



SINTEF Teknologi og samfunn
Teknologiledelse

Postboks: 4760 Sluppen
Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: S P Andersens veg 5
7031 Trondheim
Telefon: 73 59 03 00
Telefaks: 73 59 03 30

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

SINTEF RAPPORT

TITTEL

Beregning av punktlighet og pålitelighet for godstransport på jernbane – PUSAM teorigrunnlag

FORFATTER(E)

Andreas Økland, Anandasivakumar Ekambaram

OPPDRAGSGIVER(E)

Jernbaneverket

| | | | |
|---|--------------------------|--|---|
| RAPPORTNR. SINTEF A17164 | GRADERING Åpen | OPPDRAGSGIVERS REF. Hans Erik Wiig | |
| GRADER. DENNE SIDE Åpen | ISBN 978-82-14-050592 | PROSJEKTNR. 60T096 | ANTALL SIDER OG BILAG |
| ELEKTRONISK ARKIVKODE 20101122 Beregning av punktlighet og pålitelighet for godstransport på jernbane v01.docx | | PROSJEKTLEDER (NAVN, SIGN.) Carl Christian Røstad | VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.) Nils Olsson |
| ARKIVKODE | DATO 2010-09-03 | GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.) Forskningsleder Bjørn Andersen | |

SAMMENDRAG

Denne rapporten utgjør sammen med rapporten ”Økonomisk verdsetting av pålitelighet i jernbanetransport” det teoretiske grunnlaget for forskningsprosjektet PUSAM.

Punktligheit defineres i rapporten som ”at togtrafikken går i henhold til ruteplanen”. For å måle punktlighet benyttes imidlertid vanligvis ankomst til endestasjon som punktlighetsmål. I Norge regnes et tog som punktlig om det ankommer innen 4 minutter (3 min 59 sek) fra oppsatt tid i ruteplanen (5 min og 59 sek for langdistansetog og godstog). Samferdselsdepartementets målsetning er en målt punktlighet på 90 % for togtrafikken (95 % for flytoget).

Punktligheit er viktig som mål på hvilken grad passasjer eller godskunde mottar tjenesten de betaler for. Verdsettingsstudier viser i tillegg at reisende er verdsetter forsinkelsestid høyere enn reisetid.

En rekke faktorer påvirker jernbanens punktlighet. Disse kan deles inn i direkte (materiell, infrastruktur m.m.) og indirekte faktorer. Punktligheitsarbeid går på tvers av fag og organisatoriske grenser innen jernbanen.

I punktligheitsanalyse er bruk av årsaksregistreringer et viktig verktøy. I økende grad er også simulering blitt et viktig verktøy i punktligheitsanalyse.

| STIKKORD | NORSK | ENGELSK |
|------------|---------------------|--------------------|
| GRUPPE 1 | Jernbane, økonomi | Railway, economy |
| GRUPPE 2 | Pålitelighet | Reliability |
| EGENVALGTE | Punktligheit, PUSAM | Punctuality, PUSAM |

Forord

Denne rapporten utgjør en del av arbeidet i prosjektet PUSAM, der det skal utvikles et beslutningsstøttesystem for punktlighetstiltak i jernbanetransport basert på samfunnsøkonomiske analyser. PUSAM er et brukerstyrt innovasjonsprosjekt innenfor Norges forskningstråds SMARTRANS-program. Jernbaneverket er prosjektansvarlig, de øvrige prosjektdeltakerne er NSB, CargoNet, Flytoget, SINTEF og Transportøkonomisk institutt (TØI).

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

- *Økonomisk verdsetting av pålitelighet i jernbanetransport – PUSAM metodegrunnlag.* TØI-rapport 1103/2010. Forfattere: Askill H. Halse og Marit Killi
- *Beregning av punktlighet og pålitelighet for godstransport på jernbane – PUSAM teorigrunnlag.* Forfattere: Andreas Økland og Anandasivakumar Ekambaram.

Rapporten er i stor grad basert på arbeid og resultater fra forskningsprosjektene ”PEMRO” (Performance measurement in railway operations), ”PONDUS” (Punktlighet og underveis undersøkelse) og Mads Veiseths doktoravhandling ”Forbedring av punktlighet i jernbanedrift” fra 2009. Bearbeiding og utvidelser er gjennomført av Andreas Økland og Anandasivakumar Ekambaram ved SINTEF Teknologi og samfunn.

INNHALDSFORTEGNELSE

| | |
|---|-----------|
| Forord | 2 |
| 1 Innledning | 4 |
| 2 Om Punktlighet, forsinkelser og pålitelighet i jernbane | 4 |
| 2.1 Hva er punktlighet i jernbanedrift? | 4 |
| 2.2 Relaterte begreper til punktlighet | 5 |
| 2.3 Måling av punktlighet og punktlighetsdata | 7 |
| 2.4 Årsaksregistreringer og årsaksdata | 9 |
| 2.5 Punktlighet som kvalitetsfaktor for transport | 10 |
| 2.6 Punktlighet i andre bransjer | 12 |
| 2.7 Faktorer som påvirker punktlighet..... | 13 |
| 2.7.1 Resultater fra PUSAM granskning 2005-2010 | 13 |
| 2.7.2 Ruteplan og kapasitetsutnyttelse | 14 |
| 2.7.3 Bruk av årsaksregistreringer for å avdekke faktorer som påvirker punktlighet | 15 |
| 2.7.4 Andre faktorer som påvirker punktlighet..... | 16 |
| 2.7.5 Bruk av simulering og datamodellering | 18 |
| 2.8 Forklaringsmodeller for punktlighet | 20 |
| 2.9 Effekter av forsinkelser og punktlighet | 23 |
| 3 Empiriske studier | 24 |
| 3.1 Jernbanens punktlighet i Norge | 24 |
| 3.2 Internasjonal sammenligning av punktlighetsdata..... | 26 |
| 4 Dagens praksis | 27 |
| 4.1 Organisering og gjennomføring av punktlighetsarbeid | 27 |
| 4.2 Eksisterende beslutningsstøttesystemer av PUSAM-karakter | 29 |
| 4.3 PUSAM-relevant jernbaneforskning i EU-regi | 30 |
| 5 Verdien av forsinkelser og ikke-punktlighetskostnader | 30 |
| 6 Oppsummering | 32 |
| 7 Referanser | 33 |

1 Innledning

Punktlighet er på godt og vondt et tilbakevendende tema i debatt og diskusjoner som omhandler jernbanen. Ulike forhold fører til at punktligheten på norsk jernbane er lav i europeisk sammenheng, men hva betyr egentlig det?

Punktlighet handler om å levere varer og tjenester til en avtalt tid. Punktlighet er derfor en sentral kvalitetsfaktor innen jernbane. Avtalt tid vil være gitt av ruteplanen. Samtidig er jernbanen et sårbart og komplisert system, hvor toggangen må være synkronisert og koordinert. Hendelser kan inntreffe som fører til forsinkelser som sprer seg i jernbanenettverket. En opererer derfor med punktlighetskrav som forteller hva som forventes av jernbanen.

Ved siden av jernbanen har punktlighetstankegangen lengst tradisjon innen luftfart. Både luftfart og jernbane har lang tradisjon med å publisere punktlighetstall. I denne rapporten ser vi på hva som ligger bak de publiserte punktlighetstallene. Vi ser på hvordan tallene beregnes og på studier som er gjort for å avdekke faktorer som påvirker punktligheten. Etter å ha lest rapporten håper vi leseren sitter igjen med en grundig forståelse for hva jernbanens punktlighet forteller, hvorfor punktlighet er et viktig mål og hvilke faktorer som kan bidra til å heve og senke punktligheten på norsk jernbane.

2 Om Punktlighet, forsinkelser og pålitelighet i jernbane

Dette kapittelet tar for seg hva punktlighet er. Kapittelet tar sikte på å tydeliggjøre ulike aspekter av punktlighet innen jernbane og andre industrier hvor begrepet brukes helt eller delvis.

Begrepet punktlighet brukes vanligvis i transport som er bundet opp mot en ruteplan. Grunnet jernbanens natur, hvor tilgangen på spor gjør avhengigheter mellom ulike togs ruter helt tydelig, har punktlighet lenge vært del av jernbanens grunnlag. Innenfor flyindustrien, hvor tilgang på plass på rullebaner og gater er begrenset, spiller også punktlighet en viktig rolle. Flyselskap konkurrerer om å være mest presise, og selskaper som ikke overholder rutetiden må belage seg på bøter. Også for kollektivtransport med buss forventer kundene at bussen kommer til gitt tidspunkt, og at en fraktes til ønsket destinasjon i rute.

I varetransport brukes vanligvis begrepet ”leveringspresisjon” framfor punktlighet når det er snakk om leveranser til kunde. Innholdet i begrepet er ikke like entydig gitt som punktlighet, og er avhengig av avtaler mellom den enkelte kunde og transportselskap. Kravet til presis levering kan variere fra leveranse en gitt dag og ned til et tidsvindu på en time.

2.1 Hva er punktlighet i jernbanedrift?

Innenfor jernbanedrift er punktlighet et mål på om togtrafikken gjennomføres i henhold til ruteplanen. Med andre ord er det en sammenligning mellom planlagt og faktisk toggang. Dette betyr at punktlighet er et mål på om man klarer å gi kunden den tjenesten de har kjøpt; at de får sin transport til den avtalte tiden. Punktlighet kan derfor karakteriseres som en kvalitetsfaktor.

I de fleste land blir punktligheten fulgt opp av både jernbaneorganisasjonene og myndighetene. Blant annet finnes det incentivordninger i flere land som baserer seg på punktlighetsmålinger der togselskaper og infrastrukturforvalter må betale penger dersom de skaper forsinkelser. Punktlighet

kan også være en faktor som inngår i kontrakter mellom det offentlige og jernbaneselskaper, f. eks. innenfor offentlig kjøp som praktiseres i mange land (NEA, 2003). I Norge stiller Samferdselsdepartementet krav til blant annet gjennomsnittlig punktlighet pr. år til operatørene (NSB AS, Flytoget og CargoNet).

God punktlighet er en suksessfaktor for både godstransport og persontransport på bane. Det er likevel enn viktig forskjell mellom disse da de fleste godskundene kun fokuserer på punktlig ankomst til terminal. Vanligvis er terminalene endestasjoner for godstogene, og det er her godset må være klart til å hentes som avtalt. I persontrafikk vil ulike kunder ha forskjellig ”endestasjon”, noe som forutsetter at toget må være punktlig ved alle stasjoner for å oppfattes som punktlig av kundene. Ved persontransport vil også kundene ha forskjellig startpunkt for sine reiser. En kan derfor operere med begrepene avgangspunktlighet og ankomstpunktlighet, hvor begge vil være viktige kvalitetsfaktorer ved transporten.

Det finnes flere definisjoner på punktlighet innenfor transport. Gelyee (1994) definerte punktlighet som ”muligheten til å oppnå en sikker ankomst til et bestemmelsessted etter en på forhånd kunngjort tidstabell”. Rudnicki (1997) på sin side definerte punktlighet i transport som ”Punktlighet er når et på forhånd definert kjøretøy ankommer, passerer eller forlater et på forhånd definert punkt, til en på forhånd definert tid”. Granström (2005) definerte punktlighet som oppfyllelse av en avtale mellom ulike parter, og at denne avtalen i jernbanesammenheng er rutetabellen, mens Woxenius (2006) forklarte punktlighet med evnen til å overholde ruteplanen.

I det videre arbeidet velger vi å definere punktlighet i jernbanedrift som:

”Punktlighet i jernbanedrift er at togtrafikken går i henhold til ruteplanen”

2.2 Relaterte begreper til punktlighet

Definisjonen av punktlighet presentert i kapittel 2.1 er en vid definisjon som innebærer at en rekke andre begreper faller inn under punktlighetsbegrepet. Et av disse begrepene er forsinkelser. Innen jernbanedrift betyr forsinkelse et avvik mellom planlagt og faktisk togtid (Gelyee, 1994). Dette betyr at man både kan ha positive og negative forsinkelser, selv om det siste ofte blir referert til som at et tog ”kommer før tiden”. Forsinkelser blir brukt som en indikator i oppfølging av punktlighet, ofte gjennom at alle forsinkelser for et tog, en banestrekning, en region eller et land summeres opp i forsinkelsestimer og -minutter. I det videre arbeidet definerer vi forsinkelse i jernbanedrift som:

”forsinkelse er den tid (sekunder, minutter eller timer) et tog avviker fra ruteplan eller tidstabell på et gitt punkt på ruten”

Det følger videre at:

”Et tog er forsinket dersom det ikke ankommer, forlater eller passerer et punkt i samsvar med den gjeldende ruteplanen”

Forsinkelser kan karakteriseres som primære eller sekundære forsinkelser (Goverde, 2005; Vromans, Dekker og Kroon, 2006). Primærforsinkelser skyldes spesifikke forhold som feil i infrastrukturen, feil på materiellet, værforhold eller at personell mangler. Sekundærforsinkelser er forsinkelser som oppstår på grunn av andre forsinkede tog gjennom avhengigheter i ruteplanen. Gibson, Cooper og Ball (2002) brukte betegnelsen eksogen forsinkelse som primære forsinkelser

mens de brukte begrepet reaksjonær forsinkelse som sekundær forsinkelse. På samme måte skilte Carey (1999) mellom eksogene forsinkelser og "knock on" forsinkelser.

Regularitet i jernbanedrift handler om at den tog-produksjonen som står beskrevet i ruteplanen, faktisk blir gjennomført (Rudnicki, 1997). Dette betyr at regulariteten går ned dersom en avgang blir innstilt (kansellert). Dersom et tog blir innstilt på kun en del av strekningen benyttes begrepet del-innstilling. I henhold til definisjonen i kapittel 2.1 innebærer lav regularitet lav punktlighet. I jernbanestatistikk utelater en imidlertid ofte hel- eller del-innstilte tog fra punktlighetsstatistikken (se kapittel 2.3). En må da se regularitet i sammenheng med punktlighetsmålene da begge deler handler om hvorvidt togproduksjonen skjer som planlagt.

I det videre arbeidet bruker vi følgende definisjon for regularitet:

"Regulariteten til en togavgang ved et punkt, på en på forhånd planlagt rute/strekning/linje, brytes dersom toget ikke ankommer, forlater eller passerer dette punktet"

Ofte brukes begrepet "pålitelighet" som synonym til punktlighet. Rietveld, Bruinsma og Vuuren (2001) brukte på sin side betegnelsen upålitelighet når de diskuterte avvik fra den offisielle ruteplanen. De presenterte også en liste med ulike definisjoner av pålitelighet (eller punktlighet): 1) sannsynligheten for at et tog ankommer x minutter sent, 2) gjennomsnittlig forskjell mellom forventet ankomsttid og planlagt ankomsttid 3) standardavviket for ankomsttiden. Woxenius (2006) hevdet at punktlighet er synonymt med "transport-tid pålitelig" og "transit-tid pålitelighet", og er benyttet av henholdsvis Ortuzar og Willumsen (2001) og Cullinane og Toy (2000).

Nolan og Polak (2002) brukte reisetidsvariabilitet som et mål på usikkerheten for reisetid i transport. For jernbanetrafikk inkluderte dette forsinkelser, for tidlige ankomster og kanselleringer. Deres definisjon på variabilitet var relatert til den faktiske fordelingen av ankomsttider for et tog og ikke til den planlagte ankomsttiden. Eksempelvis vil variabiliteten være lav for et tog som konstant ankommer 10 minutter etter ruteplanen, mens toget, fra en tradisjonell synsvinkel, vil bli sett på som forsinket eller ikke-punktlig.

I det videre arbeidet vil pålitelighet brukes synonymt med punktlighet og defineres som:

"Pålitelighet er togets eller togtrafikkens evne til å gå i henhold til ruteplanen over tid"

Begrepet robusthet er nært knyttet til pålitelighet og dermed også til punktlighet. Begrepet beskriver et systems eller et elements evne til å stå imot ytre belastninger uten at yteevnen faller. Tilbakevendende problemstillinger i forbindelse med stadige forsinkelser i norsk jernbane har ført til spørsmål om jernbanesystemets robusthet.

