

N. Olsson • A. H. Halse • P. M. Heggland • M. Killi
R. van der Kooij • A. Landmark • A. Seim • A.Ø. Sørensen
A. Økland • V. Østli

Punktlighet i jernbanen – hvert sekund teller



SINTEF Viten

Nils Olsson, Askill Harkjerr Halse, Per Magnus Heggland, Marit Killi,
Rimmert van der Kooij, Andreas Løndmark, Andreas Seim, Anette Østbø Sørensen, Andreas Økland
og Vegard Østli

Punktlighet i jernbanen – hvert sekund teller

SINTEF akademisk forlag

SINTEF Viten 1

Nils Olsson¹⁾, Askill Hørkjerr Halse²⁾, Per Magnus Heggland³⁾, Marit Killi²⁾, Rimmert van der Kooij¹⁾, Andreas Landmark¹⁾, Andreas Seim¹⁾, Anette Østbø Sørensen¹⁾, Andreas Økland¹⁾ og Vegard Østli²⁾

Punktlighet i jernbanen – hvert sekund teller

Emneord: jernbane, tog, punktlighet, forsinkelser, analyser

ISSN 2464-2371

ISBN 978-82-536-1484-7 (pdf)

978-82-536-1485-4 (trykt)

Redaksjon: Ragnhild Wahl, Jernbaneløst, Nils Olsson, SINTEF Teknologi og samfunn, Kjell Werner Johansen, Transportøkonomisk institutt (TØI)

Kvalitetssikrere: Lenå Hiselius, docent, Lunds Tekniske Høgskole, Mads Veiseth, PhD, Norconsult, Hans Haugland, The Railway Consultancy Ltd

Foto, omslag: Nils Olsson

¹⁾ SINTEF Teknologi og samfunn, avdeling Teknologiledelse, Postboks 4760 Sluppen, 7465 Trondheim

²⁾ Transportøkonomisk institutt (TØI), Gaustadalleen 21, 0349 Oslo

³⁾ Jernbaneløst, Teknologi, FoU, Postboks 6166 Sluppen, 7134 Trondheim

© Copyright SINTEF akademisk forlag 2015

Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverklovens bestemmelser. Uten særskilt avtale med SINTEF akademisk forlag er enhver eksemplarframstilling og tilgjengeliggjøring bare tillatt i den utstrekning det er hjemlet i lov eller tillatt gjennom avtale med Kopinor, interesseorgan for rettighetshavere til åndsverk. Utnyttelse i strid med lov eller avtale kan medføre erstatningsansvar og inndragning, og kan straffes med bøter eller fengsel.

SINTEF akademisk forlag

SINTEF Byggforsk

Forskningsveien 3 B

Postboks 124 Blindern

0314 OSLO

Tlf.: 73 59 30 00

www.sintef.no/byggforsk

www.sintefbok.no

FORORD

Denne boken gir en innføring i punktlighetsarbeid for jernbane, og er ment som et supplement til annen litteratur som finnes på området. Boken er basert på forsknings- og utviklingsarbeid utført ved SINTEF, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) og Transportøkonomisk institutt (TØI) i samarbeid med de største aktørene i norsk jernbanesektor.

Jernbanen er et komplekst og sammensatt trafikksystem der kravene til kvalitet og presisjon er stadig økende. En av de mest sentrale kvalitetsindikatorerne ved transport er punktlighet. Gjennom en serie større forskningsprosjekter de siste 10–15 årene har aktører i norsk jernbanesektor i fellesskap utviklet kunnskap og løsninger for å nå målet om god punktlighet og forutsigbarhet i togtrafikken. Jernbaneverket har vært prosjekteier for disse prosjektene, SINTEF, TØI og NTNU har vært utøvende forskningspartnere, mens CargoNet, NSB og Flytoget har deltatt i arbeidet. Prosjektene ble finansiert av Norges forskningsråd og de deltakende organisasjonene. Denne boken bygger på resultatene fra forskningsprosjektene og fokuserer på analyser av punktlighetsdata.

Vi vil takke alle som har bidratt til å realisere denne boken; både i utarbeidelsen av boken og gjennom finansiering og gjennomføring av de forutgående forskningsprosjektene.

Framtiden er spennende – fremtiden går på skinner!

Ragnhild Wahl

Avdelingsleder FoU i Jernbaneverket

INNHold

1	Fra prosent til sekunder	6
1.1	Introduksjon	6
1.2	Perspektiver på punktlighet	8
1.3	Variasjon.....	9
1.4	Slakk og presisjon	10
1.5	Årsaker til og konsekvenser av forsinkelser	11
2	Et samfunnsøkonomisk perspektiv på punktlighet	15
2.1	En del av beslutningsgrunnlaget	15
2.2	Nytte for ulike aktører.....	15
2.3	Etterspørselseffekter og brukernytte.....	16
2.4	Slakk og samfunnsøkonomisk nytte	18
2.5	Mål på pålitelighet og verdsetting	19
2.6	Anvendelse	20
3	Fra måling til handling.....	22
3.1	Litt norsk punktlighetshistorie	22
3.2	Forskningsprosjekter	27
3.3	Måle punktlighet	27
3.4	Datakilder	31
3.5	Kvalitetsledelse og punktlighet	36
3.6	Punktligheit i et internasjonalt perspektiv.....	41
3.7	Aktører involvert i punktlighetsoppfølging	43
3.8	Prosesser i punktlighetsoppfølging	46
3.9	Fra punktlighetsoppfølging til PIMS-prosjekt.....	48
3.10	Risikoanalyse av større tiltak.....	49
3.11	Prioritere tiltak	51
4	Analyser over tid og strekning.....	54
4.1	Om visualisering og analysemetoder	54
4.2	Tid og strekning – to viktige dimensjoner	55
4.3	Det store bildet.....	57
4.4	Hvor er togene forsinket?	59
4.5	Når er togene forsinket?	64
4.6	Hvilke endringer innebærer et trendbrudd?.....	69
4.7	Hvordan er fordelingen mellom store og små forsinkelser?.....	73

4.8	Hvordan ble det?	75
4.9	Verktøykasse på nett.....	78
4.10	Verktøy for publikum	81
5	Analyser av årsaker til forsinkelser.....	83
5.1	Bruk av årsakskoder	83
5.2	Tidligere forskning om årsaker til forsinkelser	85
5.3	Spredningsdiagram og korrelasjon.....	89
5.4	Hvordan påvirker ulike tog hverandre?.....	97
5.5	Saktekjøringer.....	101
5.6	Analyse av følgeforsinkelser	105
6	Veien videre.....	110
	Referanser	111
	Vedlegg. Datagrunnlag	117

1 FRA PROSENT TIL SEKUNDER

1.1 INTRODUKSJON

Norsk jernbane opplever tydelige krav fra kundene, Samferdselsdepartementet og offentligheten om å bedre punktligheten. Videre stiller Samferdselsdepartementet og samfunnet for øvrig krav om at samfunnsøkonomiske betraktninger skal ligge til grunn for prioriteringer og beslutninger. Innenfor handlingsrommet gitt av dagens infrastruktur er jernbanen avhengig av å videreutvikle og implementere nye metoder og verktøy for å oppfylle disse kravene og forventningene.

Historisk har punktlighet blitt målt som «andel tog i rute til endestasjon» hvor «i rute» defineres som ankommet endestasjon innen 3 minutter og 59 sekunder eller 5 minutter og 59 sekunder etter oppsatt ankomsttid, avhengig av togprodukt. Suksess i operativt punktlighetsarbeid krever sannsynligvis mer detaljerte og operativt rettede mål på punktlighet.

