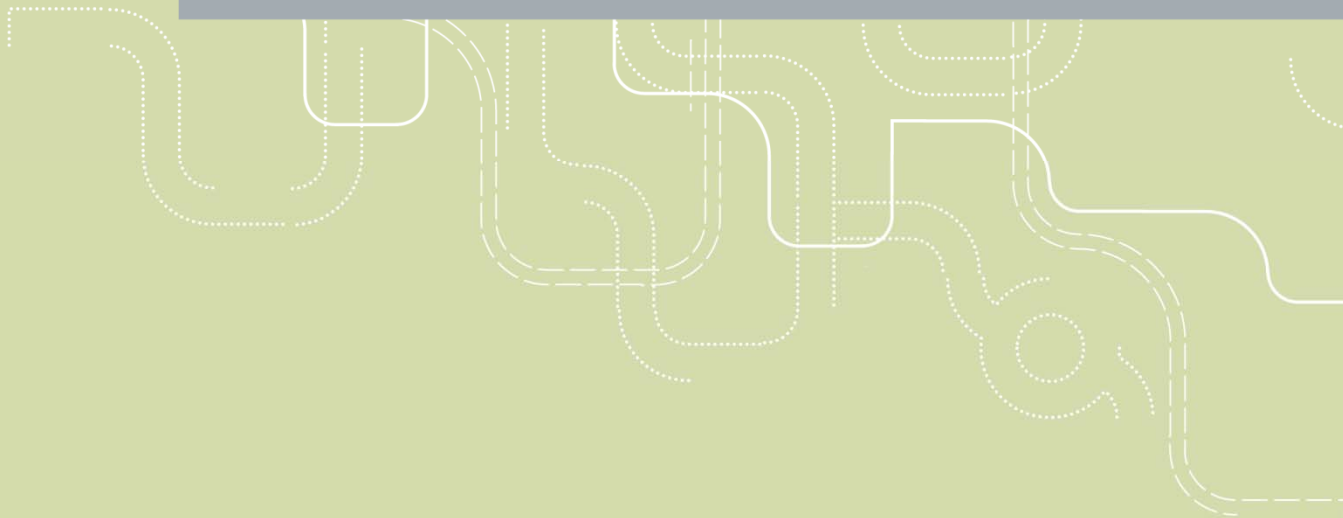


Verdsetting av pålitelighet i samfunnsøkonomiske analyser – PUSAM teorigrunnlag



Verdsetting av pålitelighet i samfunnsøkonomiske analyser – PUSAM teorigrunnlag

Askill Harkjerr Halse
Marit Killi

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: Verdsetting av pålitelighet i samfunnsøkonomiske analyser – PUSAM teorigrunnlag

Forfattere: Askill Harkjerr Halse
Marit Killi

Dato: 10.2010

TØI rapport: 1103/2010

Sider 30

ISBN Elektronisk: 978-82-480-1152-1

ISSN 0808-1190

Finansieringskilde: Jernbaneverket
Norges Forskningsråd

Prosjekt: 3571 - Punktlighetsforbedring for godstrafikk på bane gjennom beslutningsstøttesystem k

Prosjektleder: Marit Killi

Kvalitetsansvarlig: Harald Minken

Emneord: Forsinkelser
Jernbane
Modell
Planlegging
Punktlighet
Standardavvik

Title: The value of reliability in economic analysis – theoretical foundation, PUSAM

Author(s): Askill Harkjerr Halse
Marit Killi

Date: 10.2010

TØI report: 1103/2010

Pages 30

ISBN Electronic: 978-82-480-1152-1

ISSN 0808-1190

Financed by: Norwegian National Rail Administration
The Research Council of Norway

Project: 3571 - Punktlighetsforbedring for godstrafikk på bane gjennom beslutningsstøttesystem k

Project manager: Marit Killi

Quality manager: Harald Minken

Key words: Delays
Deviation
Model
Punctuality
Railway

Sammendrag:

Det synes å være nokså bred enighet i forskningsmiljøene om at den samfunnsøkonomiske verdien av mer pålitelig transport bør inngå i nyttekostnadsanalyser i transportsektoren. Samtidig er det ikke konsensus om akkurat hvordan denne verdien skal måles. I denne rapporten redegjør vi for hvor langt en har kommet i litteraturen på vei mot å utvikle et teoretisk rammeverk for verdsetting av pålitelighet og peker på at det er en del som gjenstår med tanke på bruk i jernbanetransport. Dette gjelder både person- og godstransport. Vi gjør også rede for hvordan stated preference-undersøkelser kan brukes til å tallfeste verdien av mer stabile transporttider, og viser utvalgte norske og internasjonale empiriske resultater.

Summary:

To a large extent, researchers seem to agree that the economic value of more reliable transport should be included in cost-benefit analyses used in the transport sector. At the same time, there is no clear consensus concerning how this value should be measured. In this report, we account for the research steps taken towards establishing a theoretical framework for valuing reliability. We also show that there is still some work to be done in the case of railway transport, for travel as well as freight. We also discuss how stated preference studies can be used to measure the value of less variable transport times, and review selected empirical results, both Norwegian and international.

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 utgjør en leveranse i arbeidspakke 1.1 i prosjektet PUSAM - Punktlighetsforbedring for godstrafikk på bane gjennom beslutningsstøttesystem basert på samfunnsøkonomiske kostnader. PUSAM er et brukerstyrt innovasjonsprosjekt innenfor Forskningsrådets SMARTRANS-program for næringslivets transporter. Jernbaneverket er prosjektansvarlig, de øvrige prosjektdeltakerne er CargoNet, NSB, Flytoget, SINTEF og Transportøkonomisk institutt (TØI). Prosjektleder er Hans Erik Wiig i Jernbaneverket.

Forskningsaktivitetene i prosjektet blir finansiert av Forskningsrådet og Jernbaneverket. I tillegg bidrar alle deltakerbedriftene med egeninnsats i form av arbeidstimer.

Arbeidspakke 1.1 i prosjektet utføres av SINTEF og TØI og går ut på å sammenstille teorigrunlaget for PUSAM basert på tidligere forskning innenfor punktligheit, jernbanetransport og samfunnsøkonomiske analyser. Denne arbeidspakken er todelt: TØIs bidrag er en state-of-the-art-analyse av metodikken for samfunnsøkonomisk verdsetting av pålitelighet med fokus på jernbanetransport, mens SINTEF har utført en tilsvarende gjennomgang av metodikken for kartlegging av punktligheit og punktligheitstiltak for jernbane. Resultatet av arbeidspakken er publisert i to rapporter:

- *Verdsetting av pålitelighet i samfunnsøkonomiske analyser – PUSAM teorigrunnlag*. TØI-rapport 1103/2010. Forfattere: Askill H. Halse og Marit Killi
- *Beregning av punktligheit og pålitelighet for godstransport på jernbane – PUSAM teorigrunnlag*. SINTEF-rapport A17164. Forfattere: Andreas Økland og Anandasivakumar Ekambaram.

Forskningsleder Harald Minken ved TØI har vært ansvarlig for kvalitetssikring av denne rapporten. Eventuelle gjenstående feil og mangler er forfatterens ansvar.

Oslo, november 2010
Transportøkonomisk institutt

Lasse Fridstrøm
instituttssjef

Kjell Werner Johansen
avdelingsleder

Innhold

Sammendrag

1 Innledning	1
2 Om verdien av pålitelighet	2
2.1 Teoretisk rammeverk	3
2.2 Rammeverk for jernbane.....	6
2.2.1 Sparte transportkostnader ("operatørnytte").....	12
2.3 Rammeverk for gods	13
3 Empiriske studier	16
3.1 Hvordan måle verdien av pålitelighet?	16
3.1.1 SP-undersøkelser	17
3.2 Utvalgte resultater, persontransport	20
3.3 Utvalgte resultater, godstransport	21
3.4 Videre undersøkelser for godstransport	24
4 Dagens praksis.....	25
5 Oppsummering.....	26
6 Referanser.....	28

Sammendrag:

Verdsetting av pålitelighet i samfunnsøkonomiske analyser – PUSAM teorigrunnlag

I denne rapporten gir vi en gjennomgang av det teoretiske grunnlaget for måling av den samfunnsøkonomiske nytten av mer forutsigbar tidsbruk i transport. Eksempler på tallfesting av denne nytten finner vi i nylig gjennomførte TØI-studier. I en slik studie har en funnet at hvis en "typisk" godssending på vei blir en time forsinket, vil det under visse forutsetninger medføre en kostnad for vareeier på 398 kr. Videre har en anslått at en endring i reisetidas standardavvik for togreisende har en vekt på 0,54 i forhold til endringer i kjent reisetid. I denne rapporten forklarer vi hvordan en kommer fram til slike verdier og hvordan de skal tolkes. Vi redegjør videre for hvilke forutsetninger som ligger til grunn for bruken av ulike enhetsverdier og hvor langt en har kommet innenfor forskningen når det gjelder å utvikle et rammeverk for verdsetting av pålitelighet i transport av personer og gods – spesielt med fokus på jernbanetransport.

Det synes å være bred enighet innenfor forskningsmiljøene om at usikre reise- og framføringstider innebærer kostnader for transportbrukerne, og at det å redusere denne usikkerheten – eller *variabiliteten* – dermed innebærer gevinster for samfunnet. Forskningen har imidlertid fortsatt en vei og gå når det gjelder å utvikle teoretisk robuste modeller som viser hva disse kostnadene består av og som kan anvendes på en enkel måte i nyttekostnadsanalyser av transporttiltak. Dette gjelder i Norge så vel som internasjonalt.

For enkelt å kunne beregne gevinstene av økt pålitelighet er det ønskelig med en felles måleenhet for transporttidens usikkerhet som både er tilgjengelig i data og som en kan bruke når en skal beregne effekten av punktlighetsforbedrende tiltak. I tillegg bør en imidlertid kunne begrunne teoretisk at denne enheten fanger opp trafikantenes nytte av redusert variabilitet. Fokus på det siste er sentralt i denne rapporten.

Teoretisk rammeverk

Et slikt teoretisk fundament er etter vårt syn et som viser eksplisitt hvilke konsekvenser variabiliteten får for brukerne av transportsystemet. I persontransport består kostnadene ved usikre reisetider først og fremst i at en må legge inn sikkerhetsmarginer mot forsinkelser, og at en kommer for seint i de tilfellene der disse sikkerhetsmarginene ikke holder. I godstransport omfatter kostnadene i prinsippet kostnadene ved alle de tiltakene som næringslivet må

gjennomføre for å sikre seg mot usikkerheten, i tillegg til kostnadene når leveringene blir forsinket.

Kjøretidenes *standardavvik* har i de senere år vært et populært mål på variabiliteten i forskning på veitransport. Mogens Fosgerau og Anders Karlström har vist at bruken av standardavviket kan begrunnes for bruk i persontransport dersom en antar at de reisendes preferanser kan beskrives ved den såkalte planleggingsmodellen ("scheduling model"). I planleggingsmodellen tilpasser den reisende seg usikkerheten ved å gjøre en avveining mellom reisetid og risikoen for ankomst før eller etter ønsket tidspunkt.

Sammenhengen mellom planleggingsmodellen og verdsettinga av endringer i standardavviket bygger imidlertid på noen antakelser som i mindre grad kan sies å være gyldige i tilfellet med rutegående transport, spesielt antakelsen om at de reisende fritt kan velge avreisetidspunkt.

Et naturlig mål på variabiliteten til et rutegående transportmiddel er omfanget av avvik fra ruteplanen, altså forsinkelser. Dette kan tallfestes ved den forsinkelsen som i gjennomsnitt inntreffer per tur. Bruken av en slik "gjennomsnittlig forsinkelse" i økonomiske nytteberegninger er imidlertid ikke begrunnet med en teoretisk modell. Empiriske studier av persontransport tyder også på at de reisendes verdsetting av en gjennomsnittlig forsinkelse varierer etter hvilket risikonivå det er snakk om, altså hvor stor sannsynlighet det er for at forsinkelsen inntreffer.

Uansett hva slags rammeverk en bruker for å tallfeste endringer i jernbanesystemets variabilitet, er det viktig at en ikke bare tar hensyn til konsekvensene av avvik for de togene som går, men også tar hensyn til de togene som blir kansellert. Det kan også være hensiktsmessig å skille mellom forsinkelser som resulterer i mer tid tilbrakt om bord i toget og forsinkelser som resulterer i uforutsett ventetid på perrongen.