"Robusthet beskriver togets eller togtrafikkens evne til å gå i henhold til ruteplanen under ytre og indre belastning"

I tilfeller der systemet ikke motstår den ytre belastningen møter en videre begrepet "tilbakestillingsevne". Tilbakestillingsevnen beskriver hvor hurtig systemets eller elementets yteevne er gjenopprettet etter å ha blitt redusert. I et stabilt system vil en over tid oppnå samme yteevne som før reduksjonen. I et ustabilt system vil ikke yteevnen gjenopprettes over tid.

”Tilbakestillingsevne er togets eller togtrafikkens evne til å gjenoppta kjøring i henhold til ruteplan etter avvik fra ruteplanen har oppstått”

2.3 Måling av punktlighet og punktlighetsdata

Punktligheit blir normalt målt som andelen tog som ankommer endestasjonen i henhold til ruteplan. Tog blir definert som ”ikke-punktlig” dersom de er mer forsinket enn en gitt tidsgrense. En typisk verdi for denne tidsgrensen er 5 minutter i Europa (Nyström, 2005). Størrelsen på tidsgrensen varierer derimot mellom land og mellom tog-produkter innen landene. Dersom tog ankommer før tiden, regnes det som punktlig. I Norge regnes lokal- og mellomdistansetog som ”i rute” dersom det ankommer endestasjon innen 4 minutter fra oppsatt tidspunkt i ruteplanen. Langdistansetog og godstog regnes som i rute om de ankommer innen 6 minutter fra oppsatt tidspunkt.

Det er flere som har kritisert den etablerte måten å måle punktlighet på. Hansen (2001) hevdet at når man definerer et tog til å være i rute, selv om det er opp til 3 eller 5 minuttet etter rutetiden, så ser man bort i fra en stor del av forsinkelsene som faktisk finnes. Han påpekte at slike små forsinkelser kan skape store problemer, eksempelvis på stasjoner med mye trafikk. Veiseth og Bititci (2006) påpekte at det er vanskelig å måle effekten fra forbedringstiltak gjennom indikatoren ”andel tog i rute til endestasjon”. Dette kommer av at tallene ofte er svært aggregerte. Indikatoren gir heller ikke informasjon om forsinkelser underveis på en strekning, om størrelsen på forsinkelsene eller variasjon i forsinkelsene eller reisetid, selv om dette er viktige faktorer for kunden. Martland (1992) påsto at slike overordnede og sammenstilte indikatorer er alt for unyansert til å være til nytte for linjeledelsen i et jernbaneselskap. Linjelederne trenger målinger på et nivå som de kan relatere til sine planer og bruke som grunnlag for iverksettelse av konkrete tiltak.

Å måle punktlighet som andel tog i rute til endestasjon gir et enhetlig mål i prosent som er enkelt å sammenligne på tvers av linjer og regioner. Måltallet er uavhengig av mengden tog som trafikkerer strekningen. Videre er målet enkelt å beregne, da det bare forutsetter kjennskap til planlagt og faktisk togankomst til endestasjon. Salkonen og Paavilainen (2010) presenterer en SWOT-analyse av dagens bruk av punktlighet som indikator i Finland. I Finland benyttes punktlighet som indikator på kvalitet i jernbanen, og målet er tilnærmet identisk med måten punktlighet måles på i Norge. Grensene som avgjør om et tog er i rute til endestasjon er hhv 3 minutter for lokaltog og 5 minutter for regionstog. For årsaksregistrering benyttes imidlertid 60 ulike koder.

| | |
|--|--|
| <p>Styrker</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sammenlignbarhet • Kontinuitet i målinger • Vanlig europeisk praksis • Enkelhet | <p>Svakheter</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inkluderer ikke passasjerstrømmer • Manuell registrering av forsinkelsesårsaker (ikke-punktlighetsfaktorer) • Punktlighetsmålet beregnes på endestasjon • Størreslen på forsinkelser inkluderes ikke • Bruk av informasjonen |
| <p>Muligheter</p> <ul style="list-style-type: none"> • Legge til tolkning og analyse av tilgjengelig informasjon • Mer presis investering • Følge passasjerers opplevelser | <p>Trusler</p> <ul style="list-style-type: none"> • For mye uanalysert informasjon • Informasjon om feilkilder |

Figur 1: SWOT-analyse av dagens punktlighetsindikator i Finland (Salkonen og Paavilainen, 2010). Punktlighetsindikatoren benyttet i Finland tilsvarer punktlighetsindikatoren i Norge, men benytter langt flere årsakskoder.

I de fleste land har det vært en stor utvikling når det gjelder registrering av forsinkelser og punktlighet. Tidligere ble togtider registrert manuelt, mens nå skjer dette ofte automatisk gjennom signalanlegget. Dette har ført til et større volum og høyere kvalitet på punktlighetsdata. Hvor stor del av jernbanesystemet som har automatisk registrering av togtider varierer mellom land og mellom regioner og banestrekninger innen landene.

Automatisk registrering åpner for bruk av andre punktlighet enn det tradisjonelle målet på ”andel tog i rute til endestasjon”. På automatiserte strekninger registreres vanligvis tidspunktene tog ankommer eller forlater de ulike stasjonene på strekningen. Det er derfor mulig å beregne punktlighet for mange punkter langs en strekning, dersom disse også er definert i rutetabellen. I registreringene lagres gjerne avvik mellom faktisk togpassering og angitt tidspunkt for passering i ruteplanen. Dataene som lagres kan benyttes til å beregne punktlighetsmål basert på forsinkelsesminutter på strekningen.

I Norge regnes tog som forsinket underveis om avviket mellom angitt tid for passering i ruteplan og faktisk passering overstiger 4 minutter. Ved ytterligere fire minutter forsinkelse registreres også merforsinkelsen. Antallet forsinkelsesminutter på en strekning kan benyttes direkte som mål for punktligheten på strekningen. Antallet forsinkelsesminutter på en strekning vil imidlertid være sterkt avhengig av omfanget av trafikk på strekningen, og sammenligning mellom banestrekninger og regioner vanskeligjøres.

Et mål som tar hensyn til omfanget av togtrafikk er oppetid med hensyn på punktlighet. Oppetid benyttes som indikator av Jernbaneverket i Norge i dag. Indikatoren blir av jernbaneverket brukt i forhold til oppfølging av kvalitet på infrastrukturen. Oppetid beregnes som:

$$\text{Oppetid} = \frac{\text{Togtimer} - \text{Forsinkelsestimer}}{\text{Togtimer}}$$

Formel 1: Beregning av oppetid

”Forsinkelsestimer” i formelen over betyr i jernbaneverkets beregninger antall timer forsinkelse som skyldes forhold i infrastrukturen (beregningene blir i jernbaneverket basert på årsaksregistreringene presentert i kapittel 2.4). ”Togtimer” er det totale antallet togtimer på banestrekningene en vil beregne oppetiden for. Oppetid kan også brukes som mål på punktligheten for hele jernbanesystemet (ved å inkludere alle forsinkelser), eller en kan beregne oppetid med tanke på andre aktører enn infrastrukturforvalter. Fra 2007 begynte infrastrukturdivisjonen i Jernbaneverket å rapportere på oppetid istedenfor punktlighet.

Landex (2007) presenterer alternative mål for punktlighet som kan benyttes i områder med høy frekvens på avganger. På stasjoner med høy frekvens av avganger vil ikke kundene på forhånd undersøke ruteplan for å finne ”sin” avgang, men i stedet møte opp på stasjonen og benytte det første tog som stopper ved ønsket destinasjon. For kunden vil det da ikke spille noen rolle om toget som ankommer er i rute i forhold til ruteplan, så lenge togfrekvensen er som antydnet i ruteplanen. På banestrekninger med høy togfrekvens kan dermed antallet tog per tidsintervall være et fungerende mål på punktlighet.

Som et alternativ mål på punktlighet for banestrekninger med høy togfrekvens forelsår Landex videre å benytte gjennomsnittlig reisetid. Gjennomsnittlig reisetid i forhold angitt reisetid i ruteplanen vil formidle gjennomsnittlig forsinkelse for reisende på strekninger med høy togfrekvens, hvor de reisende ikke benytter ruteplaner for å velge togavgang.

2.4 Årsaksregistreringer og årsaksdata

I tillegg til de tidsbaserte punktlighetsregistreringene, registreres årsaker til forsinkelsene gjennom kodesystemer. Dette er manuelle registreringer, og kodesystemene som benyttes varierer mellom land (NEA, 2003). For eksempel har Norge 15 koder (Jernbaneverket, 2006a), mens Sverige har 100 koder (Banverket, 2003). I de fleste tilfeller er det togledere eller tog-ekspeditører (TXP) som registrerer årsaken ut i fra den informasjonen de innehar. Årsaksdata presenteres som antall ganger det er registrert forsinkelser på de ulike kodene. Ofte blir årsaksdata koblet sammen med tidsdataene ved at man presenterer samlet tidstap som er registrert på de ulike kodene.

Flere setter spørsmålsteget ved nøyaktigheten til slike årsaksregistreringer og hva de kan brukes til (Lundin, Elmquist og Hammarlund, 2005; Veiseth og Bititci, 2006; Nyström, 2005; NEA, 2003). Det er flere grunner til at de oppfattes som upresise. For det første ligger det begrensninger i selve kodesystemet ved at kodene som benyttes kan karakteriseres som store sekkeposter som inneholder mange forskjellige og ulike typer årsaker. Det finnes også faktorer som påvirker punktligheten, men som ikke er inkludert i kodesystemene. Et eksempel er ruteplanen og om denne er gjennomførbare. En annen ting er det at de som utfører registreringene ikke har full oversikt over alle årsaksforhold som fører til forsinkelser. Forsinkelsene blir derfor kodet ut i fra hva disse oppfatter å være årsaken. Dette er en av grunnene til at årsaksregistreringer av mange blir kalt ”symptomregistreringer”.

Kvaliteten på slike data handler derimot ikke bare om hvor nøyaktig de er. Redman (2005) definerte datakvalitet som: *”Data are of high quality if they are fit for their intended uses in State of the art - Punktlighet og forsinkelser i jernbane*

operations, decision making and planning. Data are fit for use if they are free of defects and possess desired features". Dette betyr at datakvalitet også må vurderes ut i fra hvor godt data tilfredsstillers brukernes behov og hvor godt egnet de er for bruk i en gitt prosess (Capiello, Francalanci og Pernici, 2004).

2.5 Punktlighet som kvalitetsfaktor for transport

Ved siden av sikkerhet blir punktlighet trukket frem som den viktigste kvalitetsfaktoren i jernbanedrift (Fahlén og Jonsson, 2005; NEA, 2003; Seco og Goncalves, 2007). At punktlighet er en svært viktig kvalitetsfaktor blir også slått fast gjennom kundetilfredsundersøkelser og gjennom hvordan jernbanen kommuniserer med sine interessenter (Gelders et al., 2008). Togselskapene understreker viktigheten av god punktlighet gjennom sine visjoner og målsetninger. De prioriterer ofte punktlighet som faktor nummer to, etter sikkerhet, og uttrykker at det er behov for å arbeide med forbedring av punktlighet. Dette støttes av Rudnicki (1997) som påsto at forbedring av punktlighet er viktigste oppgave når det gjelder forbedring av offentlig transport. Punktlighet er derimot bare én av flere faktorer som definerer kvaliteten på transporttjenester. Eksempelvis definerte Metz (2005) reisekvalitet i persontransport til å være en funksjon av komfort, forutsigbarhet, sikkerhet (safety) og trygghet (security).

Det at punktlighet blir oppfattet som en svært viktig kvalitetsfaktor av kundene har også ført til et sterkt fokus på måling og oppfølging av punktlighet for å oppnå forbedringer. I flere land har myndighetene innført incentivordninger og kvalitetskontrakter som fokuserer på punktlighet. Det er derimot flere som er kritisk til slike ordninger, da det kan føre til at andre viktige områder blir prioritert ned. Blant annet mente Cole og Cooper (2005) at oppfølgingen av britisk jernbane var altfor ensidig fokusert på noen få utvalgte punktlighets- og sikkerhetsindikatorer. De påsto at dette førte til at underliggende forhold som støtter opp om kvalitet i jernbanedrift blir gjemt bort. For å illustrere poenget sammenlignet forfatterne denne form for prestasjonsmåling med bruk av flomlys, der noen deler av en virksomhet blir sterkt opplyst, men andre blir værende i mørke. Eksempler på forhold som de mente ble liggende i mørke var kriminalitet på stasjonsområder og flukten av erfaringsbasert kompetanse fra jernbaneorganisasjonene.

Kritikk mot ensidig oppfølging av noen få indikatorer finner en også innenfor andre transportsektorer. Hansen, Gillen og Djafarian-Tehrani (2000) var kritiske til det de oppfattet som ensidig bruk av forsinkelser som prestasjonsmål ved oppfølging av kvaliteten på luftfartssystemet i USA. De mente at bruk av kun én type indikator kan gi et misvisende bilde og de argumenterte for mer nyansert oppfølging.

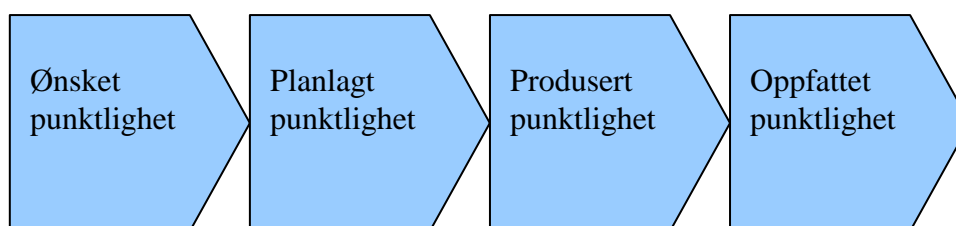
Punktlighet er et tema som ofte kommer i fokus i media, spesielt etter situasjoner der mange mennesker har blitt rammet av forsinkelser samtidig. Hansen (2001) mente at økt mobilitet av mennesker, økt globalisering, økt konkurranse med andre transportmiddel, samt deregulering av transportsektoren, er viktige grunner til at punktlighet har fått mye fokus de siste tiårene. I tillegg virker det å være en oppfattelse i mange land om at togenes punktlighet er dårlig, og at den er dårligere sammenlignet med andre land (Hansen, 2001; Lampe, 1991; Nyström, 2005; Hatch, 2000; Casson, 2004).

Bustinduy (1995) forklarte kvalitet i transport gjennom fire aspekter:

- Ønsket kvalitet (av kunden)
- Planlagt kvalitet (målet)
- Produsert kvalitet (av operatøren)
- Oppfattet kvalitet (av kunden)

Bustinduy mente at de fire kvalitetsaspektene ikke trenger å overlape hverandre. Planlagt kvalitet kan eksempelvis avvike fra den ønskede kvaliteten av ulike grunner. Han hevdet videre at kvalitetsoppfølging i transport bør dekke alle de omtalte områdene, dels for å følge opp faktisk ytelse, men også for å avdekke eventuelle gap mellom de fire aspektene.

Bustinduy sin måte å se kvalitet i transport er også interessant dersom en ser isolert på punktlighet. Her kan man også skille mellom ønsket, planlagt, produsert og oppfattet punktlighet. Figur 2 illustrerer dette:



Figur 2: Fire aspekter av punktlighet i jernbanedrift

I utgangspunktet ønsker de reisende en høy punktlighet. Dette gjelder også togselskapene og myndighetene som uttrykker sitt ønske blant annet gjennom målsetninger. Eksempelvis er det i Norge en målsetning om at punktligheten skal være over 90 % for andelen tog i rute til endestasjon. Slike ønsker og målsetninger trenger derimot ikke å samsvare med hvordan en planlegger punktligheten. Planlegging av punktlighet skjer gjennom aktiviteter som utarbeidelse av ruteplaner, materiellturneringsplaner, personellplaner og vedlikeholdsplaner. Planlegging av punktlighet er også en del av det å utarbeide beredskapsplaner og planer for avvikshåndtering.