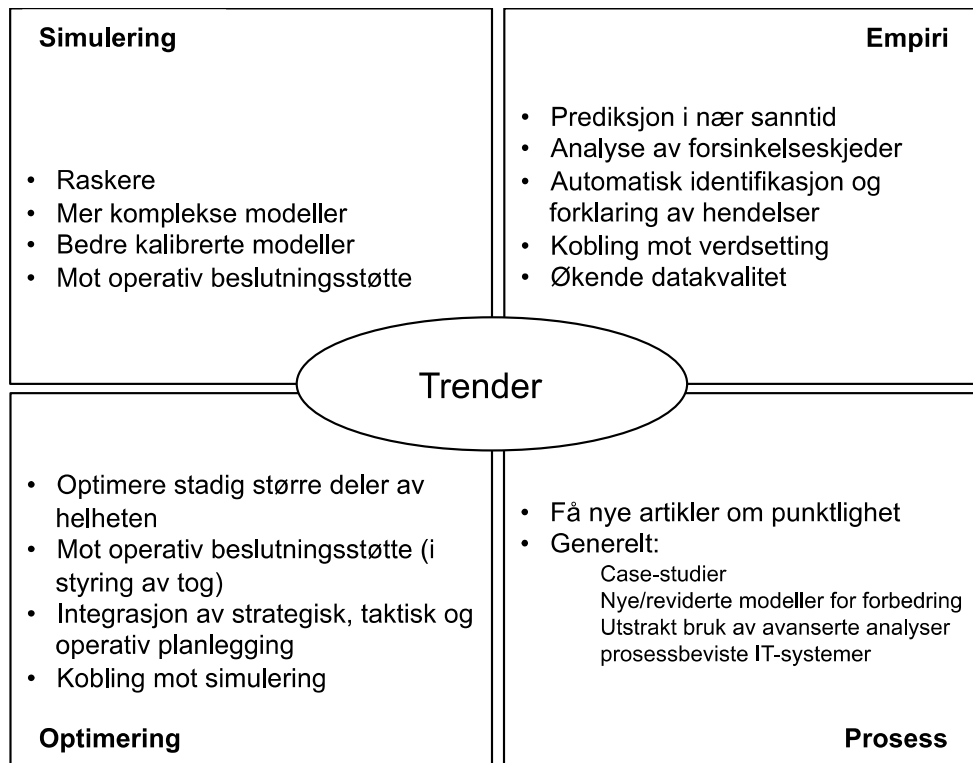
Tiltak for å forbedre punktligheten gitt dagens situasjon kan sies å følge to ulike strategier: slakk eller presisjon. Slakkstrategien betyr at man bygger inn buffere og reserver i systemet slik at sårbarheten ved avvik reduseres. Tiltak som tilhører slakkstrategien, som ekstra materiell, personell, kjøretidspåslag og lange snutider, er kostbare for operatørene i tillegg til at de legger beslag på ekstra kapasitet i jernbanesystemet. Presisjonsstrategien fokuserer i stedet på å minske behovet for slakk ved å redusere variasjonen og derigjennom øke forutsigbarheten i jernbanesystemet. Gitt dagens pressede kapasitet i norsk jernbanedrift er det sterkt behov for en dreining mot presisjonsstrategien. Med andre ord må hvert sekund telle.

Jernbanen er et tett integrert system, der alle aktørene er avhengige av hverandre. Skinnegangen tillater langt mindre fleksibilitet enn hva eksempelvis veiene, luftrommet og sjøen gir. Alle bevegelser på jernbanen må derfor planlegges, og trafikken må overvåkes og koordineres kontinuerlig. Jernbanen er blitt beskrevet som en stor maskin, til forskjell fra de fleste andre transportformer der hvert kjøretøy, fly, båt og de ulike delene i infrastrukturen er «egne maskiner». Fordi jernbanen har en egen infrastruktur, er jernbanen rent driftsmessig forholdsvis isolert fra andre transportformer. I og med at jernbanen er så isolert, har man god oversikt over hvilke data som eksisterer for jernbanetrafikk, og hvem som eier dataene.

Norsk jernbane er et langstrakt, sammensatt og komplekst system med mange interessenter og som kan analyseres fra flere ulike perspektiv. I punktlighetssammenheng kan man eksempelvis se på godset, passasjerer, det enkelte toget, infrastrukturen eller den enkelte togoperatøren. Hvert perspektiv gir hver sine muligheter og begrensninger. IT-baserte verktøy for analyse av virksomheter har hittil i hovedsak vært laget slik at man velger et perspektiv og genererer forhåndsdefinerte rapporter med indikatorer og statistikk. Framover vil verktøyene i økende grad også åpne for smidig bytte og kombinasjon av perspektiv, parametere og oppløsning i et grensesnitt for utforskende analyse. Dette vil gi enorme muligheter for analytikere og ledere i jernbaneorganisasjonene. Dataene brukes allerede til å gi passasjerer og kunder oversikt over punktlighetsnivået for den strekningen og det tidsrommet de er interessert i. Denne boken peker på noen av mulighetene som videre bruk av slike data kan gi for forståelse og forbedring av punktlighet.

Forskning om punktlighet kan grovt sett deles inn i fire kategorier. Det kan være fokus på simulering, optimering, empiri (erfaringsdata) eller prosesser. Denne boken diskuterer først og fremst bruk av

erfaringsdata, men også prosessene i punktlighetsarbeid. Prosesser kan omfatte både analyseprosesser, samhandling rundt punktlighetsarbeid og togframføringsprosessen. Erfaringsdata om punktlighet og jernbanen kan være viktige inngangsdata til simuleringer og optimeringer. Figur 1 viser egenskaper ved de ulike tilnærmingene innen punktlighetsforskning.



Figur 1. Fire tilnærminger til forskning om punktlighet, og pågående trender innenfor de ulike tilnærmingene

Boken har to hovedhensikter:

1. Å gi en oversikt over tilnærminger, metoder og verktøy for forbedring av punktlighet.
2. Vise hvordan samfunnsøkonomiske betraktninger kan brukes i prioritering av punktlighetsfremmende tiltak

Oppbyggingen av boken er som følger:

Kapittel 1 og 2 gir et overordnet bilde av hva punktlighet og samfunnsøkonomi i jernbanesammenheng er.

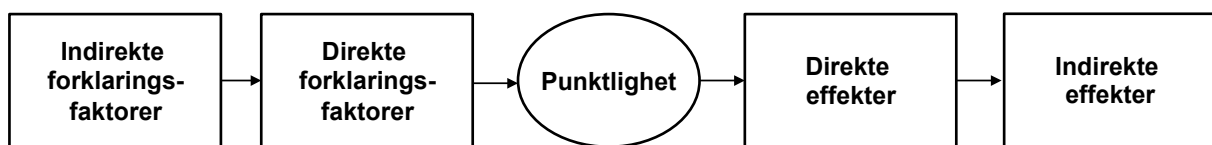
Kapittel 3 av boken ser på eksisterende praksis for punktlighetsanalyser og -oppfølging. Gjennomgangen benyttes til å belyse hvordan oppfølging kan føre til forbedringer i punktlighet på jernbanelinjet.

Kapittel 4 og 5 viser eksempler på analyser og bruk av ulike analyser.

Avslutningsvis kommer noen refleksjoner om veien videre.

1.2 PERSPEKTIVER PÅ PUNKTLIGHET

Punktlighet har alltid vært et tema i jernbanen. I nyere tid har punktlighet fått skarpt fokus. Punktlighet er allment akseptert som et av de viktigste forholdene for at jernbanen skal få fornøyde kunder. Det finnes mange definisjoner av punktlighet, men de fleste fokuserer på at punktlig trafikk bestemmes av i hvilken grad togene kommer og går i rute. Det er mange årsaker til at punktlig togtrafikk ikke oppnås. Man kan dele årsakene i direkte og indirekte forklaringsfaktorer, som vist i den venstre delen av Figur 2. På en lignende måte har forsinkelser og manglende punktlighet direkte og indirekte effekter, som vises i den høyre delen av Figur 2. Vi skal beskrive hvordan man kan arbeide for å følge opp punktlighet, søke etter årsaker til manglende punktlighet og prioritere tiltak basert på de effektene som forsinkelsene forårsaker.



Figur 2. Indirekte og direkte forklaringsfaktorer og effekter av punktlighet

Vi har to utgangspunkt i arbeidet med punktlighet. Det ene er kvalitetsledelse og det andre er samfunnsøkonomi. Vi bruker erfaringer fra kvalitetsledelse til oppfølging og søk etter årsaker, og samfunnsøkonomi til synliggjøring av effekter og prioritering av tiltak.

Mangel på punktlighet utgjør en kostnad for samfunnet, og hvis vi kan redusere denne, vil det resultere i samfunnsøkonomisk nytte. Lav punktlighet innebærer at mange av togene ikke kommer fram til oppsatt tid. Samtidig varierer det hvilke tog som er forsinket, og hvor store forsinkelsene er. Når vi snakker om samfunnsøkonomisk nytte av punktlighet, er det egentlig usikkerheten som er sentral: Hvis alle togene var akkurat like mye forsinket i forhold til ruteplanen og alle visste om dette, ville kostnaden ved forsinkelsene bare komme av den økte kjøretiden (det vi ofte kaller tidsverdien), og ruteplanen kunne tilpasses deretter.