Når det gjelder godstransport, har en ikke kommet like langt i å konstruere modeller for konsekvensene av variabilitet for brukerne som for persontransport. Det er heller ikke åpenbart hvem sin nytte en skal ta utgangspunkt i. I mange studier er det de som sender gods det blir fokusert på. Da må det drøftes i hvilken grad disse tar innover seg behovene til de videre brukerne av varene og hva dette får å si for analysen.

Variable kjøretider har også økonomiske kostnader for operatørene innenfor jernbanetransport. Høyere punktlighet kan derfor gi reduserte kostnader for disse, som gir enten økt overskudd eller reduserte billett-/fraktpriser for brukerne. Å inkludere disse gevinstene i en enhetsverdi for pålitelighet kan imidlertid være krevende fordi operatørene også selv kan treffe tiltak for å påvirke punktlighetsnivået.

Empiriske studier

Hvis en vil tallfeste verdien av et gode som det ikke finnes en markedspris for, kan en enten beregne denne basert på de avveiningene som aktørene på markedet gjør i praksis, eller ved hjelp av spørreundersøkelser der de stilles overfor tenkte situasjoner der de skal velge mellom ulike goder. Det første blir omtalt som *revealed preference (RP)*, det andre som *stated preference (SP)*.

En vanlig framgangsmåte i SP-studier er å la dem som svarer gjennomføre hypotetiske valg, for eksempel mellom transportalternativer, for på den måten å avsløre preferansene sine. Dersom det er verdien av pålitelighet en ønsker å måle, må en ha en måte å presentere ulike nivåer av pålitelighet på. En populær framgangsmåte er å presentere et sett av ulike tider som blir oppgitt å ha lik sannsynlighet. En annen er å oppgi sannsynligheten for en eventuell forsinkelse og omfanget av denne.

Basert på slike hypotetiske valg kan en beregne verdien av endringer i standardavviket til reise- eller framføringstida, eller verdien av en gjennomsnittlig forsinkelse. I studier av persontransport er det stort sett disse to enhetene som blir brukt. Studiene av godstransport spriker mye mer både når det gjelder hvordan pålitelighet blir presentert og hva slags måleenhet som blir brukt i analysen. Vi opplever derfor at resultatene i ulike studier ofte ikke er særlig sammenliknbare.

Verdsetting av pålitelighet inngår både i den nye norske verdsettingsstudien for persontransport og i et annet TØI-prosjekt som omhandler verdsetting av framføringstid og pålitelighet i godstransport. I sistnevnte prosjekt blir det demonstrert at det å presentere variabiliteten ved hjelp av fem mulige framføringstider fungerer for å fange opp transportkjøpernes verdsetting av redusert variabilitet. Basert på dette blir konkrete verdier for verdsetting av kjøretidas standardavvik i veitransport presentert. Verdien av en gjennomsnittlig forsinkelse er også beregnet. Data for jernbanetransport er imidlertid for dårlige i denne undersøkelsen til at resultatene kan brukes for denne transportformen. Vi anbefaler derfor videre studier som tar for seg godstransport med jernbane spesielt.

1 Innledning

Verdsetting av transporttidens pålitelighet er et tema som har fått stor oppmerksomhet innefor transportforskningen de seinere åra (se for eksempel OECD 2010). Når et infrastrukturtiltak medfører at reise- eller framføringstidene blir mindre usikre, har dette en økonomisk gevinst for samfunnet. På samme måte utgjør det et samfunnsøkonomisk tap dersom usikkerheten øker. Disse gevinstene og tapene har det tradisjonelt i liten grad vært tatt høyde for i samfunnsøkonomiske analyser av transporttiltak. Nå synes det å være bred enighet om at verdien av pålitelighet skal inkluderes i beregningene på lik linje med verdien av spart reise- eller transporttid.

Når nytten av et transporttiltak skal beregnes, skal i prinsippet alle konsekvenser for brukerne inkluderes. I nyttekostnadsanalyse blir dette gjort ved at en inkluderer alle de økonomiske kostnadene ved å gjennomføre en reise i den *generaliserte kostnaden*. Én del av dette utgjøres av de kronemessige utleggene, for eksempel bensinutgifter eller billettpris. I tillegg kommer kostnader som en *ikke* betaler direkte. I disse inngår tidskostnader og andre kostnader som for eksempel kostnader ved usikker reisetid. Når disse blir redusert, vil reisen framstå som ”billigere”, akkurat som ved et fall i de kronemessige kostnadene. Dette gir en større etterspørsel etter reiser, som sammen med de reduserte kostnadene fører til økt konsumentoverskudd.

I tillegg til konsumentoverskuddet skal nyttekostnadsanalysen også inneholde overskuddet til operatørene (for eksempel kollektivselskaper), overskuddet på offentlige budsjetter og nytte for samfunnet for øvrig. Ved summering over disse fire hovedsektorene elimineres overføringer og vi står igjen med samfunnets nytte minus virkelige samfunnsøkonomiske kostnader (Minken 2009).

Siden generalisert kostnad er det som avgjør reiseetterspørselen, skal i prinsippet verdien av pålitelighet inngå både i beregningen av nytte og i modellene som beregner reiseetterspørselen. I påvente av mer utviklete modeller kan en beregne nytten av økt pålitelighet samtidig som omfanget av reiser (eller godstransporter) blir bestemt av en modell der bare vanlige tidskostnader inngår. Det vil imidlertid ikke være helt konsistent.

Verdien av pålitelighet er for øvrig nært knyttet til verdien av spart reise- eller framføringstid, ofte kalt *tidsverdien*, og disse to verdiene blir ofte drøftet i sammenheng (Minken og Samstad 2006, Halse m.fl. 2010, Vierth 2010). Disse to verdiene er imidlertid ikke samme sak: Tidsverdien er knyttet til endringer i den tida transporten tar i gjennomsnitt, mens pålitelighetsverdien er knyttet til et eller annet uttrykk for transporttidens usikkerhet. I denne rapporten vil vi hovedsakelig kun drøfte verdsetting av pålitelighet, men verdien av tid spart i transport vil bli nevnt i de tilfellene der dette er relevant.¹

¹ For drøfting av verdien av spart reise/transporttid spesielt, se Ramjerdi (1993), Hensher (2007) og Ramjerdi m.fl. (2010) for persontransport og Bruzelius (2001), Vierth (2010) og Massiani (2008) for godstransport.

2 Om verdien av pålitelighet

Pålitelighet kan defineres på mange måter. I den teoretiske litteraturen som omhandler økonomisk verdsetting av pålitelighet er pålitelighet vanligvis forstått som et uttrykk for hvor mye transporttidene varierer, altså hvor usikre de er. Det er også denne tolkningen vi vil holde oss til her. Begrepene (u)pålitelighet og variabilitet vil derfor bli brukt om hverandre.

Når en transport skal gjennomføres har en som regel en *forventet* tid for transporten. I tilfellet med rutegående transport har en også en *angitt* transporttid. Transporttidens variabilitet sier da noe om hvor sannsynlig det er med avvik og størrelsen på disse eventuelle avvikene, enten sett i forhold til den forventete eller den angitte transporttida.²

Den fullstendige informasjonen om variabiliteten har en hvis en kjenner transporttidens sannsynlighetsfordeling for den konkrete transporten. Men hvordan denne blir definert avhenger av hvilket perspektiv en inntar. Et forsøk på en definisjon kan være denne: Sannsynlighetsfordelinga til en konkret transport er den subjektive sannsynlighetsfordelinga til brukeren av transportsystemet, dersom denne gjøre en korrekt antakelse basert på de faktorene som må anses som gitt.

Denne sannsynlighetsfordelinga er umulig å observere, ettersom en transport bare blir gjennomført én gang under nøyaktig like omstendigheter. Det en i stedet kan beregne er sannsynlighetsfordelinga til en gruppe transportere som er ”nesten” like. På den måten kan en si noe om hvor usikker transporttida er. Da må en imidlertid unngå at en baserer beregningen på transportere som er forskjellige med hensyn til en faktor som påvirker transporttida og må anses som gitt. Hvis transporttida for eksempel varierer med tid på døgnet og en beregner sannsynlighetsfordelinga uten å ta hensyn til dette, vil usikkerheten bli overdrevet.³

Problemet er hvilke slike faktorer som skal anses som gitte. Ukedag og tid på døgnet synes å være åpenbare eksempler. Det er derimot vanskeligere å si hvordan en skal behandle for eksempel værforhold eller hendelser i trafikksystemet, som påvirker transporttida. Det sentrale er at en inntar samme perspektiv når en studerer verdsettinga av usikkerhet og når en måler denne usikkerheten ved hjelp av empiriske data.

For bruk i verdsetting er det ønskelig med en felles måleenhet som kan aggregeres over mange transportere for én eller flere strekninger. En tar derfor gjerne utgangspunkt i en bestemt egenskap ved sannsynlighetsfordelinga. To populære

² Forventet og angitt transporttid er som regel ikke det samme. Forventningen sier hvor lang tid transporten tar i gjennomsnitt. En passasjer som tar den samme bussen hver morgen vil for eksempel kunne observere at bussturen i gjennomsnitt tar litt lengre tid enn det som er angitt på rutetabellen.

³ Det at transporttidene varierer avhengig av tid på døgnet kan muligens også anses som en ulempe for noen (mer informasjon å ta hensyn til), men vi ser bort fra dette.

måleenheter er standardavviket og gjennomsnittlig forsinkelse (Börjesson og Eliasson 2009).

La oss kalle målet på pålitelighet ”X”. I valg av X må en ta hensyn til fire faktorer:

1. En må kunne begrunne teoretisk at X er det relevante målet ut i fra antakelser om aktørenes preferanser og atferd.
2. En må kunne måle X i faktiske data.
3. En må kunne beregne effekten av de aktuelle transporttiltakene på X
4. En må kunne tallfeste den samfunnsøkonomiske verdien av endringer i X.

I dette kapitlet vil vi hovedsakelig drøfte punkt 1. Punkt 4 er tema for kapittel 3. Punkt 2 og 3 vil vi i liten grad gå direkte inn på, men disse danner en del av bakteppet for drøftingene som følger.

2.1 Teoretisk rammeverk

Det teoretiske rammeverket referert her er utviklet for persontransport. Mye av problematikken rundt pålitelighet er i prinsippet felles for person- og godstransport, men neppe i så stor grad at modellene referert her uten videre kan sies å gjelde også for gods. I seksjon 2.3 vil vi drøfte pålitelighet i godstransport spesielt.

Mye av den nyere teoretiske litteraturen som omhandler verdsetting av pålitelighet bygger på en modell formulert av Small (1982)⁴ som har fått navnet planleggingsmodellen (’scheduling model’). Hovedessensen i denne modellen er at den reisende i sitt valg av avreisetidspunkt gjør en avveining mellom ulempene ved reisetid, ankomst *før* ønsket ankomsttidspunkt og ankomst *etter* ønsket ankomsttidspunkt. Hvis vi betegner kaller kostnadene ved å foreta reisen ved C_S og for enkelhets skyld ser bort fra de direkte utgiftene (for eksempel bensinutgifter), kan modellen formuleres matematisk som:

$$(1a) \quad C_S = \alpha \cdot T + \beta \cdot SDE + \gamma \cdot SDL + \theta \cdot L$$

hvor T er reisetida, SDE er omfanget (for eksempel i minutter) av en eventuell for tidlig ankomst og SDL er omfanget av en eventuell for sein ankomst. (Begge deler vil naturligvis ikke inntreffe på samme reise.) L er variabel som tilsvarende 1 hvis en kommer for seint og 0 ellers.⁵ Parametrene α , β , γ og θ uttrykker hvor mye vekt den reisende legger på de ulike komponentene. Uttrykket (1a) viser altså at kostnadene ved å foreta en reise består av både rene tidskostnader og kostnader ved avvik fra ønsket ankomsttid.

Fosgerau og Karlström (2009) viser at kostnaden ved å komme for tidlig kan uttrykkes som kostnaden ved at en taper tid som en i stedet kunne tilbrakt ved det stedet en reiste fra. For å vise dette bruker de en annen matematisk formulering av

⁴ Modellen til Small bygger igjen på en artikkel av Vickrey (1969).

