paper RAND Europe.
- Samstad, Hanne; Ramjerdi, Farideh; Veisten, Knut; Navrud, Ståle; Magnussen, Kristin; Flügel, Stefan; Killi, Marit; Halse, Askill Harkjerr; Elvik, Rune & San Martín, Orlando (2010) *Values of time, safety and environment in Norwegian passenger transport. Summary report*. TØI Report 1053/2010.
- Strand, A., Ø Engebretsen, S Bråten, P Christiansen, L Vågane, J U Hanssen 2012 *Jernbanen i Østlandsområdet – en studie av framtidig byutvikling og transportsystem*, TØI-rapport 1242/2012.
- Wardman, M., & J. Shires, 2004. "Review of British evidence on fares elasticities". Appendix to section 6.14. I: R Balcombe (ed., TRL), R Mackett (UCL), N Paulty (TRL), J Preston (Oxford University TSU), J Shires (Leeds University ITS), H Titheridge (UCL), M Wardman (Leeds University ITS) og P White (Westminster University) 2004. *The demand for public transport: a practical guide*. TRL report TRL593. Kan lastes ned fra www.DemandForPublicTransport.co.uk
- Wardman, M & G Whelan, 2011. "Twenty Years of Rail Crowding Valuation Studies: Evidence and Lessons from British Experience, *Transport Reviews: A*, 31:3, 379-398. DOI: 10.1080/01441647.2010.519127

Vedlegg 1

Stasjonenes tilfangsområde og befolkning

Ved bruk av modellen er man avhengig av å vite antall passasjerer som reiser med tog i dag, og hvor mange som forventes å reise med tog i framtiden. For dagens passasjergrunnlag benyttes tall fra NSBs passasjerstatistikk, mens framtidig passasjergrunnlag må estimeres fra andre hold. År 2027 og 2050 blitt valgt for å kartlegge forventet framtidig utvikling. Framskrivningene for 2027 er gjort med utgangspunkt i SSBs kommunevise framskrivninger (alternativ MMMM, kilde: Statistikkbanken, SSB). Det er forutsatt at andelen av kommunens befolkning som er bosatte i den enkelte grunnkrets og fordelingen innenfor grunnkretsene er konstant (det vil si som i 2013). For 2050 er det gjort en lineær ekstrapolering av tidligere endringer.

For befolkningstallene i tilknytning til hver stasjon er det tatt utgangspunkt i et omland med 1km radius (luftlinje) fra stasjonene som betjente persontog per 15.des 2012. Tallet på bosatte innenfor omlandet i 2013 er beregnet ved hjelp av antall bosatte per grunnkrets (Statistikkbanken, SSB), jevnt fordelt over antall boliger innenfor grunnkretsen (basert på data fra Matrikkelen). Gjennomsnittlig antall bosatte per bolig er summert innenfor 1 km radius fra stasjonen. Ved overlapping mellom to eller flere omland, knyttes boligene (de bosatte i de aktuelle boligene) til nærmeste stasjon.



Figur x Bygninger med boliger innenfor 1 km rundt stasjoner. Sentrale deler av Trondheim.

En svakhet med denne metoden er at 1 km kan være et urealistisk omland, særlig i områder med relativt dårlig kollektivtilbud eller i forbindelse med langpendling. I andre situasjoner, særlig i storbyområdene, med mange alternative tilbud og korte avstander er 1 km for stort.

Vedlegg 2

Beregning av elastisiteter fra RTM

Bakgrunn

Jernbaneverket arbeider med å utvikle en modell for å analysere effekter av endringer i togtilbudet. Motivet for dette arbeidet er at dagens nettverksmodeller som består av nasjonal og regional persontransportmodell, ikke gir tilfredsstillende resultater sammenlignet med passasjerstatistikken til NSB. Dagens nettverksmodeller har dessuten relativt lang beregningstid, og for korte reiser under 100 km beregner modellene kollektivtransporten samlet. Dette vanskeliggjør uttak av spesifikke resultater for jernbane alene.

Den nye modellen skal bruke dagens nettverksmodeller for å ta ut elastisiteter for jernbanerelasjoner, og bruke disse som forutsetninger for beregning av etterspørselseffekter av tilbudsendringer. Tanken er at dagens nettverksmodeller gir et fornuftig bilde av effekter av tilbudsendringer til tross for at trafikkvolumene ikke gir tilfredsstillende resultater. Kombinerer man elastisiteter fra nettverksmodellene med reelle passasjertall fra NSB, får man et hensiktsmessig verktøy for å beregne effekter av tiltak.

SINTEF har utviklet en applikasjon som benytter resultater fra nettverksmodellene og produserer etterspørsel og tilbudsdata mellom jernbanestasjoner. Når denne applikasjonen brukes for ulike scenarier med ulike tilbudsendringer får man data som kan benyttes til å utlede elastisiteter på relasjonsnivå.

Elastisitetene som utledes på relasjonsnivå ved bruk av SINTEFs applikasjon varierer imidlertid betydelig, og mange av dem befinner seg utenfor intervallet som kan anses som rimelig. Det er store retningsskjevheter og påfallende store variasjoner mellom elastisiteter for etterspørsel som funksjon av generalisert reisekostnad og elastisiteter som funksjon av frekvens.

Dette arbeidsdokumentet ser litt nærmere på hvorfor disse variasjonene forekommer, og foreslår en tilpasning for å utbedre dette. Utgangspunktet for alle elastisitetsberegninger er kjøring av basisscenario og tiltaksscenario i regional persontransportmodell for Døm IC. I tiltaksscenarioet er frekvensen for tog doblet i forhold til frekvensen i basisscenarioet.

Elastisiteter fra nettverksmodellene

Dette kapitlet redegjør for årsaken til at de beregnede elastisitetene fra nettverksmodellen RTM varierer så kraftig for gitte reiserelasjoner, og gir en analyse av rutevalget for relasjonen mellom Oslo S og Ski og relasjonen mellom Oslo S og Myrvoll.

Oslo S - Ski

Tabell 1 viser generalisert reisekostnad, ventetid og etterspørsel for relasjonen mellom Oslo S og Ski for henholdsvis basisscenario og et tiltaksscenario der frekvensen for tog er doblet.

Tabell 1. Nøkkeltall Oslo S - Ski

| Relasjon | Basis | | | Doblet frekvens | | | E(GK) | E(HDW) |
|--------------|-------|----------|--------------|-----------------|----------|--------------|-------|--------|
| | GK | Ventetid | Etterspørsel | GK | Ventetid | Etterspørsel | | |
| Oslo S – Ski | 78.6 | 3.66 | 1198 | 74.7 | 2.42 | 1527 | -4.7 | 0.6 |
| Ski- Oslo S | 76.8 | 3.66 | 1355 | 73.2 | 3.57 | 1725 | -5.1 | 9.7 |

Tabellen viser at effekten på etterspørselen som følge av tiltaket relativt sett er rimelig lik i begge retninger, men at etterspørselastisiteten som funksjon av frekvens er på 0.6 i retning Ski og 9.7 i retning Oslo S. Årsaken til dette er at ventetiden blir vesentlig redusert i retning Ski, men kun marginalt lavere i retning Oslo S. Den generaliserte reisekostnaden endres imidlertid relativt likt i begge retninger slik at etterspørselastisiteten som funksjon av samlet generalisert reisekostnad er rimelig lik i begge retninger.

Variasjonen i etterspørselastisitet som funksjon av frekvens skyldes rutevalgseffekter. Dobling av frekvens innebærer ikke at rutevalget er uendret med halvert ventetid. Det endrer reisemønster og valget av attraktive ruter.

Tabell 2. Togtilbud Ski - Oslo S i basisscenario

| Rutenr | Hdw | Ombtid | Avg pr time | Andeler | Andel ombtid |
|--------|-----|--------|-------------|---------|--------------|
| 5001 | 50 | 22 | 1.2 | 0.146 | 3.22 |
| 5003 | 120 | 22 | 0.5 | 0.061 | 1.34 |
| 5044 | 30 | 31 | 2.0 | 0.244 | 7.56 |
| 5046 | 30 | 28 | 2.0 | 0.244 | 6.83 |
| 5047 | 40 | 22 | 1.5 | 0.183 | 4.02 |
| 5049 | 60 | 22 | 1.0 | 0.122 | 2.68 |

Tabell 2 viser togtilbudet mellom Ski og Oslo S som består av 6 attraktive ruter i basisscenarioet. Disse gir totalt 8.2 avganger i timen, og en kombinert ventetid på 3.66 når man beregner ventetid som halvparten av headway.

Passasjerene fordeles på de ulike rutene basert på avgangshyppighet, og samlet kombinert ombordtid blir 25.66 minutter. Dette gir en samlet reisekostnad på 31.15 minutter når ventetiden vektet 50 % høyere enn ombordtiden, og øvrige reisekostnadskomponenter antas konstant og holdes utenom.