At forsinkelsen er usikker gjør derimot at verdien av å bli kvitt en forsinkelse er høyere enn verdien av en tilsvarende reduksjon i kjent kjøretid. Usikkerhet koster – fordi en må tilpasse seg på en annen måte enn en ville gjort hvis det ikke var usikkerhet, altså ved å forsikre seg. I transport kan dette være å legge inn en eller annen form for sikkerhetsmargin. I tillegg har det en kostnad de gangene ting går så galt at forsikringen ikke strekker til.

Variasjon og slakk er to begreper relatert til punktlighet i jernbanen som er sentrale for både økonomer og ingeniører. Variasjon er viktig både for å tallfeste de økonomiske kostnadene av den usikkerheten brukerne av jernbanen opplever, og for å studere egenskapene til de underliggende prosessene som ligger bak punktligheten. Slakk er i økonomisk forstand en måte å forsikre seg mot konsekvensene av usikkerhet på, men det er også et strategisk valg i hvilken grad en skal satse på slakk eller presisjon for å oppnå ønsket kvalitet i produksjonen av jernbanetjenester. Nedenfor vil vi gjøre rede for de to begrepene.

1.3 VARIASJON

Punktlighetsarbeid handler for en stor del om å redusere variasjon. Variasjon er en ulempe i de fleste prosesser, og mye av arbeidet innenfor kvalitet og produksjonsstyring retter seg mot å redusere variasjon. Man kan omtale variasjon som «prosessens stemme» (Kvaavik, 2008). Enten det gjelder prosessens effektivitet eller produktets egenskaper, vil prosessens stemme variere over tid. En tommelfingerregel er at konsekvensene av variasjon er økende med variasjonens størrelse, selv om en rekke forhold vil spille inn som gjør at noen strekninger tåler større variasjon enn andre.

Variasjon er spesielt uheldig i et så tett sammenhengende system som jernbane, der alle aktørene er avhengige av hverandre. Bevegelser på jernbanen skjer i alt vesentlig innenfor en frihetsgrad (dvs. på en linje). Bevegelser på veier, eksempelvis med bil og buss, kan i mye større grad skje i to dimensjoner (noe som muliggjør ikke-planlagte passeringer). Skip kan bevege seg i to dimensjoner forholdsvis fritt. Fly kan bevege seg fritt i tre dimensjoner, selv om de er begrenset til definerte korridorer. Skinnegangen tillater derved mye mindre fleksibilitet enn hva eksempelvis veiene, luftrommet og sjøen gir. Alle bevegelser på jernbanen må derfor i høy grad planlegges, og trafikken må overvåkes og koordineres kontinuerlig. Den tette integrasjonen medfører at variasjon i bevegelsene for et tog ofte påvirker andre tog. For å kunne utføre produksjonen som planlagt, må man dels redusere variasjonen, og dels kunne forutsi og håndtere den variasjonen som erfaringsvis oppstår. Man ønsker derfor å finne årsaker til variasjonen og redusere variasjonen til et minimum.

Dersom årsakene til variasjonen er «innebygd» i prosessen og det er umulig å spore årsaken til variasjonen, snakker man om støy. De prosessene hvor all variasjon skyldes støy, kalles stabile prosesser. Om derimot kilden er spesifikke hendelser, som kan sies å ligge utenfor prosessen, er de mulig å finne og eliminere. Denne typen variasjon kalles signal. Prosesser som har både signal og støy som kilder til variasjon, kalles ustabile.

For å finne ut hva som har hendt, er det nødvendig å lytte til prosessens stemme med et «instrument» som kan hjelpe oss å skille mellom de ulike kildene. Et sentralt arbeid i de forskningsprosjektene som ligger til grunn for boken, har vært å utvikle og bruke slike verktøy.

Ved togframføring vil det alltid være en viss variasjon omkring et gjennomsnitt. Togene vil ikke følge ruta helt presist til enhver tid. Årsakene er flere, men vi kan skille mellom de avvikene som er kroniske, og de som er sporadiske. Kroniske avvik betegnes som forventede, vanlige og regelmessige, og antyder at det er noe i selve systemet som er årsaken. Slike variasjoner blir ofte akseptert som normale, og det finnes ikke en enkelt årsak til variasjonene. Likevel er det viktig å jobbe for å finne tiltak mot variasjonene som kroniske avvik gir, for å bedre punktligheten. Kroniske avvik må behandles med forbedringsarbeid, og ved å godta forsinkelser i togframføringen som noe normalt, vil arbeidet med å forbedre punktligheten få et galt utgangspunkt.

Sporadiske avvik er avvik som opptrer uten regelmessig frekvens. Slike avvik har som regel en spesiell, identifiserbar årsak. Når det finnes en slik variasjon, skyldes det at det har skjedd noe som kan unngås når arbeidet gjøres om igjen (Aune, 2000). Sporadiske avvik rettes opp ved korrektive tiltak, dvs. å iverksette tiltak for å fjerne årsakene til forsinkelsene.

Variasjon er et fenomen som har opptatt kvalitetsinteresserte ingeniører siden tidenes morgen. Variasjon opptrer så godt som i alle prosesser og systemer, og kan forårsakes av at man ikke kan (eller vil) kontrollere prosessen helt nøyaktig, eller fordi målesystemene som beskriver prosessen ikke er nøyaktige.

I dagligtale er man ikke så nøye på å skille variasjon fra de mer spisse begrepene standardavvik og varians. De to siste er eksempler på spredningsmål, altså en metode for å tallfeste hvor mye variasjon – eller spredning – en eller annen observasjon har. Det kan være spredningen i kjøretiden for påfølgende tog mellom to stasjoner på en gitt dag, eller spredningen i størrelsen på hjulene på en vognstamme. Mens gjennomsnittsmål sier noe om hva slags verdi en bør forvente, så sier spredningsmålet noe om hvor langt fra gjennomsnittet det er naturlig at en måling kan være for å ligge innenfor prosessens grenser.

1.4 SLAKK OG PREISJON

En måte å kategorisere punktlighetstiltak på er å fordele dem i to ulike strategier med forskjellige virkemidler: slakk eller presisjon. Slakkstrategien betyr at man bygger inn buffere og reserver i systemet slik at sårbarheten for avvik reduseres (man hindrer forsinkelser i å spre seg). Eksempler på buffere og reserver kan være reservemateriell, reservepersonell, ekstra tid til togframføring i plan i forhold til behov, eller lignende. Slakkstrategien reduserer i utgangspunktet effektiviteten i jernbanen ved at det må tilføres ekstra ressurser. I presisjonsstrategien ligger derimot fokuset på å redusere buffere og reserver. Tanken er at fokuset på presisjon i organisasjonene vil øke når tidsmarginene blir mindre, og at dette igjen vil føre til at forsinkelsene reduseres.

Presisjonsstrategien forutsetter god driftssikkerhet på togmateriell og infrastruktur, samt en endret holdning til punktlighet. Presisjon gir sannsynligvis lave driftskostnader, men forutsetter investeringer og kontinuerlig vedlikehold. Slakkstrategien er heller på ingen måte billig, grunnet lav utnyttelse av sporkapasitet og personell, samt mer kapital bundet i materiell. Innen logistikk generelt går utviklingen entydig i retning av presisjon. Det mest ressurseffektive i et langt perspektiv er å strebe etter presisjon, med tilhørende forpliktelser innen vedlikehold og beredskap for å sikre kvalitet på infrastruktur og materiell. I praksis vil de fleste jernbanesystemene anta en strategi med en balanse mellom slakk og presisjon.

Tabell 1 gir eksempler på tiltak som innfører slakk i jernbanesystemet, og tiltak som gir høyere presisjon. I tillegg skilles det på om tiltakene gir reduksjon av primær- eller følgeforsinkelser.

Optimal planlegging betyr ikke nødvendigvis minimering av slakk, eller maksimal utnyttelse av ressurser (som tilgjengelige togsett, eller kortest mulig snutid). En optimal plan har balanse mellom effektiv ressursutnyttelse på den ene siden, og riktig dimensjonerte reserver og slakk i planene på den andre siden. Denne balansen er nødvendig for å sikre tilbakestillingsevne og hindre at planen blir for følsom for forstyrrelser. For stramme planer kan resultere i merkostnader til avvikshåndtering. For lav ressursutnyttelse medfører økte kostnader og dårlig utnyttelse av jernbanens ressurser. For å oppnå god utnyttelse av ressurser kan man bruke både hastighet og pålitelighet som virkemidler. Korte snutider bidrar til god utnyttelse av ressurser, men stiller også krav til presisjon og pålitelighet, da slakk i snutider er en sentral buffer for tilbakestillingsevnen i togtrafikken. Man må også være klar over at eksempelvis for streng prioritering av tog i rute kan gi følgeforsinkelser for berørte tog. Bemanning ved krysningsspor kan være en begrensning for valg av strategi på strekninger uten fjernstyring. Med utbygging av fjernstyring og det moderne signalsystemet ERTMS bør det ikke være et problem i framtiden.