⁵ Formelen åpner altså for at det ikke bare er en kostnad ved forsinkelsen som er proporsjonal med størrelsen på denne, men at det også er en ”éngangskostnad” ved det å bli forsinket som er uavhengig av hvor mye forsinket en blir.

den reisendes tids- og planleggingskostnader, som de påpeker at egentlig uttrykker det samme:

$$(1b) \quad C_s = \lambda \cdot D + \omega \cdot T + \nu \cdot SDL + \theta \cdot L$$

Her er den reisendes foretrukne ankomsttidspunkt normalisert til 0. (Det faktiske klokkeslettet er uten betydning her.) Hvis en reiser fra avreisestedet D timer før dette er da avreisetidspunktet $-D$. Som sagt er (1b) et uttrykk for de samme kostnadene som (1a) med $\beta = \lambda$, $\alpha = \lambda + \omega$ og $\gamma = \nu - \lambda$. At β og λ er samme parameter illustrerer at kostnaden ved å komme for tidlig er alternativverdien av den tida en taper før avreise.

Vanligvis antar en $\beta < \alpha < \gamma$, som innebærer $\nu > \lambda$, $\omega > 0$. Dette betyr at reisetid har en direkte kostnad i tillegg til den tida en taper ved å dra fra avreisestedet tidligere.

Planleggingsmodellen får fram at variable reisetider har to kostnader for de reisende: For det første er det kostnader knyttet til det å forsikre seg mot forsinkelser, altså ved å legge inn en sikkerhetsmargin ("buffer time"). For det andre er det kostbart i de tilfellene der en faktisk kommer for seint, fordi reisetida er lengre enn det en har tatt høyde for.

Hovedresultatet til Fosgerau og Karlström (2009) er at hvis $\theta = 0$, den reisende selv kan velge avreisetidspunkt og reisetidsfordelinga er uavhengig av avreisetidspunktet⁶, kan *forventete kostnader (EC)* uttrykkes ved:

$$(2) \quad EC_s^* = \alpha \cdot \mu + (\beta + \gamma) \cdot H\left(\Phi, \frac{\beta}{\beta + \gamma}\right) \cdot \sigma$$

$$H\left(\Phi, \frac{\beta}{\beta + \gamma}\right) = \int_{\frac{\gamma}{\beta + \gamma}}^1 \Phi^{-1}(s) ds$$

hvor σ er standardavviket til reisetida og de øvrige parametrene er hentet fra (1a). De forventete kostnadene er de kostnadene ved reisen som trafikanten opplever på en "gjennomsnittstur".

Det formelen (2) viser, er at kostnaden ved variasjon i reisetida er proporsjonal med standardavviket, noe som gir støtte til de studiene som har brukt verdien av et standardavvik til å måle verdien av pålitelighet. Modeller der nyttefunksjonen er en lineær funksjon av gjennomsnittet og standardavviket til reisetida blir ofte omtalt som "the mean-variance approach", på norsk standardavvik- eller spredningsmålmotoden.⁷

Imidlertid avhenger verdsettinga av faktoren H , som kan kalles "gjennomsnittlig standardisert forsinkelse". Denne avhenger igjen av formen på reisetidsfordelinga.

⁶ Resultatet gjelder også som en tilnærming selv om forventet reisetid og variansen til reisetida varierer med avreisetidspunkt, så lenge *formen* på fordelinga ligger fast.

⁷ I en del litteratur blir planleggings- og spredningsmålmotodene satt opp mot hverandre som to alternative metoder (se for eksempel Hollander 2006). Vi vil ikke drøfte spredningsmålmotodellen som teoretisk modell her, ettersom den ikke inneholder noen eksplisitte antakelser om trafikantenes preferanser og atferd. Poenget er derimot at spredningsmålmotodellen under visse forutsetninger kan begrunnes teoretisk ved planleggingsmotodellen.

H er derfor angitt som en funksjon av Φ , som er den standardiserte fordelinga⁸ til reisetida.

I prinsippet må en korrigere for forskjeller i H mellom studien der variabilitetsverdien er funnet og den faktiske transportstrekningen den skal anvendes for. Alternativt kan en ifølge Franklin (2009) tolke hele uttrykket $K = H(\Phi, \beta/(\beta + \gamma)) \cdot \sigma$ som verdien av en gjennomsnittlig (ikke-standardisert) forsinkelse, gitt at en er forsinket. Franklin foreslår å bruke denne verdien direkte i verdsetting.

Resultatet (2) bygger på at den reisende har tilpasset seg optimalt til usikkerheten. Det betyr at vedkommende har en subjektiv oppfatning om reisetidas sannsynlighetsfordeling og velger avreisetidspunkt for å maksimere forventet nytte, gitt denne. Sannsynlighetsfordelinga anses altså som noe statisk informasjon, som ikke forandrer seg gjennom beslutningsprosessen. Alternativt kunne en tenke seg at den reisende enten (i) får mer informasjon om reisetida når reisen nærmer seg eller underveis eller (ii) får mer kjennskap til reisetidas sannsynlighetsfordeling etter hvert som vedkommende foretar flere reiser på den samme strekningen. Dette tar ikke modellen hensyn til. (Se også seksjon 2.2, side 11.)

Hvor kommer så denne subjektive sannsynlighetsfordelinga fra? Modellen sier ikke noe eksplisitt om dette, men det mest naturlige synes å være å anta at dette er den faktiske sannsynlighetsfordelinga til reisetida, altså at den reisende har perfekt informasjon om usikkerheten (se kapittelinnledningen). Dette kan nok oppfattes som urealistisk, men det heller ikke opplagt hva en skal anta dersom en skal gå bort i fra dette. Noen trafikanter vil trolig overvurdere usikkerheten, mens andre vil undervurdere den.

Planleggingsmodellen (1a)/(1b) gir et teoretisk rammeverk for forståelse av trafikanters atferd når reisetidene er usikre som i prinsippet kan brukes for alle typer reiser. Det beleilige resultatet (2) hviler imidlertid på noen kritiske forutsetninger, blant annet at den reisende selv kan velge avreisetidspunkt. Dette innebærer som Fosgerau og Karlström selv viser at en ikke nødvendigvis kan bruke standardavviket som måleenhet for verdsetting av pålitelighet for rutegående transport, spesielt ikke dersom det er lenge mellom hver avgang. Vi vil i neste seksjon derfor drøfte verdsetting av pålitelighet i jernbane spesielt.

Å anta at preferansene til de reisende kan uttrykkes ved (1a) eller (1b) er så klart en forenkling, og det kan undersøkes empirisk i hvilken grad denne er holdbar. En alternativ representasjon av planleggingspreferanser finner vi hos Fosgerau og Engelson (2010). De antar

$$(3) \quad u(t, a) = \int_0^t (\beta_0 + \beta_1 s) ds + \int_a^0 (\gamma_0 + \gamma_1 s) ds, \quad \beta_1 < \gamma_1$$

der t er avreisetidspunkt og a er ankomsttidspunkt. Foretrukket ankomsttidspunkt er for enkelhets skyld satt lik 0. Denne nyttespesifikasjonen tillater at marginalnyttene ved å befinne seg på avreise- eller ankomststedet ikke er konstant,

⁸ En standardisert fordeling har forventningsverdi lik 1 og varians lik 0. Denne gir altså informasjon om formen på fordelinga, men ikke om den faktiske spredninga i reisetid.

men (lineært) avhengig av klokkeslettet. Som ”standardtilfelle” antar Fosgerau og Engelson $\beta_1 < 0 < \gamma_1$, altså at nytten av å være ved avreisestedet synker og nytten av å være framme stiger med klokkeslettet.

(4) er nært beslektet med (1a) og (1b) men representerer preferanser som er noe annerledes.⁹ Det kan vises at mens en reisende med preferanser som i (1a)/(1b) vil reagere på en økning i reisetidas usikkerhet (altså i variansen/standardavviket) ved å legge inn en større sikkerhetsmargin og dermed i gjennomsnitt komme fram mer for tidlig enn vedkommende gjorde tidligere, vil en reisende av (3)-typen med $\beta_1 < 0 < \gamma_1$ ikke gjøre dette og dermed i gjennomsnitt komme fram til samme tid som før (men med større forsinkelser i de tilfellene der vedkommende kommer for seint).

Vi skal ikke gå grundig inn på modellen (3) her, og den er foreløpig ikke behandlet i litteraturen i like stor grad som (1a)/(1b). Fosgerau og Engelson viser imidlertid at deres innfallsvinkel har visse fordeler, særlig at kostnaden ved variabilitet kan uttrykkes som en lineær funksjon av *variansen* til reisetida, uten å avhenge av reisetidsfordelinga. På den annen side er ikke lenger kostnaden ved gjennomsnittlig reisetid (”tidsverdien”) konstant i dette rammeverket, noe som må sies å være en ulempe.¹⁰

2.2 Rammeverk for jernbane

I denne seksjonen vil vi ta for oss noen teoretiske problemstillinger som gjelder verdsetting i jernbanetransport spesielt. Vi vil gå nærmest inn på persontransport, men noen av poengene som tas opp gjelder også for godstransport med jernbane.

Utviklinga av mikroøkonomiske modeller for verdsetting av pålitelighet har ikke kommet like langt når det gjelder rutegående transport som den har for privatbilreiser. Fosgerau (2009) analyserer en modell for de reisendes kostnader ved økte intervaller mellom avgangene som er konsistent med planleggingsmodellen (1a)/(1b), men ser ikke på kostnadene ved variabel kjøretid. Dette blir av forfatteren i stedet pekt på som et område for videre forskning.

Fosgerau og Engelson (2010) viser at deres modell også kan anvendes for rutegående persontransport, og at kostnaden ved variabilitet som for privatbilisme da kan uttrykkes ved variansen ganget med en fast enhetspris. Den typen rutegående transport de tar for seg er imidlertid en med like intervall mellom avgangene (etter ruteplanen) og der avgangstidas fordeling er uniform, slik at store avvik fra ruteplanen (forsinkelser og for tidlige avganger) er like sannsynlige som små avvik.¹¹ Denne tilnærminga må trolig sies å passe best for offentlig transport i urbane strøk der avgangsfrekvensen er høy (for eksempel t-bane).

⁹ Fosgerau og Engelson påpeker at de to modellene egentlig er spesialtilfeller av samme modell. Tseng og Verhoef (2008), Ettema og Timmermans (2003) og Jenelius m.fl. (2010) analyserer planleggingsmodeller med mer generelle funksjonsformer.

¹⁰ At tidsverdien er høyere for lange enn for korte reiser, slik den er i standardtilfellet $\beta_1 < 0 < \gamma_1$ er imidlertid i tråd med resultatene fra den norske tidsverdistudien (Ramjerdi m.fl. 2010).

¹¹ Avvikene kan imidlertid ikke være større enn halvparten av avgangsfrekvensen, slik at bussen/trikken/toget ikke kan komme seinere (tidligere) enn neste (forrige) buss/trikk/tog.

At det teoretiske fundamentet er ufullstendig, forhindrer ikke at verdsetting av pålitelighet/punktligheit inngår i målinger av kvaliteten på jernbanetjenester og delvis også i nyttekostnadsberegninger. Jernbanetransport er i motsetning til privatbilisme en tjeneste som selges på et marked, og pålitelighet er en av de mest sentrale kvalitetsmessige egenskapene ved denne tjenesten. Tilgangen på data er også god, ettersom togoperatørene – og ofte også myndighetene – har interesse av å kunne etterprøve punktligheiten.

Den store forskjellen på privatbilisme og rutegående persontransport er at den reisende ikke bestemmer avgangstidspunktet. En annen viktig forskjell er at rutegående transportmidler har et annonsert ankomsttidspunkt (og avgangstidspunkt). Det er dermed naturlig å bruke et mål på pålitelighet der dette inngår.

Kjøretidene i rutegående transport kan sies å ha både en underliggende fordeling og en observert fordeling, ettersom kjøringen må tilpasses ruteplanen. For eksempel vil en som regel prøve å unngå å at avgangen fra et stoppested blir tidligere enn angitt på ruteplanen, selv om forekomsten av kortere kjøretider gjør dette mulig. Hvis ikke noe annet er oppgitt vil i det følgende holde oss til den *observerte* kjøretida.

Trafikantenes tilpasning

Det store spørsmålet når det gjelder verdsetting av pålitelighet i rutegående persontransport, er hvordan en skal kople variabilitet i kjøretidene til transportmidlet med konsekvensene i form av usikkerhet for de reisende. Denne usikkerheten kan gi seg utslag i høye sikkerhetsmarginer, uønsket ventetid og forsinkelser ved ankomst.

Hvilke konsekvenser variabiliteten får avhenger av de reisendes tilpasning til ruteplanen. På strekninger med mange avganger vil en del passasjerer ikke ta hensyn til ruteplanen i det hele tatt, men ankomme stasjonen på et tilfeldig tidspunkt. For disse er det som teller intervallet mellom avgangene og at lengden på dette intervallet er stabil.¹² Dette er mest relevant for kollektive reisemåter som buss, trikk og t-bane, men også på togstrekninger med høy avgangshyppighet vil det være noen passasjerer som ikke sjekker ruteplanen på forhånd.