Ved dobbel frekvens og likt rutevalg blir den samlede, vektete reisekostnaden 28.40 minutter. Men det er mulig å redusere denne reisekostnaden ved å velge bort langsomtgående ruter som ikke er attraktive. Når ventetiden reduseres, blir ombordtiden mer dimensjonerende for rutevalget, og antall attraktive ruter reduseres. De attraktive rutene etter frekvensdobling er vist i tabell 3.

Tabell 3. Togtilbud Ski - Oslo S i tiltaksscenario

| Rutenr | Hdw | Ombtid | Avg pr time | Andeler | Andel ombtid |
|--------|-----|--------|-------------|---------|--------------|
| 5001 | 25 | 22 | 2.4 | 0.286 | 6.29 |
| 5003 | 60 | 22 | 1.0 | 0.119 | 2.62 |
| 5047 | 20 | 22 | 3.0 | 0.357 | 7.86 |
| 5049 | 30 | 22 | 2.0 | 0.238 | 5.24 |

Når frekvensen dobles, består togtilbudet mellom Ski og Oslo S nå av 4 attraktive ruter. Disse gir totalt 8.4 avganger i timen, og en kombinert ventetid på 3.57 når man beregner ventetid som halvparten av headway.

Passasjerene fordeles på de ulike rutene basert på avgangshyppighet, og samlet kombinert ombordtid blir 22 minutter fordi alle attraktive ruter har samme ombordtid. Dette gir en samlet reisekostnad på 27.36 minutter når ventetiden vektet 50 % høyere enn ombordtiden, og øvrige reisekostnadskomponenter antas konstant og holdes utenom.

Den generaliserte reisekostnaden synker altså når man utelater de to langsomtgående rutene fra basisalternativet. Frekvensforbedringen innebærer altså endring i rutevalg, og den kombinerte ventetiden synker bare marginalt som følge av tiltaket. Det er ombordtiden som påvirkes mest.

Dermed får man tilsynelatende en formidabel endring i etterspørsel når man beregner elastisitet som funksjon av frekvens. Da tar man ikke høyde for at ombordtiden også er endret, og en marginal frekvensendring gir relativt sett voldsom økning i etterspørsel, og gir en elastisitet på 9.7.

Tilbudet i retning Ski avviker litt i ombordtid, men avgangshyppigheten er den samme som retningen Ski - Oslo S. Dette er vist i tabell 4.

Tabell 4. Togtilbud Oslo S - Ski i basisscenario

| Rutenr | Hdw | Ombtid | Avg pr time | Andeler | Andel ombtid |
|--------|-----|--------|-------------|---------|--------------|
| 5000 | 50 | 22 | 1.2 | 0.146 | 3.22 |
| 5002 | 120 | 22 | 0.5 | 0.061 | 1.34 |
| 5043 | 30 | 33 | 2.0 | 0.244 | 8.05 |
| 5045 | 30 | 29 | 2.0 | 0.244 | 7.07 |
| 5048 | 40 | 26 | 1.5 | 0.183 | 4.76 |
| 5050 | 60 | 26 | 1.0 | 0.122 | 3.17 |

Togtilbudet består av 6 attraktive ruter i basisscenarioet. Disse gir totalt 8.2 avganger i timen, og en kombinert ventetid på 3.66 når man beregner ventetid som halvparten av headway.

Passasjerene fordeles på de ulike rutene basert på avgangshyppighet, og samlet kombinert ombordtid blir 27.61 minutter. Dette gir en samlet reisekostnad på 33.10 minutter når ventetiden vektet 50 % høyere enn ombordtiden, og øvrige reisekostnadskomponenter antas konstant og holdes utenom.

Ved dobbel frekvens og likt rutevalg blir den samlede, vektete reisekostnaden 30.35 minutter. Men det er også i denne retningen mulig å redusere denne reisekostnaden ved å velge bort langsomtgående ruter som ikke er attraktive. Når ventetiden reduseres, blir ombordtiden mer dimensjonerende for rutevalget, og antall attraktive ruter reduseres. De attraktive rutene er vist i tabell 5.

Tabell 5. Togtilbud Oslo S - Ski i tiltaksscenario

| Rutenr | Hdw | Ombtid | Avg pr time | Andeler | Andel ombtid |
|--------|-----|--------|-------------|---------|--------------|
| 5000 | 25 | 22 | 2.4 | 0.194 | 4.26 |
| 5002 | 60 | 22 | 1.0 | 0.081 | 1.77 |
| 5045 | 15 | 29 | 4.0 | 0.323 | 9.35 |
| 5048 | 20 | 26 | 3.0 | 0.242 | 6.29 |
| 5050 | 30 | 26 | 2.0 | 0.161 | 4.19 |

Når frekvensen dobles, består togtilbudet mellom Oslo S og Ski nå av 5 attraktive ruter. Disse gir totalt 12.4 avganger i timen, og en kombinert ventetid på 2.42 når man beregner ventetid som halvparten av headway.

Passasjerene fordeles på de ulike rutene basert på avgangshyppighet, og samlet kombinert ombordtid blir 25.87 minutter. Dette gir en samlet reisekostnad på 29.5 minutter når ventetiden vektet 50 % høyere enn ombordtiden, og øvrige reisekostnadskomponenter antas konstant og holdes utenom.

Den generaliserte reisekostnaden synker altså når man utelater den mest langsomtgående ruten fra basisalternativet. Frekvensforbedringen innebærer altså endring i rutevalg, og den kombinerte ventetiden halveres ikke i forhold til basisscenarioet, men synker vesentlig og gir en etterspørselastisitet som funksjon av frekvensendring på 0.6 for relasjonen Oslo S - Ski.

Oslo S - Myrvoll

Tabell 6 viser nøkkeltall for relasjonen mellom Oslo S og Myrvoll. Beregnet etterspørselastisitet er -2.4 i retning Myrvoll og -15.2 i retning Oslo S. Denne asymmetrien skyldes i hovedsak at etterspørselen i retningen Myrvoll - Oslo S får en voldsom økning som følge av frekvensdoblingen. Etterspørselen er svært lav i basisscenarioet og mangedobles som følge av tiltaket.

Tabell 6. Nøkkeltall Oslo S - Myrvoll

| Relasjon | Basis | | Doblet frekvens | | E(GK) |
|------------------|-------|--------------|-----------------|--------------|-------|
| | GK | Etterspørsel | GK | Etterspørsel | |
| Oslo S - Myrvoll | 78.6 | 67.2 | 71.6 | 84.4 | -2.4 |
| Myrvoll - Oslo S | 92.6 | 7.7 | 78.7 | 91.7 | -15.2 |

Tabell 7 og 8 viser togtilbudet mellom Oslo S og Myrvoll i basisscenario. Det er kun en rute som betjener strekningen Myrvoll-Oslo S, og kun to ruter som betjener strekningen Oslo S - Myrvoll.

Tabell 7. Togtilbud Myrvoll - Oslo S i basisscenario

| Rutenr | Hdw | Ombtid | Avg pr time | Andeler | Andel ombtid |
|--------|-----|--------|-------------|---------|--------------|
| 5044 | 30 | 20 | 2.0 | 1 | 20 |

Tabell 8. Togtilbud Oslo S - Myrvoll i basisscenario

| Rutenr | Hdw | Ombtid | Avg pr time | Andeler | Andel ombtid |
|--------|-----|--------|-------------|---------|--------------|
| 5043 | 30 | 22 | 2.0 | 0.5 | 11 |
| 5045 | 30 | 17.92 | 2.0 | 0.5 | 8.96 |

Dobling av frekvens for tog påvirker ikke rutevalget for disse relasjonene, og gir utelukkende endring i ventetid. Ombordtiden er den samme i basisscenario og tiltaksscenario.

I retning Oslo S har man i basisscenario kun en rute med to avganger i timen. Dette gir en ventetid på 15 minutter. Denne reduseres med 7.5 minutter i tiltaksscenario.

Fordi frekvensen i utgangspunktet er dobbelt så høy i retning Myrvoll, vil frekvensforbedringen her gi en redusert ventetid på 3.75 minutter. Slik sett blir ventetidsforbedringen dobbelt så stor i retning Oslo S.

Etterspørsel

Antall togreiser mellom Oslo S og Myrvoll er 67.2 i basisalternativet og 84.4 etter dubling av frekvens. I motsatt retning reiser 7.7 i basisalternativet og 91.7 i tiltaksalternativet.

Denne store retningsskjevheten tyder på at man i basisscenarioet har alternative kollektive transportformer som gir bedre tilbud og fanger opp det aller meste av passasjergrunnlaget i retning Oslo S. Etter frekvensøkningen mangedobles antall passasjerer. Det tyder på at toget overtar store deler av markedet, og leder til en eventyrlig etterspørselastisitet på -15.2 som funksjon av generalisert reisekostnad.

I retning Myrvoll har toget et visst belegg også i basissituasjonen, og stigningen i passasjertall som følge av tiltaket fremstår rimelig. Dette gir en etterspørselastisitet som funksjon av generalisert reisekostnad på -2.4.