	Slakk	Presisjon
Unngå at forsinkelser oppstår (primærforsinkelser)	Romslige ruter Lange stasjonsopphold Reserver for kjørende personale og rullende materiell	God driftssikkerhet på infrastruktur og rullende materiell Godt vedlikehold Ikke saktekjøringer Ruter tilpasset faktisk kjøretid Avgang på sekundet Styre plassering av de reisende
Unngå spredning (sekundær-, eller følgeforsinkelser)	Romslige snutider Lav kapasitetsutnyttelse (få tog) Bemanning med TXP på mange kryssingsspor (der det ikke er fjernstyring) Pragmatisk håndheving av prioriteringsregler	Fjernstyring Kunne om dirigere TXP der det ikke er fjernstyring Streng prioritering av tog-i-rute Kanselleringer og snu tog før endestasjon

Tabell 1. Eksempel på tiltak basert på henholdsvis slakk og presisjon, for å unngå forsinkelser i utgangspunktet, og å hindre spredningen av dem (basert på Olsson og Veiseth, 2011)

Ruteplanen står i en særstilling når det gjelder faktorer som påvirker punktlighet. 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 det lagt til tid i tillegg til den teoretiske kjøretiden for å kompensere for forskjeller i ytelsen til lokomotivene, værforhold og kjørestil, og for å hindre at små forsinkelser skal kunne føre til følgeforsinkelser. Det å legge inn slakk i rutene fører til lengre kjøretid, noe som isolert sett ikke er ønskelig. Det kan være en «trade-off» mellom hastighet og realisert punktlighet, og at man i planleggingen av ruteplanen må forsøke å finne et felles optimum for disse variablene. Dette betyr derimot ikke at mest mulig slakk betyr best mulig punktlighet. Eksempler har vist at punktligheten ikke nødvendigvis blir bedre ved å legge til tid i ruteplanen.

I Norge brukes et generelt tillegg på 4 % av framføringstiden i ruteplanleggingen. Det er ettdstillegg ut over dette på tidspunkt og steder der det er behov for større tidsbuffer, eksempelvis ved større anleggsarbeider. Faktisk kjøretidpåslag er derfor i størrelsesorden 10 %, som er i samme størrelsesorden som det som brukes internasjonalt.

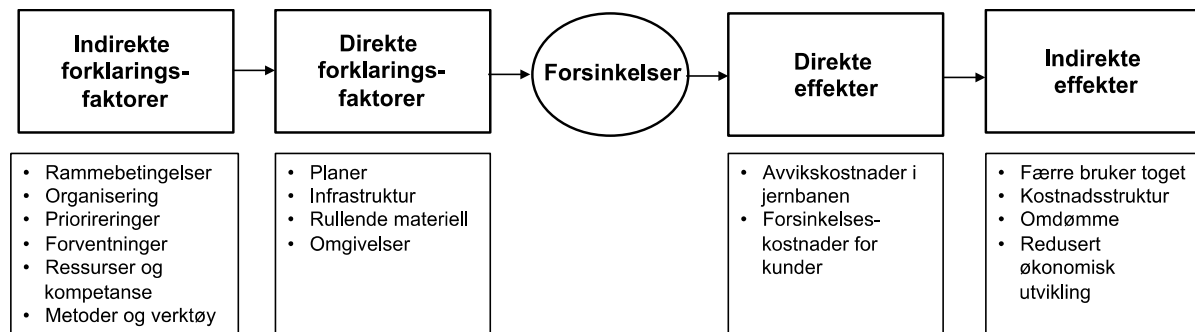
Det er vel etablert at høy kapasitetsutnyttelse av infrastrukturen virker negativt inn på punktligheten. Den anbefalte maksimale kapasitetsutnyttelsen, definert av UIC (2004), er derfor 75 % av teoretisk kapasitet i rushtid og 60 % utenom rushtid for linjer med blandet trafikk. Det er gjennomført flere empiriske studier for å vurdere hvordan kapasitetsutnyttelse påvirker punktligheten. Gibson, Cooper og Ball (2002) fant at høy kapasitetsutnyttelse først og fremst bidrar til følgeforsinkelser, men at den ikke i seg selv skaper forsinkelser. Olsson, Sætermo og Røstad (2002) fant også at punktligheten gikk ned når kapasitetsutnyttelsen gikk opp.

1.5 ÅRSAKER TIL OG KONSEKVENSER AV FORSINKELSER

Jernbanen anses å være en nøkkel i å løse framtidens transportbehov for gods og persontrafikk både i Europa og i Norge. Befolkningsvekst, fortetting i sentrale strøk og begrenset mulighet for å øke kapasitet på vei og i luftrom fører til stadig økende politisk og samfunnsmessig fokus på jernbanen. For å kunne spille en slik nøkkelrolle er jernbanen avhengig av å oppfylle forventningene til kvalitet.

Sentrale elementer av kvalitet i jernbanetransport inkluderer sikkerhet, komfort, framføringstid, punktlighet, tilgjengelighet og frekvens. I Norge har punktlighet fått spesielt mye oppmerksomhet de

siste årene. Godsoperatører har mistet markedsandeler som følge av svak punktlighet. Pendlere fortviler over uforutsigbarhet, og NSB opplever passasjerflukt i tider med dårlig punktlighet. Samferdselsdepartementet har som oppdragsgiver stilt et punktlighetskrav på 90 % for person-togtransport og 95 % for Flytoget. For godstransport er kravet 90 %, men her stilles likevel krav om punktlighet først og fremst av transportkjøperne. Hvis punktlighet i togtransport ikke oppnås, flytter vareeiere transport av gods fra jernbane til vei. I det siste tiåret har punktligheten til godstogene framstått som varierende og lite forutsigbar. For både person- og godstrafikk på jernbane er en bedring av forutsigbarheten (reduksjon av variasjonen i framføringstid) avgjørende i konkurransen mot alternative transportmidler.



Figur 3. Direkte og indirekte forklaringsfaktorer og effekter

Figur 3 utdyper hva som kan ligge i direkte og indirekte forklaringsfaktorer og effekter. Indirekte forklaringsfaktorer inkluderer egenskaper som beskriver organisasjonene. Bedriftskulturen i de forskjellige organisasjonene som må samhandle for å produsere punktlig togtrafikk, har påvirkning på punktligheten. Hvis den enkelte medarbeider i jernbanesystemet ikke forstår at *måten arbeidet blir gjennomført på* har påvirkning på punktligheten, vil punktligheten kunne bli skadelidende ved gjennomføring av den enkelte arbeiders daglige gjøremål. I tillegg ligger ressurstilgang, prioriteringer og forventninger innenfor denne kategorien.

Direkte forklaringsfaktorer er spesielt egenskaper som beskriver planer og utstyr. Etablering og utforming av planer og prosedyrer vil påvirke punktligheten. Hvis planleggingen av større infrastrukturarbeider, som av sikkerhetsmessige hensyn fordrer en hastighetsreduksjon i anleggsperioden, ikke legges inn som forutsetning i ruteplanleggingen, vil ikke en punktlig trafikk-avvikling oppnås.

De direkte målbare effektene av manglende punktlighet vil være konsekvenser for kundene, togselskapene og Jernbaneverket. Dette er spesielt ulike former for avvikskostnader. Avvikskostnadene kan bestå av overtidsbetaling til ansatte i jernbaneforetakene, og etablering av alternativ transport til de reisende med passasjer tog og eventuell alternativ transport for frakt av gods. Videre omfatter de ulemper for togpassasjerer og de som sender gods av forsinkelser.

Indirekte effekter av dårlig punktlighet vil ha konsekvenser for brukere og samfunnet for øvrig. Dette inkluderer ekstrakostnader for godstransportkjøpere, togpassasjerer, negative ringvirkninger for næringslivet, redusert omdømme for jernbanetransport og i ytterste konsekvens redusert satsing på jernbane som transportmiddel.