Når avgangshyppigheten er lavere vil de fleste forholde seg til ruteplanen, men det betyr ikke at en uten videre kan sette likhetstegn mellom et forsinket tog og forsinkelser for brukerne. Dette vil avhenge av i hvilken grad timeplanen stemmer med det tidspunktet passasjerene faktisk ønsker å være framme. Et tog kan også være forsinket ved noen stasjoner, men kjøre inn denne forsinkelsen, slik at det er presist ved seinere stoppesteder.

¹² Gershenson og Pineda (2009) analyser hvordan stabiliteten i avgangsintervallet kan opprettholdes.

Forventet forsinkelse og variabilitet

Rietveld m.fl. (2001) presenterer ulike mulige mål på pålitelighet i rutegående transport. Hvis vi konsentrerer oss om tog, kan disse oppsummeres som:

- a) Andelen tog som er framme mindre enn et visst antall minutter forsinket
- b) Sannsynligheten for avgang før angitt tid
- c) Gjennomsnittlig avvik mellom faktisk og angitt ankomstid
- d) Gjennomsnittlig forsinkelse, dersom toget er forsinket
- e) Gjennomsnittlig forsinkelse, dersom toget er mer enn et visst antall minutter forsinket
- f) Kjøretidenes standardavvik
- g) Standardavvik når tidlige ankomster ses bort fra, eventuelt andre mer komplekse mål

Med tanke på databehov kan (a) sies å være det enkleste målet, da det krever minst informasjon. Den åpenbare ulempen er imidlertid at en ikke tar hensyn til størrelsen på forsinkelsene, som ifølge alle rimelige teorier må antas å ha betydning for de økonomiske kostnadene. (e) inneholder informasjon om dette, men kun for de togene som er forsinket med mer enn en viss margin (for eksempel mer enn fem minutter). (c), (d) og (f) krever på sin side data over alle togankomster.

Forskjellen på (c) og (d) er at dersom togene også kan komme fram for tidlig, vil disse tidlige ankomstene i (c) delvis veie opp for de seint. Hvis ikke uttrykker disse to målene i prinsippet det samme.¹³

I nytteberegning er kanskje det mest nærliggende å forsøke å beregne en samlet verdi av alle forsinkelsene ved hjelp av en fast pris på disse forsinkelsene. Hvis en måler dette i timer vil det si at en setter en kostnad for hver time forsinkelse og ganger denne med antall forsinkelstimer. Dette innebærer at en anser (d) som det relevante uttrykket for togets upålitelighet.

Börjesson og Eliasson (2009) drøfter bruken av en slik forventet forsinkelse ("the expected delay approach") som mål på pålitelighet og undersøker gyldigheten av dette målet empirisk. De påpeker at under noen nokså smale forutsetninger¹⁴ kan en fra planleggingsmodellen (1b) utlede et uttrykk for den reisendes nytte der forventet forsinkelse inngår:

$$(4) \quad EC_S^* = (\lambda + \omega) \cdot T_0 + (v + \omega) \cdot pL$$

T_0 er angitt kjøretid og L er en forsinkelse i forhold til T_0 og p er sannsynligheten for denne forsinkelsen. pL er dermed forventet forsinkelse..

Forfatterne drøfter i liten matematisk grad hva som skjer med uttrykket for den reisendes nytte dersom forutsetningene blir brutt. De viser derimot ved hjelp av data fra sin egen spørreundersøkelse at (4) trolig ikke holder. De finner at nytten

¹³ Det er litt uklart om det i (d) er snakk om gjennomsnittet blant alle tog eller bare blant de forsinkete togene, men det er ikke så viktig her. I nytteberegning må tallet uansett aggregeres opp.

¹⁴ Disse er: (1) Kostnaden ved forsinkelse er proporsjonal med størrelsen på forsinkelsen. (2) De reisende kan velge avreisetidspunkt fritt. (3) Reisetidens fordeling kan beskrives som at en enten kommer presis med sannsynlighet $(1 - p)$ eller L minutter for seint med sannsynlighet p . (4) Kostnaden ved forsinkelse er såpass liten at ingen reisende velger å legge inn en sikkerhetsmargin for på den måten alltid å være seintest presis, men i de fleste tilfellene for tidlig ute.

ikke er proporsjonal med pL , men avhenger av risikonivået. Ifølge deres resultater har de reisende en tendens til å verdsette en forventet forsinkelse høyere når sannsynligheten for forsinkelsen er lav. Et eksempel på dette vil være at de anser kostnadene som høyere for en risiko på fem prosent for en forsinkelse på én time enn for en risiko på 30 prosent for en risiko på ti minutter. (Begge tilfellene gir forventet forsinkelse lik tre minutter.) Börjesson og Eliasson viser også til liknende resultater fra andre studier.

For et *gitt risikonivå* finner Börjesson og Eliasson at verdien av forsinkelser er omtrent proporsjonal med lengden L på forsinkelsen. Et minstekrav ved bruken av forventet forsinkelse som mål på pålitelighet må altså være at en har brukt et realistisk risikonivå når en har beregnet den økonomiske enhetsverdien. For å komme problematikken ytterligere i møte hadde det vært en mulighet å bruke for eksempel én forsinkelseskostnad for transporttiltak på strekninger med høy risiko for forsinkelser og én for tiltak der risikoen er lav. Da måtte en imidlertid forutsatt at tiltakene hovedsakelig påvirker omfanget av forsinkelsene og ikke sannsynligheten for at de inntreffer. Börjessons og Eliassons resultater utgjør et ankepunkt mot bruken av forventet forsinkelse som mål på pålitelighet og understreker behovet for mer forskning på hvordan pålitelighet bør modelleres i rutegående transport.

Hva så med tog som kommer fram for tidlig? I planleggingsmodellen (se seksjon 2.1) er det knyttet en kostnad til det å komme fram før ønsket ankomsttidspunkt. Det betyr imidlertid ikke at det nødvendigvis kan regnes som en samfunnsøkonomisk kostnad for passasjerene hvis en tog kommer fram tidligere enn angitt på ruteplanen, fordi dette vil avhenge av hvordan passasjerene tilpasser seg rutetidene. Som sagt er sammenhengen mellom parametrene i planleggingsmodellen og praktisk verdsetting fortsatt ikke klargjort for rutegående transport. De fleste tog vil uansett bli hindret i å komme fram nevneverdig før tida.

I sine foreløpige anbefalinger for inkludering av pålitelighet i nyttekostnadsanalyser i Danmark foreslår Fosgerau m.fl. (2008) å bruke standardavviket (og H -faktoren) også for tog og annen offentlig transport. Betingelsene de setter opp for at dette er teoretisk holdbart kan ikke sies å være særlig mindre restriktive enn dem Börjesson og Eliasson stiller i tilfellet med forventet forsinkelse.¹⁵ De viser imidlertid ved hjelp av danske data for jernbane at den standardiserte reisetidsfordelinga er noenlunde konstant, noe som støtter bruken av standardavvik. (Dette resultatet er trolig fordelaktig uansett hva slags metode en vil bruke.) Fosgerau m.fl. drøfter ikke verdsetting i godstransport.

Kanselleringer

Så langt i denne seksjonen har vi bare drøftet forsinkelser eller variasjon i kjøretida, altså egenskaper ved tog som faktisk går. En må imidlertid ikke glemme de togene som *ikke* går. Disse inngår også i pålitelighetsbegrepet slik det er tolket i planleggingsmodellen, fordi kansellerte tog som regel også innebærer at den

¹⁵ Betingelsene nevnt av Fosgerau m.fl. er: (1) Alle reisende har togets angitte ankomsttid som sin foretrukne ankomsttid. (2) Hvor ofte toget går har ikke betydning for verdsettinga av pålitelighet. (3) De reisende kan tilpasse seg ruteplanen uten kostnader.

reisende ikke kommer fram til bestemmelsesstedet til ønsket tidspunkt. (I noen tilfeller kan det innebære at reisen overhodet ikke blir foretatt.)

Forsinkelser og kanselleringer er altså nært beslektet. I noen tilfeller kan de være helt ekvivalente. For en pendler som benytter tog på en strekning med mange avganger (for eksempel Drammen-Oslo) gjør det ingen forskjell om oppsatt tog kommer en halvtime for seint eller om personen må ta et annet tog som går en halvtime seinere enn det hun hadde tenkt å ta. I prinsippet kunne derfor en teori for verdsetting av pålitelighet i jernbanetransport behandle variasjon i transporttida og risikoen for kansellerte tog på en integrert måte.

Dette kan imidlertid være utfordrende, og ingen slik integrert modell har foreløpig fått gjennomslag i nyttekostnadslitteraturen. Dersom en som mål på pålitelighet bruker en egenskap ved kjøretidene til de togene som faktisk går (forventet forsinkelse eller kjøretidenes standardavvik), må en derfor sørge for at kostnaden ved kansellerte tog blir regnet med i tillegg på en måte som er best mulig teoretisk fundert, samtidig som en passer på at ikke de to regnestykkene fanger opp kostnader eller gevinster som i realiteten er overlappende.

I ei britiske håndbok for etterspørselsberegninger i jernbanetransport (referert av Vincent 2008)¹⁶ blir det anbefalt å anse en kansellering som en forsinkelse lik tidsintervallet mellom avgangene ganget med 1,5. Dette innebærer altså at en anser kostnadene ved en kansellering som større enn de relatert til den resulterende forsinkelsen dersom en må vente på neste tog.

Hvorvidt kostnadene ved en togforsinkelse er større eller mindre enn forsinkelseskostnadene ved å vente på neste tog avhenger av flere ting. Hvis mange av passasjerene har tilgang på alternative transportmidler eller togselskapet setter opp alternativ transport, trenger ikke kostnadene være fullt så høye.

Andre pålitelighetskomponenter

Så langt har vi bare fokusert på variabilitet i ankomsttida eller reisetida. Vi har ikke drøftet hvorvidt det er egne kostnader forbundet med at togets *avgang* avviker fra angitt avgangstidspunkt. I tråd med Vincent (2008) kan pålitelighet i offentlig transport sies å bestå av:

- i. Variabilitet i avgangstidspunktet
- ii. Variabilitet i kjøretida
- iii. Variabilitet i ankomsttida

En kan imidlertid ikke uten videre regne med kostnaden av alle disse tre komponentene i samme regnestykke, fordi det da trolig vil være samme kostnad som er regnet med flere ganger. En må derfor gjøre en avklaring om hva som skal telles med hvor, basert på noen antakelser.

Å se bort ifra (i) kan rettferdiggjøres ved at en anser avgangstidspunktet som fastlagt. Da vil all variabilitet i ankomsttida skyldes variabilitet i kjøretida, og det er dermed likegyldig om en studerer (ii) eller (iii). Det vil imidlertid være en nokså grov forenkling, i hvert fall dersom en studerer passasjerer som går på toget underveis på hovedstrekningen (for eksempel mellom Oslo og Trondheim).

¹⁶ Denne håndboka er ikke offentlig.

Alternativt kan en fokusere kun på variabilitet i ankomsttidspunktet uten å ta hensyn til om denne skyldes variabel avgangs- eller kjøretid. I praksis betyr dette at vi antar at passasjerene ikke bryr seg om hvorvidt de må vente lenger før de går på toget eller om de må sitte lenger på toget. Vi antar altså at toget ikke kan kjøre tidligere enn annonsert, og regner som ”kjøretid” all den tida som går fra toget *skulle* ha gått til det kommer fram.¹⁷ Dette er også en forenkling, men ikke nødvendigvis en så dramatisk en.¹⁸ I godstransport er dette trolig uproblematisk.

Å fokusere bare på variabilitet i kjøretida (ii) uten å ta hensyn til enten avgangs- eller ankomsttidspunkt vil ikke være hensiktsmessig. Da vil de togene som framstår som mest lønnsomme være de som går for seint men bruker kort tid, selv om de ikke er punktlige.

Transportkjeder

Som sagt er det uklart i hvilken grad en kan sette likhetstegn mellom variabiliteten til togets kjøretid og de konsekvensene dette får i form av forsinkelser for den reisende. Et forhold som kompliserer dette ytterligere er omstigninger. Hvis en skal bytte til et annet tog eller et annet rutegående transportmiddel og en forsinkelse på toget fører til at en ikke rekker dette, kan kostnaden være større enn hvis en ikke har slike hensyn å ta. Bruinsma m.fl. (1999) har analysert transportkjeder i Nederland og finner at mesteparten av den tida en reise tar utover det som er annonsert i ruteplanen, skyldes ekstra ventetid tilbrakt på stoppestedene.