Følsomhet i rutevalg

Rutevalgsalgoritmene som ligger til grunn for regional persontransportmodell finner beste tilgjengelige rute mellom alle reiserelasjoner og fordeler trafikken på disse rutene. Den beste ruten vil ofte bestå av en kombinasjon av en rekke kollektivlinjer. Endring i rutevalg og generalisert reisekostnad vil påvirke etterspørsel som beregnes som antall kollektivreiser. Etterspørselastisiteten for kollektivreiser som funksjon av tilbud vil følge reisevaneundersøkelsene.

Når man ser på etterspørsel for en gitt kollektiv transportform, vil man imidlertid oppleve at denne er langt mer følsom for endringer i tilbud. Modellen beregner kollektivturer mellom ulike grunnkretser. Dersom buss gir det beste tilbudet mellom to grunnkretser, fordeles turene til busslinjene. Dersom tog gir det beste tilbudet, fordeles passasjerene til tog. Rutevalgsalgoritmen er relativt binær, og fordeles reiser til beste rute. Endring av tilbud kan dermed flytte et stort antall turer mellom ulike ruter.

Årsaken til dette er at man ved LOS-dataproduksjon til trafikantnytteberegninger er avhengig av å finne de ruter som gir lavest generalisert reisekostnad. Dersom to ruter har tilnærmet samme generalisert reisekostnad, vil den billigste ruten velges i modellen, selv om man i virkeligheten sannsynligvis vil ha en ganske jevn fordeling av reisende på begge ruter.

Dette styres av CHOICECUT- og LAMBAW-parameteren i Cube Voyagers rutevalgsalgoritme. Disse er satt til henholdsvis 0.2 og 1, og bestemmer hvilke alternative ruter som skal inkluderes sammen med beste rute i rutevalget gitt ved formel 1.

$$Choicecut > e^{-\lambda(GK_i - GK_{best})} \quad (1)$$

Gitt parameterverdiene vil alle alternative ruter med generalisert reisekostnad større enn ca 1.7 minutter sammenlignet med beste rute ekskluderes fra rutevalget.

Dersom forskjellen i generalisert reisekostnad er mindre enn denne cut-off-verdien, vil turer fordeles til den alternative ruten som vist i likning 2.

$$P = \frac{e^{\lambda GK_i}}{e^{\lambda GK_{best}} + e^{\lambda GK_i}} \quad (2)$$

Formel 1 innebærer som sagt av ruter med merkostnad på 1.7 minutter i forhold til beste rute ekskluderes fra rutevalg. Formel 2 innebærer at fordelingen mellom to ruter med 1.7 minutters forskjell vil være ca 85 % på beste rute og ca 15 % på alternativruten. Dersom en rute med 5 minutters høyere reisekostnad hadde blitt inkludert i rutevalget, ville formel 2 medført at under 1 % av turene hadde blitt fordelt på denne ruten.

Endring av parameter

Nedjustering av parameteren λ vil medføre at flere alternative ruter inkluderes i rutevalget, og at passasjerene fordeles på ruter med høyere generaliserte reisekostnader enn beste rute.

Dersom man setter λ til 0.05, vil ruter med opp mot ca 30 minutter høyere generalisert reisekostnad i forhold til beste rute inkluderes i rutevalget. Fordelingen av passasjerer med en ekstrakostnad på 30 minutter vil være ca 18 %. Denne parameterverdien vil kanskje overestimere trafikk på mindre attraktive ruter, men sikre mer robust fordeling av turer mellom ulike ruter, og dermed gi mer robuste etterspørselselastisiteter.

For å illustrere dette er nettutlegging av arbeidsrelaterte kollektivreiser gjennomført med turmatriser og rutevalgoppsett med multirouting fra RTM.

Tabell 9 viser resultater for etterspørsel med standard og endret λ -verdi.

Tabell 9. Nye nøkkeltall Oslo S - Myrvoll

| Relasjon | Basis | | Doblet frekvens | | E(GK) | Metode | λ |
|------------------|-------|--------------|-----------------|--------------|-------|--------|-----------|
| | GK | Etterspørsel | GK | Etterspørsel | | | |
| Oslo S - Myrvoll | 78.6 | 67.2 | 71.6 | 84.4 | -2.4 | RTM | 1 |
| Myrvoll - Oslo S | 92.6 | 7.7 | 78.7 | 91.7 | -15.2 | RTM | 1 |
| Oslo S - Myrvoll | 78.6 | 60.30 | 71.6 | 67.87 | -1.3 | Multi | 1 |
| Myrvoll - Oslo S | 92.6 | 6.43 | 78.7 | 34.42 | -10.3 | Multi | 1 |
| Oslo S - Myrvoll | 78.6 | 46.25 | 71.6 | 64.26 | -3.5 | Multi | 0.05 |
| Myrvoll - Oslo S | 92.6 | 23.58 | 78.7 | 42.35 | -3.6 | Multi | 0.05 |

Tabellen viser elastisitetsberegninger for tre ulike nettfordelingsmetoder og parametervalg. De to første radene viser resultater hentet fra SINTEFs applikasjon. De to neste radene viser resultater ved nettutlegging av kollektivturer basert på RTM-metoden som bruker multiroutingalgoritmen, mens siste to rader viser resultater for denne metoden dersom man nedjusterer verdien av λ fra 1 til 0.05.

Effekten av parameterendringen blir at etterspørselen i basisalternativet reduseres i retning Myrvoll og øker i retning Oslo S. Dette fordi turene nå også legges på alternative ruter. Effekten av frekvensøkning blir mer konservativ, og etterspørselselastisitetene blir tilnærmet like i begge retninger.

Strekningen Skøyen-Ski

Endring av parametervalg for rutevalgsalgoritme gir mer fornuftige elastisiteter for reisereelasjonen mellom Oslo S og Myrvoll, men det er ikke dermed gitt at denne tilpasningen gir bedre resultater for alle relasjoner.

Når man vurderer flere alternative ruter i nettutleggingen og fordeler turene på et større sett av attraktive ruter, vil man nok i de fleste tilfeller få mer konservative endringer i reiseaktiviteten mellom relasjoner, men det vil også være tilfeller der det motsatte skjer.

Dersom en gitt togrute er beste rutevalg i både basis og tiltaksscenario, vil endringen i antall reiser være gitt av etterspørselsmodellens turproduksjon, og sannsynligvis gi elastisitet innenfor et rimelig intervall.

Dersom det imidlertid finnes mange alternative ruter som gir tilnærmet samme generalisert reisekostnad som beste rute i basisalternativet, vil endring av parametervalg medføre at antall reiser på beste ruter faller vesentlig. Når man forbedrer togtilbudet i et tiltaksscenario, vil de alternative rutene med andre transportformer kunne falle ut av valget av attraktive ruter fordi differansen mellom reisekostnad for alternativ rute og beste ruter blir større enn cut-off, eller så stor at kun en mindre andel reiser fordeles på de alternative rutene. Dermed kan man få større økning i antall reiser for en gitt reiserelasjon ved å bruke metodikken som sprer reisene mellom ulike ruter som en logitfunksjon av generalisert reisekostnad.

For reiserelasjonene mellom Skøyen og Ski er avgangshyppigheten i basisscenariot allerede så høy at dobling av frekvens ikke gir de dramatiske forbedringene i generalisert reisekostnad. Dermed er det liten grunn til å forvente slike utslag for disse relasjonene. Men der avgangshyppigheten er lav og ventetiden synker vesentlig fra basisscenario til tiltaksscenario, kan effektene bli store.

Tabell 10 viser beregnede etterspørselselastisiteter for relasjonene mellom Skøyen og Ski basert på data fra Jernbaneverket fremkommet ved bruk av SINTEFs applikasjon.

Tabell 11 viser beregnede etterspørselselastisiteter for relasjonene mellom Skøyen og Ski basert på LOS-data fra Jernbaneverket fremkommet ved bruk av SINTEFs applikasjon, og reiser mellom stasjonene beregnet ved bruk av alternativ nettutleggingsoppsett.

Relasjoner uten togturer vil ha elastisitet lik null, og disse er markert med grå bakgrunnsfarge i tabellene. Dersom elastisiteten er lavere enn -6, er bakgrunnsfargen rød, mens positive elastisiteter som innebærer at forbedret frekvens gir lavere etterspørsel er markert med blå bakgrunnsfarge. Øvrige verdier anses i utgangspunktet som rimelige, og er markert med grønn bakgrunnsfarge.

Sammenligning av verdiene i de to tabellene tyder på at alternativ nettutleggingsoppsett i hovedtrekk gir resultater som er mer i tråd med hva man kan forvente.