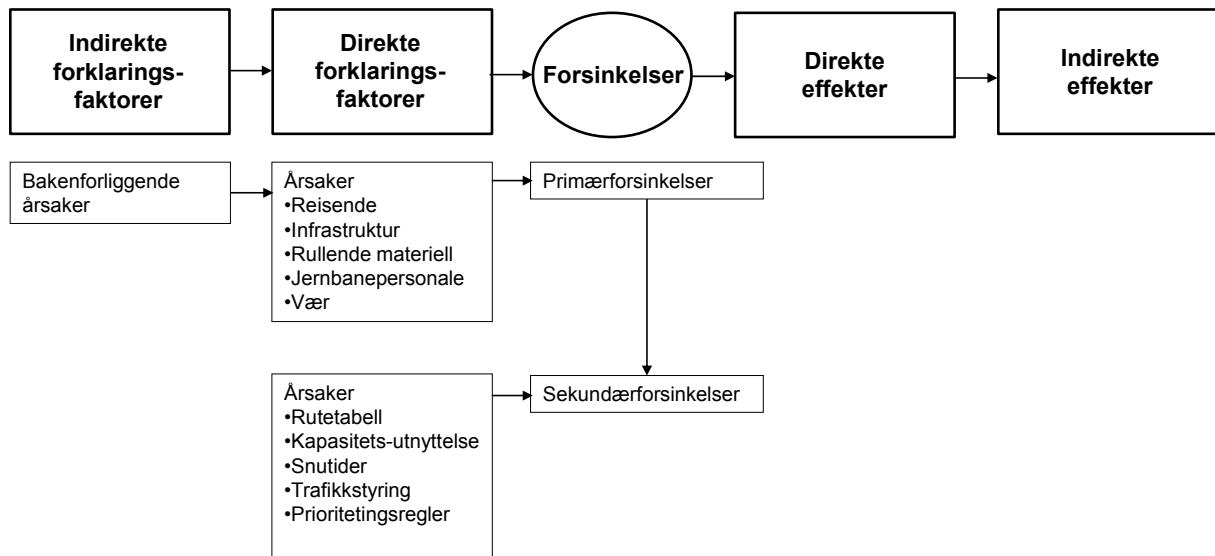
Den venstre delen av Figur 3 kan også ses på som en kjede med årsaker og symptomer, der forsinkelser utgjør symptomene. Disse symptomene har gjerne flere ledd av bakenforliggende

årsaker. Det er viktig å undersøke om det er noen bakenforliggende årsaker som medvirker til at man får dårlig punktlighet, slik at disse bakenforliggende årsakene kan fjernes (eller reduseres).

Forsinkelser kan deles opp i primær- og sekundærforsinkelser. En primærforsinkelse er en forsinkelse som har en direkte årsak. Primærforsinkelser påføres det toget som forstyrres av primærårsaken. Primærforsinkelser kan forårsakes av:

1. Feil på infrastrukturen
2. Feil på rullende materiell
3. De reisende, som følge av lang tidsbruk ved avstigning/ombordstigning
4. Godsbehandling, som følge av lang tidsbruk ved lasting og lossing av godstog
5. Værforhold som storm, ras og flom

Sekundærforsinkelser kalles ofte følgeforsinkelser. En sekundærforsinkelse, eller følgeforsinkelse, er en forsinkelse som skyldes at et annet tog er forsinket. Følgeforsinkelser oppstår som konsekvens av primærforsinkelser, men omfanget og spredningen av dem styres i hovedsak av rutetabellen.



Figur 4. Primær- og sekundærforsinkelser

I Figur 4 har vi delt mellom direkte og indirekte forklaringsfaktorer og type forsinkelse. Med direkte forklaringsfaktorer menes forhold som har direkte påvirkning på punktligheten til jernbanetrafikken. Det kan være feil på togmateriellet eller feil i infrastrukturen. I de indirekte forklaringsfaktorene inngår prosesser og rammebetingelser som er fastsatt, samt organisasjonskultur som påvirker de direkte forklaringsfaktorene.

De direkte forklaringsfaktorene som vises i figuren, er i god overensstemmelse med strukturen til årsaksregistreringen i TIOS (TrafikkInformasjons- og OppfølgingsSystem), som Jernbaneverket benytter for punktlighetsoppfølging. Dersom et tog blir mer enn fire minutter forsinket, eller får en merforsinkelse på fire minutter, krever TIOS at togleder eller TXP angir en direkte forsinkelsesårsak som knyttes til forsinkelsen som er påført toget. Det kan være utfordrende å knytte korrekt

årsaksregistrering til punktlighetssvikt, og sammenhengen mellom registrert årsak og påvirkning på punktlighet er derfor ikke alltid like opplagt. TIOS benytter totalt 16 forskjellige årsakskoder. Overordnet er årsakene delt inn i forhold som skyldes infrastrukturforvalter, trafikkavvikling, togselskap og utenforliggende årsaker.

Ved å studere dataene som er samlet i TIOS om årsaker til forsinkelser, vil det kunne etableres et overordnet bilde av hva som påvirker punktligheten. Bildet som etableres vil likevel være så grovt at det ikke med letthet kan utarbeides forslag til tiltak for å rette på de uønskede forholdene som medfører svikt i punktligheten.

Ruteplanen utgjør grunnlaget for sammenligning av faktisk prestasjon mot den planlagte. Ruteplanen er konstruert basert på en rekke forutsetninger. Ruteplanforutsetninger kan eksempelvis ta utgangspunkt i hvilket togmateriell som skal kjøre ruta, og hvilken hastighet det er på strekningen. Svikt i punktligheten oppstår hvis ruteplanforutsetningene ikke oppfylles. Dette kan for eksempel skje som følge av at godstog kjører med svakere lokomotiv enn planlagt, eller at lokaltog kjører med for få vogner, slik at det brukes mer tid på stasjonsopphold (av- og påstigning av passasjerer). En tredje faktor kan være at infrastrukturen på delstrekninger har lavere maksimal kjørehastighet enn planlagt (saktekjøring, eller hastighetsnedsettelse).

2 ET SAMFUNNSØKONOMISK PERSPEKTIV PÅ PUNKTLIGHET

2.1 EN DEL AV BESLUTNINGSGRUNNLAGET

Samfunnsøkonomiske vurderinger kan sammen med punktlighetsbetraktninger benyttes for å underbygge de beslutningene som fattes i ulike prioriteringsprosesser.

I tidligfase av store investeringsprosjekter er gjennomføring av samfunnsøkonomiske analyser en godt etablert praksis for å vurdere om et prosjekt skal anbefales gjennomført eller ikke. Bakgrunnen for å bruke slike analyser er at samfunnet rår over begrensede ressurser, og det er viktig at disse fordeles på riktige prosjekter til rett tid. Analysene benyttes som en del av beslutningsgrunnlaget både for investering og for prioritering mellom prosjekter.

Den mest utbredte analysen er nyttekostnadsanalysen. Her framstilles nytte og kostnader basert på nåverdiprinsippet, og resultatet gir et tilsynelatende klart svar på hvorvidt et prosjekt eller tiltak er samfunnsøkonomisk lønnsomt. Dersom en følger analyseresultatet strengt i beslutningene, skal en gjennomføre alle tiltak som har positiv lønnsomhet. Hovedformålet med analysen er å synliggjøre alle relevante konsekvenser som kan oppstå ved gjennomføringen av et tiltak eller et prosjekt, og man vurderer den nytten man kan få ut av prosjektet mot de investeringskostnadene man legger i prosjektet. Investeringer i et bedret jernbanetilbud får normalt positive konsekvenser for trafikantene på jernbanen. Kortere reisetid, økt punktlighet og et mer attraktivt rutetilbud representerer nytte for de som reiser eller sender varer med jernbanen. Disse kvalitetsfaktorene veier tungt i nyttekostnadsanalysene.

Samfunnsøkonomiske betraktninger kan i mange tilfeller benyttes for å synliggjøre effekter av ulike tiltak som vurderes gjennomført. Betraktningene kan samtidig vise hvilke(t) tiltak som bør prioriteres dersom man står overfor valg av flere ulike tiltak på samme strekning, har ulike alternative tiltak som kan løse et problem, eller må velge mellom tiltak på ulike strekninger.

I drift- og oppfølgingsfasen er samfunnsøkonomiske verktøy og metoder mindre etablert som vurderingsform. Det er mulig å sammenligne kostnader av forsinkelser med kostnader for å redusere forsinkelsene. Kostnader for å redusere forsinkelser omfatter blant annet investeringskostnadene ved gjennomføring av tiltak for å utbedre tilstanden.