Informasjon om avvik

I hvilken grad et avvik fra ruteplanen får konsekvenser for brukerne avhenger av i hvilken grad de kan tilpasse seg situasjonen. Dette avhenger igjen av hvilken informasjon de får om avviket. Det er derfor rimelig å anta at sanntidsinformasjon til brukerne kan bidra til å redusere de økonomiske kostnadene ved usikre transporttider. Dette er imidlertid i liten grad behandlet teoretisk, og det vil trolig også være nokså krevende å inkludere effekten av informasjon i en modell for verdsetting av pålitelighet.

I de britiske retningslinjene for etterspørselsberegning i jernbane (gjengitt av Vincent 2008) blir det anbefalt å behandle forsinkelser som angitt reisetid i de tilfellene der forsinkelsene er annonsert på forhånd. Dette blir gjort for de 75 prosent av passasjerene som en antar at får med seg denne informasjonen. Det kommer ikke fram hva som menes med ”på forhånd”.

¹⁷ Vi snakker her kun om den *usikre* delen av ventetida. Det at det er lenge mellom de oppsatte avgangene medfører enten ventetid eller kostnader ved å tilpasse seg ruteplanen, og disse må uansett beregnes. Se Fosgerau (2009).

¹⁸ Noen empiriske studier finner imidlertid at passasjerene anser forsinkelser på plattformen som mer kostbare enn forsinkelser når de allerede er om bord (Vincent 2008).

2.2.1 Sparte transportkostnader ("operatørnytte")

Så langt i dette kapitlet har vi drøftet den nytten trafikantene har av bedret pålitelighet "i seg sjøl", altså hva reduksjonen i variabilitet er verdt for dem. I tillegg vil imidlertid tiltak som påvirker variabiliteten ofte også ha innvirkning på hva det koster togselskapet å gjennomføre transporten. Dette gjelder både i person- og godstransport.

Eksempler på slike kostnader kan være økte personalkostnader, utgifter til erstatningsbusser og utbetaling av kompensasjon til passasjerer. Sistnevnte kostnad er for øvrig en overføring mellom operatør og passasjer og utgjør dermed ikke en kostnad for samfunnet sett under ett.¹⁹

Dersom operatørnyttens av pålitelighet skal beregnes på samme måte som trafikantnyttens, for eksempel per time forsinkelse, må en i så fall holde seg til det samme perspektivet på pålitelighet. Her er det noen kompliserende elementer. Det å ha ekstra togsett stående på en stasjon er en kostnad som kunne vært unngått dersom påliteligheten til de ankommende togene ble forbedret. Sann sett kan denne kostnaden sies å være en kostnad ved variabiliteten som i prinsippet kan beregnes "per time forsinkelse" (selv om det ikke er selvsagt hvordan dette skal gjøres).

På den annen side er det ekstra togsett, gitt den usikkerheten som eksisterer i systemet, en forutsetning for å levere et visst nivå av pålitelighet til de passasjerene som skal reise eller de bedriftene som skal frakte gods *fra* stasjonen. Disse bryr seg ikke om eventuelle ekstratog, bare det toget som de skal reise/sende varer med. Fra dette perspektivet blir kostnaden til ekstra togsett en kostnad ved operatørens tilpasning til usikkerheten i systemet. Å begrense ekstrakapasiteten vil påføre kundene kostnader i form av økt usikkerhet, mens det vil isolert sett være en besparelse for operatøren.

Poenget er at operatørene vil tilpasse seg til usikkerhetsnivået. Uansett måten det gjøres på, innebærer det kostnader. Ved endring i usikkerhetsnivået vil den optimale tilpasningen endre seg - hvis vi snakker om en forbedring, så for eksempel i retning av å holde mindre reservekapasitet og backupløsninger. Den nye optimale tilpasningen vil trolig innebære at både kostnaden til å holde beredskap mot usikkerheten og kostnaden ved de gjenstående tilfellene av forsinkelser og kanselleringer være mindre enn før.

Det er altså forskjell mellom operatører og brukere når det gjelder hvordan usikkerheten påvirker nytten deres. OECD (2010) skiller derfor mellom *infrastrukturforvalternes og operatørenes* perspektiv og *brukernes* perspektiv på pålitelighet. Det betyr ikke nødvendigvis at en ikke bør forsøke å inkludere også komponenter som fanger opp operatørnytte i generelle enhetspriser for verdien av pålitelighet. En må imidlertid klargjøre forutsetningene for at de skal regnes med, og passe på at en ikke inkluderer komponenter som også inngår andre steder i beregningsmodellene.

¹⁹ Ofte vil en imidlertid også se på kostnadene fordelt på de ulike aktørene. Dette inngår i den såkalte bruttometoden, se Minken og Samstad (2005).

En annen mulighet er å ikke bruke generelle estimater for operatørens nytte av pålitelighet, men i stedet bruke en modell for driftsopplegget for å beregne hva hvert enkelt pålitelighetstiltak innebærer av sparte kostnader for operatørene. Dette vil nok gi et mer fullstendig bilde og kan gjøres dersom en ønsker å demonstrere hva samfunnet kan tjene på et bestemt punktlighetsforbedrende infrastrukturtiltak. Det kan imidlertid tenkes at enhetsverdier er nyttige dersom en vil gjøre raske anslag for flere tiltak.

For å få et nøkternt anslag for operatørens nytte av en time spart forsinkelse kan en starte med kun å inkludere de sparte kostnadene som åpenbart må regnes som direkte konsekvenser av forsinkelser. Økte kostnader til personal om bord på det forsinka toget er et eksempel på slike.

At vi her snakker om ”operatørens nytte” innebærer ikke nødvendigvis at det i siste omgang er operatøren som får gevinsten (bærer byrden) dersom et pålitelighetstiltak medfører lavere (høyere) billett- eller fraktpriser. Et tiltak som medfører lavere driftskostnader vil normalt også medføre lavere priser, og hvor stor denne effekten er avhenger av graden av konkurranse i markedet.

I Jernbaneverkets metodeverktøy antas det at operatøren har null profitt slik at alle kostnadsbesparelser kommer brukerne til gode. Da blir prisreduksjonen som følge av et pålitelighetstiltak (dersom det er kostnadsbesparende) en del av trafikantenes nytte av tiltaket, men den er som understreket innledningsvis ikke en del av pålitelighetsverdien drøftet i seksjon 2.2. Denne knytter seg til forbedringa i pålitelighet *i seg sjøl*.

2.3 Rammeverk for gods

Det synes å være nokså stor enighet om at pålitelighet er minst like viktig innenfor godstransport som persontransport (OECD 2010). Det er imidlertid få eksempler på studier der grunnlaget for verdien av pålitelighet er utledet teoretisk.

Det spinkle teorigrunnlaget gjelder ikke bare verdsetting av pålitelighet, det gjelder også verdsetting av kjent framføringstid, det en ofte kaller tidsverdien. Dette gjenspeiler seg for eksempel i at en i Norge ikke inkluderer tidsverdier basert på varene i nyttekostnadsanalyser i veisektoren, bare tidsverdier basert på de tidsavhengige driftskostnadene for godsbiler (Statens vegvesen 2006). Dette er også i stor grad tilfelle i andre land som ellers ligger langt framme i nyttekostnadsmetodikk (Vierth 2010, Bruzelius 2001).

I det teoretiske rammeverket for persontransport viste vi at variabel transporttid medfører kostnader på grunn av avveingene de reisende må gjøre mellom å kunne vente med å reise fra avreisestedet og det å komme fram i tide til ankomststedet. Til en viss grad er det en parallell til dette i godstransport: Siden det koster mer å ferdigstille varene raskt, vil en kunne spare kostnader dersom en kan vente litt lengre med å sende dem. Da risikerer en samtidig at de kommer fram for seint.²⁰ Imidlertid er det flere ting aktørene i varetransport kan gjøre for å

²⁰ Small m.fl. (1999) analyserer *lastebilfirmaenes* verdsetting av variabel transporttid ved hjelp av en planleggingsmodell, og behandler dem i prinsippet dermed på samme måte som bilister. Det er imidlertid vanskelig å se for seg hvordan en slik innfallsvinkel lar seg overføre til andre transportformer som for eksempel jernbanetransport, der togoperatørene ikke fritt kan velge avgangstidspunktet for hvert enkelt tog.

sikre leveringene mot forsinkelser, og disse har også kostnader. Helt sentralt er valg av lagerløsninger: Det å ha varer på lager utgjør en kostnad, og denne kan reduseres dersom en kan være sikrere på å få nye varer til rett tid. I prinsippet bør slike kostnader inngå i de verdiene av pålitelighet som brukes i nyttekostnadsanalyse.

I en TØI-studie foreslår Minken og Samstad (2006) en modell for verdsetting av framføringstid og pålitelighet for godstransport som i prinsippet kan estimeres ved hjelp av faktiske data. Forfatterne bruker standardavviket til kjøretida som mål for variabilitet og viser at verdien av endringer i dette avhenger blant annet av varenes verdi, lagerkostnad, etterspørselen og etterspørselens variabilitet. Modellen krever en del data om norske bedrifter som per i dag ikke er tilgjengelige. Så langt er ikke dette prosjektet fulgt opp i praksis.

I prinsippet kan en for godstransport med jernbane (og i de fleste tilfeller også veitransport) som for persontransport trekke et skille mellom *brukere*, de som sender gods, og *operatører*, de som frakter godset (Halse m.fl. 2010). Verdsettinga av pålitelighet kan dermed knyttes til disse gruppene. I veitransport utgjør de som frakter egne varer en egen gruppe som er både operatør og bruker (akkurat som bilistene i persontrafikk), men egentransport med jernbane er mindre vanlig.

En komponent av verdien av pålitelighet kan, som diskutert i seksjon 2.2.1, knyttes til de følgene redusert eller økt variabilitet får for transportørens driftskostnader i forbindelse med transporten. Spørsmålet er om variabiliteten i tillegg har økonomiske kostnader knyttet til selve godset, og i så fall hvilke?

Bruzelius (2001) har på oppdrag for svenske transportmyndigheter gått igjennom hvordan kvalitetsforbedringer i godstransport blir behandlet i nyttekostnadsanalyse. Han argumenterer for at de kostnadene transporttida medfører i godstransport utover de tidsavhengige transportkostnadene kun er basert på det at varene ikke er tilgjengelige for forbruk mens de er i transport. Disse kostnadene kan beregnes ved hjelp av varenes markedspris (se også seksjon 3.1). Bruzelius anbefaler at en gjør dette både for tids- og pålitelighetsverdier for gods, noe som gjør at disse nyttekomponentenes bidrag til en eventuell samfunnsøkonomisk analyse ifølge han blir nokså beskjedent.

Dette drøftes videre av Vierth (2010) i en svensk forstudie om verdsetting av transporttid og transporttidens variabilitet i godstransport. Hun åpner for at det kan finnes ytterligere gevinster både av spart tid og redusert variabilitet i transporten, men anbefaler videre forskning på hva disse gevinstene i så fall består av før de eventuelt inkluderes i nyttekostnadsanalyse. I motsetning til Bruzelius inkluderer ikke Vierth en egen kapitalverdibasert nyttekomponent i verdien av variabilitet, bare i verdien av spart tid.

I de tilfellene der sendinga går fra en bedrift til en annen er det relevant å spørre om det ikke er mer hensiktsmessig å se på nytten for mottakeren av bedret leveringspålitelighet enn å se på avsenderens nytte. Problemet er at dersom en skal undersøke dette i praksis gjennom spørreundersøkelser (se seksjon 3.1) er vanligvis mottakerne dårligere informert om selve transporten enn avsenderne er. En kan også rettferdiggjøre det å studere avsenderne med at kontraktene er utformet slik at avsenderen tar innover seg kostnadene til mottakeren i nokså stor grad.²¹

Akkurat som for verdsetting av pålitelighet i jernbanetransport generelt medfører ikke mangelen på teoretisk grunnlag at en ikke kan gjøre studier av hva bedret pålitelighet er verdt for aktørene i godstransport, og i seksjon 3.3 viser vi noen resultater fra studier av dette. De empiriske studiene bør imidlertid følges opp av mer teoriutvikling, slik at en kan få mer kunnskap om hva det er en faktisk måler.

²¹ Hovi og Hansen (2010) har undersøkt hva slags fraktavtaler som er vanlige i norsk varetransport. De finner at i det i halvparten av tilfellene er mottakeren som betaler for transporten. I 40 prosent av tilfellene betaler avsenderen, i de siste 10 prosentene deler partene på kostnadene.