Tabell 10. Etterspørselselastisiteter for relasjoner mellom Skøyen og Ski fra JBV

| Stasjon | Nr | 153 | 158 | 166 | 66 | 92 | 145 | 150 | 118 | 142 | 89 | 102 | 126 | 129 | 138 | 96 | 156 |
|------------|-----|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Skøyen | 153 | 0.0 | -2.7 | -8.2 | -2.3 | 0.0 | 0.6 | 0.3 | 0.0 | 1.4 | 1.0 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.5 | 0.4 | -1.2 |
| Nationalth | 158 | -5.3 | 0.0 | 44.1 | 0.0 | 0.0 | 1.6 | 0.9 | 0.0 | 6.1 | 2.4 | 2.1 | 1.0 | 1.3 | 1.3 | 1.2 | 18.5 |
| Oslo S | 166 | 10.6 | 33.6 | 0.0 | 11.1 | 0.0 | 2.4 | 1.5 | 0.0 | 6.7 | 3.8 | 2.4 | 1.6 | 2.3 | 1.8 | 1.3 | -4.7 |
| Nordstrand | 66 | -4.6 | 0.0 | -7.8 | 0.0 | 0.0 | 6.5 | 2.5 | 0.0 | 3.6 | 3.1 | 2.2 | 1.2 | 1.5 | 1.4 | 1.4 | -2.9 |
| Ljan | 92 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.0 | 0.0 | 8.7 | 1.9 | 2.3 | 0.0 | 1.7 | 1.7 | 1.9 | -3.1 |
| Hauketo | 145 | -2.4 | -4.8 | -2.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.8 | 0.0 | 5.0 | 4.4 | 2.1 | 1.0 | 1.4 | 1.3 | 1.4 | -9.6 |
| Holmlia | 150 | -5.0 | -1.7 | -3.6 | -2.1 | 0.0 | 8.4 | 0.0 | 0.0 | 1.6 | 3.2 | 1.6 | 1.4 | 1.9 | 1.5 | 2.1 | 2.3 |
| Rosenholm | 118 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.5 | 0.0 |
| Kolbotn | 142 | -4.1 | -1.5 | -3.9 | -5.1 | 0.0 | 7.3 | 1.3 | 0.0 | 0.0 | 1.2 | 2.0 | 0.7 | 1.4 | 1.3 | 1.5 | -1.9 |
| Solbråtan | 89 | 11.8 | 0.0 | 0.0 | -2.4 | 0.0 | 2.6 | 2.4 | 2.2 | 0.0 | 0.0 | 1.1 | 4.3 | 1.2 | 1.0 | 1.0 | -1.9 |
| Myrvoll | 102 | 17.9 | 17.0 | 15.2 | -2.6 | 2.4 | 3.6 | 5.3 | 3.7 | 6.6 | 3.4 | 0.0 | 8.5 | 0.4 | 1.3 | 1.0 | -3.1 |
| Greverud | 126 | -0.1 | -1.2 | -0.3 | -1.2 | 0.0 | 1.7 | 0.3 | 0.0 | 1.9 | 0.8 | 0.0 | 0.0 | 1.3 | 0.9 | 1.1 | -2.1 |
| Oppegård | 129 | -2.3 | -1.5 | -2.0 | -1.4 | 0.0 | 1.1 | 1.2 | 0.0 | 0.6 | 3.5 | 2.7 | 1.8 | 0.0 | 0.5 | 1.2 | -1.7 |
| Vevelstad | 138 | -2.7 | -1.6 | -1.6 | -1.4 | 0.0 | 0.6 | 1.5 | 0.0 | 0.2 | 5.6 | 2.7 | 0.0 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | -2.9 |
| Langhus | 96 | -1.7 | -1.2 | -1.2 | -1.4 | 7.7 | 1.8 | 1.7 | 1.8 | 1.0 | 5.1 | 2.5 | 1.4 | 5.6 | 0.0 | 0.0 | -5.5 |
| Ski | 156 | -0.5 | 18.1 | -5.1 | -3.6 | 0.0 | 9.0 | 1.6 | 0.0 | 1.9 | 0.4 | 5.4 | 1.0 | 2.0 | 2.8 | 5.1 | 0.0 |

Tabell 11. Alternative etterspørselastisiteter for relasjoner mellom Skøyen og Ski

| Stasjon | Nr | 153 | 158 | 166 | 66 | 92 | 145 | 150 | 118 | 142 | 89 | 102 | 126 | 129 | 138 | 96 | 156 |
|------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Skøyen | 153 | 0.0 | -2.9 | -2.9 | -3.5 | 0.0 | -3.2 | -1.0 | 0.0 | -4.7 | -3.9 | -2.5 | -1.2 | -1.5 | -1.4 | -2.2 | -1.6 |
| Nationalth | 158 | -3.2 | 0.0 | -2.3 | 0.0 | 0.0 | -3.8 | -0.9 | 0.0 | -4.8 | -4.3 | -3.9 | -1.6 | -1.2 | -1.0 | -2.4 | 2.2 |
| Oslo S | 166 | -1.8 | -2.4 | 0.0 | -2.6 | 0.0 | -2.9 | -1.0 | 0.0 | -3.6 | -3.3 | -3.5 | -1.7 | -1.5 | -0.9 | -2.5 | -1.1 |
| Nordstrand | 66 | -4.8 | 0.0 | -2.8 | 0.0 | 0.0 | -1.8 | -2.4 | 0.0 | -2.4 | -2.1 | -3.2 | -2.5 | -2.4 | -2.6 | -1.7 | -2.9 |
| Ljan | 92 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -4.0 | 0.0 | -5.4 | -6.1 | -3.9 | 0.0 | -4.9 | -5.6 | -1.9 | -3.4 |
| Hauketo | 145 | -3.7 | -3.7 | -3.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -1.6 | 0.0 | -4.7 | -2.8 | -3.9 | -0.9 | -1.5 | -0.7 | -3.5 | -3.1 |
| Holmlia | 150 | -2.9 | -3.4 | -2.7 | -3.4 | 0.0 | -1.1 | 0.0 | 0.0 | -0.8 | -2.4 | -2.8 | -2.3 | -1.4 | -0.9 | -3.1 | -1.3 |
| Rosenholm | 118 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -1.8 | 0.0 |
| Kolbotn | 142 | -4.4 | -4.9 | -3.8 | -3.2 | 0.0 | -4.0 | -1.0 | 0.0 | 0.0 | -2.0 | -2.3 | -1.2 | -1.3 | -0.8 | -2.8 | -0.8 |
| Solbråtan | 89 | -5.2 | 0.0 | 0.0 | -2.2 | 0.0 | -3.9 | -2.5 | -4.0 | 0.0 | 0.0 | -2.4 | -1.2 | -0.8 | -0.7 | -1.6 | -1.7 |
| Myrvoll | 102 | -3.6 | -4.2 | -3.6 | -2.0 | -1.2 | -3.2 | -4.0 | -2.4 | -1.5 | -2.0 | 0.0 | -4.2 | -0.6 | -0.8 | -2.1 | -2.5 |
| Greverud | 126 | -2.8 | -2.9 | -2.1 | -3.2 | 0.0 | -2.1 | -2.0 | 0.0 | -0.9 | -2.5 | 0.0 | 0.0 | -1.0 | -1.0 | -1.5 | -2.0 |
| Oppegård | 129 | -2.3 | -1.8 | -1.5 | -3.2 | 0.0 | -1.7 | -1.2 | 0.0 | -0.6 | -1.6 | -1.5 | -0.7 | 0.0 | -1.6 | -1.0 | -0.9 |
| Vevelstad | 138 | -1.7 | -1.2 | -0.9 | -2.6 | 0.0 | -1.1 | -1.4 | 0.0 | -0.3 | -1.5 | -1.8 | -0.9 | -1.0 | 0.0 | 0.0 | -0.8 |
| Langhus | 96 | -2.9 | -2.2 | -2.5 | -1.1 | -5.1 | -2.7 | -1.1 | -3.4 | -2.0 | -1.7 | -1.6 | -1.7 | -3.2 | 0.0 | 0.0 | -1.6 |
| Ski | 156 | -0.8 | -0.7 | -0.8 | -3.4 | 0.0 | -0.4 | -0.4 | 0.0 | -0.4 | -1.1 | -3.1 | -1.0 | -1.0 | -0.7 | -2.0 | 0.0 |

Man forventer naturligvis at bedret frekvens skal gi økt etterspørsel for alle relasjoner. Bedret frekvens kan imidlertid medføre endring i rutevalg og stasjonsvalg. Dette kan i spesielle tilfeller medføre at enkelte stasjoner vil miste passasjerer til nabostasjoner, og gi fall i etterspørsel.

Strekningen Oslo S-Fredrikstad-Halden

Tabell 12 og 13 viser elastisiteter for resten av den kystnære Østfoldbanen for henholdsvis trafikk tall basert på SINTEFs applikasjon og trafikk tall basert på alternativt rutevalgsoppsett.