2.2 NYTTE FOR ULIKE AKTØRER

Et samferdselstiltak – for eksempel utbedring av en jernbanestrekning – har vanligvis økonomiske konsekvenser for flere typer av aktører:

- Det offentlige
- Transportbrukere
- Operatører
- Samfunnet for øvrig

Nytten for det offentlige vil vanligvis være negativ og bestå av investeringskostnaden av tiltaket minus eventuelle økte skatte- og avgiftsinntekter. Under nyttevirkningen for samfunnet for øvrig hører for eksempel økte eller reduserte trafikkulykker og utslipp. Vi skal her forklare hva som skal regnes med i nytten til de andre to gruppene – transportbrukere og operatører.

Det enkleste eksemplet er kollektivtransport, enten på vei eller på skinner. Her er operatøren kollektivselskapet og brukeren passasjerer. Vi ser foreløpig bort fra endringer i antallet passasjerer. (Se delkapittel 2.3). Brukerne vil ha direkte nytte av et forbedringstiltak ved at kvaliteten på reisen blir bedre. Men forbedringen kan også medføre reduserte kostnader for operatøren, noe som igjen kan føre til lavere priser som kommer brukerne til gode. Hvordan denne gevinsten fordeles, avhenger av konkurranseforholdene i, og reguleringen av, markedet for kollektivtransport. Hvis operatørene har null profitt, vil alle kostnadsbesparelser bli en del av brukernytten.

For å kunne tallfeste brukernytten, trenger vi i utgangspunktet ikke å vite alt om hvordan brukerne på sikt vil utnytte gevinsten. Kortere reisetid, økt komfort eller lavere reisekostnader kan for eksempel føre til at passasjerene bosetter seg lenger unna arbeidsstedet, og får like lang reisetid som før. Det innebærer likevel at de har en nytte som kan knyttes til tidsbesparelsen. I tillegg kan samfunnet som helhet få en gevinst av at områder knyttes sammen, ved at arbeids- og produktmarkedene blir mer effektive. Denne gevinsten kommer inn under netto ringvirkninger (Wangsnæs og Rødseth, 2014), som vi ikke skal gå nærmere inn på her.

I godstransporten er det ofte flere aktører involvert. I kombitogmarkedet er det for eksempel en togoperatør som leier ut vognkapasitet både til direktekunder og samlastere. Samlasterne organiserer transport fra dør til dør for vareeiere, som igjen selger produktene videre til en kunde. I utgangspunktet er det forbrukernes nytte av lavere priser og økt kvalitet for sluttproduktet vi er interessert i, men det kan være vanskelig å knytte endringer i forbrukernes nytte direkte til forbedringer i jernbanetransporten. Det kan derfor være fornuftig å innta perspektivet til en aktør høyere opp i kjeden, for eksempel samlasterne, og anta at deres nytte som følge av en forbedring i jernbanetransporten, fanger opp nytten i de videre leddene. På sett og vis er det også dette vi gjør for de kollektivreisende, i og med at vi ikke skiller mellom hvordan de utnytter sine nyttegevinster. Enkelt oppsummert kan dermed nytten av et jernbanetiltak for transportbrukere og operatører deles inn i to deler:

1. Brukernes betalingsvilje for kvalitetsforbedringer
2. Kostnadsbesparelse for togoperatørene

Punkt (1.) og hele eller deler av punkt (2.) utgjør til sammen brukernytten. I neste delkapittel forklarer vi hvordan denne kan beregnes når vi også tar hensyn til at etterspørselen etter transporttjenesten kan endre seg.

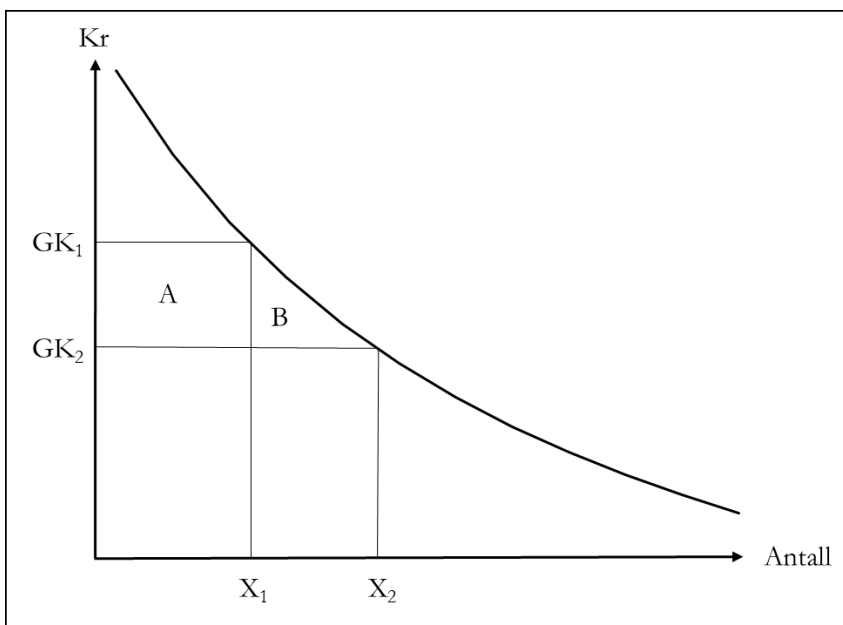
2.3 ETTERSPORSELSEFFEKTER OG BRUKERNYTTE

I de aller fleste tilfeller vil et tiltak som gir billigere eller bedre transport, også føre til at flere benytter seg av transporttilbudet, eller benytter det mer enn de gjør fra før. For jernbanetransport og annen rutegående transport vil det da være et marked med en tilbudsside (togoperatøren) og en etterspørselsside (kundene), som begge tilpasser seg slik at det blir en ny likevekt.

Hvis tiltaket for eksempel er en infrastrukturforbedring, kan den gjøre det mulig å forbedre tilbudet på flere mulige måter:

- Flere avganger
- Kortere reise-/transporttid
- Mer pålitelig ankomst/levering
- Lavere priser

Ved hjelp av metoder for verdsetting kan nytten av de tre første egenskapene også uttrykkes i kroner, og hele forbedringen kan dermed uttrykkes som endringen i det som ofte omtales som transportbrukernes *generaliserte kostnad*. Akkurat som en prisendring i andre markeder, vil en nedgang i generalisert kostnad føre til at etterspørselen etter transporttjenesten går opp. Dette kan vises grafisk som i Figur 5.



Figur 5. Illustrasjon av en etterspørselskurve. En nedgang i generalisert kostnad fører til at etterspørselen etter transporttjenesten går opp

Nytten for brukerne av tiltaket vil både være lavere generalisert kostnad for den mengden reiser eller transporter som ble gjennomført før tiltaket, og nytten av flere reiser eller mer frakt. I mange tilfeller vil den økte etterspørselen komme fra redusert bruk av andre transportmidler. Nyttens av dette må nødvendigvis være positiv, ellers ville ikke brukerne ha byttet transportmiddel, men den reduserte etterspørselen etter det andre transportmidlet må også tas med i regnestykket.

Elastisiteten til etterspørselen med hensyn til pris er den prosentvise økningen (nedgangen) i etterspørsel som skjer ved én prosent nedgang (ev. økning) i prisen. Dette omtales ofte som *priselastisitet* og noen ganger også som *etterspørselastisitet*. På tilsvarende måte kan vi uttrykke virkningen av en endring i pålitelighet ved *etterspørselastisiteten med hensyn til pålitelighet*. I praksis er det vanlig å uttrykke hele den generaliserte kostnaden i kroner basert på verdsettingen av alle faktorene, og beregne etterspørselsendringen ved hjelp av en beregnet *etterspørselastisitet med hensyn til generalisert kostnad*.

Dersom en har markedsdata og punktlighetsdata med tilstrekkelig høy oppløsning, kan en studere sammenhengen mellom pålitelighet og etterspørsel uten å se på individuell verdsetting. For

jernbanen finnes det mye slike data. Utfordringen er at det kan være vanskelig å skille effekten av varierende punktlighet fra andre faktorer, og at en må gjøre antakelser om hvilken tidsperiode kundene tar hensyn til når de vurderer påliteligheten.

I praksis er det vanskelig å vite hvordan nytten av et fornyingstiltak for en jernbanestrekning vil bli utnyttet på sikt. (Hvilke tiltak som skjer på relaterte strekninger, vil også ha betydning.) Resultatet kan bli en ny ruteplan med en kombinasjon av kortere reisetid, flere avganger og økt pålitelighet. Hvilke antakelser en gjør om hva som ville blitt situasjonen med og uten det aktuelle tiltaket, kan ha stor betydning for hvor lønnsomt tiltaket framstår (Eliasson og Börjesson, 2014).