3 Empiriske studier

I dette kapitlet vil vi redegjøre for metoder som blir brukt til å måle den samfunnsøkonomiske verdien av pålitelighet i transport, og gå igjennom noen utvalgte resultater fra norske og internasjonale studier. Vi vil nå i all hovedsak holde oss til jernbanetransport.

3.1 Hvordan måle verdien av pålitelighet?

I tråd med Bruzelius (2001) kan vi dele inn metodene en bruker for å finne enhetsverdier til nyttekostnadsanalyse i to hovedretninger:

1. En baserer seg på markedspriser.
2. En beregner enhetsverdiene basert på valgene aktørene gjør.

Denne inndelingen er i prinsippet gyldig uansett hva slags enhetskostnader det er snakk om. Det kan være for eksempel være tidskostnader, ulykkeskostnader eller miljøkostnader.

Et eksempel på (1.) er når en bruker lønnskostnader for å beregne verdien av en time tapt eller tjent reisetid i persontransport, slik en gjør i tilfellet tidsverdier for tjenestereiser (Ramjerdi m.fl. 2010). Et annet eksempel er det å basere tidsverdien for sendinger i godstransport på varenes markedsverdi og renta per time. Den samfunnsøkonomiske kostnaden ved at varene befinner seg under transport antas da å være det at de ikke er tilgjengelige for forbruk. Det siste eksemplet blir gjerne kalt kapitalverditilnærminga. Som nevnt anbefaler Bruzelius (2001) en slik tilnærming også til verdien av pålitelighet i godstransport.

Retningen (2.) kan videre deles inn beregninger som er basert på faktiske valg, såkalte "revealed preferences" (RP), og beregninger basert på hypotetiske valg i spørreundersøkelser. Det siste kaller vi gjerne "stated preferences" (SP).

Hovedgrunnen til at en ikke alltid kan bruke (1.) er at det ikke finnes markedspriser for alt. Timelønna kan sies å være et uttrykk for verdien av en tapt arbeidstime, men det finnes ikke en tilsvarende pris for verdien av tapt fritid. Når en skal studere verdien av pålitelighet, blir dette problemet større. Det finnes i liten grad egne markedspriser for reduksjoner i usikkerhet, selv i de tilfellene der tid i seg selv (som i eksemplene over) kan sies å ha en kjent pris. For eksempel kan kostnaden ved å bli forsinket på en tjenestereise, og dermed ikke rekke det en skal, være betydelig høyere enn den gjennomsnittlige verdien av tapt arbeidstid.

Dette betyr ikke at en ikke kan bruke metoder som faller inn under (1.) for å verdsette pålitelighet, men en trenger i så fall en modell som sier noe om sammenhengen mellom den kjente markedsprisen (for eksempel timelønn) og verdien av redusert variabilitet i reisetida (for eksempel endringer i standardavviket). Alternativt kan det bli mer behov for metoder som faller inn under (2.).

3.1.1 SP-undersøkelser

En del studier har forsøkt å beregne verdien av variabel transporttid ved hjelp av såkalte SP-studier (se seksjon 3.1) med hypotetiske valgekspesimenter. Dette innebærer en del utfordringer. Spesielt stiller det store krav til spørsmålsformuleringene: En må sikre både at det en presenterer er forståelig og at det en fanger opp ved hjelp av denne metoden faktisk er det en er interessert i å måle. Forskingen på dette området har kommet et godt stykke, men det er ikke entydig hvilken metode som er best.

Det er ikke åpenbart hvordan en skal klassifisere de ulike måtene å presentere pålitelighet på, ettersom de ofte er en kombinasjon av ulike elementer. En klart avgrenset type kan likevel sies å være den der egenskaper ved transporttidens sannsynlighetsfordeling blir presentert, men det ikke sies noe om konsekvenser i form av avvik fra ønsket ankomsttidspunkt

En vanlig presentasjonsformen av denne typen er den der respondenten (den som svarer) får oppgitt tre til fem mulige transporttider for hvert alternativ, og der det blir oppgitt at disse fem har lik sannsynlighet for å inntreffe (altså 20 prosent hvis det er fem mulige tider). Tseng m.fl. (2009) konkluderer med at denne presentasjonsformen fungerer best av dem de har testet. Resultater fra slike eksperimenter benyttes gjerne til å beregne verdien av forventet transporttid²² og transporttidens standardavvik. Figur 3.1 viser et eksempel på denne typen eksperiment, hentet fra TØI-studien GUNVOR som omhandler verdien av pålitelighet i godstransport i Norge.

Transport A	Transport B
Kostnad: 1290 kr	Kostnad: 1000 kr
Variasjon i transporttid:	Variasjon i transporttid:
<i>Anta at de fem tidene har like stor sjans for å inntreffe.</i>	<i>Anta at de fem tidene har like stor sjans for å inntreffe.</i>
29 timer	27 timer
30 timer	28 timer
30 timer	30 timer
34 timer	38 timer
36 timer	51 timer

Gitt at alt annet er likt, hvilken transport vil du velge?

Helt sikkert A
 Trolig A
 Trolig B
 Helt sikkert B

Figur 3.1. Eksempel på variasjonseksperiment (Halse m.fl 2010)

²² I noen studier oppgis forventet transporttid spesifikt. Dette ble testet i pilotundersøkelsen til den norske verdsetningsstudien, men forkastet fordi respondentene så ut til å fokusere for mye på denne. I tillegg var det problematisk fordi den ”forventete reisetida” som ble oppgitt ikke nøyaktig tilsvarte gjennomsnittet av de fem mulige tidene som ble presentert (se Ramjerdi m.fl. 2010 vedlegg 2).

I andre eksperimenter blir *konsekvensene* av variasjonen oppgitt i form av forsinkelser og eventuelt også for tidlige ankomster. Her er det imidlertid store forskjeller mellom typene eksperimenter. Avreisetidspunkt kan for eksempel være et attributt som inngår i valgalternativene, det kan ligge fast, eller det være uoppgitt. Hva avvikene i ankomsttidspunkt regnes i forhold til er også sentralt, om det er ens eget foretrukne/planlagte ankomsttidspunkt eller transportoperatørens angitte ankomsttidspunkt. Usikkerheten kan også presenteres på ulike måter.

Et typisk eksempel på et slikt valgeksperiment for jernbanereiser er et av dem som resultatene til Börjesson og Eliasson (2009) bygger på. Her oppgis sannsynligheten for forsinkelse i forhold til ruteplan og størrelsen på denne forsinkelsen dersom den skulle inntreffe, i tillegg til billettpris og angitt reisetid. Det oppgis ikke hvorvidt en kan velge mellom ulike avgangstidspunkt.

Choose one!	Departure 1	Departure 2
Fare	20 SEK more than today	As today
Delays	1 out of 10 trains are 20 minutes late, the rest are on time	3 out of 10 trains are 10 minutes late, the rest are on time
Travel time	The scheduled travel time is 2 hours 30 minutes	The scheduled travel time is 2 hours 45 minutes
I prefer:	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2

Figur 3.2. Pålitelighetseksperiment brukt av Börjesson og Eliasson (2009).

Eksperimenter av typen vist i figur 3.2 kan brukes til å beregne verdien av en ”forventet forsinkelse”. Det vil si verdien av den forsinkelsen en i gjennomsnitt må regne med på en reise eller transport. I eksemplet på figuren har reisen en forventet forsinkelse på to minutter i alternativet til venstre ($20 \cdot 1/10$) og tre minutter i alternativet til høyre ($10 \cdot 3/10$).

I GUNVOR-studien for godstransport (Halse m.fl. 2010) har en i tillegg til variasjonseksperimentet (se figur 3.1) brukt et eksperiment med forsinkelse som er nokså likt det vist i figur 3.2. Men som vist i figur 3.3 oppgis det her ikke forventet eller angitt transporttid, og forsinkelsen betyr levering seinere enn ”planlagt”.²³ Om det er snakk om forsinkelse på en transportetappe eller ved endelig levering til mottaker, avhenger av hvilken type bedrift som er spurt.

²³ Planlagt leveringstidspunkt er i prinsippet ikke helt det samme som ”ønsket” leveringstidspunkt, men dette er neppe den mest kritiske forskjellen.

Transport A	Transport B
Kostnad: 1000 kr	Kostnad: 1196 kr
Ankomst:	Ankomst:
9 timer forsinket med 10 % sannsynlighet	Presis med 100 % sannsynlighet
Presis med 90 % sannsynlighet	

Gitt at alt annet er likt, hvilken transport vil du velge?

Helt sikkert A
 Trolig A
 Trolig B
 Helt sikkert B

Figur 3.3. Pålitelighetseksperiment brukt av Halse m.fl. (2010)

Et annet eksempel er eksperimentet brukt i den norske tidsverdistudien (Ramjerdi m.fl. 2010). Som vist i figur 3.4 oppgis det her om en vil komme for seint eller for tidlig (figuren viser tilfellet med for sein ankomst), uten at en kan vite dette på forhånd. Det er litt uklart hvordan dette skal tolkes, men en kan se det som at den estimerte forsinkelsesverdien tilsvarer verdien av en times ”uventet forsinkelse som inntreffer med 100 prosents sannsynlighet” og dermed sånn sett er sammenliknbar med verdien av en ”forventet forsinkelse” på en time basert på et eksperiment som det i figur 3.2 eller 3.3. Det er imidlertid forskjeller mellom de tre eksperimentene når det gjelder hva slags forsinkelse det er snakk om – forsinkelse i forhold til ruteplan eller egen forsinkelse ved endelig ankomststed. I tidsverdistudien avhenger dette i stor grad av respondentens tolkning av spørsmålet

I tillegg er det en forskjell mellom figur 3.2 og 3.4 i det at en i sistnevnte tilfelle oppgir samlet reisetid, som er reisetida i det konkrete tilfellet, og ikke reisetida angitt på ruteplanen.

Ta utgangspunkt i to alternative togreiser, reise A og reise B	
Reise A:	Reise B:
Samlet reisetid: 2 timer	Samlet reisetid: 2 timer 40 minutter
Ankomsttid: 15 minutter for sent	Ankomst i tide
Samlet kostnad: 220 kr	Samlet kostnad: 190 kr
Hvilken reise foretrekker du?	
<input type="checkbox"/> Reise A	<input type="checkbox"/> Reise B

Figur 3.4. Pålitelighetseksperiment brukt av Ramjerdi m.fl. (2010)

Som sagt finnes det mange andre mulige presentasjonsformer. Noen (Bates m.fl. 2001, Hollander 2006, Preston m.fl. 2009) kombinerer informasjon om reisetidsfordelinga med informasjon om forsinkelser eller faktiske ankomsttidspunkt, og kan dermed brukes både til å måle verdien av endringer i standardavviket og verdien av forsinkelser (og eventuelt for tidlige ankomster).²⁴

3.2 Utvalgte resultater, persontransport

I den norske tidsverdistudien for persontransport (Ramjerdi m.fl. 2010) har en undersøkt de reisendes verdsetting av pålitelighet ved hjelp av to valg-eksperimenter. Det ene fokuserer på med variasjon i reisetid og likner det vist i figur 3.1. Basert på dette variasjon finner en at reisende med tog anser en økning i standardavviket på en time som like kostbart som en økning i forventet reisetid på 0,72 timer. Dette forholdstallet, der en oppgir verdien endringer i standardavviket i forhold til verdien av endringer i forventet reisetid, kalles ofte pålitelighetsraten ("reliability ratio"). I forhold til pålitelighetsratene funnet i internasjonale studier er 0,72 på et moderat, men sammenliknbart nivå

Det er ikke nødvendigvis intuitivt hvordan en skal tolke pålitelighetsraten. Det er viktig å presisere at når denne er mindre enn én innebærer dette *ikke* at variabilitet er verdsatt lavere enn gjennomsnittlig reisetid, fordi disse to størrelsene ikke er direkte sammenliknbare. Hvis en gjør antakelser om formen på reisetidsfordelinga og eventuelt hvor stor sikkerhetsmargin de reisende legger inn, kan en beregne hva en endring i standardavviket får å si for omfanget av forsinkelser og dermed få verdier som er mer sammenliknbare.²⁵

Det andre eksperimentet i tidsverdistudien fokuserer som vist i figur 3.4 på forsinkelse (og for tidlig ankomst) i forhold til ønsket ankomsttid. Her finner en at de togreisende anser en forsinkelse som like kostbart som en økning i samlet reisetid på 2,05 timer. Forfatterne tolker dette som forholdet mellom koeffisientene β og α i likning (1a). Dette forutsetter at når det oppgis at en kommer fram "i tide", betyr det til ens egne ønskete ankomsttid. Det kan imidlertid tenkes at en god del respondenter har tolket "i tide" som togets angitte ankomsttid (eller til og med at disse to tidspunktene er sammenfallende for en del).