Tabell 12. Etterspørselastisiteter for relasjoner på Østfoldbanen fra JBV

| Stasjon | Nr | 166 | 156 | 44 | 140 | 123 | 71 | 147 | 74 | 70 | 148 | 75 | 88 |
|-------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| Oslo S | 166 | 0.0 | -4.7 | -7.6 | -5.1 | -4.7 | -4.6 | -14.5 | -14.8 | -32.9 | -23.8 | -16.2 | 0.0 |
| Ski | 156 | -5.1 | 0.0 | -4.8 | -5.3 | -5.2 | -5.1 | -11.3 | -13.3 | -18.4 | -26.6 | -13.0 | -21.6 |
| Ås | 44 | -4.1 | -6.9 | 0.0 | -2.8 | -2.8 | -4.9 | -7.5 | -18.8 | -7.1 | -26.1 | -7.2 | 0.0 |
| Vestby | 140 | -4.5 | -4.1 | -2.7 | 0.0 | -1.6 | -5.0 | -5.3 | -236.6 | -717.5 | -41.4 | -11.2 | 0.0 |
| Sonsveien | 123 | -6.5 | -5.1 | -3.2 | -1.3 | 0.0 | -21.3 | -14.5 | 0.0 | 0.0 | -6.7 | 0.0 | 0.0 |
| Kambo | 71 | -6.8 | -6.7 | -4.4 | -3.4 | -2.7 | 0.0 | -0.5 | -3.3 | -4.1 | -5.9 | -5.1 | -8.9 |
| Moss | 147 | -8.3 | -9.9 | -7.3 | -5.1 | -3.5 | -0.1 | 0.0 | -3.9 | -3.9 | -5.6 | -4.9 | -12.1 |
| Rygge | 74 | -14.3 | -13.0 | -10.2 | -11.6 | 0.0 | -2.9 | -4.3 | 0.0 | -5.0 | -4.4 | -6.1 | -10.1 |
| Råde | 70 | -28.9 | -10.0 | -7.0 | -13.1 | 0.0 | -5.0 | -4.1 | -4.8 | 0.0 | -3.1 | -4.3 | -6.5 |
| Fredrikstad | 148 | -23.2 | -27.5 | -14.6 | -11.1 | -12.5 | -5.7 | -5.7 | -4.5 | -3.0 | 0.0 | -10.1 | -5.0 |
| Sarpsborg | 75 | -14.4 | -15.1 | 0.0 | -11.5 | 0.0 | -3.8 | -5.3 | -5.3 | -4.4 | -11.1 | 0.0 | -4.4 |
| Halden | 88 | -31.0 | -22.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -6.5 | -8.0 | -4.3 | -6.5 | -4.7 | -5.5 | 0.0 |

Tabell 13. Alternative etterspørselastisiteter for relasjoner på Østfoldbanen

| Stasjon | Nr | 166 | 156 | 44 | 140 | 123 | 71 | 147 | 74 | 70 | 148 | 75 | 88 |
|-------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| Oslo S | 166 | 0.0 | -1.1 | -5.5 | -4.5 | -3.9 | -5.5 | -14.4 | -16.0 | -31.5 | -21.2 | -22.1 | 0.0 |
| Ski | 156 | -0.8 | 0.0 | -4.5 | -3.2 | -3.0 | -3.6 | -4.4 | -9.0 | -11.5 | -16.9 | -12.4 | -18.7 |
| Ås | 44 | -4.9 | -4.6 | 0.0 | -3.0 | -3.3 | -4.8 | -7.4 | -17.5 | -10.7 | -41.1 | -3.8 | 0.0 |
| Vestby | 140 | -3.7 | -3.2 | -2.9 | 0.0 | -6.7 | -5.6 | -5.8 | -136.1 | -451.2 | -73.9 | -14.6 | 0.0 |
| Sonsveien | 123 | -5.2 | -4.2 | -3.3 | -1.6 | 0.0 | -4.3 | -6.7 | 0.0 | 0.0 | -29.7 | 0.0 | 0.0 |
| Kambo | 71 | -8.2 | -5.6 | -4.5 | -3.3 | -2.8 | 0.0 | -2.6 | -6.8 | -8.2 | -9.8 | -8.5 | -13.1 |
| Moss | 147 | -6.8 | -3.8 | -7.5 | -5.0 | -5.0 | -1.7 | 0.0 | -3.2 | -3.7 | -6.0 | -6.0 | -10.4 |
| Rygge | 74 | -19.6 | -8.9 | -16.8 | -7.6 | 0.0 | -6.8 | -3.3 | 0.0 | -3.3 | -5.9 | -4.3 | -9.0 |
| Råde | 70 | -23.3 | -6.6 | -12.5 | -8.7 | 0.0 | -8.3 | -3.5 | -2.9 | 0.0 | -3.8 | -2.9 | -6.7 |
| Fredrikstad | 148 | -20.4 | -19.9 | -19.9 | -19.8 | -19.8 | -9.1 | -6.1 | -5.6 | -4.0 | 0.0 | -4.4 | -4.6 |
| Sarpsborg | 75 | -12.7 | -10.2 | 0.0 | -15.1 | 0.0 | -8.5 | -5.5 | -3.7 | -2.7 | -3.7 | 0.0 | -4.3 |
| Halden | 88 | -10.3 | -14.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -12.5 | -7.3 | -6.6 | -6.9 | -4.9 | -4.4 | 0.0 |

Begge tabellene har mange verdier som ligger langt utenfor hva man kan anse som realistiske elastisiteter. Bruk av alternativt oppsett for nettutlegging gir kanskje gjennomgående noe mer fornuftige resultater, men ikke realistiske resultater for mange av relasjonene som hadde urimelige elastisiteter i utgangspunktet.

Årsaken til at elastisitetene varierer mer i størrelse for relasjoner på ytre del av toglinjen enn på delen nær Oslo er nok at frekvensen er vesentlig høyere nær Oslo i utgangspunktet. Dermed får betydningen av frekvensøkningen større effekt i ytre deler der avgangshyppigheten er lav. Dette gir større endringer i rutevalg, og større innslag av litt tilfeldige variasjoner.

Tiltaket som innebærer doblet frekvens er trolig for omfattende til å gi plausible elastisiteter for strekninger der frekvens er lav. Mer moderat forbedring kunne muligens gitt bedre verdier for disse relasjonene.

Strekningen Oslo S-Drammen

Tabell 14 og 15 viser elastisiteter for strekningen Oslo S - Drammen for henholdsvis trafikk tall basert på SINTEFs applikasjon og trafikk tall basert på alternativt rutevalgsoppsett.

Også her viser tabellene at en del av relasjonene har urimelig store etterspørselastisiteter ved begge nettutleggingsoppsett, men den alternative beregningsmåten ser ut til å gi resultater mer i tråd med forventningene for relasjoner nær Oslo.

Tabell 14. Etterspørselselastisiteter for relasjoner mellom Oslo S og Drammen fra JBV

| Stasjon | Nr | 166 | 158 | 153 | 151 | 97 | 84 | 91 | 152 | 114 | 117 | 115 | 85 | 90 | 155 | 186 | 110 | 154 |
|------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|------|------|-------|------|-------|-------|
| Oslo S | 166 | 0.0 | -33.6 | -10.6 | -13.2 | -9.4 | 0.0 | -4.5 | -4.0 | -3.2 | -5.1 | -1.4 | -1.2 | 0.0 | -0.6 | -3.6 | -18.1 | -4.1 |
| Nasjonalth | 158 | -44.1 | 0.0 | -5.3 | -8.5 | -6.2 | 0.0 | -4.3 | -1.8 | -3.8 | -4.7 | -1.2 | -0.9 | 0.0 | 0.4 | -2.8 | -14.8 | -3.2 |
| Skøyen | 153 | -8.2 | -2.7 | 0.0 | 0.0 | -9.9 | 0.0 | -4.2 | -2.9 | -3.8 | -5.0 | -1.5 | -1.1 | -2.4 | -3.9 | -2.9 | -15.0 | -5.9 |
| Lysaker | 151 | -8.0 | -6.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.8 | -0.8 | -3.5 | -4.7 | -1.3 | -0.9 | 0.0 | -2.8 | -2.8 | -11.5 | -4.2 |
| Stabekk | 97 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -12.1 | 0.0 | -7.4 | -10.1 | -10.8 | -3.4 | -6.8 | -2.5 | -1.9 | -4.8 | -23.2 | 0.0 | 0.0 | -25.4 |
| Høvik | 84 | -39.6 | -20.5 | 0.0 | -24.1 | -8.6 | 0.0 | -15.0 | 0.0 | -3.5 | -4.1 | -1.8 | -2.1 | -3.7 | -20.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Blommenh | 91 | 0.0 | -9.5 | 0.0 | -9.0 | -10.1 | 0.0 | 0.0 | -7.8 | -5.2 | -4.7 | -1.2 | -0.2 | -2.4 | -4.6 | 0.0 | 0.0 | -6.4 |
| Sandvika | 152 | -7.0 | -4.6 | -10.9 | -5.9 | -2.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -8.7 | -1.4 | -1.7 | -1.8 | -2.7 | 0.7 | -2.6 | -6.4 | -3.3 |
| Slependen | 114 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -7.8 | -15.7 | -6.6 | -19.3 | 0.0 | 11.2 | -1.5 | -0.8 | -1.7 | -3.7 | 0.0 | 0.0 | -7.1 |
| Billingsst | 117 | -1.4 | -1.9 | -2.3 | -1.2 | -3.3 | -2.1 | -2.2 | -3.7 | 19.0 | 0.0 | -4.0 | -2.7 | -2.2 | -2.6 | -8.9 | 0.0 | -4.5 |
| Hvalstad | 115 | -1.6 | -1.3 | -1.2 | -2.0 | -2.7 | -2.5 | -2.2 | -2.0 | -1.5 | -3.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -2.4 | -3.5 | 0.0 | -3.2 |
| Vakås | 85 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -1.3 | 0.0 | 0.0 | -2.0 |
| Høn | 90 | 0.0 | 0.0 | -0.8 | 0.0 | -4.2 | -3.9 | -3.1 | -2.0 | -2.4 | -3.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -6.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Asker | 155 | -0.5 | 0.6 | -2.6 | 0.3 | -19.3 | -21.1 | -4.1 | -0.9 | -2.8 | -5.1 | -2.9 | -1.5 | -6.4 | 0.0 | -2.9 | 0.0 | -0.4 |
| Lier | 186 | -4.2 | -3.1 | -2.7 | -2.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -2.0 | 0.0 | -15.7 | -3.9 | 0.0 | 0.0 | -3.4 | 0.0 | -8.7 | -2.7 |
| Brakerøya | 110 | -16.0 | -10.6 | -8.0 | -12.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -7.5 | -7.3 | -11.0 | -5.9 | 0.0 | 0.0 | -5.4 | -5.2 | 0.0 | -1.1 |
| Drammen | 154 | -5.8 | -4.6 | -4.1 | -2.9 | 0.0 | 0.0 | -26.6 | -4.2 | -6.7 | -18.0 | -6.2 | -2.7 | 0.0 | -4.9 | -2.8 | 0.0 | 0.0 |