Når det gjelder den produserte punktligheten er dette et resultat av hvor gode planene er (planlagt punktlighet) og hvor god man er til å følge planene i møtet med ”den virkelige verden”. Det er den produserte punktligheten som vises i punktlighetsstatistikker, men denne trenger ikke å være den punktligheten som kundene opplever (oppfattet punktlighet). Dette kan forklares med et enkelt eksempel: Dersom det går 10 tog på en strekning pr. dag hvor ett av togene er forsinket hver dag, vil punktligheten være 90 %. I Norge betyr dette måloppnåelse og ut i fra det kan man konkludere med at punktligheten er bra. De kundene som reiser fast med det toget som er forsinket hver dag vil derimot oppleve en punktlighet på 0 %.

Eksempelen ovenfor tydeliggjør også en av effektene ved at punktlighetsmålet som benyttes i Norge er knyttet opp mot *andel tog i rute til endestasjon*. Punktlighetsmålet tar dermed ikke hensyn til antallet reisende på ulike strekninger, eller om reisende som ikke skal til endestasjonen ankommer sin stasjon i rett tid.

Forskjellen mellom faktisk punktlighet (produsert) og hvordan kundene oppfatter punktlighet avhenger også av hvordan jernbaneselskaper kommuniserer med sine kunder. Gelders, Galetzka, Verckens og Seydel (2008) konkluderte med at både oppfatninger og forventinger til offentlig transport ikke bare avhenger av det som faktisk blir prestert, men også av hvordan denne prestasjonen blir kommunisert ut.

2.6 Punktlighet i andre bransjer

Punktligheitsstankegang har lang tradisjon innenfor transportindustrien, selv om den kommer til uttrykk på varierende måter. Ved siden av jernbanen står luftfartsindustrien frem som en pådriver i forhold til punktlighet. Punktlighet blir aktivt trukket frem i markedsføringen konkurransen i luftfartsnæringen. Punktlighetsdata registreres hos flere instanser og finnes blant annet åpent tilgjengelig på flightstats.com.

Oppmerksomheten rundt punktlighet innen luftfartsnæringen henger blant annet sammen med en kraftig økning i antall flyreiser og antall aktive flyselskaper (Denstadli og Rideng, 2010). Økningen i antallet lavprisselskaper har videre også bidratt. Lavprisselskapene har vært pådriver for å minimere den ikke-verdiskapende tiden når fly står på bakken. De store flyplassene i Europa er i dag overbelastede og konsekvensene av forsinkelser blir derfor store. Innen luftfart har det blitt vanlig med incentiver i form av bøter dersom flyselskapene ikke overholder ruteplanene.

Kravene til hva som regnes som ”punktlig” innen luftfart varierer mellom ulike regioner. The Association of European Airlines (AEA) benytter eksempelvis en grense på tre minutter, og Eurocontrol benytter en grense på 5 minutter for å avgjøre om et fly er punktlig. I USA benyttes en grense på 15 minutter (Nyström, 2008).

Punktligheitsmålinger for flytrafikk benytter flyplassoperatørens perspektiv. Ved avgang regnes tidspunktet flyet beveger seg fra gaten som ”avgangstidspunkt”, og ikke tidspunktet flyet er i lufta. Ved ankomst regnes tidspunktet flyet står stille ved gaten som ankomsttidspunkt. Tidspunktet passasjerene kan forlate flyet inngår dermed ikke i beregningen av punktlig ankomst (Nyström, 2008).

Båttransport er ikke ansett som like tidskritisk som flytransport. Selv om tidsaspektet er et annet, kan imidlertid manglende punktlighet ha enorme konsekvenser også ved båttransport. Avhengig av de økonomiske tidene vil aktivitetene ved de store havneterminalene i verden være svært tidskritiske (Notteboom, 2006). Dersom en ankomst ikke er i tide for sin ”slot” ved havneterminalen kan resultatet bli flere uker med venting på tildeling av ny ”slot”, Konsekvensen for rederen blir gjerne økonomisk straff i form av bøter til kundene og havnen. I tillegg fører gjerne en forsinket ankomst til følgeforsinkelser i forhold til neste havn.

For persontransport med båt må en skille mellom kort (fjordferge) og lengre reiser (ofte internasjonale). For fjordfergene kan hyppig avgangsfrekvens veie opp for manglende punktlighet. Fravær av alternativer til fjordfergene påvirker i tillegg kundeforventningene. På lengre fergeruter er det vanlig å legge inn betydelig slakk i rutene for at overfartstiden skal bli behagelig. Ved overnattsruiter vil tidsbesparelsen ved tidlig ankomst være lite verdt, da reisende heller vil ankomme destinasjonen på et gitt tidspunkt. Forlenget reisetid bidrar i tillegg til muligheten for salg under overfarten. Med innlagt slakk i ruta øker fergenes evne til å ankomme destinasjonen i rute (robustheten øker).

Ved bruk av lastebil er ikke transporten bundet opp mot noen ruteplan, og punktlighetsbegrepet endres. I stedet for punktlighet benyttes begrepet ”leveringspresisjon” som betyr leveranse til

avtalt tidspunkt. Begrepet er synonymt med punktlighet, men kravene for hva som presis levering vil være avhengig av den enkelte avtale og det enkelte transportoppdrag. Bilindustrien har vært førende i forhold til å kreve presis levering fra underleverandører. Kravene til 95 % leveringspresisjon fra underleverandører gjør transporten tidskritisk. Det er vanlig med bøter ved forsinket levering. Forsinkelser som fører til stopp på produksjonslinjen er spesielt kritiske og har stor direkte og indirekte økonomiske konsekvens, gjennom bøter og tap av fremtidige oppdrag.

Busstransport deler noe av jernbanens bindinger mot en ruteplan. Ved høyfrekvente avganger, som i de store byene, betyr frekvens mer enn punktlighet i forhold til ruteplanen (Landex, 2007). På avganger med lavere frekvens forventer kundene at transporten følger ruteplanen. Busstransport deler også jernbanens bindinger mot ruteplanen i forhold til passasjerutveksling på transitstasjoner. Busstransport deler imidlertid ikke jernbanens tette avhengigheter gitt av infrastrukturen (forsinkelser fører ikke til problemer med krysning, f.eks). Bussnettverket er derfor ikke like sårbart som jernbanesystemet i forhold til spredning av forsinkelser.

2.7 Faktorer som påvirker punktlighet

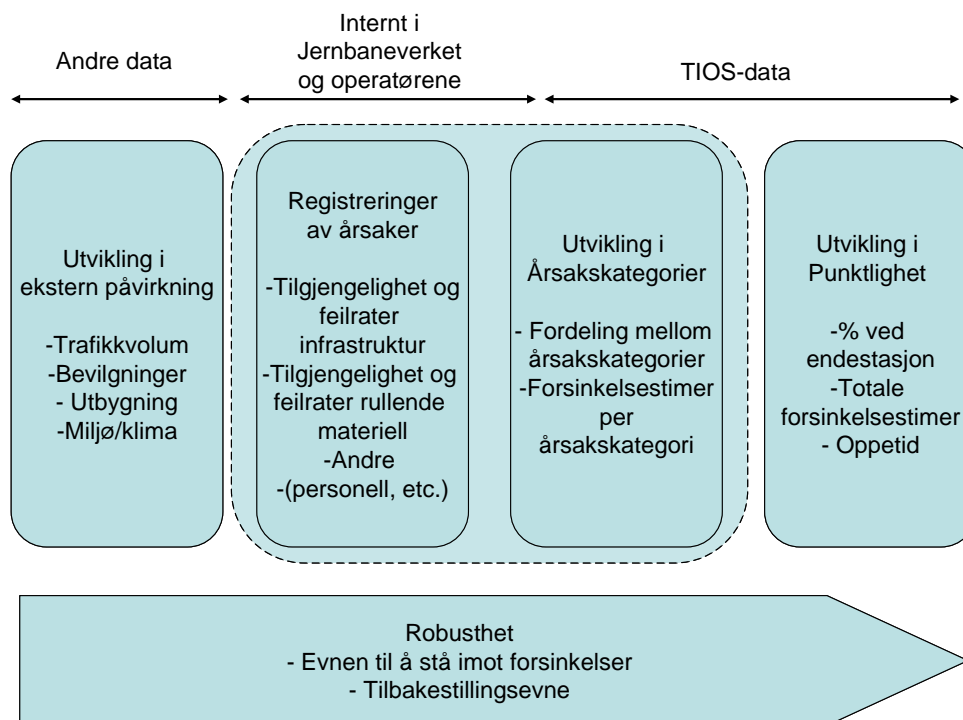
2.7.1 Resultater fra PUSAM granskning 2005-2010

I forbindelse med PUSAM arbeidspakke 1.4 har det blitt gjennomført en granskning av årsaker til negativ utvikling i punktlighet, forsinkelser og regularitet fra 2005 til 2010. Granskningen har benyttet seg av årsaksregistreringer og punktlighetsdata fra Jernbaneverket og operatørens systemer, i tillegg til data som beskriver infrastrukturforhold og eksterne forhold som klima. Granskningen er tilgjengelig i egen rapport hvor hovedfunnene det pekes på er:

- Det har funnet sted en økning i feilfrekvenser på infrastruktur og rullende materiell gjennom perioden 2005 til 2010.
- En har sett omfattende arbeid nær sporene i perioden grunnet økende nyinvesteringer og økt omfang av vedlikehold.
- Jernbanesystemet i Norge viser en manglende evne til å håndtere normal variasjon i været, noe som er spesielt tydelig på vinteren.

Videre påpekes det at de ovenstående elementene samlet sett har gitt en redusert robusthet i jernbanesystemet. Den reduserte robustheten medfører at selv mindre økninger i trafikkvolumet og endringer i regelverk for togfremføring skaper omfattende forsinkelser.

Granskningen hadde som formål å avdekke forklaringsfaktorer for fallende punktlighet, regularitet og økning i antall forsinkelsestimer, og tok dermed opp flere kvalitetsaspekter ved norsk jernbane. Ettersom granskningen skulle avdekke forklaringer for den negative utviklingen ble faktorer en vet påvirker kvaliteten, men hvor det ikke hadde funnet sted noen endring, utelatt.



Figur 3: Omfang av PUSAM granskning 2005-2010

2.7.2 Ruteplan og kapasitetsutnyttelse

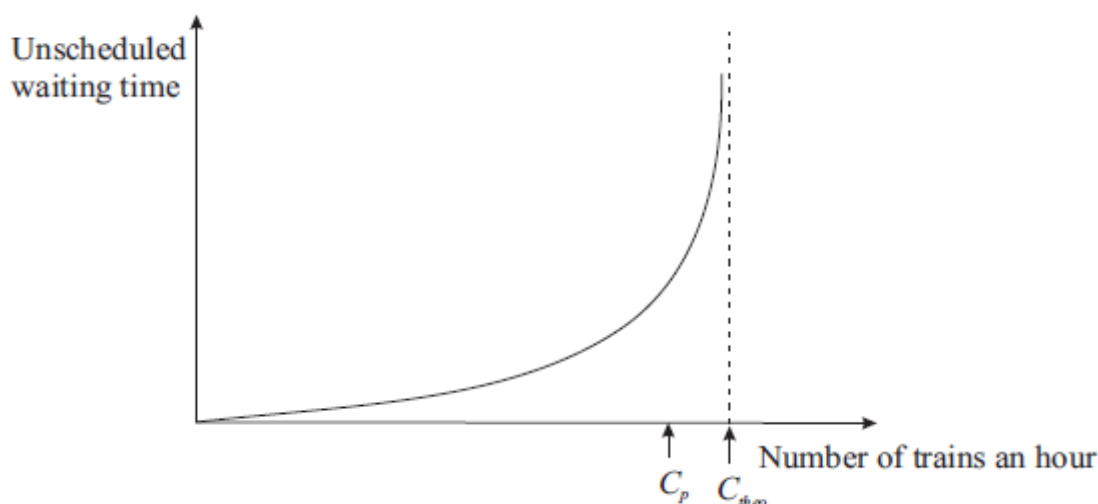
Ruteplanen står i en særstilling når det gjelder faktorer som påvirker punktlighet. For eksempel hevdet Casson (2004) at ruteplanen er nøkkelen til å optimere prestasjonen til et jernbanenettverk. Når punktlighet og ruteplan blir diskutert er temaet ofte hvor mye slakk eller buffer som bør legges inn, og hvor i ruta denne bør plasseres. Ved konstruksjon av ruter blir et lite prosenttillegg lagt til den teoretiske kjøretiden for å kompensere for forskjeller i ytelsen til lokomotivene, værforhold, kjørestil og for å hindre at små forsinkelser skal kunne føre til følgeforsinkelser (Hooghiemsta og Teunisse, 1998). Det å legge inn slakk i rutene fører imidlertid også til lengre kjøretid, noe som ikke er ønskelig. Ackermann (1998) påsto derfor at det er en avveining mellom hurtighet og punktlighet, og at man i planleggingen av ruteplanen må forsøke å finne felles optimum for forsinkelser og reisetid. Det er imidlertid ikke så enkelt som at en ved å legge inn ekstra slakk i ruteplanen oppnår bedre punktlighet. Ekstra slakk kan bare balansere noen av faktorene som bidrar til lav punktlighet.

Handstanger (2008) presenterer beregninger av det hun omtaler som planlagt og ikke-planlagt ventetid. Den planlagte ventetiden oppstår under ruteplankonstruksjonen. For hvert tog og hver operatør vil det finnes en "optimal" ruteplan. Grunnet begrensninger i infrastrukturen vil imidlertid de ulike "optimale" ruteplanene være i konflikt med hverandre. Planlagt ventetid legges derfor inn i ruteplanen basert på prioritering av de ulike togene. Et tog med lavere prioritet vil eksempelvis måtte vente på en stasjon eller et krysningsspor for krysning med eller passering av tog med høyere prioritet. Omfanget og fordelingen av slik planlagt ventetid har stor innflytelse for utvikling og spredning av forsinkelser i jernbanenettet. Fleksibilitet i infrastrukturen som kort avstand mellom krysningsspor kan bidra til å redusere spredningen av forsinkelser i jernbanenettet.

Både Handstanger (2008) og Linfeldt (2009) presenterer beregninger hvor ruteplanen antas å være variabel, ettersom fremtidig etterspørsel etter transport på jernbanen er ukjent. Linfeldt (2009) presenterer en forenklet analytisk modell, SAMFOST, som beregner krysningstid under ulike

forutsetninger. Beregningene bygger på simuleringer for strekninger med enkelt og dobbeltspor og blandet trafikk, med mål om å finne optimale ruteplaner.