2.4 SLAKK OG SAMFUNNSØKONOMISK NYTTE

Når en skal snakke om samfunnsøkonomisk nytte av pålitelighet i transport, er det sentrale at det handler om *usikkerhet*. For de fleste økonomiske goder er usikkerhet kostbart, fordi folk foretrekker sikre framfor usikre gevinster. Det å være framme på jobben til et visst tidspunkt er for mange et slikt gode: En vil heller vite sikkert når en kommer fram, enn å ha en viss sjanse for å komme fram tidligere og en viss sjanse for å komme fram seinere.

For di usikkerhet er kostbar, vil vi i mange tilfeller tilpasse oss for å forsikre oss mot konsekvensene av usikkerheten. Et konkret eksempel er å kjøpe en faktisk forsikring som sikrer en mot store økonomiske tap. Dette gir en fast kostnad i form av forsikringspremien, men en unngår et større engangstap. En parallell til dette i transport, og spesielt rutegående transport, er slakk.

I kapittel 1.4 diskuterte vi bruken av slakk i jernbanedrift. Også brukerne av transportsystemet benytter seg imidlertid av det vi kan kalle slakk. For eksempel vil mange passasjerer ta et tidligere tog for å være mer sikre på å være framme til ønsket tidspunkt. Det betyr at de i gjennomsnitt kommer fram tidligere enn de ville foretrukket dersom de var helt sikre på at toget var i rute. I godstransport vil det være slakk i flere ledd: Samlasteren kan avtale et leveringstidspunkt med kunden som tåler en viss forsinkelse i jernbanedelen av transportkjeden. Kunden kan på sin side sikre seg ved å ha ekstra varer på lager (Minken og Samstad, 2006). På operatørsiden benyttes en ruteplan som (i samarbeid mellom togselskap og infrastruktureier) er utformet med tanke på at små avvik ikke skal få for store konsekvenser. Det betyr for eksempel at hvert tog kan ha en liten forsinkelse underveis, og likevel rekke planlagte stasjonsankomster og kryssinger slik at det ikke går utover andre tog. Hvor mange tog som tillates på sporet, påvirker dessuten slakket: Jo mer kapasiteten utnyttes, jo mindre skal det til før et avvik får konsekvenser.

I de tilfellene der det er flere mellomledd, vil det også være slakk i flere ledd. En godstogoperatør kan for eksempel ha avtalt et lossetidspunkt med samlasterne som inkluderer både tid til terminalbehandling og noe ekstra tid i tilfelle toget er forsinket. Det finnes også eksempler på at det avtalte tidspunktet forskyves hvis operatøren har store problemer med å holde ruteplanen. Samlasteren som frakter godset videre til kunden, får også noe slakk i sin tidsplan.

Det sentrale i en samfunnsøkonomisk forståelse av slakk er at slakket ikke er gratis. Vi har allerede påpekt at slakk som strategi i jernbanedrift kan gi økte driftskostnader. Dersom variasjonen i ytelse i jernbanesystemet var mindre, kunne en dessuten hatt en ruteplan med kortere kjøretider og/eller flere avganger. Det hadde vært til nytte for eksisterende kunder og ville gitt høyere etterspørsel etter jernbanetjenester. Kundens slakk koster også: Dersom de var mer sikre på at toget var i rute, kunne de ha tilpasset transportbruken sin på en måte som gir høyere nytte. Det blir derfor feil å ikke regne

noen kostnad av forsinkelser som ikke har synlige økonomiske konsekvenser, for eksempel fordi forsinkelsene er mindre enn en gitt tidsmargin.

På brukersiden bør en derfor, som vist i neste delkapittel, benytte et mål for nytten av pålitelighet som inkluderer nytten av å kunne kutte i sikkerhetsmarginer og andre forsikringstiltak. På operatørsiden bør en prøve å tallfeste hvor mye et avvik et sted i systemet (for eksempel forsinkelse underveis på strekning) bidrar til opplevd pålitelighet for brukerne. I tillegg bør det vurderes om avviket bør gis en kostnad ved at det bidrar til at en må opprettholde en ruteplan med et noe dårligere tilbud enn det en ellers kunne ha hatt.¹

2.5 MÅL PÅ PÅLITELIGHET OG VERDSETTING

For å kunne tallfeste nytten av endringer i pålitelighet i transport for brukerne, trenger en et mål på pålitelighet. I tråd med drøftingen ovenfor, må dette målet fange opp:

1. Hvor usikker transporten er
2. Hvordan brukernes nytte avhenger av denne usikkerheten

For jernbanetransport er det vanlig å ta utgangspunkt i ankomsttid (leveringstid) når en måler påliteligheten. For persontransport kan også usikkert avgangstidspunkt i seg selv bidra til negativ nytte ved at en må vente lenger på plattformen, men det er grunn til å tro at ankomsttidspunktet er viktigere. Det er utført forskning på hvordan ventetid oppfattes av de reisende på trikk og buss. Undersøkelsen viste at det var verre å vente på holdeplass eller stasjon enn å vente på et kjøretøy. For kundene til en godstogoperatør vil avgangstidspunktet normalt ikke ha noe å si, så lenge det ikke påvirker tidspunktet for innlevering av godset negativt.

Vi har nevnt at det er viktig å studere variasjonen i et driftsperspektiv. For brukerne er det relevant hvor usikker tjenesten er, og også dette kan en måle ved å se på variasjon. Eksempler på mål på variasjon (spredningsmål) er varians og standardavvik og mål basert på persentiler, for eksempel hvor lang forsinkelse en har 80 % sannsynlighet for å unngå. I praksis vil imidlertid også gjennomsnittlig forsinkelse være et mål på usikkerhet for brukerne. På jernbanen er forsinkelsene av natur usikre, og høy gjennomsnittlig forsinkelse betyr derfor normalt at ankomsttidspunktet er lite forutsigbart. Ankomster før rutetiden bør normalt ikke regnes med: I persontransport forekommer de i liten grad, og i godstransport kan de normalt ikke utnyttes av kundene. Tidlige ankomster sier imidlertid noe om hvor mye slakk en har.

Hvordan det blir mest riktig å måle pålitelighet ut ifra krav (2), kan avgjøres ved å sammenligne teoretiske modeller med ulike antakelser. En kan også undersøke hva som best forklarer brukernes valg av transporttjenester. I praksis vil det være vanskelig å avgjøre dette empirisk ved hjelp av virkelige data, ettersom ulike mål på punktlighet og variasjon som oftest vil være høyt korrelert. Fosgerau og Karlström (2010) viser teoretisk at for et transportmiddel med fritt valg av avgangstidspunkt kan kostnaden ved usikker reisetid uttrykkes ved standardavviket til reisetiden. Dette fanger opp både den negative nytten ved å ankomme for sent, og ved å reise litt tidligere for å

¹ De samme prinsippene gjelder hvis en måler pålitelighet for en transportkjede der både jernbane og veitransport inngår, og ser på konsekvensen av en forsinkelse på jernbanen.

forsikre seg mot forsinkelser. Fosgerau og Engelson (2011) viser at med alternative antakelser er variansen det foretrukne målet, og de utleder en mer generell modell med flere mulige mål som resultat. Börjesson og Eliasson (2011) analyserer en spørreundersøkelse der de togreisende valgte mellom alternativer med ulik risiko for forsinkelser. De finner at kostnaden er høyere jo mer sjelden forsinkelsen er, selv om forsinkelsen er like lang i gjennomsnitt.

For persontransport er den vanligste metoden for å måle verdien av spart reisetid og pålitelighet såkalte *stated preference*-undersøkelser med valgekspesimenter der respondentene velger mellom alternativer med ulike egenskaper («samvalgsundersøkelser»). Metoden har også blitt brukt for godstransport, men i noen mindre grad.² I disse undersøkelsene lar en altså respondentene velge mellom transporter med ulik grad av pålitelighet, og utformer eksperimentet slik at en kan beregne verdsettingen uttrykt ved det ønskede målet på pålitelighet. Resultatet kan for eksempel være antall kroner «den typiske respondenten» er villig til å betale for å redusere gjennomsnittlig forsinkelse med ett minutt.