Tabell 15. Alternative etterspørselselastisiteter for relasjoner mellom Oslo S og Drammen

| Stasjon | Nr | 166 | 158 | 153 | 151 | 97 | 84 | 91 | 152 | 114 | 117 | 115 | 85 | 90 | 155 | 186 | 110 | 154 |
|------------|-----|-------|------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|------|-------|-------|
| Oslo S | 166 | 0.0 | -2.4 | -1.8 | -3.1 | -7.4 | 0.0 | -5.9 | -4.0 | -4.5 | -4.1 | -2.1 | 1.0 | 0.0 | 6.2 | -0.8 | -13.5 | -1.7 |
| Nasjonalth | 158 | -2.3 | 0.0 | -3.2 | -3.5 | -7.3 | 0.0 | -6.0 | -4.1 | -3.7 | -3.5 | -1.8 | 0.3 | 0.0 | 2.6 | -1.2 | -10.7 | -1.7 |
| Skøyen | 153 | -2.9 | -2.9 | 0.0 | 0.0 | -4.6 | 0.0 | -6.0 | -3.8 | -4.3 | -4.3 | -2.3 | -2.4 | -6.1 | -3.6 | -1.9 | -9.0 | -3.6 |
| Lysaker | 151 | -4.0 | -4.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -5.2 | -5.4 | -3.7 | -5.1 | -2.1 | -1.9 | 0.0 | -4.5 | -1.3 | -7.9 | -1.4 |
| Stabekk | 97 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -6.8 | 0.0 | -9.3 | -8.3 | -5.3 | -6.2 | -6.5 | -4.0 | -3.0 | -15.7 | -7.2 | 0.0 | 0.0 | -11.2 |
| Høvik | 84 | -10.9 | -9.4 | 0.0 | -8.2 | -6.1 | 0.0 | -5.5 | 0.0 | -3.2 | -2.9 | -1.3 | -0.9 | -4.1 | -6.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Blommenh | 91 | 0.0 | -8.7 | 0.0 | -7.5 | -7.9 | 0.0 | 0.0 | -4.9 | -5.7 | -4.6 | -1.8 | -1.2 | -4.2 | -4.6 | 0.0 | 0.0 | -13.5 |
| Sandvika | 152 | -7.1 | -5.2 | -3.4 | -3.4 | -6.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -3.1 | -4.1 | -1.9 | -1.8 | -6.6 | -1.2 | -1.2 | -6.8 | -4.6 |
| Slependen | 114 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -8.7 | -4.7 | -5.9 | -2.7 | 0.0 | 8.2 | -1.8 | -1.2 | -2.7 | -3.1 | 0.0 | 0.0 | -8.9 |
| Billingsst | 117 | -6.6 | -5.1 | -5.9 | -3.3 | -6.1 | -4.7 | -3.6 | -4.1 | 6.5 | 0.0 | -1.4 | -0.5 | -3.3 | -2.4 | -6.2 | 0.0 | -7.4 |
| Hvalstad | 115 | -2.1 | -1.9 | -2.2 | -2.6 | -3.1 | -1.9 | -2.0 | -2.0 | -1.9 | -2.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -2.4 | -2.3 | 0.0 | -3.4 |
| Vakås | 85 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -1.0 | 0.0 | 0.0 | -1.2 |
| Høn | 90 | 0.0 | 0.0 | -4.0 | 0.0 | -4.8 | -3.4 | -2.7 | -2.7 | -3.1 | -2.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -5.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Asker | 155 | 0.5 | 0.2 | 0.5 | -0.7 | -4.4 | -2.9 | -3.8 | 0.0 | -2.7 | -2.7 | -3.0 | -1.3 | -4.6 | 0.0 | -0.3 | 0.0 | -1.4 |
| Lier | 186 | -1.4 | -1.6 | -2.4 | -1.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -2.4 | 0.0 | -7.0 | -4.1 | 0.0 | 0.0 | -1.3 | 0.0 | -1.8 | -2.1 |
| Brakerøya | 110 | -9.4 | -8.4 | -11.4 | -6.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -6.7 | -8.0 | -7.4 | -8.5 | 0.0 | 0.0 | -4.4 | -2.4 | 0.0 | -5.0 |
| Drammen | 154 | -2.0 | -2.3 | -5.2 | -2.2 | 0.0 | 0.0 | -20.4 | -4.4 | -8.3 | -9.9 | -7.8 | -3.4 | 0.0 | -1.2 | -2.5 | 0.0 | 0.0 |

Vurdering av metode

RTM beregner beste rute mellom grunnkretser, og nettutlegger trafikk i all hovedsak på beste rute. Grunnkretsenes geografiske plassering vil være avgjørende for hvilke holdeplasser og transportformer som velges. Det er viktig at LOS-data inneholder

beste rutevalg og gir et konsistent datagrunnlag fra trafikantnytteberegningene. Fordi nettverksmodellene inneholder en meget finmasket sonestruktur, vil nok overordnet fordeling mellom ulike transportformer være rimelig jevn der det er en reell konkurranseflate mellom tog og buss, men på enkeltrelasjoner vil modellene være følsomme og passasjertallene variere betydelig med litt tilfeldige variasjoner i grunnkretsenes geografiske plassering i nettverket og kvaliteten på det kodete kollektivtilbudet.

For å sikre at passasjertallene ikke blir altfor følsomme for små endringer i tilbudet, kan det derfor være hensiktsmessig å åpne opp modellen for mer utstrakt bruk av alternative ruter, og en logitbasert fordeling av passasjerer på ulike ruter når man har som mål å beregne relasjonsbaserte etterspørselastisiteter.

Valget av parameterverdi for λ kan diskuteres. Hvor mye dårligere en rute skal være før den ikke lenger brukes vil avhenge av total generalisert reisekostnad, men parametrene som her benyttes ser kun på absolutte forskjeller i generalisert reisekostnad. Dermed vil fordelingen mellom to ruter med en gitt forskjell i generalisert reisekostnad være lik uavhengig av kostnadenes totale størrelse. Man må derfor vite noe om det generelle nivået på generaliserte reisekostnader for relasjonene man skal beregne før man kan bestemme valg av parameterverdi.

Det er uansett svært sannsynlig at en kraftig nedjustering av λ vil kunne gi mer fornuftige elastisiteter enn bruk av oppsettet i RTM, og det anbefales å gjøre en slik tilpasning for å beregne elastisitetene.

For relasjoner der dagens togtilbud har lav avgangshyppighet vil doubling av frekvensen gi store omveltninger som kan slå urimelig ut når man analyserer enkeltstasjoner og enkeltrelasjoner. Det hadde derfor vært en fordel å få på plass resultater fra regional persontransportmodell for et scenario som beregner mindre forbedringer i togtilbudet, og se hvordan slike tall vil slå ut på elastisitetene.

Å bruke annet rutevalgsoppsett i LOS-dataproduksjon og nettfordeling reiser noen spørsmål om konsistens, men når formålet er å hente ut elastisiteter på relasjonsnivå, anses ikke dette å være veldig problematisk. Usikkerheten er uansett relativt stor som følge av måten rutevalget beregnes på og hvordan sonestrukturen tilordner alle bosatte i en grunnkrets til et gitt geografisk punkt som utgangspunkt for reisen.

Kjøring av RTM gir turmatriser på grunnkrets nivå og sammen med inndata for kollektivtilbudet kan dette brukes til å gjøre alternativ netttutlegging for å bedre ta høyde for at ikke alle personer i en gitt grunnkrets velger det samme kollektivtilbudet. Dette vil gi nye og trolig mer robuste trafikk tall. LOS-data for tog mellom stasjoner kan fremdeles hentes fra SINTEFs applikasjon, og brukes til å beregne elastisitetene.