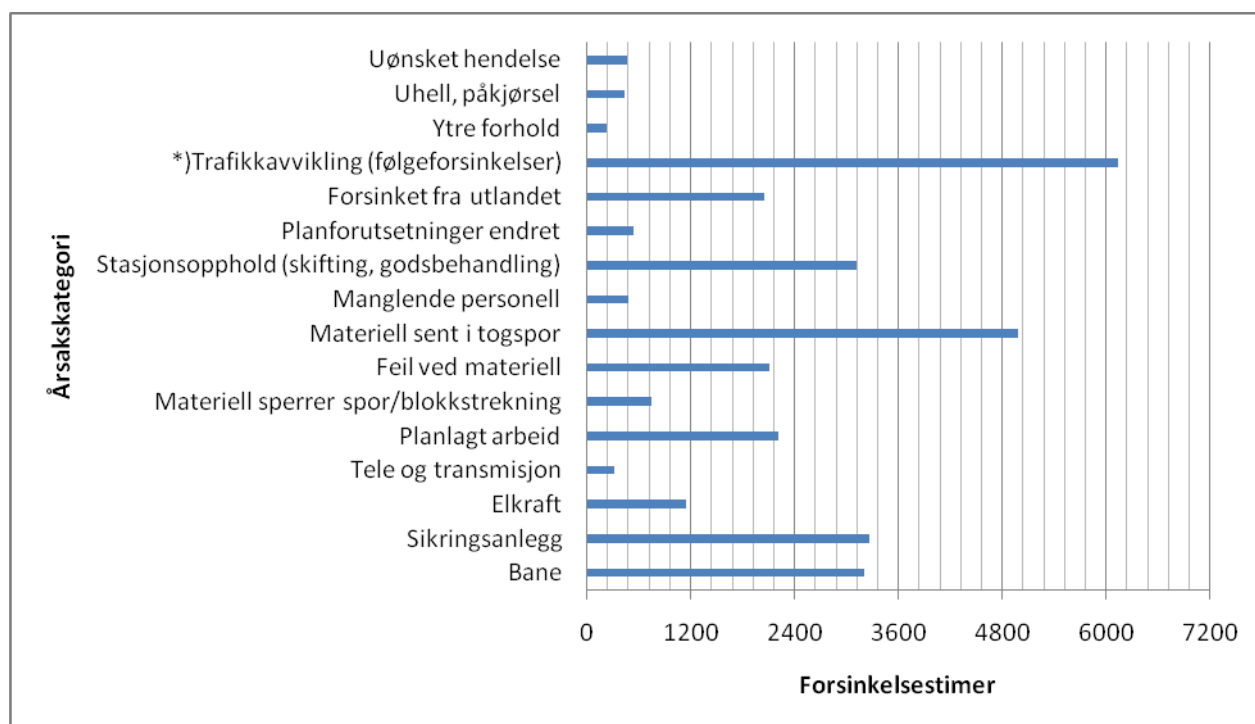
Det er en utbredt oppfatning at høy kapasitetsutnyttelse av infrastrukturen virker negativt inn på punktligheten. Den anbefalte maksimale kapasitetsutnyttelsen, definert av UIC (2004), er derfor 75 % av teoretisk kapasitet i rush og 60 % utenom rush for linjer med blandet trafikk. Det er gjennomført flere empiriske studier for å vurdere hvordan kapasitetsutnyttelse påvirker punktligheten. Gibson et al. (2002) fant at høy kapasitetsutnyttelse først og fremst bidrar til følgeforsinkelser, men ikke i seg selv skaper forsinkelser. Olsson, Sætermo og Røstad (2002) fant også en negativ sammenheng mellom punktlighet og kapasitetsutnyttelse, dog relativt svak. Yuan og Hansen (2007) påsto at det i ruteplanleggingen eksisterer en avveining mellom effektivt utnyttelse av kapasiteten og forbedring av regularitet og punktlighet.



Figur 4: Antatt sammenheng mellom kapasitetsutnyttelse og forsinkelser (antallet tog som ankommer en strekning og ikke-planlagt ventetid) (Handstanger, 2008)

2.7.3 Bruk av årsaksregistreringer for å avdekke faktorer som påvirker punktlighet

Et hovedverktøy for å analysere forsinkelser og avdekke faktorer som påvirker punktligheten, er årsaksregistreringer. I Jernbaneverkets system TIOS registreres alle togpasseringer inn og ut av jernbanestasjoner i Norge. Ved avvik på mer enn fire minutter fra ruteplanen gir togleder forsinkelsen en årsakskode. Figur 5: Forsinkelsestimer fordelt på årsaker for Norge i 2010 (Jernbaneverket, TIOS akkumulert 2010) viser hvor mange forsinkelsestimer som ble registrert i Norge i 2009 fordelt på årsakskodene som benyttes.



Figur 5: Forsinkelsestimer fordelt på årsaker for Norge i 2010 (Jernbaneverket, TIOS akkumulert 2010)

I Figur 5 ser man at kategoriene ”stasjonsopphold” og ”trafikkavvikling” er store. Dette blir av mange betegnet som ”diverse-koder”. Grunnen er at forsinkelser, der det er uklart hva som er årsaken, ofte blir registrert på disse. Videre peker koden ”materiell sent i togspor” seg ut som viktig. Denne koden fanger imidlertid opp både primær og sekundær-forsinkelser. Sen ankomst for et togsett til endestasjon resulterer gjerne i en utgangsforsinkelse, når snutiden i ruteplanen ikke er romslig nok for å oppveie forsinkelsen. Den påfølgende avgangsforsinkelsen gis da gjerne koden ”materiell sent i togspor”, selv om forsinkelsen kan skyldes forhold som har oppstått mens toget var i rute. De viktigste årsakskategoriene som kan antas å hovedsaklig inneholde primærforsinkelser er kodene ”sikringsanlegg” og ”bane”.

Kodene som benyttes i årsaksregistreringene kan deles i tre: Forsinkelser som operatørene har forårsaket, forsinkelser som infrastrukturforvalter har forårsaket og utenforliggende forhold som man mener ingen kan lastes for. Liknende fordeling av kodene finner en også i de fleste andre land. Som tommelfingerregler brukes ofte at disse tre hovedgruppene er skyld i hver sin tredel av forsinkelsene som oppstår.

2.7.4 Andre faktorer som påvirker punktlighet

Det er gjennomført flere studier som diskuterer mer generelt hva som påvirker punktlighet. Både Gylee (1994) og Lindfeldt (2001) delte forsinkelsesårsakene inn i primære og sekundære årsaker. Primære årsaker kan sees på som en grunnårsak, for eksempel lokhavari, mens sekundærårsaker er forsinkelse som skyldes andre forsinkede tog. Disse kan for eksempel oppstå ved kryssinger. Dette henger sammen med begrepene primære og sekundære forsinkelser som ble diskutert tidligere. Gylee (1994) delte i tillegg årsakene inn i ”forhold som er innenfor og utenfor selskapets kontroll”. Denne inndelingen ligner på prinsippene som brukes i kodesystemene som brukes i årsaksregistreringene.

Olsson, Sætermo og Røstad (2002) mente punktlighet er en funksjon av en rekke faktorer, og at disse på et overordnet nivå kan deles inn i ”harde” og ”myke” faktorer. Eksempler på ”harde” faktorer som nevnes er: kapasitetsutnyttelse på sporet, antall reisende, ruteplan, og kvalitet på signalanlegg og bane. Av ”myke” faktorer nevnes: prioriteringsregler og håndhevelse av disse, menneskelig atferd, ledelsens holdninger og prioriteringer og operativ styring. Som en oppsummering kan man si at forfatterne mente ”harde” faktorer er av mer teknisk karakter, mens de ”myke” har et mer menneskelig preg.

Fahlén og Jonsson (2005) pekte på kommunikasjon og beslutningsprosesser som grunnleggende årsaker til forsinkelser. Dette gjaldt både internt i jernbaneorganisasjonene og mellom jernbaneorganisasjonene. Det siste gjaldt spesielt mellom infrastrukturforvalter og togselskapene, og de mente at dette blir mer kritisk jo flere togselskaper som finnes. I tillegg understreket de viktigheten av rutiner for kommunikasjon og at dette er likt for alle deler av jernbanenettet. De pekte også på organisering av bransjen og tilgang på informasjon som underliggende forklaringsfaktorer. Punktlighet blir også forklart ut i fra forhold i det enkelte land (NEA, 2003; Casson, 2004; Hansen, 2001; Weigand, 1996). Dette gjelder både forhold ved jernbanesystemet, men også institusjonelle, organisatoriske og kulturelle forskjeller mellom landene.

Heinz (2000) har utført omfattende studier av på- og avstigningstid, og undersøkt hvilke faktorer som påvirker på- og avstigningstidene. Hun peker blant annet på spredningen i på- og avstigningstid som en forsinkelsesfaktor. BOB benchmarkingstudie (BOB Railway Case, 2003) viser til den disiplinerte oppførselen til japanske reisende som en forklaringsfaktor til den gode punktligheten for JR Kyushu.

Banverket har utført studier av punktlighet for X2000 mellom Stockholm og Göteborg (Banverket, 2001). De studerte faktorene stasjon, tognummer, ukedag og uke. Disse fire faktorer kunne bare forklare ca 15% for variasjonene i forsinkelser.

Olsson og Haugland (2004) har oppsummert resultater fra norske studier der man også har forsøkt å kvantifisere påvirkningen fra slike faktorer. Tabell 1 viser et sammendrag av dette.

| Faktor | Korrelasjon til punktlighet | Strekning / togprodukt |
|--------------------------------|---|--|
| Antall reisende | -0,628**, N=82 (Østgående) -0,706**, N=81 (Vestgående) | Lokaltog på Drammensbanen |
| Belegg | -0,616**, N=82 (Østgående) -0,628**, N=81 (Vestgående) | Lokaltog på Drammensbanen |
| Kapasitetsutnyttelse på sporet | -0,242*, N=82 (Østgående) -0,273*, N=81 (Vestgående) | Lokaltog på Drammensbanen |
| Kanselleringer | 0,452**, N=52 | Lokaltog på Drammensbanen |
| Hastighetsnedsettelse | -0,112*, N=392 (Nordgående) -0,011, N=391 (Sørgående) | Person- og godstog på Nordlandsbanen |
| Større utbygginger | Spesielt lavere punktlighet ved arbeid med signalanlegg | Lokal- og mellomdistansetog på Østlandet |
| Avgangs- og ankomstpunktlighet | 0,485**, N=766 Ulike togprodukter og retninger varierte mellom 0,771** og 0,285** (med henholdsvis N=241 og N=340) | Person- og godstog på Nordlandsbanen |
| Regler for avvikshåndtering | Prioritert retning har bedre punktlighet enn den andre retningen (tre av tre strekninger) | Mellomdistansetog på Østlandet |

Tabell 1: Faktorer som påvirker punktlighet, fra norske studier (Olsson og Haugland, 2004)

* Pearson correlation. Korrelasjon signifikant på 0.05 nivå (2-tailed).

** Pearson correlation. Korrelasjon signifikant på 0.01 nivå (2-tailed).

Gjennomgangen har vist at det er mange ulike faktorer som påvirker punktlighet og de er av ulike karakterer. Selv om det er utført en god del forskning på området er det likevel flere som hevder at man ikke har god nok innsikt i hva som bestemmer punktligheten. Spesielt gjelder dette de mer underliggende faktorene og prosessene som virker inn. Blant annet mente Gibson (2005) man har lite kunnskap om sammenhengen mellom jernbanens pålitelighet og de underliggende påvirkningsfaktorene.

2.7.5 Bruk av simulering og datamodellering

Gjennom simulering kan en oppnå gode modeller av sentrale egenskaper og trekk ved jernbanesystemet. I tillegg til simulering benyttes også analytiske forsinkelsesmodeller og stokastiske modeller for å modellere jernbanesystemet (Vromans m. flere, 2006). En hovedutfordring ved analytiske modeller er å fange effekten av primærforsinkelser, togekspedisjon, gjensidige avhengigheter i togtrafikken og variasjoner i togfremføringstid (Lindfeldt, 2010). Gjennom simulering kan imidlertid disse effektene fanges med høy grad av nøyaktighet.

Olov Lindfeldts doktoravhandling "Evaluation of quality, infrastructure and timetable on single and double-track lines with analytical models and simulation" (2010) presenterer en grundig innføring i styrker og begrensninger ved å bruke simulering og datamodellering av togtrafikk og jernbaneinfrastruktur. Tabell 2 gjengir Lindfeldts oppsummering av publisert arbeid innen simulering av jernbanesystemet.

| Forfatter | Årstall | Tema/resultat |
|----------------------|---------|--|
| Weits | 1998 | Fokuserer på trafikkstyring i simuleringsmodeller. Weits mener togekspedisjonen i hovedsak gjennomføres med hensikt å gjenopprette samsvar mellom trafikk og ruteplan, uten å bryte ulike begrensninger. Iblant må imidlertid togleder gjennomføre tiltak som bryter med de vanlige begrensningene for trafikken. Disse tiltakene er vanskelige å gjenskape i simuleringsmodeller. |
| Ho med flere | 2002 | Argumenterer for å inkludere ulike undersystemer av jernbanesystemet i en overordnet simuleringsmodell. Undersystemene inkluderer blant annet signalsystem. |
| Lindahl | 2002 | Presenterer en evaluering av hvordan kapasiteten på strekninger med blandet trafikk og dobbelspor kan økes basert på simuleringseksperimenter med forskjellige fartsforhold, forbikjøringsmuligheter og tog lengder. |
| Carey | 2003 | Modellerer forholdene ved en stor jernbanestasjon og beregner optimal løsning for inn- og utkjøring, samtidig som krav til tid på stasjon, togfølgetid og snutid overholdes. |
| Rudolph | 2004 | Presenterer strategier for plassering av slakk i ruteplanen. Slakk henger direkte sammen med punktlighet og spredning av forsinkelser i togtrafikken. Videre argumenterer Rudolph for at plassering av slakk bør være konsentrert før ankomst til stasjoner hvor høy punktlighet er spesielt viktig. |
| Barton | 2004 | Presenterer ideer for hvordan simulering kan gjennomføres effektivt |
| Kleijnen med flere | 2005 | Påpeker hvordan simulering er velegnet som basis for eksperimenter, men at oppsettene må være forberedt for multi-faktor analyse. |
| Sanchez | 2007 | Presenterer ideer for hvordan simulering kan gjennomføres effektivt |
| Mattson | 2007 | Foreslår å benytte mikro-simulering kombinert med statistisk analyse for å åpne for ulike kvasi-eksperimenter. Gjennom eksperimentene kan en avdekke ulike faktorer som influerer på trafikken. |
| Koutsopoulos og Wang | 2007 | Presenterer et rammeverk for bruk av simulering til jernbanedrift. Rammeverket inkluderer kalibrering, validering og evalueringsmetodikk og tolkning av resultater. |
| Yuang og Hansen | 2007 | Fokuserer på trade-off mellom kapasitetsutnyttelse og punktlighet (pålitelighet). Presenterer validert modell for forhold mellom primær og sekundærforsinkelser for en jernbanestrekning i Nederland. |
| Siefer | 2008 | State-of-the-art for simulering i jernbanedrift, med vekt på fordelene ved simulering i forbindelse med infrastrukturendringer, ruteplan, materiell og retningslinjer for håndtering av forsinkelser. Videre diskuteres bruk av simuleringer for planlegging, robusthetsanalyse og daglig drift. |
| Linfeldt | 2010 | Fokuserer på blandet trafikk på hhv enkeltspor og dobbeltspor, og gjennomfører eksperimenter hvor ruteplan behandles som variabel og forsinkelser som prestasjonsmål. |

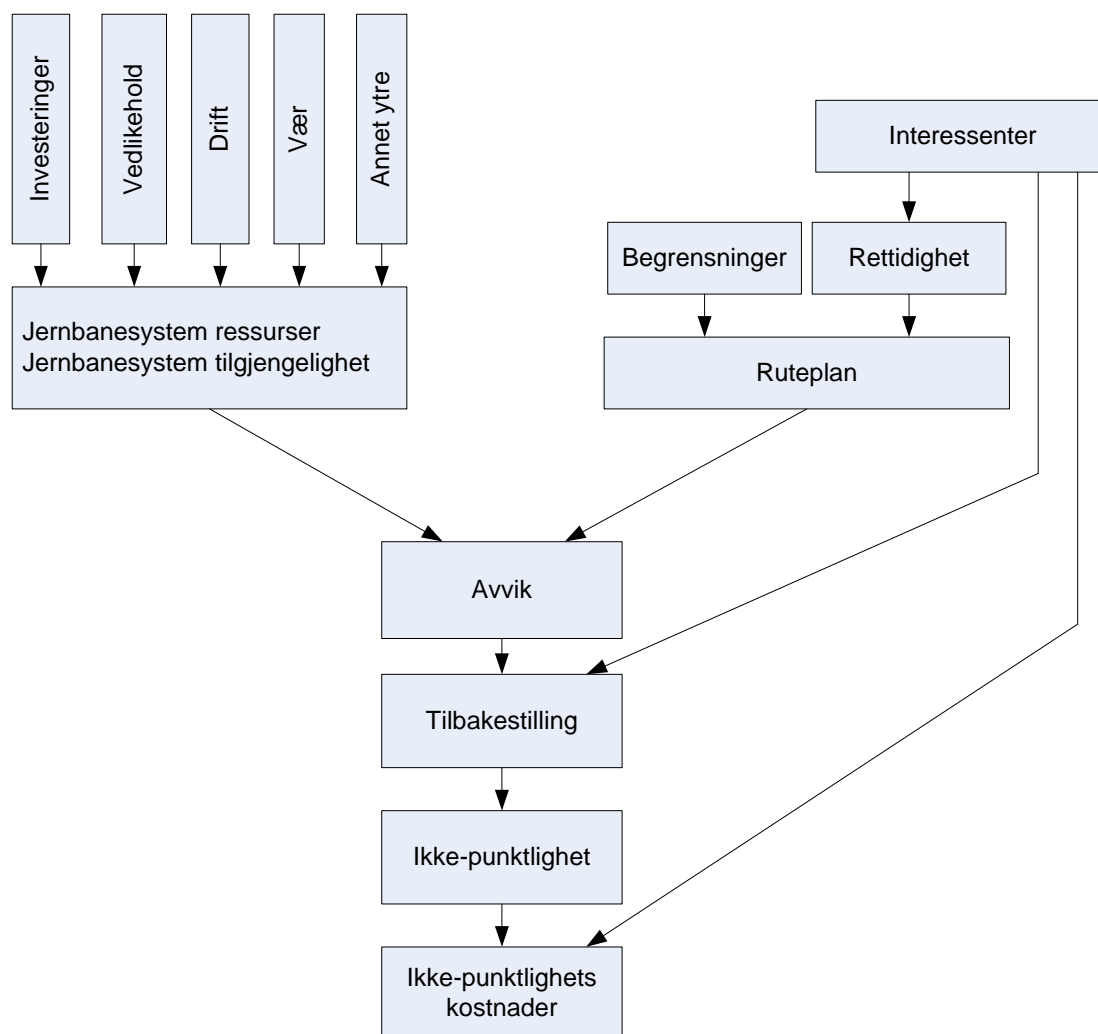
Tabell 2: Oversikt over publisert arbeid innen simulering av jernbanesystem. Mer at en betydelig andel av simuleringsarbeid innen jernbane gjennomføres som konsulentoppdrag, uten at resultatene publiseres.