Preston m.fl. (2009) omtaler forholdet mellom verdien av den forsinkelsen som i gjennomsnitt inntreffer på en togreise og verdien av en tilsvarende endring i angitt rutetid som "the reliability multiplier" – pålitelighetsmultiplikatoren. Faktoren 2,05 funnet i den norske studien kan imidlertid ikke uten videre tolkes som en slik multiplikator, fordi den er beregnet ved hjelp av faktisk reisetid og ikke angitt reisetid på ruteplanen.

²⁴ I prinsippet er også eksperimentet til Börjesson og Eliasson vist på figur 3.2 av denne typen, men her er reisetidsfordelinga såpass triviell at en neppe vil kunne bruke et slikt eksperiment til å måle verdien av variabilitet representert ved standardavviket.

²⁵ Halse m.fl. (2010) viser basert på rammeverket til Fosgerau og Karlström (2010) hvordan en kan regne om standardavviksverdien til en forsinkelsesverdi. Denne sammenhengen bygger på noen antakelser som neppe passer like godt for godstransport, noe forfatterne også påpeker.

I sin egen SP-studie av britiske togpassasjerer finner Preston m.fl. en pålitelighetsmultiplikator på mellom 2,70 og 5,30 for korte reiser (under 50 miles) og på mellom 1,80 og 2,10 for lange reiser. Dette innebærer altså at en reduksjon i gjennomsnittlig forsinkelse på 10 minutter er verdt like mye som en reduksjon i den angitte reisetida på 18 til 53 minutter.

Ved hjelp av de samme dataene har Preston m.fl. også beregnet verdien av endringer i standardavviket. De finner en pålitelighetsrate på mellom 1,16 og 2,15 for korte reiser og mellom 1,38 og 2,11 for lange reiser, altså en god del høyere enn de i norske resultatene gjengitt over.

Rietveld m.fl. (2001) har i en SP-studie undersøkt passasjerers verdsetting av tid og forsinkelser i offentlig transport i Nederland og finner at en pålitelighetsmultiplikator på 2,4. De reisende er altså villige til å betale 2,4 ganger så mye for å unngå en gjennomsnittlig forsinkelse som de er for å unngå en tilsvarende økning i reisetida.

Vincent (2008) gir en nokså grundig gjennomgang av empiriske resultater for verdien av pålitelighet, spesielt studier fra Australia, New Zealand og Storbritannia. For de studiene der det er oppgitt at det er snakk om togreiser er verdien av en gjennomsnittlig forsinkelse på mellom 1,3 og 3,5 ganger verdien av angitt reisetid. Da har vi holdt utenfor de engelske anbefalingene for flytog og høyhastighetstog, hvor tilsvarende pålitelighetsmultiplikator ligger på mellom 4,2 og 6,5. I resultatene fra sin egen undersøkelse blant togreisende i Wellington, New Zealand finner Vincent en pålitelighetsmultiplikator på 2,4 for forsinkelser når den reisende allerede er om bord og 3,9 når det er snakk om uventet ventetid før avgang.²⁶

3.3 Utvalgte resultater, godstransport

TØI har nylig gjennomført prosjektet GUNVOR (Halse m.fl. 2010), finansiert av Norges Forskningsråd og Statens Vegvesen. I dette prosjektet er verdien av tid og pålitelighet i godstransport undersøkt blant vareeiere som kjøper transporttjenester, vareeiere som frakter egne varer og bedrifter som organiserer eller utfører transport av andres gods (transportbedrifter). Utvalget er dominert av veitransport. Verdien av pålitelighet er undersøkt ved hjelp av ett eksperiment med ulik variasjon i transporttid og ett med ulik risiko for forsinket levering. Resultatene er oppsummert i tabell 3.1.

²⁶ Vincent har også undersøkt verdien av endringer i standardavviket til vente- og reisetida, men bemerker at verdiene funnet her er uventet høye. De viser dessuten motsatt forhold mellom forsinkelser på stasjonen og underveis enn det funnet for gjennomsnittlig forsinkelse.

Tabell 3.1. Resultater fra prosjektet GUNVOR

Utvalg	Vareeiere med leietransport (N = 505)	Vareeiere med egentransport (N = 114)	Transportbedrifter (N = 117)
Tidsverdi, kr/time	71	331	449
Konfidensintervall	52 - 89	272 - 389	350 - 547
Verdi av gjennomsnittstid, kr/time	129	1444	305
Variasjonsverdi, kr/time st. avvik	83	<i>ikke signifikant</i>	<i>ikke signifikant</i>
Forsinkelsesverdi, kr/time	386	1361	872
Ca. gjennomsnittsvekt (grovt anslag)	3,7 tonn	3,9 tonn	20,6 tonn

TØI rapport 1083/2010

Forfatterne argumenterer for at resultatene fra de eksperimentene som retter seg mot vareeiere som kjøper transporttjenester (leietransport) gir et uttrykk for en samfunnsøkonomisk verdi av raskere og mer pålitelig levering som kommer i tillegg til gevinsten av høyere pålitelighet i form av sparte transportkostnader. De anbefaler derfor at disse inngår i nyttekostnadsanalyser av transporttiltak.

Ifølge resultatene basert på hele utvalget av bedrifter som sender gods er en endring i standardavviket med en time verdt 83 kroner per sending, eller tilsvarende en endring i forventet framføringstid på 0,64 timer. Som nevnt i seksjon 3.2 er ikke standardavviket så lett å tolke, men det tallet 83 kroner betyr er altså at dersom standardavviket blir redusert med for eksempel 10 minutter, er det verdt $83 \cdot (10/60) = 13,83$ kroner. En forventet forsinkelse i leveringa på én time er verdsatt til 386 kroner per sending.²⁷

Utvalget for sendinger med jernbane er for lite i studien til å si noe om pålitelighetsverdiene i denne transportformen for seg. Halse m.fl. anbefaler heller ikke å bruke resultatene for utvalget i sin helhet som anslag for verdsettingen av pålitelighet i jernbane. For det første er det trolig forskjell på de vareeierne som velger å sende godset med bil og de som velger jernbane. For det andre angir valgekspérimentene påliteligheten for transportstrekningen i sin helhet, slik at verdiene ikke nødvendigvis kan anvendes for bare den delen som jernbanetransporten utgjør.

I Nederland pågår en omfattende studie i regi av samferdselsmyndighetene for å beregne verdien av spart reise-/transporttid og av mer pålitelig transport ved hjelp av SP-undersøkelser (se de Jong m.fl. 2007). Denne omfatter både person- og godstransport og transportformene vei, jernbane, fly og innenlands vanntransport. Resultatene er ikke klare. I Sverige har veg- og transportforskningsinstituttet (VTI) akkurat gjennomført en forstudie som forberedelse til videre studier for å utvikle et konsistent rammeverk for bruk av pålitelighetsverdier i nyttekostnads-

²⁷ Hvordan denne skal ses i forhold til verdien av forventet framføringstid er litt usikkert siden denne ikke inngår i dette valgekspérimentet. Sett i forhold til tidsverdien funnet i samme studie blir forholdet mellom forsinkelses- og tidsverdi 5,44.

analyser av godstransport (Vierth 2010). Dette vil trolig innebære flere empiriske studier, muligens ved hjelp av SP.

Oversikt over en del resultater for verdsetting av pålitelighet i godstransport finnes hos Bruzelius (2001) og de Jong m.fl (2004). Mange studier har imidlertid det til felles at de bare angir pålitelighet i form av andelen presise leveringer, de ser altså ikke på omfanget av variabiliteten eller forsinkelsene. De fleste studiene fokuserer også bare på veitransport. Noen unntak er disse:

- Kurri m.fl. (2000) viser resultatene av en SP-undersøkelse blant vareeiere. De inkluderer både gjennomsnittlig transporttid og sannsynligheten for og omfanget av forsinkelser, og finner en verdi av en gjennomsnittlig forsinkelse på en time på 17,8 dollar per togvogn, eller 4,9 ganger tidsverdien for de bedriftene som bruker jernbanetransport. Blant disse har bedriftene innenfor kjemisk skogsindustri høyest verdsetting av pålitelighet. For øvrig er verdiene mye høyere for veitransport enn jernbanetransport.
- Winston (1981) analyserer en modell for bedrifters faktiske valg (RP) av transportløsninger og beregner effekten av endringer i gjennomsnittlig transporttid og transporttidens standardavvik. Han finner at endringer i standardavviket med én dag er verdt mellom 299 og 4110 dollar i jernbanetransport. Dette tilsvarer en pålitelighetsrate på 0,83 for bedrifter innenfor uregulert landbruk. For andre typer bedrifter er ikke estimatene for gjennomsnittlig transporttid statistisk signifikante.
- Fowkes (2007) undersøker ved hjelp av en SP-undersøkelse verdiene av transporttid, spredning i transporttidene og forsinkelser, men disse attributtene er ikke definert ved standardavvik og gjennomsnittlig forsinkelse, så resultatene kan ikke sammenliknes direkte med dem nevnt over.²⁸ Både for variabilitet og forsinkelser finner Fowkes at pålitelighet er mest verdt for ikke-bulkvarer.
- Danielis m.fl. (2005) beregner også verdier for transporttid og pålitelighet for vareeiere. De finner at verdien i euro av å unngå en forsinkelse på en time er 1,4-1,6 ganger så høy som verdien av en tilsvarende endring i transporttida. Dette er imidlertid er forsinkelse som inntreffer med "en viss" sannsynlighet, og denne sannsynligheten er ikke oppgitt. Resultatene viser høyere verdsetting av pålitelighet blant de som bruker veitransport enn blant dem som sender gods med jernbane, og også høyere når det er snakk om tidskritiske varestrømmer.

At resultatene er vanskelige å sammenlikne, er for øvrig i tråd med oppsummeringa til Small m.fl. (2001) av en rekke empiriske studier av verdien pålitelighet i godstransport. Forfatterne peker her spesielt på at bruk av måleenhet for pålitelighet varierer mellom studiene.

²⁸ Fowkes tar utgangspunkt i det såkalte 98-persentilet, altså det leveringstidspunktet som det er 98 prosent sannsynlighet for at transporten holder seg innenfor. "Spredning" er da definert som forskjellen mellom dette tidspunktet og det tidligste mulige leveringstidspunktet. "Sein levering" er definert som forskjellen mellom det tilbudte 98-persentilet og 98-persentilet for referansealternativet.

3.4 Videre undersøkelser for godstransport

Videre undersøkelser vil være nødvendig for sikrere å kunne anslå verdien av pålitelighet for godstransport med jernbane. Hvilken nytte bedret pålitelighet innebærer i form av sparte kostnader for operatørene kan avdekkes i samarbeid med operatørene sjøl. Her må en være oppmerksom på de problemstillingene som er tatt opp i seksjon 2.2.1.

Når det gjelder nytten for vareeierne av mer pålitelig levering, kan videre SP-studier som de i GUNVOR være godt egnet. Disse må da tilpasses slik at de mer presist fanger opp verdien av pålitelighet i selve jernbanetransporten. Én mulighet kan da være å rette undersøkelsen mot samlasterne og stille spørsmål om den delen av transporten som gikk med jernbane. Dette kan være fordelaktig ettersom det er samlasterne som betaler direkte for togtransporten og som må gjøre avveiiinger om hvordan denne passer inn med leveringsbetingelsene i det totale transportopplegget.

En bør da drøfte i hvilken grad en kan forutsette at kontrakten mellom vareeier og samlaster er utformet slik at samlasteren fullt tar innover seg de økonomiske kostnadene forsinkelser har for vareeieren. Én mulighet kan være å inkludere spørsmål om dette som en del av studien.

Enhetsverdiene som Halse m.fl. (2010) anbefaler bygger på en antakelse om at det er ei sending i hver bil. Dette ville innebåret en mye mindre realistisk forenkling når det gjelder togvogner, ettersom samlast er en sentral nisje innenfor godstransport med jernbane. En bør derfor enten utføre undersøkelsen slik at pålitelighetsverdier målt per sending på en forsvarlig måte kan aggregeres opp til verdier per vogn, eller konsentrere undersøkelsen om vogner som objekt. Det siste kan være en mulighet dersom undersøkelsen er rettet mot samlasterne.