Uttak av reisedata fra stasjon til stasjon

Cube Voyager har funksjonalitet for å ta ut antall reiser fra stasjon til stasjon. Denne funksjonaliteten ligger til grunn for etterspørselsberegningene i SINTEFs applikasjon.

Det skrives ut en fil som kan inneholde informasjon om antall reiser mellom hvert sonepar for hver leg av kollektiv rutevalg. Ved bruk av en bestpathonly-algoritme vil alle reiser mellom et gitt sonepar velge samme rute. Dersom denne ruten består av to legs, for eksempel en togreise og en bussreise, vil informasjonen om begge reisene skrives ut til fil. Man får da informasjon om opphavssone, destinasjonssone, ombordstigningsstasjon, avstigningsstasjon, antall reiser og transportform.

Filen angir antall reiser med to desimaler. Fordi alle soneparene skrives ut separat, vil mange av reisevolumene inneholde små tall, og dermed vil man miste noen reiser pga avrundinger. Dette frafallet blir større om man velger en tilnærming der trafikkvolumene fordeles til flere alternative ruter da disse små tallene fordeles mellom flere ruter.

Filen kan aggregeres på ulike sett ved bruk av ACCUMULATE-paramteren, men det virker ikke mulig å aggregere den på holdeplassrelasjoner direkte. I SINTEFs applikasjon har man valgt ACCUMULATE=ALLONOFFS. Dette innebærer at man skriver ut reiser for alle legs. En togreise som består av to delreiser og togbytte på stasjon vil dermed rapporteres som to relasjoner. Første relasjon går mellom påstigningsstasjon og stasjon for bytte, mens andre relasjon går mellom byttestasjon og avstigningsstasjon.

Dersom man heller velger ACCUMULATE=FIRSTLASTBYMODE vil denne togreisen rapporteres som en relasjon. Bytter innenfor samme transportform rapporteres ikke. Det gjør kun første påstigning og siste avstiging så lenge man holder seg på samme transportform.

Vedlegg 3

Formel utregning av totale tidsverdiveakter av trengsel for en strekning

For å beregne de totale tidsverdiveakten av trengsel tar vi utgangspunkt i et tog som starter på stasjon 0, og kjører strekning X. Stasjonene toget passerer underveis betegnes med bokstaven i eller j , og snittet (mellom to stasjoner) betegnes med $j, j+1$ eller $i, i+1$. Det antas at alle reisende på et snitt møter samme trengsel, og har lik tidsverdiveakt av trengselen på snittet. Påslaget på generaliserte kostnader blir imidlertid ulikt, som følge av at reisende med forskjellige formål har ulike tidsverdier.

Belegget på toget på snitt $i, i+1$ benevnes med $B^{i,i+1}$, og er til enhver tid gitt ved:

$$1) B^{i,i+1} = B^{i-1,i} + P\hat{a}^i - Av^i$$

Der $P\hat{a}^i$ er antall påstigende på stasjon i og Av^i er antall avstigende på stasjon i , slik at likning 1) gir at belegget på en strekning mellom to stasjoner gis av antall passasjerer som satt på toget inn på stasjonen, pluss de som gikk på og minus de som gikk av. Belegget på første snitt, mellom stasjon 0 og stasjon 1, kan gis ved:

$$2) B^{0,1} = P\hat{a}^0 - Av^0$$

Her antas at antall passasjerer som stiger av på første stasjon, Av^0 , er lik null. Dette gjør at det totale belegget på toget mellom stasjon i og $i+1$ kan gis av følgende relasjon:

$$3) B^{i,i+1} = B^{0,1} + \sum_{j=1}^{j=i} (P\hat{a}^j - Av^j) = \sum_{j=0}^{j=i} (P\hat{a}^j - Av^j)$$

Det vil si at belegget mellom stasjon i og j er gitt av differansen mellom antall passasjerer som går på og antall passasjerer som stiger av summert over alle stasjoner mellom stasjon i og j . Videre kan man finne kun det stående belegg på toget, det vil si antall passasjerer som må stå, mellom stasjon i og $i+1$, $(B_{st\hat{a}})^{i,i+1}$. Dette er gitt ved:

$$4) B_{st\hat{a}}^{i,i+1} = 0 \text{ hvis } B^{i,i+1} = \sum_{j=0}^{j=i} (P\hat{a}^j - Av^j) < S$$

$$B_{st\hat{a}}^{i,i+1} = B^{i,i+1} - S \text{ ellers}$$

Ligningssystemet sier at ingen passasjerer må stå mellom stasjonene dersom antall passasjerer på strekningen er lavere enn antall seter på toget, S . Dette utnyttes til å finne sannsynligheten for å få sitteplass, p (S_{ii}), når man stiger på toget på stasjon i . Vi forutsetter at dersom det er stående på toget ved ankomst til stasjon i , vil disse ta sitteplassene for nye påstigende. Slik at:

$$5) p(Sit^i) = 1 \text{ hvis } B^{i,i+1} < S$$

$$p(Sit^i) = 0 \text{ hvis } B_{stå}^{i,i-1} > Av^i$$

$$p(Sit^i) = \frac{P_{sit}^i}{P_{å}^i} \text{ ellers}$$

Hvor P_{sit}^i er antall påstigende som får sitteplass. Denne er igjen gitt ved:

$$6) P_{sit}^i = 0 \text{ hvis } B^{i,i-1} - S > Av^i$$

$$P_{sit}^i = Av^i - B_{stå}^{i,i-1} \text{ ellers}$$

Ingen får med andre ord sitte dersom det ikke er ledige seter på strekningen inn til stasjon i , samt at det ikke går av nok personer til at seter frigis til nye reisende.

Dersom det derimot er ledige seter (etter avstigning og stående passasjerer har satt seg), avhenger antallet som får sitte av differansen mellom antallet som gikk av og stående passasjerer i utgangspunktet. Merk at i dette tilfellet er $B^{i,i-1} - S < Av^i$, som betyr at det går av nok personer til at det frigis sitteplasser.

Vi kan også uttrykke sjansene for å stå og sitte når man går på toget via sannsynlighetsverdier:

$$7) p(P_{stå}^i) = 1 - p(P_{sit}^i)$$

Likning 7) sier at sannsynligheten for å stå er omvendt proporsjonal av sannsynligheten for å sitte.

For å gjøre en nøyaktig beregning av den totale verdsettingen av trengsel per relasjon, må vi også vurdere de ståendes mulighet til å kapre en sitteplass *underveis*. Vi antar at stående får mulighet til å kapre en sitteplass hver gang toget kommer til en ny stasjon, og noen av de som sitter stiger av. For å kartlegge sannsynligheten for at passasjerer som står får sitte ved neste stasjon, må vi vite fordelingen mellom sittende og stående for de som gikk av toget.

For alle relasjoner $i, i+1$ vil sannsynligheten for å gå av som stående være lik sannsynligheten for å gå på som stående, da det ikke er noen mellomliggende stasjoner og dermed ingen muligheter for å kapre sitteplass underveis:

$$8) p(Av_{stå}^{i,i+1}) = p(P_{stå}^i) = 1 - p(Sit^i) \text{ for alle relasjoner } i, i + 1$$

For relasjoner som går over mer enn to stasjoner er det muligheter for å kapre sitteplasser underveis. For relasjoner mellom to stasjoner, $i, i+2$, er sannsynligheten gitt ved:

$$9) p(Av_{stå}^{i,i+2}) = 0 \text{ hvis } 1 - p(Sit^i) = 0$$

$$p(Av_{stå}^{i,i+2}) = (1 - p(Sit^i)) \cdot \left[1 - \frac{L^{i+1}}{B_{stå}^{i,i+1}} \right] \text{ ellers}$$

Her benevner L^i antall ledige sitteplasser rett etter avstigning på stasjon i . Den første likningen sier at det er ingen sannsynlighet for å gå av som stående, dersom man får sitte når man går på. Dersom man ikke gjør det, vil sannsynligheten for å gå av som stående avhenge av sannsynligheten for å kapre en plass på stasjon $i+1$. Denne sannsynligheten gis av antall frigitte sitteplasser på stasjon $i+1$, som følge av avstigning og det stående belegget frem til $i+1$, som er de passasjerene som i første omgang konkurrerer om de ledige plassene. Dette gir at $\left[1 - (L^{i+1}/B_{stå}^{i,i+1}) \right]$ er

sannsynligheten for å gå av som stående, gitt at man går på som stående. Dette ganges så med sannsynligheten for å gå på som stående, $(1 - p(\text{Sit}^i))$. Resultatet blir en differenslikning som gir antall avstigende på stasjon $i+2$ som har stått hele veien fra stasjon i , og som gjelder for alle stasjoner mellom i , $i+2$.

$$10) Av_{st\ddot{a}}^{i+2} = Av^{i+2} \cdot p(Av_{st\ddot{a}}^{i,i+2}) = Av^{i+2} \cdot (1 - p(\text{Sit}^i)) \cdot \left[1 - \frac{L^{i+1}}{B_{st\ddot{a}}^{i,i+1}} \right]$$