Nesten alle studier der en forsøker å forutse pålitelighet involverer togfølgetider (hvor lang tid det er mellom togene som kjører på en jernbanelinje), siden lengre togfølgetider reduserer risikoen for følgeforsinkelser (Carey, 1999). Simulering av forsinkelser kan også brukes til å forutse hvilken innvirkning ulike utforminger av infrastruktur har på påliteligheten (Carey og Carville, 2000), til å lage transportmodeller (Kaas, 2000) og som støtte for avvikshåndtering ved store forsinkelser og forstyrrelser (Törnquist og Persson, 2007; Törnquist, 2007).

Det er utviklet flere verktøy for simulering av punktlighet og forsinkelser (Vromans et al., 2006). Eksempler kan være RailSys (Radtke og Hauptmann, 2004) og OpenTrack (Nash og Huerlimann, 2004). Likevel er bruken av slike verktøy fortsatt svært begrenset innenfor ruteplanlegging og punktlighetsforbedring i Norge. Dette kan komme av at slike verktøy er relativt ressurs- og kompetansekrevende, og at man i Norge har tradisjon for å basere ruteplanlegging og punktlighetsarbeid på erfaringer og intuisjon.

2.8 Forklaringsmodeller for punktlighet

Flere forfattere har forklart punktligheten gjennom punktlighetsmodeller. Noen forsøker å gi en helhetlig forklaring, mens andre har konsentrert seg om enkeltfaktorer. Nyström (2008) er et eksempel på den første gruppen. Hans modell er basert på en punktlighetsmodell for luftfart (Al-Haimi, 1991) og viser hvilke faktorer som påvirker punktligheten (Figur 6).



Figur 6: En punktlighetsmodell (Nyström, 2008)

Modellen viser at jernbanesystemets ressurser blir påvirket av mange forhold, for eksempel ulykker, værforhold og investeringer i materiell. Dette virker igjen inn på jernbanesystemets tilgjengelighet. Ruteplanen på sin side er konstruert ut i fra begrensinger i jernbanesystemet, og krav og ønsker om tilgang til sporet og ruteleier fra jernbaneselskaper og kunder. Jernbanesystemets ressurser og tilgjengelighet er sammen med ruteplanen bestemmende for om det oppstår avvik. Dette kan være forsinkelser eller andre avvik fra det som er planlagt. Med tilbakestilling menes eliminering eller reduksjon av effekten av avvikene. Dette inkluderer tiltak som togleder beslutter for å minimere de totale forsinkelsene, men også valg som kundene gjør. Ut i fra dette bestemmes graden av ikke-punktlighet og kostnader knyttet til dette. For å beregne ikke-punktlighets kostnader er man derimot også avhengig av informasjon om hvilken verdi kundene setter på ikke-punktlighet.

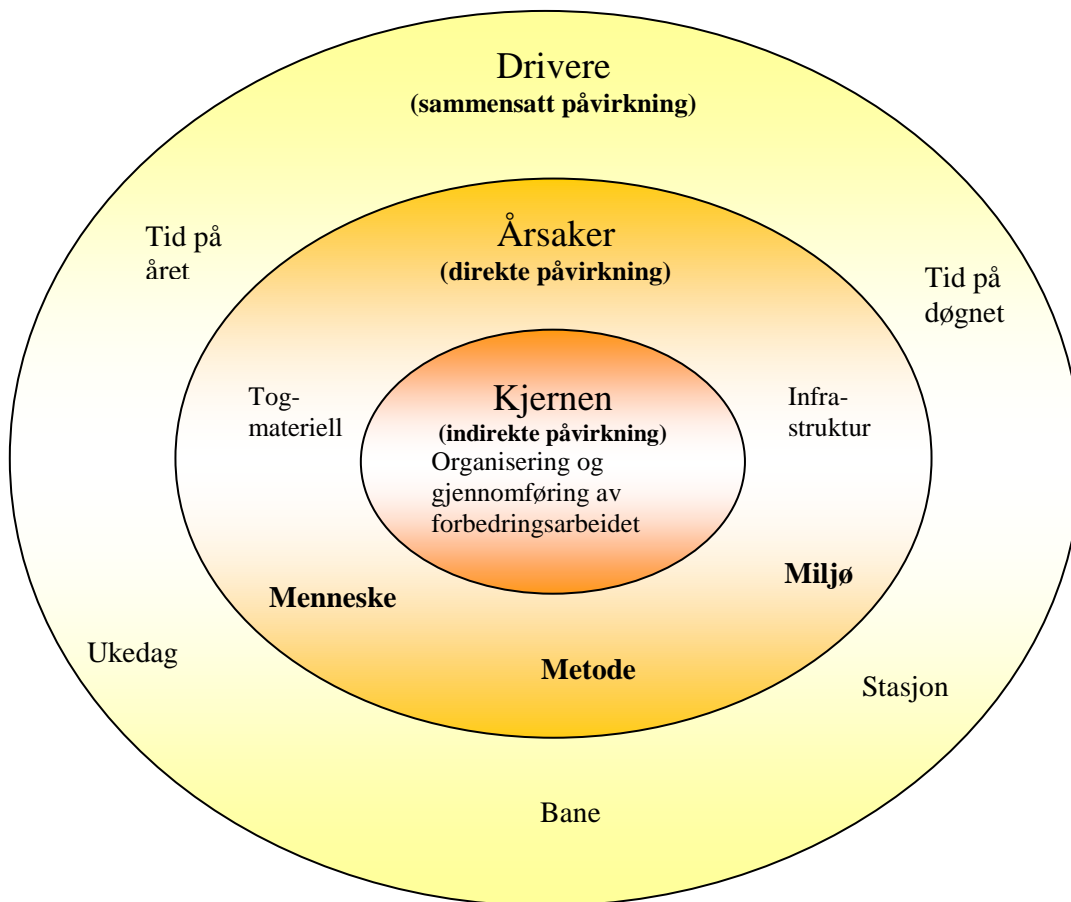
Lindfeldt (2001) på sin side forsøkte å forklare årsakene til punktlighetsbrister på en utvalgt bane; Svealandsbanen i Sverige etter åpningen i 1997. Forfatteren slo fast at det var en avhengighet mellom rutetabellkonstruksjon, trafikkstyring og punktligheten, og at det var rutetabellen som utgjorde den viktigste forutsetningen for god punktlighet. Som en oppsummering for hva som forårsaker den dårlige punktligheten ble følgende punkter satt opp:

- Stor etterspørsel
- Feil togmateriell i forhold til type og mengde trafikk
- Tekniske feil ved togmateriell
- Rutetabellen er ikke tilpasset infrastrukturen og etterspørselen
- Prioritetsreglene fungerer ikke optimalt
- Mange og varierende konfliktpunkter
- Utgangsforsinkelser

Weiseth (2002) utviklet en modell som beskriver hvilke faktorer som påvirker punktligheten til et togselskap (NSB). Han delte faktorene inn i tre grupper:

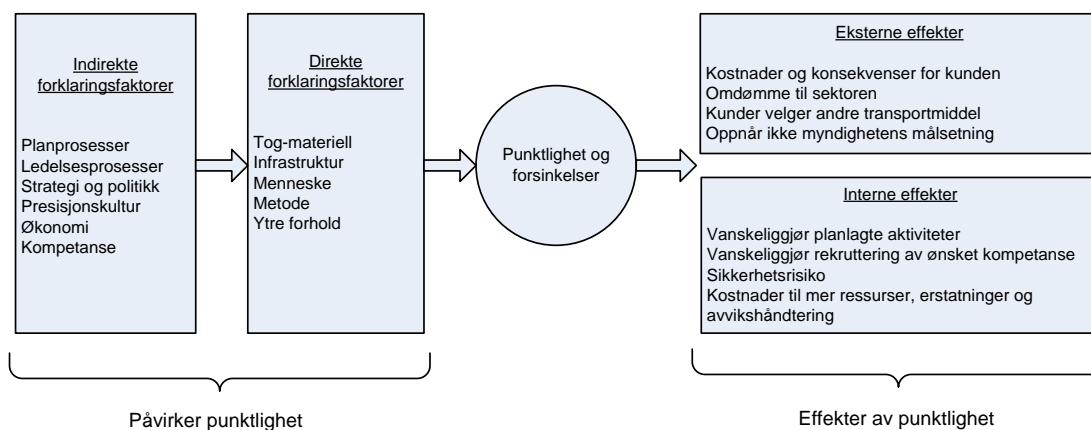
1. Forhold som påvirker punktligheten indirekte, for eksempel hvordan det arbeides med forbedring av punktlighet.
2. Forhold som påvirker punktligheten direkte: menneske, miljø, metode, infrastruktur og togmateriell. Dette er jernbanetilpassede begreper av standard hovedkategorier som benyttes i årsak-virkningsdiagram: materiale, maskin, miljø, menneske og metode (Aune, 2000).
3. Forhold som gir en "sammensatt" påvirkning på punktligheten: Eksempler er "utgangsforsinkelse", "prioritering", "tid på dagen", "tid på året" og "ukedag".

Han kalte disse tre gruppene hhv. kjernen, årsaker og drivere, og mente det var den første gruppen som la selve grunnlaget for den produserte punktligheten. Modellen er illustrert i Figur 7:



Figur 7: Faktorer som påvirker punktlighet (Veiseth, 2002)

Gjennom empiriske studier har Veiseth videreutviklet modellen og konkretisert indirekte og direkte forklaringsfaktorer for punktlighetsbrister og forsinkelser. I modellen er også interne og eksterne konsekvenser inkludert. Modellen gjelder spesielt for norsk jernbane, selv om en kan anta at de samme forklaringsfaktorene vil gjøre seg gjeldende også under andre omstedigheter.



Figur 8: Identifiserte faktorer og prosesser som påvirker punktligheten og effekter av punktlighet (Veiset, 2009)

2.9 Effekter av forsinkelser og punktlighet

Både kundetilfredsundersøkelser og litteratur som omhandler kvalitet i jernbanedrift understreker viktigheten av god punktlighet (for eksempel Fahlén og Jonsson, 2005; Seco and Goncalves, 2007; Gelders et al., 2008). Dette kommer av at kundene blir berørt av forsinkelser og at det får konsekvenser for dem. Veiseth m. fl. (2003) viste at for mellomdistansetog på Dovrebanen hadde punktlighet direkte innflytelse på antall reisende i morgenrush. I ettermiddagsrush var sammenhengen mindre klar, og utenfor rush kunne en ikke avdekke en sammenheng. For kundene kan forsinkelser eksempelvis føre til at man kommer for sent til jobb og møter, for sent til henting i barnehagen eller at varer kommer for sent frem til kundene. Det er derfor en nærliggende antagelse at lav punktlighet og forsinkelser påvirker togselskapene i form av at kunder velger andre transportmidler enn jernbane. Dette støttes av undersøkelser av betalingsvillighet for å unngå forsinkelser, som viser at kunder verdsetter god punktlighet høyere enn for eksempel redusert reisetid.

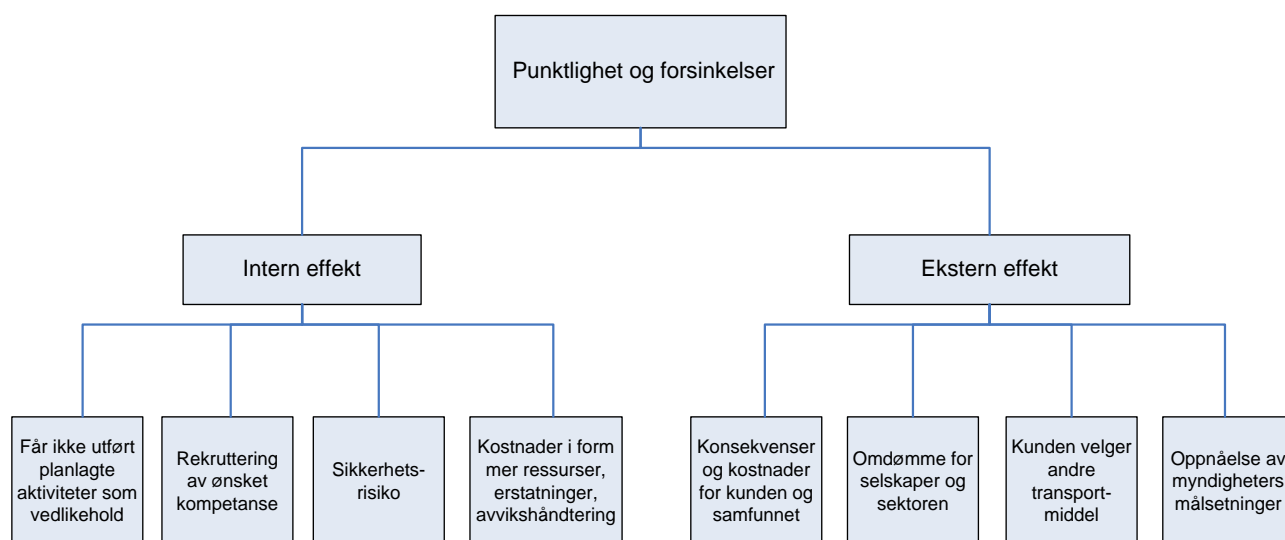
Det finnes imidlertid mange andre effekter av forsinkelser og punktlighet enn det at enkeltindivider velger andre transportmiddel på grunn av selvopplevde forsinkelser. En av dem er den generelle oppfatningen befolkningen har om jernbanen. Forsinkelser og dårlige punktlighetstall er noe som får mye omtale i media. Spesielt gjelder dette for områder der mange er avhengig av tog i hverdagen. I Norge utmerker Oslo-området seg, som på grunn av høy togtetthet og mange reisende er spesielt sårbar for forstyrrelser i togtrafikken. Store og hyppige avvik i dette området fører ofte til en nasjonal debatt om hvor dårlig det står til i jernbanen. Dette til tross for at punktligheten mange andre steder i landet kan være svært god. Et slikt negativ omdømme kan i seg selv føre til at folk velger et annet reisemiddel og det vanskeliggjør rekrutteringen av nye kunder. Dette kan igjen påvirke muligheten for å oppnå målsetninger om å overføre transport fra vei til jernbane. Et dårlig omdømme kan også vanskeliggjøre tilgangen på nødvendig kompetanse i form av at det blir mindre attraktivt å jobbe med jernbane.