4 Dagens praksis

I Jernbaneverkets metodeverktøy for nyttekostnadsanalyser angis anbefalte enhetspriser for verdien av en forsinkelse. Dette gjelder både person- og godstrafikk. For personreiser er forsinkelsestid verdsatt som reisetid ganget med 3 for korte reiser (under 50 kilometer) og ganget med 1,5 for lange reiser (over 50 kilometer) ifølge metodehåndboka (Jernbaneverket 2006).

For godstransport skilles det mellom type tog og hvor stor forsinkelse det er snakk om. Tallene som blir brukt her er ikke gjengitt i metodehåndboka, men inngår i regnearkmodellen som hører til håndboka. Ifølge denne er kostnaden per forsinkelsestime for kombitog 79 kroner per tonn for forsinkelser på mindre enn 1,5 timer, 119 kroner per tonn for forsinkelser på 1,5-3,5 timer og 162 kroner per tonn for forsinkelser på mer enn 3,5 timer. Satsene er lavere for systemtog og høyere for vognlast. Det er også oppgitt en verdi av redusert (kjent) framføringstid for ulike typer gods. Denne er nærmest ubetydelig i forhold til forsinkelsesverdien, bortsett fra for ”stykkgoods av høy verdi”.

I tillegg inngår det en parameter i modellen som beregner et tillegg i operatørens driftskostnader som avhenger av punktlighetsnivået. Økt punktlighet gir dermed også en gevinst i form av sparte driftskostnader.

Virkingen av et tiltak på togenes pålitelighet blir oppgitt i form av punktlighetsnivået, altså andelen tog som er framme i tide. For å beregne det faktiske omfanget av forsinkelsene, altså forventet antall forsinkelsetimer, forutsetter modellen at det er en fast sammenheng mellom dette og punktlighetsnivået. Denne sammenhengen er gitt ved en fast parameter.

Vi vil i løpet av prosjektet PUSAM kartlegge nærmere hvordan samfunnsøkonomiske analyser blir brukt i Jernbaneverket og de andre deltakerbedriftene. Vi vil da kunne redegjøre mer grundig for hvordan punktlighet og forsinkelser inngår i beregningene som blir gjort.

En bør for øvrig også være oppmerksom på at metodehåndboka til Jernbaneverket er under revisjon. En ny versjon vil foreligge i løpet av nær framtid.

5 Oppsummering

I denne rapporten har vi redegjort for nyere forskning på hvordan en skal tallfeste de økonomiske virkningene av mer pålitelig transport. Sentralt i dette har vært å se på hvordan verdien av pålitelighet kan begrunnes teoretisk. Etter vårt syn er det ikke nok å kunne dokumentere ved hjelp av empiriske studier at transportbrukerne legger vekt på usikkerheten i transporttidene når de tar beslutninger. En bør også kunne redegjøre for hvor kostnadene ved usikkerhet stammer fra.

Det har skjedd store framskritt innenfor forskningen på dette feltet de siste årene, i hvert fall når det gjelder persontransport. Sentralt er arbeidet til Fosgerau og Karlström (2010), som viser hvordan den enkle planleggingsmodellen til Small (1982) kan gi en teoretisk begrunnelse for bruken av standardavviket som mål på reisetidsvariabilitet i nyttekostnadsanalyser. Denne sammenhengen bygger imidlertid på betingelser som ikke uten videre kan sies å være oppfylt for rutegående transport med en viss avstand mellom avgangene, slik som jernbanen.

I nyttekostnadsanalyser for jernbane har det både for person- og godstransport med tog vært vanlig å beregne kostnadene ved variable togtider ved hjelp av et anslag for antall forsinkelsestimer. Det mangler imidlertid et teoretisk belegg for å hevde at transportbrukernes kostnader kan beskrives ved størrelsen på den gjennomsnittlige forsinkelsen ganget med en fast enhetskostnad. Studien til Börjesson og Eliasson av svenske togpassasjerer tyder på at også sannsynligheten for forsinkelse spiller en rolle.

Vi vil derfor sterkt anbefale videre forskning på teoretiske modeller for verdsetting av pålitelighet – spesielt for rutegående transportmidler der det er lenge mellom avgangene. For gods trengs det mer forskning generelt for å kartlegge sammenhengen mellom avveingene som gjøres i bedriftene og kostnadene ved variable framføringstider.

Det har også vært stor framgang innenfor forskningen når det gjelder utvikling av metoder for å måle transportbrukernes verdsetting av økt pålitelighet. Ved hjelp av stated preference-studier der en tilbyr valg mellom ulike reisetidsfordelinger kan en måle de reisendes betalingsvilje for reduksjon i reisetidas standardavvik. TØI-studien GUNVOR (Halse m.fl. 2010) viser at denne metoden lar seg anvende også for å avdekke transportkjøpernes betalingsvilje for mer pålitelig godstransport. Stated preference (SP) er også en egnet metode hvis en vil måle verdien av en mulig forsinkelse eller sannsynligheten for denne.

For å kunne tallfeste verdien av redusert variabilitet i godstransport med jernbane trengs det videre studier som tar for seg denne typen transporter generelt. Siden det kan være krevende å få transportkjøperne til å forholde seg til jernbanetransporten isolert, kan det være en mulighet med en SP-undersøkelse som retter seg mot samlasterne.

Denne rapporten har ikke drøftet hvordan en skal beregne virkningen av ulike tiltak på omfanget av variabilitet og forsinkelser i jernbanenettet.²⁹ Forbedring og videreutvikling av metoder for å gjøre dette er sentralt i arbeidet med å implementere verdsetting av pålitelighet i nyttekostnadsanalyser for jernbanen.

²⁹ Mattsson (2004) redegjør for metoder for å beregne omfanget av forsinkelser i jernbanenettet.

6 Referanser

- Bates, J., J. Polak, P. Jones og A. Cook 2001: The valuation of reliability for personal travel. *Transportation Research Part E* 37, s. 191-229.
- Beuthe M og Ch. Bouffieux 2008: Analysing qualitative attributes of freight transport from stated orders of reference experiment. *Journal of Transport Economics and Policy*, Volume 42, Part 1, s. 105-128.
- Börjesson M og J Eliasson 2009: *On the use of "average delay" as a measure of train reliability*, Technical report CTS 090529, Centre for Transport Studies, Stockholm, Sweden.
- Bruinsma F R, P Rietveld og D J van Vuuren 1999: Unreliability in Public Transport Chains, i H Meersman, E Van de Voorde og W Winkelmanns (red.) *World Transport Research Volume 1: Transport Modes and Systems*, 1999, Elsevier
- Bruzelius N 2001: *The Valuation of Logistics Improvements in CBA of Transport Investments; A Survey*. Underlagsrapport till SAMPLAN 2001:1
- Danielis R, E Marcucci og L Rotaris 2005: Logistics managers' stated preference for freight service attributes. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Volume 41, Issue 3, s. 201-215.
- de Jong G, Y Tseng, M Kouwenhoven, E Verhoef og J Bates 2007: *The value of travel time and travel time reliability. Survey design. Final report*. The Netherlands Ministry of Transport, Public Works and Water Management.
- Ettema D og Timmermans H 2003: Modeling Departure Time Choice in the Context of Activity Scheduling Behavior. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Volume 1831 / 2003
- Fosgerau M (2009): The marginal social cost of headway for a scheduled service. *Transportation Research Part B: Methodological*, Volume 43, Issues 8-9, s. 813-820
- Fosgerau M og L Engelson 2010: The value of travel time variance. *Transportation Research Part B: Methodological*. Article in Press, Corrected Proof
- Fosgerau M, K Hjorth, C Brems og D Fukuda 2008: *Travel time variability – Definition and valuation*. Report 1:2008. DTU Transport
- Fosgerau M og A Karlström (2010): The value of reliability. *Transportation Research Part B: Methodological*, Volume 44, Issue 1, s. 38-49

- Fowkes T 2007: The design and interpretation of freight stated preference experiments seeking to elicit behavioural valuations of journey attributes. *Transportation Research B, Volume 41*, s. 966-980.
- Franklin J 2009: *Modeling Reliability as Expected Lateness: A Schedule-Based Approach for User Benefit Analysis*. Paper Presented at the European Transport Conference, Leeuwenhorst, The Netherlands, 5-7 October 2009
- Gershenson C og Pineda LA (2009) Why Does Public Transport Not Arrive on Time? The Pervasiveness of Equal Headway Instability. *PLoS ONE* 4(10)
- Halse A, H Samstad, M Killi, S Flügel og F Ramjerdi (2010): *Verdsetting av framføringstid og pålitelighet i godstransport*. TØI-rapport 1083/2010. Oslo, Transportøkonomisk institutt.
- Hensher, D. (2007) Valuation of Travel Time Savings *Prepared for Handbook in Transport Economics, edited by André de Palma, Robin Lindsey, Emile Quinet, Roger Vickerman* (Edward Elgar Publisher)
- Hollander, Y 2006: Direct versus indirect models for the effects of unreliability. *Transportation Research Part A*, 2006, 40. utg.: 699-711.
- Jenelius E, L-G Mattsson og D Levinson 2010: *The traveler costs of unplanned transport network disruptions: An activity-based modeling approach*. Working paper, Department of Transport and Economics, Royal Institute of Technology, Stockholm
- Jernbaneverket 2006: *Samfunnsøkonomiske analyser for jernbanen*. Metodehåndbok JD 205. Versjon 2.0 – juni 2006.
- Kurri J, A Sirkiä og J. Mikola 2000: Value of Time in Freight Transport in Finland. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. Volume 1725 / 2000.
- Massiani, Jerome (2008): *The welfare effects of freight travel time savings*. MPRA paper
- Mattsson, L-G 2004: *Train service reliability. A survey of methods for deriving relationships for train delays*. KTH report
- Minken H og H Samstad (2005): *Nyttekostnadsanalyser i transportsektoren: Rammeverk for beregningene*. TØI-rapport 798/2005.
- Minken H og H Samstad (2006): *Virkningsberegninger av tiltak for raskere og mer pålitelig godstransport – en ny metode*. TØI rapport 825/2006. Oslo, Transportøkonomisk institutt.
- OECD 2010: *Improving reliability on surface transport networks*. Rapport fra OECD og International Transport Forum. OECD Publishing, Paris.
- Preston J, G. Wall, R. Batley, J. N. Ibáñez og J. Shires 2009: Impact of Delays on Passenger Train Services. Evidence from Great Britain. *Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board*, No. 2117

- Rietveld P, F R Bruinsma og D J van Vuuren (2001): Coping with unreliability in transport chains. A case study for the Netherlands. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Volume 35, Issue 6, s. 539-559
- Ramjerdi, F. (1993) Value of Travel Time Savings; Theories and Empirical Evidences. TØI report 213/1993, Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Ramjerdi, F, S Flügel, H Samstad og M Killi (2010): *Verdien av tid, sikkerhet og miljø i transportsektoren. Dokumentasjonsrapport B: Den norske tidsverdistudien*. TØI-rapport 1053B/2010. Oslo, Transportøkonomisk institutt.
- Small K 1982: The scheduling of consumer activities: work trips. *American Economic Review*, Volume 72, No. 3, s. 467-479.
- Small K, R Noland, X Chu og D Lewis 2001. *Valuation of Travel-Time Savings and Predictability in Congested Conditions for Highway User-Cost Estimation*. NCHRP Report 431, Transportation Research Board, National Research Council
- Statens vegvesen 2010: *Håndbok 140 Konsekvensanalyser*
- Tseng Y-Y og E Verhoef 2008: Value of time by time of day: A stated-preference study. *Transportation Research Part B: Methodological*. Volume 42, Issues 7-8, August 2008, Pages 607-618
- Tseng Y-Y, E Verhoef, G de Jong, M Kouwenhoven, T van der Hoorn (2009): A pilot study into the perception of unreliability of travel times using in-depth interviews. *Journal of Choice Modelling*, 2(1), s. 8-28
- Vierth I 2010: *Värdering av minskad transporttid och minskad variation i transporttid för godstransporter – Förstudie*. VTI rapport 683/2010.
- Vincent, M. 2008: *Measurement valuation of public transport reliability*. Land Transport New Zealand Research Report 339.
- Winston C. 1981: A Disaggregate Model of the Demand for Intercity Freight Transportation. *Econometrica*, Vol. 49, No. 4 (Jul., 1981), pp. 981-1006

Besøks- og postadresse:

Transportøkonomisk institutt
Gaustadalléen 21
NO 0349 Oslo

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

www.toi.no



**Transportøkonomisk institutt
Stiftelsen Norsk senter for samferdselsforskning**

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