Videre ser vi litt nærmere på antall ledige sitteplasser etter avstigning, L . Dette er de sitteplassene som de stående kan kapre, og kan skrives som:

$$11) L^i = (Av^i - Av_{st\ddot{a}}^i) \text{ hvis } B^{i-1,i} > S$$

$$L^i = S - B^{i-1,i} + (Av^i - Av_{st\ddot{a}}^i) \text{ ellers}$$

Likningen ser vi avhenger av $Av_{st\ddot{a}}^i$. Dersom vi setter inn for likning 11) i likning 10) får vi en differenslikning for $Av_{st\ddot{a}}^{i+2}$, som er entydig løsbar når $Av_{st\ddot{a}}^0$ settes lik 0. For alle relasjoner i , $i+2$ kan denne uttrykkes som:

$$Av_{st\ddot{a}}^{i+2} = Av^{i+2} \cdot (1 - p(\text{Sit}^i)) \cdot \left[1 - \frac{(Av^{i+1} - Av_{st\ddot{a}}^{i+1})}{B_{st\ddot{a}}^{i,i+1}} \right] \text{ hvis } B^{i,i+1} > S$$

$$Av_{st\ddot{a}}^{i+2} = Av^{i+2} \cdot (1 - p(\text{Sit}^i)) \cdot \left[1 - \frac{S - B^{i-1,i} + (Av^i - Av_{st\ddot{a}}^i)}{B_{st\ddot{a}}^{i,i+1}} \right] \text{ ellers}$$

Ved videre innsetting kan vi finne likninger for i , $i+3$ og i , $i+4$ og så videre.

Sannsynligheten for å ta en sitteplass som stående ved ankomst til ny stasjon er da gitt ved:

$$12) p(\text{Sit}_*^i) = 1 \text{ hvis } B_{st\ddot{a}}^{i-1,i} = 0$$

$$p(\text{Sit}_*^i) = 1 \text{ hvis } L^i > (B_{st\ddot{a}}^{i-1,i} - Av_{st\ddot{a}}^i)$$

$$\text{ellers; } p(\text{Sit}_*^i) = L^i / (B_{st\ddot{a}}^{i-1,i} - Av_{st\ddot{a}}^i)$$

Der $(B_{st\ddot{a}}^{i-1,i} - Av_{st\ddot{a}}^i)$ er da antall stående som er igjen på toget etter avstigning på stasjon i , før de stående eventuelt har begynt å sette seg.

Etter å ha kartlagt sannsynlighetene for å få sitteplass og ståplass på togreisen, kan vi beregne den total trengselsverdien på en strekning, mellom alle stasjoner, i og j . Vi husker at en person som går på toget enten går på og får sitteplass eller går på som stående. Går man på som stående har man ved hver nye stasjon mulighet til å ta en sitteplass, noe som må inkluderes i beregningen av totale tidsverdivekter av trengsel. Vi begynner med å uttrykke tidsverdivekten på en relasjon som et sannsynlighetsveid gjennomsnitt, som gitt av relasjon 13):

$$13) TV^{ij} = TV_{sit}^{ij} \cdot P_{sit}^i + TV_{st\ddot{a}}^{ij} \cdot P_{st\ddot{a}}^i$$

Her ser vi at den totale tidsverdivekten mellom stasjon i og j avhenger av den sannsynlighetsvektede fordelingen av tidsverdivektene for sittende og stående på strekningen, mellom stasjon i og j . Her er det verdt å merke seg at antall sannsynlighetsverdier kun angir om man starter turen som sittende eller stående. Vi går nå videre til å bestemme TV_{sit}^{ij} og $TV_{st\ddot{a}}^{ij}$.

Som vist i delkapittel 2.2.2, vil trengselsvekten for stående på det enkelte snitt mellom stasjon i og $i+1$ være gitt ved:

$$14) TV_{stå}^{i,i+1} = F_{st} + P_{st} \cdot \frac{B^{i,i+1} - S}{S} \cdot 100$$

Og tilsvarende for sittende:

$$15) TV_{sit}^{i,i+1} = F_{si} + P_{si} \cdot \frac{B^{i,i+1}}{S} \cdot 100 \text{ hvis } B^{i,i+1} > I_s \\ = 1 \text{ ellers}$$

Her betegner F_{si} og F_{st} konstantleddene i henholdsvis den sittende og stående trengselsfunksjonen, P_{si} og P_{st} betegner påslaget for økt belegg for henholdsvis sittende og stående, mens I_s er innslagspunktet for sittende, som ble satt til 70 %. Enhver total trengselsvekt for en strekning er dermed en funksjon av trengselsvektene på de involverte snitt, som gis av likning 14) og 15).

Trengselsvekten må videre vektet med kjøretid over snittet, der K^{ij} betegner kjøretid mellom stasjon i og j . Trengsel mellom to stasjoner i og j for sittende passasjerer, TV_{sit}^{ij} , kan uttrykkes som følgende differenslikning:

$$16) TV_{sit}^{ij} = \frac{[TV_{sit}^{i,i+1} * K^{i,i+1} + TV_{sit}^{i+1,i+2} * K^{i+1,i+2} + \dots + TV_{sit}^{j-1,j} * K^{j-1,j}]}{K^{ij}}$$

Dette gir total trengselsvekt for en sittende på en strekning mellom to stasjoner, i og j , der tidsverdivekten mellom hver stasjon gis ved hjelp av likning 15). Likningen er entydig løsbart når det først løses for $TV_{sit}^{0,1}$

For stående er uttrykket mer komplisert, ettersom stående til enhver tid har muligheten til å kapre seter som blir ledige. Vi får følgende differenslikning:

$$17) TV_{stå}^{ij} = \frac{TV_{stå}^{i,i+1} * K^{i,i+1} + (P_{sit}^{i+1} * TV_{sit}^{i+1,i+2} * K^{i+1,i+2} + (1 - P_{sit}^{i+1}) * TV_{stå}^{i+1,i+2} * K^{i+1,i+2} + \dots}{K^{ij}} \\ + \frac{(P_{sit}^{j-1} * TV_{sit}^{j-1,j} * K^{j-1,j} + (1 - P_{sit}^{j-1}) * TV_{stå}^{j-1,j}) * K^{j-1,j}}{K^{ij}}$$

Likningen gir at passasjerer alltid må stå på første snitt (når vedkommende går på som stående), derav uttrykket $TV_{stå}^{i,i+1} * K^{i,i+1}$. Når toget ankommer neste stasjon er det to muligheter. Enten får den stående sitteplass, med sannsynlighet P_{sit}^{i+1} , og får da trengselsvekt som sittende resten av reisen. Hvis passasjerer ikke får sitteplass oppstår samme mulighet på neste stasjon. Dette settes inn i differenslikningen for $TV_{stå}^{i+1,j}$, hvor det også her må vektet for kjøretid. Likningen er entydig løsbart, dersom $TV_{stå}^{0,1}$ løses først.

Ved hjelp av likningene 14) – 17) finner vi et uttrykk for tidsverdivekt av trengsel på strekningen mellom stasjon i og j . Likningene gir samme totale trengselsvekter mellom stasjonene på alle relasjoner, gitt samme togtype.

Transportøkonomisk institutt (TØI)

Stiftelsen Norsk senter for samferdselsforskning

TØI er et anvendt forskningsinstitutt, som mottar basisbevilgning fra Norges forskningsråd og gjennomfører forsknings- og utredningsoppdrag for næringsliv og offentlige etater. TØI ble opprettet i 1964 og er organisert som uavhengig stiftelse.

TØI utvikler og formidler kunnskap om samferdsel med vitenskapelig kvalitet og praktisk anvendelse. Instituttet har et tverrfaglig miljø med rundt 70 høyt spesialiserte forskere.

Instituttet utgir tidsskriftet Samferdsel med 10 nummer i året og driver også forskningsformidling gjennom TØI-rapporter, artikler i vitenskapelige tidsskrifter, samt innlegg og intervjuer i media. TØI-rapportene er gratis tilgjengelige på instituttets hjemmeside www.toi.no.

TØI er partner i CIENS Forskningscenter for miljø og samfunn, lokalisert i Forskningsparken nær Universitetet i Oslo (se www.ciens.no). Instituttet deltar aktivt i internasjonalt forsknings-samarbeid, med særlig vekt på EUs rammeprogrammer.

TØI dekker alle transportmidler og temaområder innen samferdsel, inkludert trafiksikkerhet, kollektivtransport, klima og miljø, reiseliv, reisevaner og reiseetterspørsel, arealplanlegging, offentlige beslutningsprosesser, næringslivets transport og generell transportøkonomi.

Transportøkonomisk institutt krever opphavsrett til egne arbeider og legger vekt på å opptre uavhengig av oppdragsgiverne i alle faglige analyser og vurderinger.

Besøks- og postadresse:

Transportøkonomisk institutt
Gautstadalléen 21
NO-0349 Oslo

22 57 38 00
toi@toi.no
www.toi.no