Forsinkelser og nedsatt punktlighet påvirker også gjennomføringen av planlagte aktiviteter som vedlikeholds- og utbyggingsaktiviteter. Mye av vedlikeholdet av infrastrukturen utføres i det som kalles "hvite tider", når det ikke går tog. Forsinkelser i togtrafikken fører til at omfanget av "hvite tider" reduseres, noe som kan resultere i at hele eller deler av vedlikeholdsaktiviteter ikke kan gjennomføres som planlagt. Dette er både sløsing med ressurser og det kan føre til flere forsinkelser i form av at feil ikke blir rettet, eller at risikoen for at nye feil oppstår øker. Når det gjelder togmateriell kan forsinkelser føre til avvik i turneringsplanene, som igjen har innvirkning på om vedlikeholdet kan gjennomføres som planlagt. Forsinkelser fører også til økte kostnader for jernbaneorganisasjonene. Dette i form av mer materiell, personell og overtid, erstatninger og rabatter til kundene og bruk av taxi og buss i avvikshåndteringen. I tillegg påvirker forsinkelser sikkerheten. Dette fordi et hvert avvik fra planen, som det en forsinkelse innebærer, utgjør en sikkerhetsrisiko.

For å kunne inkludere punktlighet i etterspørselsmodeller og kost-nytte analyser blir forsinkelser, eller sannsynligheten for forsinkelser, gitt en verdi. Dette benevnes ofte ikke-punktligetskostnader eller verdien av forsinkelser. Det finnes mange studier som presenterer slike verdier og de fleste er basert på Stated-Preference (SP) analyser. I denne type undersøkelser blir de reisende spurt om hva de er villige til å betale for å unngå forsinkelser. Slike studier viser at de reisende typisk er villige til å betale mellom 1,5 og 3 ganger mer for å unngå et minutt forsinkelsestid kontra å redusere reisetiden med et minutt (Veiseth, 2009). Dette betyr at forsinkelser blir vurdert som en større ulempe enn ren reisetid. Fra slike studier finner man også at forretningsreisende og pendlere er villige til å betale mer for å unngå forsinkelser enn andre reisende, og passasjerer med høy inntekt er villige til å betale mer enn passasjerer med mindre

inntekt. Dette, i tillegg til at forsinkelser verdsettes høyere på korte reiser enn på lange reiser, er noe av forklaringen til variasjonen i forholdstallene. I tillegg viste Lind og Widlert (1989) at ulempen med forsinkelser vurderes større for passasjerer som venter på stasjonene enn for de som befinner seg ombord i togene. Innenfor godstransport er det også vanlig å sette en verdi, eller en kostnad, på forsinkelser. For eksempel brukte Jernbaneverket (2001) at forsinkelser koster 72 NOK pr. tonn pr. time (tall fra år 2000).

Det meste av litteraturen som diskuterer verdien av forsinkelser fokuserer på kostnadene til kundene av jernbanetransport. Forsinkelser betyr derimot også kostnader for aktørene i jernbanesektoren. Nyström (2008) foreslo derfor å inndele ikke-punktlighetskostnader i eksterne og interne. Han mente de eksterne ikke-punktlighetskostnadene rammer interessenter utenfor jernbanesektoren, som passasjerer og godskunder, mens de interne ikke-punktlighetskostnadene rammer internt i jernbanesektoren. Som eksempler på det siste oppgir han sekundærforsinkelser og reduksjon i tiden som er satt av til vedlikehold av infrastrukturen. Veiseth (2009) deler også inn i interne og eksterne effekter av punktlighet og forsinkelser. Han oppsummerer sin diskusjon på temaet med en modell som illustrerer ulike kategorier av slike effekter (Figur 9).



Figur 9. Effekter av punktlighet og forsinkelser (Veiseth, 2009)

Figuren illustrerer at punktlighet og forsinkelser både har interne og eksterne effekter. Selv om det i mange sammenhenger fokuseres mest på de eksterne effektene er begge dimensjoner viktige når det gjelder konsekvenser av driftsavvik. Det samme gjelder dersom man skal estimere kostnadene knyttet til forsinkelser og punktlighet.

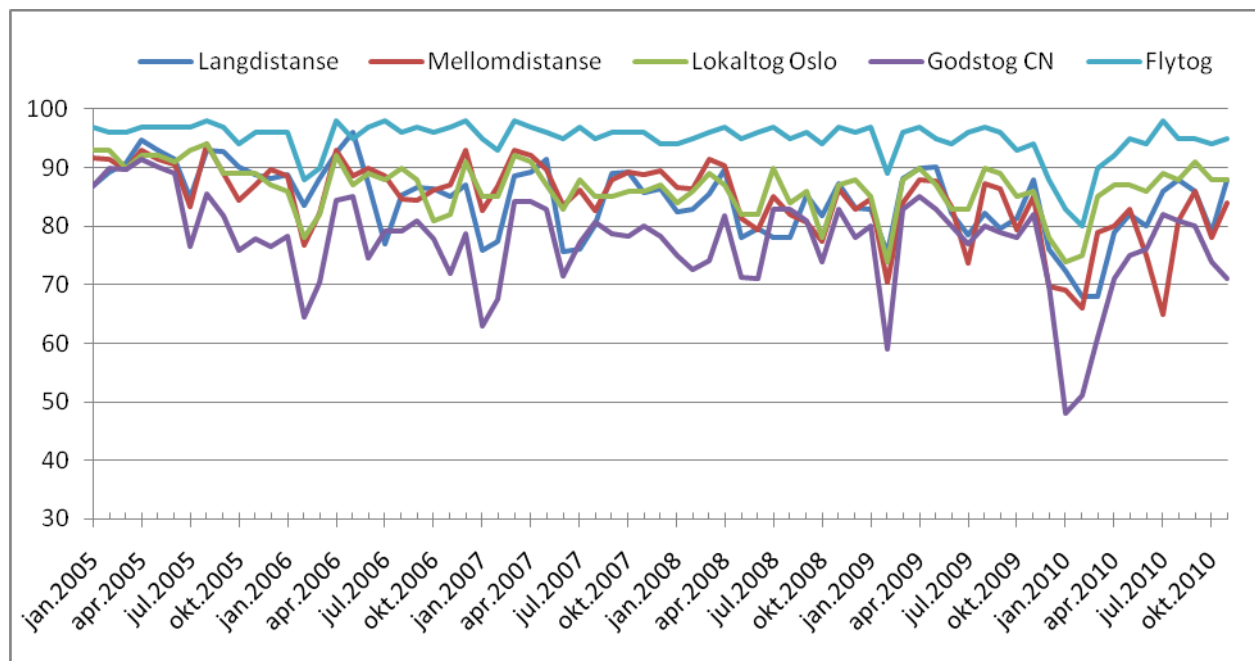
3 Empiriske studier

3.1 Jernbanens punktlighet i Norge

Etter at jernbaneverkets system TIOS ble operativt i 2005 har det vært gjennomført en rekke punktlighetsstudier på norsk jernbane. Også før TIOS ble operativt har det vært gjennomført punktlighetsstudier, basert på alternative datagrunnlag.

Figur 10 viser utviklingen i punktlighet for ulike typer togtrafikk i Norge i perioden fra 2005 til 2010. Noen eksempler på gjennomførte studier er oppsummert i Tabell 3.

Jernbanens punktlighet følges opp i den daglige driften både hos operatørselskapene og av egne punktlighetsoppfølgere i Jernbaneverket. Innenfor PIMS-metodikken kan punktlighetsarbeidet som gjennomføres av jernbaneaktørene i stor grad anses som punktlighetsstudier.



Figur 10: Utvikling i punktlighet på norsk jernbane 2005 - 2010

| Studie | Prosjekt | Årstall | Banestrekning og togprodukt |
|--|---------------|---------|---------------------------------------|
| Belegg (forhold mellom antall passasjerer og antall seter) | | 2001 | Lokaltog på Drammensbanen |
| Kapasitetsutnyttelse på sporet | | 2001 | Lokaltog på Drammensbanen |
| Kansellinger | | 2001 | Lokaltog på Drammensbanen |
| Hastighetsnedsettelse | PONDUS | 2002 | Person- og godstog på Nordlandsbanen |
| Større utbygginger | | 2002 | Lokal- og mellomdistanse på Østlandet |
| Avgangs- og ankomstpunktlighet | | 2002 | Person og godstog på Nordlandsbanen |
| Regler for avvikshåndtering | | 2002 | Mellomdistansetog på Østlandet |
| Punktlighet og antall reisende | PEMRO | 2003 | Lokaltog på Drammensbanen |
| Infrastrukturfeil og forsinkelser | PEMRO | 2006 | Asker – Oslo S |
| Avgangsforsinkelser for godstog | PEMRO | 2007 | Alnabru godsterminal |
| Opphold- og kjøretid | Ruteplan 2012 | 2010 | Oslotunellen og vestkorridoren |
| Robusthetsanalyse ruteplan | | 2010 | Jærbanen (Stavanger – Sandnes) |
| Årsaker til fallende punktlighet | PUSAM | 2010 | Drammen – Eidsvoll |

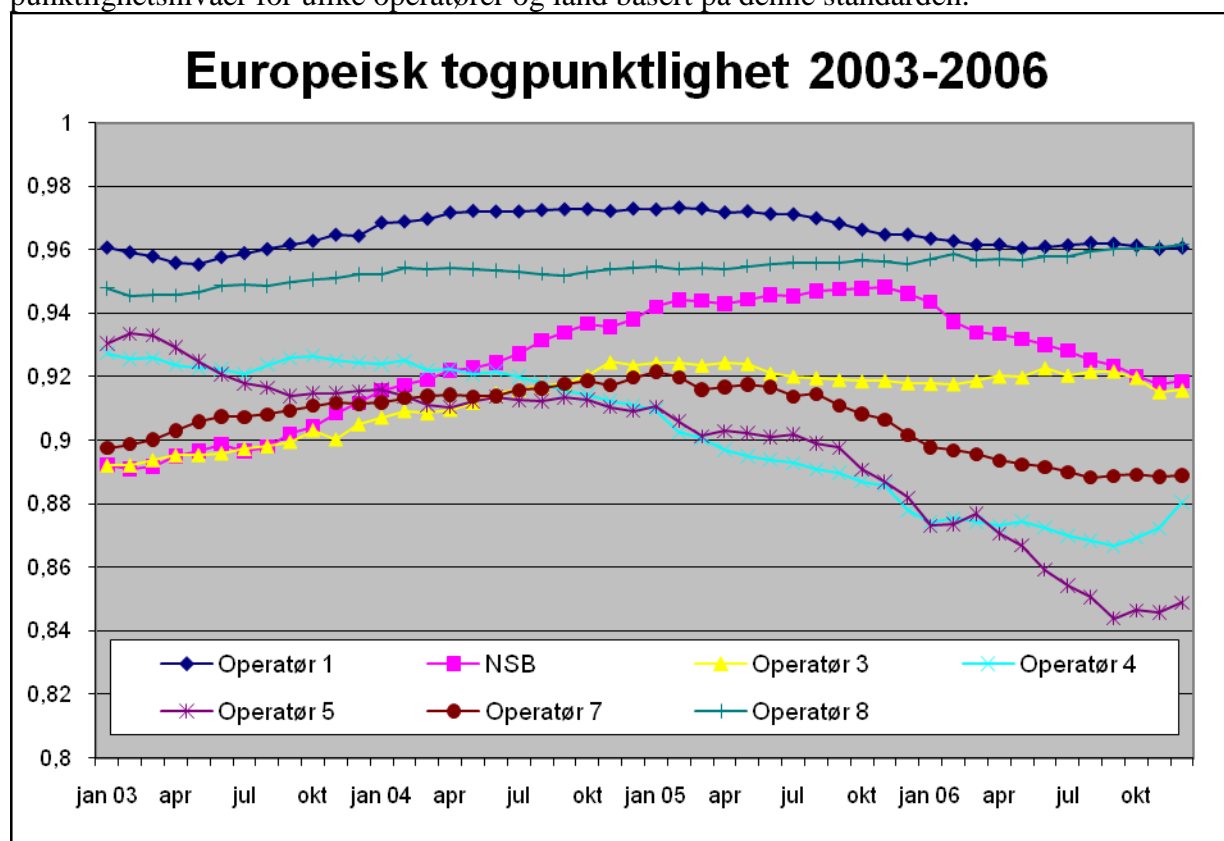
Tabell 3: Noen punktlighetsstudier gjennomført på norsk jernbane.

3.2 Internasjonal sammenligning av punktlighetsdata

Punktlighetsstatistikk for ulike land, banestrekninger eller togprodukt blir ofte sammenlignet. Det er imidlertid flere faktorer som gjør det utfordrende å sammenligne punktlighetstall. Først og fremst kommer dette av at måten en beregner punktlighet på varierer, ved at ulike tidsgrenser brukes når man definerer om et tog er punktlig eller ikke. Om kansellerte tog inkluderes i punktlighetsstatistikken og hvordan snitt-punktligheit beregnes, varierer også. I tillegg er det forskjeller i måten dataene blir samlet inn (manuelt/automatisk) og hvordan de blir behandlet (f. eks. runder opp til hele minutter) (NEA, 2003). Når det gjelder sammenligning av årsaksdata mellom land er dette enda mer utfordrende da kodesystemene som benyttes er forskjellige. Dette gjelder både hvilke spesifikke koder som blir benyttet, men også strukturelle forskjeller som om det skilles mellom primære og sekundære forsinkelser.

Tilgjengelighet på data kan også være en utfordring. Deiss (2000) påsto at tilgjengeligheten av statistisk data i mange tilfeller er en flaskehals for transportbenchmarking. Videre hevdet han at tallmateriale og resultater på internasjonalt nivå ofte heller ikke er sammenlignbart på grunn av forskjeller i definisjoner og omfang av data.

På tross av utfordringene med å sammenligne punktlighetstall ble det gjennomført en studie der man sammenlignet punktlighetsdata mellom flere europeiske land og Japan (NEA, 2003). Her ble det utarbeidet et system som omregner nasjonale punktlighetstall til en felles standard. Prosjektet valgte 5 minutter som forsinkelsesgrense for standarden de utarbeidet. Figur 11 viser punktlighetsnivåer for ulike operatører og land basert på denne standarden.



Figur 11: Gjennomsnittlig punktlighet pr måned 2003 - 2006 for "alle tog" for et utvalg operatører og land, 5 minutter som forsinkelsesgrense (figur fra NSB).

Jernbanen i Japan har lenge vært kjent for høy punktlighet. NEA (2003) påsto at kulturen er noe av forklaringen på forskjellen mellom punktlighet i Japan og Europa, men påpekte at det ikke forklarer alt. Like viktig var det at ledelsen i japanske togselskap har fokus på å eliminere årsakene til forsinkelsene. De påpekte også at man i Japan har en god vertikal integrering mellom infrastruktureier, kapasitetsfordeling, trafikkstyring og driften i tillegg til høy pålitelighet på rullende materiell og infrastruktur. Disse punktene ble også trukket frem av Hatch (2000) som forklarte hvorfor den japanske jernbanen presterte bedre punktlighetsmessig enn den nederlandske.

4 Dagens praksis

4.1 Organisering og gjennomføring av punktlighetsarbeid

Det finnes lite publisert litteratur som diskuterer hvordan jernbaneorganisasjonene bør organisere og gjennomføre arbeidet med å følge opp og forbedre punktligheten. På den annen side finnes det mye intern dokumentasjon i jernbaneorganisasjonene som omhandler punktlighetsarbeid. Denne viser at forbedringsarbeidet ofte blir organisert som prosjekter initiert av perioder med dårlig punktlighet. Veiseth (2002) påsto at det var vanskelig å konkludere med at slike prosjekter fører til varig bedring av punktligheten.

I Sverige konkluderte Fahlén og Jonsson (2005) med at mange punktlighetsprosjekt gir en effekt, men at punktligheten ofte faller tilbake til det opprinnelige nivået etter at prosjektene er avsluttet. I tillegg hevdet de at arbeidet med å forbedre punktlighet har vært konsentrert rundt å lage punktlighetsstatistikker og oversikter over forsinkelsesårsaker for derigjennom å identifisere problemeiere. De mente derimot at aktiviteter som forsøker å løse systematiske punktlighetsproblemer, har vært fraværende.

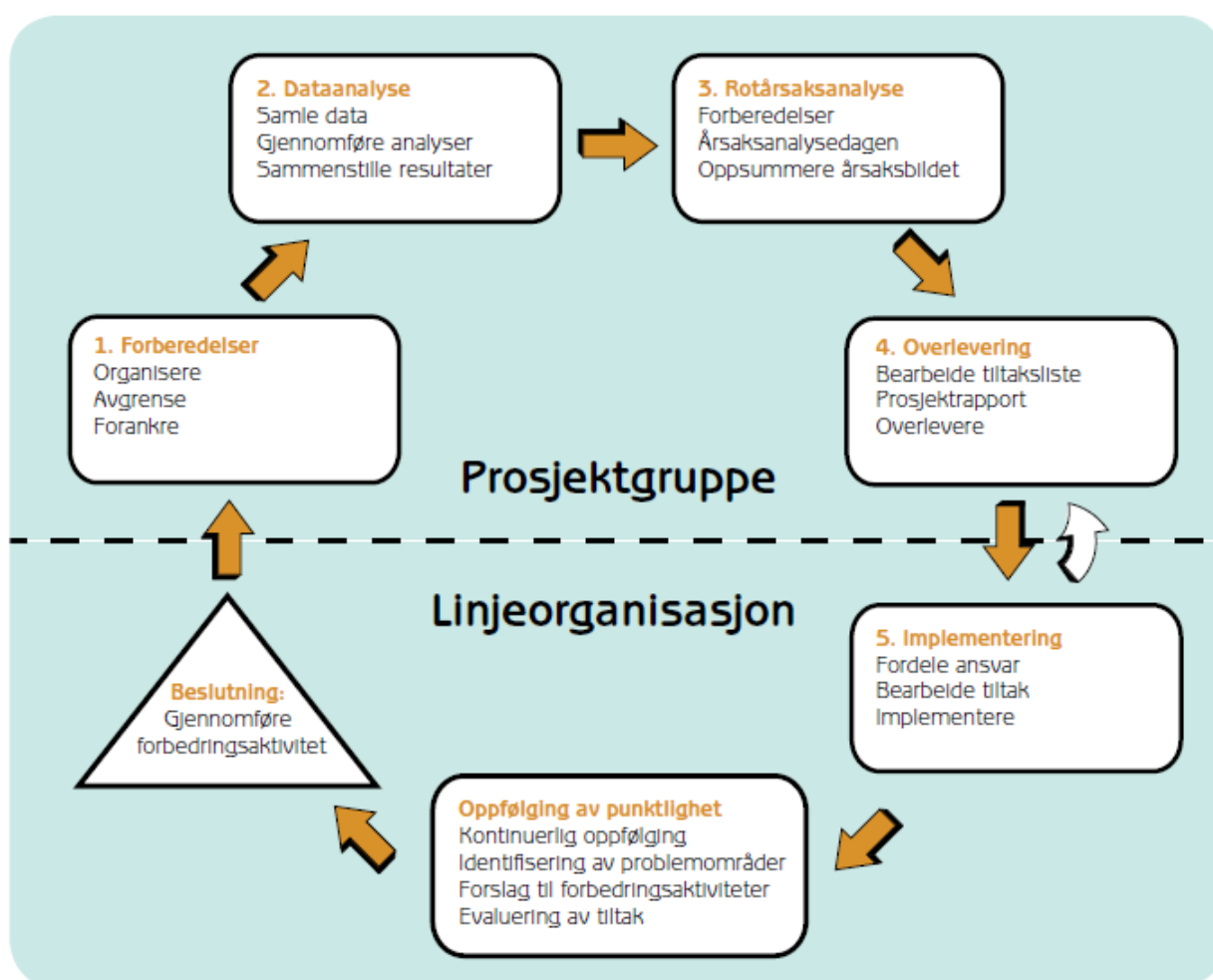
PULS (Punktligheit i samarbeid) er en metode som er utviklet i Sverige for forbedring av punktlighet på tvers av jernbaneorganisasjonene (Fahlén og Jonsson, 2005; Skjønberg, 2003). I PULS blir punktlighetsarbeidet fokusert rundt noen spesifikke tognummer som blir oppført på det som kalles "toglisten". Tog som settes opp på denne listen kan både være de som har punktlighetsproblemer, de som er spesielt sårbare for forsinkelser eller de som ofte skaper forsinkelser for andre tog. Utpekte "togadministratorer" har ansvaret for å følge opp togene på "toglista" og analysere seg frem til hvem som er problemeier. For de togene som ikke oppnår sitt punktlighetsmål blir det utarbeidet aksjonsplaner. Tiltak som blir foreslått blir loggført og effekten av gjennomførte tiltak blir fulgt opp.

Faktabasert styring er en forbedringsmetode som ble utviklet for NSB for operasjonelle forbedringer (Kvaavik, 2004). Når det gjelder bruk av metoden i NSB har den først og fremst vært benyttet til å forbedre punktligheten for spesifikke tognummer. Toggangen blir da sett på som prosessen og prosessens prestasjon defineres gjennom å måle avvik fra ruteplan, oftest gjort ved endestasjonen. Disse målingene plottes i et styringsdiagram (XmR metoden) sammen med øvre og nedre prosessgrense. Arbeidet fokuseres så på å eliminere årsaker til eventuelle signaler helt til prosessen defineres til å være under kontroll. Deretter går man over til å forbedre prosessen gjennom å senke gjennomsnittsverdien og krympe prosessgrensene. Dette gjøres ved hjelp verktøy som paretdiagram, flytskjema, blokkdiagram, korrelasjonsberegninger, fiskebeinsdiagram, intervju og brainstorming.

Likheten mellom de to metodene er at begge fokuserer på enkelttog (tognummer). Erfaring har vist at det er mulig å oppnå resultater isolert sett gjennom slike prosjekter, ved at punktligheten

går opp for de togene det fokuseres på. På den annen side er det utfordrende å oppnå forbedringer som varer, også etter at prosjektene er ferdige. Dette kan komme av at forbedringen er mer et resultat av fokuset som blir satt på disse togene, og ikke av at man har endret praksis. Det er også en fare for å suboptimalisere når man fokuserer på enkelttog. Dette fordi togene som finnes i et jernbanenettverk påvirker hverandre. Å innføre endringer for ett tog kan derfor få innvirkninger på andre. Det er derfor viktig å undersøke punktlighetsutviklingen for flere tog når man evaluerer effekten av slike prosjekter.

PIMS (Performance Improvement Method System) er et sett av verktøy som benyttes av jernbaneaktørene i Norge. For å følge opp ulike punktlighetsinitiativ bør arbeidet gjennomføres i form av et prosjekt, ettersom utfordringene vanligvis krysser organisatoriske grenser. I PIMS deles arbeidet opp i 6 faser; forberedelser, dataanalyse, rotårsaksanalyse, overlevering og implementering. I tillegg kommer de to fasene oppfølging av punktlighet og beslutning. For hver fase ligger det anbefalinger for støtteverktøy og aktiviteter som bør gjennomføres. Metoden er generell og kan tilpasses til en rekke ulike punktlighetsinitiativ. Metoden forklares i metodehåndboka PIMS av Veiseth m.fl. (2008).



Figur 12: PIMS-hjulet viser de ulike fasene i arbeidet med et punktlighetsinitiativ (Veiseth m.fl 2009)

I perioden 2007-2010 har en i Sverige opprettet tre "kraftsamlinger" (kraftsentre) for punktlighet. Sentrene fokuserer på å samordne tiltak på tvers av organisasjonsgrenser, og å formidle tiltakene

til befolkningen. Kraftsentrene har fokusert på henholdsvis Stockholm og Mälardalen, Öresundsregionen og Gøteborg/vestregionen.

4.2 Eksisterende beslutningsstøttesystemer av PUSAM-karakter

De fleste beslutningsstøtteverktøy for jernbanedrift er utviklet av, eller i nært samarbeid med, den enkelte infrastrukturforvalter eller operatørselskap. Verktøyene er høyt spesialiserte og tilpasset forholdene i landene de er utviklet (infrastruktur, trafikk sammensetning, materiell m.m), og det kreves betydelig innsats å tilpasse verktøyene andre forhold enn de er utviklet for.

En finner allikevel enkelte private selskaper som har utviklet beslutningsstøttesystemer som er tilgjengelig som ”hylleware”. Systemene støtter opp ulike sider ved jernbanedriften som vedlikehold av infrastruktur, vedlikehold av rullende materiell, nyinvestering, trafikkstyring og ruteplanprosess.

Tabell 4 gir eksempler på ulike typer beslutningsstøttesystemer som finnes tilgjengelig. De ulike systemene understøtter forskjellige sider ved jernbanedrift.

| Område som støttes | Eksempe på beslutningsstøttesystem | Forklaring |
|------------------------|------------------------------------|---|
| Vedlikehold | Opram, RAMSYS, | Beslutningsstøttesystem som bygger på objekstdata-baser og utleder vedlikeholds, og fornyingsregimer basert på ulike strategiske valg og optimeringskriterier. |
| Investering | | Systemer som beregner konsekvenser av og rangerer ulike investeringstiltak. |
| Trafikkstyring | ROMA | System som støtter togleder når det er oppstått avvik fra ruteplanen, basert på informasjon om sporbruk og trafikk, signalsystem og sikkerhetskrav. |
| Personellplanlegging | TPO-AM | Systemer som støtter opp under utarbeidelsen av personellplaner. Utarbeidelsen kan gjøres automatisk ved å legge inn ulike ”harde” (arbeidstidbestemmelser o.l.) og ”myke” (ansattes preferanser) betingelser. |
| Ruteplankonstruksjon | MOM | Beslutningsstøttesystem som utleder alternative ruteplaner basert på blant annet infrastrukturforhold, trafikk og materiell. Gjennom å legge inn ulike ”harde” og ”myke” betingelser utledes alternative ruteplaner automatisk. |
| Punktlighetsoppfølging | PIMS | System bestående av ulike verktøy for å avdekke rotårsaker og styrke punktligheten i jernbanesystemet. |

Tabell 4: Oversikt over ulike typer beslutningsstøtteverktøy for jernbanedrift

4.3 PUSAM-relevant jernbaneforskning i EU-regi

Jernbaneforskning har vært en prioritert komponent i utviklingen av EUs strategiske ”Trans-European Network”. EU har formulert fem satsningsområder for jernbaneforskning (ERRAC, 2010):

- Driftskompatibilitet
- Intelligent mobilitet
- Trygghet og sikkerhet
- Miljø
- Innovative materialer og produksjonsmetoder

To prosjekter i EU-regi har spesiell relevans for PUSAM; “A systems approach to railway operation management to increase capacity and reduce delays to increase rail customers'satisfaction” og “Cost-effective improvement of railway transport infrastructure”. Begge prosjektene er del av ERRACs (European Rail Research Advisory Council) “Roadmap”-prosjekt.

Førstnevnte fokuserer på hvordan kapasiteten kan økes, forsinkelser reduseres og kundetilfredsheten øke blant både passasjerer og godskunder. I arbeidet skal flaskehals langs europeiske jernbanekorridorer identifiseres, og rutiner for håndtering av avvik kartlegges. Arbeidet skal resultere i ulike verktøy som støtter jernbanedriften.

Sistnevnte prosjekt har som formål å kartlegge egenskaper ved aldrende infrastruktur for å støtte avveiningen mellom (1) la infrastrukturens tilstand forverres samtidig som den overvåkes, (2) gjennomføre fornyelser for å oppnå ønsket ytelse eller (3) avdekke utbedringsbehov.

5 Verdien av forsinkelser og ikke-punktlighetskostnader

For å kunne inkludere punktlighet i etterspørselsmodeller og kost-nytte analyser blir forsinkelser, eller sannsynligheten for forsinkelser, gitt en verdi. Dette benevnes ofte ikke-punktlighetskostnader eller verdien av forsinkelser. Vanligvis avledes verdsettingen fra betalingsvillighetsundersøkelser for spart reisetid (VTTS – value of travel time saved). Betalingsvillighetsundersøkelser er nødvendige for å oppnå representative verdsetting av goder og belastninger som ikke omsettes i markedet. Vanligvis skilles det mellom undersøkelser som bygger på avslørte og uttrykte preferanser (“revealed” og “stated preferences”).

I betalingsvillighetsundersøkelsene måles betalingsvilje på to måter: betalingsvilje for å oppnå en fordel i forhold til situasjonen per i dag, og erstatningskrav for å akseptere en forverret situasjon. Verdsettingen av marginale endringer måles også gitt en generell forbedring eller forverring av situasjonen per i dag (Økland, 2009). Verdsettingsmetodene gir vanligvis ikke samme verdier, og en avveining må tas i forhold til hva som er mest relevant for den videre bruken av verdiene. Vanligvis uttrykker respondenten høyere verdsetting i tilfeller av forverring enn forbedring av dagens situasjon (Finans- og tolldepartementet, 1998).

| Kilde | Vurdering av forsinkelsestid/reisetid | Kommentar |
|---------------------------------|--|--------------------------|
| Jernbaneverket (2006b) | 3.0 (korte reiser, <50 km) 1.5 (lange reiser, >50 km) | Benyttes i Norge |
| HEATCO (2006) | 2,5 | Anbefaling EU |
| SIKA (2008) | 2.0 | Benyttes i Sverige |
| Department for Transport (2007) | 3 | Benyttes i Storbritannia |

Tabell 5: Vekt av forsinkelsestid for personreiser i forhold til reisetid

Tabellen viser at de reisende er villige til å betale mellom 1,5 og 3 ganger mer for å unngå et minutt forsinkelsestid kontra å redusere reisetiden med et minutt. Dette viser at forsinkelser blir vurdert som en større ulempe enn ren reisetid. HEATCO (2006) poengterer at vektingen av forsinkelse kan kombineres med vekting av andre faktorer, som for eksempel overfylt transportmiddel (vekt 1,5).

Vekting av betalingsvilligheten for redusert ventetid fører videre til at verdsettingen av forsinkelser for forretningsreisende og pendlere blir høyere enn for andre reisende. Videre følger det at passasjerer med høy inntekt antas å være villige til å betale mer enn passasjerer med mindre inntekt. Dette, i tillegg til at forsinkelser verdsettes høyere på korte reiser enn på lange reiser, er noe av forklaringen til variasjonen i forholdstallene. I tillegg viste Lind og Widlert (1989) at ulempen med forsinkelser vurderes større for passasjerer som venter på stasjonene enn for de som befinner seg ombord i togene.

Innenfor godstransport er det også vanlig å sette en verdi, eller en kostnad, på forsinkelser. For eksempel brukte Jernbaneverket (2001) at forsinkelser koster 72 NOK pr. tonn pr. time (tall fra år 2000).

Ut i fra at forsinkelser verdsettes høyt av de reisende antas det at punktlighet påvirker etterspørselen etter transporttjenester. Bates et al. (2001) mente variasjon i reisetid både påvirker oppfattelsen og bruken av de ulike transportmidlene. Dette fordi de reisende er sensitive til konsekvensene av denne variasjonen, som at de må stå og vente, mister overganger og kommer for sent frem til bestemmelsesstedet. I tillegg hevdet de at det blir satt en slags verdi på den usikkerheten som ligger i variasjonen. Denne usikkerheten kan resultere i stress og usikkerhet når man planlegger aktiviteter og ren irritasjon over at reisen ikke går slik som annonsert.

Selv om de fleste antar at forsinkelser påvirker etterspørselen etter jernbanetransport finnes det relativt lite litteratur der denne sammenhengen har blitt kvantifisert. Veiseth et.al (2003) viste sammenhengen mellom antall reisende og punktlighet for mellomdistansetog på Dovrebanen. Studien viste at sammenhengen var tydeligst for tog i morgenrush, men mindre tydelig for tog i ettermiddagsrush. For tog utenfor rushtiden fantes det ikke sammenheng mellom punktligheten og antallet reisende. Noland og Polak (2002) påsto at det ikke har blitt utført forskning på hvordan pålitelighet knyttet til variasjon i reisetid påvirker valg av reisemiddel. Årsaken til dette kan være at det er mange ulike faktorer som påvirker etterspørselen og det er vanskelig å isolere effekten fra forsinkelsene alene. Et unntak er derimot Dargay, Batley, Ibáñez, Wardman og Shires (2008) som har undersøkt sammenhengen mellom pålitelighet og etterspørsel i passasjertransport på jernbane. De konkluderte med at påliteligheten kun hadde en marginal effekt på etterspørselen.

Det meste av litteraturen som diskuterer verdien av forsinkelser fokuserer på kostnadene til kundene av jernbanetransport. Forsinkelser betyr derimot også kostnader for aktørene i jernbanesektoren. Nyström (2008) foreslo derfor å inndele ikke-punktligetskostnader i *eksterne*

og *interne*. Han mente de *eksterne ikke-punktligetskostnadene* rammer interessenter utenfor jernbanesektoren, som passasjerer og godskunder, mens de *interne ikke-punktligetskostnadene* rammer internt i jernbanesektoren. Som eksempler på det siste oppgir han sekundærforsinkelser og reduksjon i tiden som er satt av til vedlikehold av infrastrukturen.

6 Oppsummering

Denne rapporten utgjør sammen med rapporten ”Økonomisk verdsetting av pålitelighet i jernbanetransport” det teoretiske grunnlaget for forskningsprosjektet PUSAM.

Punktligheit defineres i rapporten som ”at togtrafikken går i henhold til ruteplanen”. For å måle punktligheit benyttes imidlertid vanligvis ankomst til endestasjon som punktligheitsmål. I Norge regnes et tog som punktlig om det ankommer innen 4 minutter fra oppsatt tid i ruteplanen (6 min for langdistansetog og godstog). Samferdselsdepartementets målsetning er en målt punktligheit på 90 % for togtrafikken (95 % for flytoget). I 2010 er ikke punktligheitskravet oppfylt. Samtidig oppsummerer punktligheitsmålet ”andel tog i rute til endestasjon” ikke hele pålitelheitsbildet.

Punktligheit er viktig som mål på hvilken grad passasjer eller godskunde mottar tjenesten de betaler for. Verdsettingsstudier viser i tillegg at reisende er verdsetter forsinkelsestid høgere enn reisetid.

En rekke faktorer påvirker jernbanens punktligheit. Disse kan deles inn i direkte (materiell, infrastruktur m.m.) og indirekte faktorer. Punktligheitsarbeid går på tvers av fag og organisatoriske grenser innen jernbanen.

I punktligheitsanalyse er bruk av årsaksregistreringer et viktig verktøy. I økende grad er også simulering blitt et viktig verktøy i punktligheitsanalyse.

7 Referanser

- Ackermann, T.(1998) *Die Bewertung der Pünktlichkeit als Qualitätsparameter im Schienenpersonenverkehr auf Basis der direkten Nutzenmessung*, Forschungsarbeiten des Verkehrswissenschaftlichen Instituts Universität Stuttgart, (PhD theses), Tyskland
- Al-Haimi A.A. (1991) *Airline Schedule Punctuality Management*, Cranfield Institute of Technology, UK
- Banverket (2003) *Orsakskoder till tågförseiningar (TFÖR)*, Banverket Trafikk 31.10.2003
- Banverket (2001), *Tågtrafikken - Punktlighet och förseiningar*, Förstudie FoU-projekt, Rapport 2001:1, Banverket, Borlänge, Sverige
- Bates, J., Polak, J., Jones, P. og Cook, A. (2001) *The valuation of reliability for personal travel*, Transportation Research part E, Vol. 37, No. 2-3, pp. 191-229
- Bustinduy, J. (1995) *More quality in regional transport*, Public Transport '95, 51st International Congress Paris 1995, International Commission on Regional Transport
- Capiello C., Francalanci C. og Pernici B. (2004) *Data Quality Assesment from the User's Perspective*, Proc. of the 2004 international workshop on Information Quality in Information Systems
- Casson, M. (2004) *The future of the UK railway system: Michael Brook's vision*, International Business Review, vol. 13, pp. 181-214
- Carey, M. og Carville, S. (2000) *Testing schedule performance and reliability for train stations*, The journal of the Operational Research Society, Vol. 51, No. 6, pp. 666-682
- Carey, M. (1999) *Ex ante heuristic measures of schedule reliability*, Transportation Research part B, Vol. 33, pp. 473-494
- Carey, M. (1998) *Optimizing sheduled times, allowing for behavioural response*, Transportation Research part B, Vol. 32, pp.329-342
- Cole, B. og Cooper, C. (2005) *Making the trains run on time: the tyranny of performance indicators*, Production planning and control, Vol.16, No. 2, pp. 199-207
- Cullinane, K. og Toy, N. (2000) *Identifying influential attributes in freight route/mode choice decisions: A content analysis*, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol. 36, No. 1, pp. 41-53
- Dargay, J., Batley, R., Ibáñez, J.N., Wardman, M. og Shires, J. (2008) *An econometric analysis of the impact of reliability on passengers rail demand*, European Transport Conference 2008, 6.-8. Oktober 2008, Leiden, Nederland
- Deiss, R. (2000) *Benchmarking European Transport*, In: OECD-rapport, Transport Benchmarking-Methodologies, Applications & Data Needs
-

- Denstadli, J. M. Og Rideng, A. (2010) *Reisevaner på fly 2009*, TØI rapport 1073/2010
- Fahlén, J. og Jonsson, B. (2005) *Train punctuality in a new perspective*, European Railway Review, Vol. 11, No. 1, pp. 60-63
- Gelders D., Galetzka, M., Verckens J.P. og Seydel E. (2008) *Showing results? An analysis of the perceptions of internal and external stakeholders of the public performance communication by the Belgian and Dutch Railways*, Government Information Quarterly, Vol. 25, No. 2, pp. 221-238
- Gibson, S. (2005) *Incentivising operational performance on the UK rail infrastructure since 1996*, Utilities Policy, Vol. 13, No. 3, pp. 222-229
- Gibson, S., Cooper, G. og Ball, B. (2002) *The evolution of capacity charges on the UK rail network*, Journal of Transport Economics and Policy, Vol. 36, pp. 341-354
- Goverde, R.M.P. (2005) *Punctuality of railway operations and timetable stability analyses*, PhD Theses, Delft University of Technology, Nederland
- Granström, R. (2005) *Maintenance for improved punctuality-a study of condition monitoring technology for the Swedish railway sector*, Licentiate theses, Department of Civil and Environmental Engineering, Luleå University of Technology, Luleå, Sverige
- Gylee, M. (1994) *Punctuality analyses - a basis for monitoring and investment in a liberalized railway systems*, Proceedings of seminars held at the 22nd European transport conference, Vol. P384, No. 9, pp. 153-65
- Hansen, I.A. (2001) *Improving railway punctuality by automatic piloting*, 2001 IEEE Intelligent Transportation System Conference Proceedings, 25-29 August 2001, Oakland (CA) USA
- Hansen, M., Gillen, D. og Djafarian-Tehrani, R. (2000) *Assessing the Impact of Aviation System Performance by Using Airline Cost Functions. Issues, problems, and performance measures in airports and airspace*, Transportation research record, Vol. 1703, pp. 16-23
- Hatch, D. (2000) *Cooperative Benchmarking between the Dutch and Japanese Railways*, Japan Railway & Transport Review 24 - July 2000
- Heinz, W. (2000) *Passagerutbyte i tåg. Mätningar av av-och påstigningstider samt ansats till modell för att beskriva samband*, TRITA IP AR 00-86, KTH, Stockholm, Sverige
- Hooghiemsta, J.S. og Teunisse, M.J.G. (1998) *The use of simulation in the planning of the Dutch railway services*, In: Medeiros, D.J., Watson, E.F., Carson, J.S. & Manivannan, M.S. (eds.), Proceedings of the 1998 winter Simulation Conference
- Jernbaneverket (2006a) *TIOS - årsakskoder*, revidert januar 2006, Jernbaneverket, Norge
- Jernbaneverket (2006b) *Metodehåndbok JD 205*, Samfunnsøkonomiske analyser for jernbanen, versjon 2.0 - april 2006, Jernbaneverket, Norge
- Jernbaneverket (2001) *Metodehåndbok JD 205*, Samfunnsøkonomiske analyser for jernbanen, versjon 1.0 - desember 2001, Jernbaneverket, Norge

- Kaas, A.H. (2000) *Punctuality model for railways*, Computers in Railways 7, The seventh international conference on Computers in Railway, COMPRAIL 2000, WIT Press, UK, pp. 853-860
- Kvaavik B. (2008) *Bedre i dag enn i går, men ikke så god som i morgen*, NSB Persontog Drift, Norge
- Kvaavik B. (2004) *Forbedringsarbeid Bruksanvisning - V 2.0*, For NSB Drift, Norge
- Lampe, D. (1991) *Qualiteatsmerkmal Puenktlichkeit*, Zeitschrift fuer Eisenbahnwesen und Verkehrstechnik, Glasers Annalen, Vol. 115, No. 3, Mar 1991, pp. 84-90
- Lindh, C. og Widlert, S. (1989) *SJ-resenärernas kvalitetsvärdering - med avseesde på information, punktlighet, restid, styv tidtabell och turtäthet*, Institut för Trafikplanering, KTH, Stockholm, Sverige
- Lindfeldt, O. (2010) *Railway operation analysis*, Doctoral thesis, Division of traffic and Logistics, department of Transport and Economics, The Royal Institute of technology, Stockholm, Sverige
- Lindfeldt, O. (2007) *Quality on single-track railway lines with passenger traffic -Analytical model for evaluation of crossing stations and partial double-tracks*, Licentiate theses, Division of traffic and Logistics, department of Transport and Economics, The Royal Institute of technology, Stockholm, Sverige
- Lindfeldt, O. (2001) *Tidtabellskonstruktion, trafikledning och tättidighet på Svealandsbanan*, Hovedoppgave, Institutt for infrastruktur og samhällsplanering, KTH, Stockholm, Sverige
- Lundin M., Elmquist, A.L. og Hammarlund S. (2005) *Incitament för ökad punktlighet på järnväg - fortsättningsprojekt*, TFK report 2005:3, Borlänge, Sverige
- Martland, C.D. (1992) *Rail freight service productivity from the manager's perspective*, Transportation Research part A, Vol. 26A, No. 6, pp. 457-469
- Metz, D. (2005) *Journey quality as the focus of future transport policy*, Transport Policy, Vol. 12, No. 4, pp. 353-359
- Nash, A. og Huerlimann, D. (2004) *Railroad simulation using OpenTrack*, In: Allan, J. et al. (Eds.), Computers in Railways IX, WIT Press, Southampton, UK, pp. 45-59
- NEA Transport research and training (2003) *BOB railway case - benchmarking passenger transport in railways - final report*, Rijswijk, Nederland
- Noland, R.B. og Polak, J. (2002) *Travel time variability: a review of theoretical and empirical issues*, Transport Reviews, Vol. 22, No. 1, pp. 39-45
- Notteboom, T. (2006) *The Time Factor in Liner Shipping*, Maritime Economics & Logistics, 2006, 8, pp. 19 - 39

- Nyström, B. (2008) *Aspects of improving punctuality - from data to decision in railway maintenance*, Doctorial theses, Department of Civil, Mining and Environmental Engineering, Luleå University of Technology, Luleå, Sverige
- Nyström, B. (2005) *Punctuality and railway maintenance*, Licentiate theses, Department of Applied Physics and Mechanical Engineering, Luleå University of Technology, Luleå, Sverige
- Olsson, N.O.E. og Haugland, H. (2004) *Influencing factors on train punctuality - results from some Norwegian studies*, Transport Policy, Vol. 11, No. 4, pp. 387-397
- Olsson, N., Sætermo, I.A.F. og Røstad, C.C. (2002) *Konsekvensvurdering av anleggsarbeid i Vestkorridoren*, SINTEF rapport, SINTEF teknologiledelse, Trondheim, Norge
- Olsson N., Indbryn M. og Veiseth M. (2002) *Konsekvensanalyse og beslutningsstøtte i jernbaneplanlegging*, SINTEF rapport, SINTEF Teknologiledelse, Norge
- Olsson, N., Røstad C. og Veiseth, M. (2002) *Nordlandsbanen - fortsatte analyser*, analyse av punktlighet på Nordlandsbanen, SINTEF rapport, SINTEF Teknologiledelse, Norge
- Ortuzar, J.D. og Willumsen, L.G. (2001) *Modelling transport*, 3rd ed., Wiley, Chichester, UK
- Radtke, A. og Hauptmann, D. (2004) *Automated planning of timetables in large railway networks using a microscopic data basis and railway simulation techniques*, In: Allan, J. et al. (Eds.), Computers in Railways IX. WIT Press, Southampton, pp. 615-625
- Redman, T.C. (2005) *Data Quality - the field guide*, Digital Press, USA
- Rietveld, P., Bruinsma, F.R. og van Vuuren D.J. (2001) *Coping with unreliability in public transportation chains: A case study for Netherlands*, Transportation Research Part A, Vol. 35, No. 6, pp. 539-559
- Rudnicki, A. (1997) *Measures of regularity and punctuality in public transport operation*, Proceedings volume from the IFAC symposium, Chania, Greece 16-18 June 1997, Vol. 2, pp. 661-666
- Seco, A.J.M. og Goncalves, J.H.G. (2007) *The quality of public transport: relative importance of different performance indicators and their potential to explain modal choice*, In: Brebbia, C.A., Urban transport 13 - urban transport and the environment in the 21st century, WIT press, Southampton, UK
- Skjønberg, S. (2003) *Kartlegging av hvordan punktlighetsinformasjon blir benyttet i planprosessen i utvalgte land*, Hovedoppgave, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU), Trondheim, Norge
- Törnquist, J. (2007) *Railway traffic disturbance management - An experimental analysis of disturbance complexity, management objectives and limitations in planning horizon*, Transportation Research A, Vol. 41, pp. 249-266
- Törnquist, J. & Persson J.A. (2007) *N-tracked railway traffic re-scheduling during disturbances*, Transportation Research B, Vol. 41, pp. 342-362

- UIC (2004) *UIC Code 406 Capacity*, International Union of Railways
- Veiseth, M., Olsson, N. og Stokland Ø. (2008) *Metodehåndbok PIMS - Punctuality Improvement Method System*, ISBN 978.82.14.94592.5, SINTEF Teknologi og Samfunn, Norge
- Veiseth M. og Bititci U.S. (2006) *Performance measurement in railway operations - improvement of punctuality and reliability*, In: Neely, A., Kennerly, M. & Walters A. (eds.): *Performance Measurement and Management: Public and Private 25-28 July 2006*, London, UK, Cranfield University: Stirling, UK, pp. 801-808
- Veiseth M., Olsson, N., Røstad, C.C. og Indbryn, M. (2003) *PONDUS - "Punktlighet og underveis undersøkelse*, SINTEF rapport, SINTEF Teknologiledelse, Norge
- Veiseth, M., Indbryn, M., Olsson, N. og Sætermo, I.A.F. (2003) *Punktlighet og antall reisende - hvordan punktlighet påvirker antall reisende*, SINTEF rapport, SINTEF Teknologiledelse, Norge
- Veiseth, M. (2002) *Punktlighet i jernbanedrift*, Hovedoppgave, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU), Trondheim, Norge
- Vromans, M.J.C.M., Dekker, R. og Kroon, L.G. (2006) *Reliability and heterogeneity of railway services*, *European Journal of Operational Research*, Vol. 172, pp. 647–665
- Weigand, W. (1996) *Erfolge der japanischen Eisenbahnen im Markt des Personenfernverkehrs*, *Eisenbahn technische Raunschau*, Vol. 45, No. 11, p. 717
- Woxenius J. (2006) *Temporal Elements in the Spatial Extension of Production Networks*, *Growth and Change*, Vol. 37, No. 4, pp. 526–549
- Yuan, J. og Hansen I.A., (2007). *Optimizing capacity utilization of stations by estimating knock-on train delays*. *Transportation Research Part B: Methodological* 41 (2):202-217, 2007.
- Økland, A. (2009) *Samfunnsøkonomi i jernbane – en teoretisk og praktisk sammenligning mellom flere land*, Masteroppgave ved Institutt for kvalitetsteknikk, Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi, NTNU.