Mens passasjerene utgjør brukersiden for persontogene, er det ikke like opplagt hvem som bør være respondentene i en verdsettingsundersøkelse for godstransport med jernbane. Halse og Killi (2012) intervjuer samlasterne, med den begrunnelsen at valgekspesimentene da kan knyttes til selve jernbanetransporten. Sammenligning med en undersøkelse blant vareeiere, der valgene var knyttet til hele transportkjeden, viser imidlertid at resultatene er i samme størrelsesorden (Halse og Killi, 2013).

Det er mulig å bruke *stated preference*-undersøkelser også for å undersøke *operatørens* betalingsvilje for å få et forbedret transporttilbud. For godstransport på vei kan en for eksempel intervju lastebilfirmaene (Halse mfl., 2010) eller bedrifter som transporterer egne varer (Small mfl., 1999; Halse mfl., 2010). Forskjellen i jernbanetransport er at en ikke kan bruke togenes observerte pålitelighet som en egenskap i valgene, ettersom påliteligheten er et resultat av operatørens tilpasning i utgangspunktet.

En annen mulighet er å se på faktiske kostnader som kan knyttes til pålitelighet, for eksempel

- kostnader knyttet til personal
- kostnader knyttet til erstatningstransport
- kostnader knyttet til administrasjon

2.6 ANVENDELSE

Mens det er en ganske omforent praksis for hvordan en skal inkludere nytten av spart reisetid i samfunnsøkonomiske analyser, er praksisen mer sprikende når det gjelder å inkludere verdien av mer pålitelig transport. (Se for eksempel OECD/ITF, 2009.) Dette skyldes blant annet at de modellene en bruker til å beregne reise- og transportmønsteret i liten grad tar eksplisitt hensyn til usikkerhet. I de nasjonale og regionale transportmodellene i Norge tas det hensyn til trengsel i veinettet, men ikke forsinkelser i kollektivtrafikken.

² Jernbaneverket benytter verdier basert på funnene til Halse og Killi (2012) for gods, og transportmyndighetene i Nederland baserer seg på resultatene av en stor undersøkelse for både person- og godstransport (Ministry of Infrastructure and the Environment, 2013).

I en forstudie for oppdatering av den offisielle metodikken i Tyskland (Significance, Goudappel Coufeng og NEA (2012) skiller en mellom en kortsiktig og en langsiktig løsning: I den kortsiktige bruker en dagens modellapparat, men beregner i tillegg hvor mye et tiltak vanligvis bidrar til forbedret pålitelighet. Dette kalles «Q-siden», som må ganges med priser som gir verdien av forbedringen, «P-siden». På lang sikt anbefales det å integrere pålitelighet som en faktor som påvirker brukernes valg i transportmodellene, og også ta hensyn til at økt volum på en strekning kan påvirke påliteligheten.

I Norge inkluderes nytten av mindre usikker kjøretid vanligvis ikke når en regner på nytten av store veiprojekter. For jernbaneprosjekter benytter derimot Jernbaneverket egne vektfactorer for forsinkelsestimer både for passasjerer og gods. Dersom utredningen viser at prosjektet vil medføre færre forsinkelser, vil dette da telle med på nyttesiden. I og med at forsinkelser utgjør en av komponentene i generalisert kostnad, vil økt pålitelighet også kunne bidra til høyere beregnet overført og nyskapt etterspørsel.

Hvis en skal regne på nytten av mindre tiltak, for eksempel vedlikehold på en delstrekning, kan effekten på pålitelighet være den mest synlige. Detaljerte punktlighetsdata på delstrekningsnivå gjør det mulig å identifisere selv små endringer. Siden tiltaket er for lite til å medføre endringer i ruteplanen, vil det føre til at en får mer slakk i den ruteplanen som benyttes. Noe av det økte slakket vil gi en synlig nytte i form av færre forsinkelser til endestasjonen. Det kan imidlertid være at en bør regne en gevinst utover denne synlige effekten på pålitelighet, siden tiltaket (sammen med andre tiltak) kan bidra til framtidige forbedringer i tilbudet. Her er det avgjørende hvilket tidsperspektiv en har.

I verdsetting av tidsbesparelser er det vanlig å skille mellom ulike trafikantgrupper eller reisetypen, for eksempel mellom korte og lange reiser og mellom tjenestereiser og private reiser. Hvor viktig rask og pålitelig framføring er, kan variere mellom ulike kundegrupper, spesielt innenfor godstransport. I hvilken grad en skal skille mellom kundegruppene i de samfunnsøkonomiske regnestykkene, avhenger av hvor detaljerte data en har. Halse og Killi (2012) finner en høyere verdsetting av pålitelighet for gods på jernbane når godset inneholder ulike sendinger som er kombinert i samme lasteenhet (samlast/stykkogods).

3 FRA MÅLING TIL HANDLING

3.1 LITT NORSK PUNKTLIGHETSHISTORIE

Punktlighet har sannsynligvis alltid vært et tema i jernbanen. I nyere tid har punktlighet siden begynnelsen av 1970 tallet vært et fokusområde i jernbanesektoren, men punktlighet ble da gjerne omtalt som regularitet. Det opplyses at punktlighetsarbeidet den gang ikke var noe kontinuerlig arbeid. Det var typisk preget av skippertak etter problemfylte perioder. Når forholdene ble litt bedre, eller det dukket opp et nytt fokusområde, kom punktligheten ut av fokus.

I begynnelsen av 1970-tallet startet man med manuelle punktlighetsregistreringer i NSB fra utvalgte betjente stasjoner, for noen utvalgte togprodukt. Leif Aslaksen har i en hel generasjon vært sentral i punktlighetsregistrering og oppfølging. På 1980-tallet ble rapporteringen mer nyansert, og oppfølgingen av punktlighet ble desentralisert slik at hvert distrikt i NSB-systemet fikk ansvaret for å følge opp trafikken i sitt geografiske område. Sentralt hadde man likevel oversikt og rapporterte om de større hendelsene som resulterte i punktighetssvikt. På slutten av 1980- og begynnelsen av 1990-tallet ble det opprettet egne stillinger som fikk ansvaret for punktlighetsoppfølgingen i NSB-systemet. I desember 1996 ble NSB, CargoNet og Jernbaneverket separert, og punktlighetsarbeidet ble delt mellom jernbaneforetakene.

Nedenfor er Aslaksens redegjørelse for historien til punktlighetsoppfølgingen i jernbanesektoren:

De eldste punktlighetsmålingene er fra 1971, og da ble det bare målt for fjerntog. Togene ble regnet å være i rute innen 0–5 min. forsinket til endestasjonene. I 1982 ble det foretatt stikkprøvemåling (bare utvalgte uker) for lokaltog i rushtid i Oslo-området, og togene ble regnet å være i rute innen 0–3 min. forsinket til endestasjonene. I 1983 begynte man å måle også for IC-tog på Østfold- og Vestfoldbanen, og togene ble regnet å være i rute innen 0–5 min. forsinket til endestasjonene. Lokaltog i rushtid i Oslo-området ble nå målt regelmessig innen 0–3 min. forsinkelse. På grunn av elendig punktlighet i årene 1985–1987 ble det fra 1988 opprettet egen avdeling/egne stillinger for rapportering og oppfølging av punktlighet. I tillegg til punktlighetsmåling for fjerntog, IC-tog og lokaltog i rushtiden, begynte man også å måle punktlighet for godstog på hovedstrekningene. Godstog ble regnet å være i rute innen 0–15 min. forsinket til endestasjonene.

I 1990 begynte man også måling av IC-togene mellom Oslo og Hamar/Lillehammer – fortsatt innen 0–5 min. forsinkelse. I 1992 begynte måling av lokaltog rundt Stavanger, Bergen og Trondheim – i rute innen 0–3 min. forsinkelse. I 1995 ble målekriteriet for IC-tog endret fra 0–5 min. til 0–3 min. I 1995 ble målekriteriet for godstog endret fra 0–15 min. til 0–5 min. I 1999 begynte man også måling av regiontog mellom Oslo og Gjøvik (0–3 min. forsinkelse) og Flytog på Gardermobanen (innen 0–3 min.) I 1999 begynte måling av lokaltog hele døgnet i Oslo-området – innen 0–3 min. I 2000 begynte måling av Flytogene mellom Oslo og Asker/Drammen – innen 0–3 min. I 2006 kom egen måling for alle tog samlet for Gjøvikbanen AS (lokaltog Gjøvikbanen inngikk før i lokaltog Oslo) – i rute innen 0–3 min.

I årene 1971–1990 ble måling foretatt med manuelle registreringer i GTI og registreringsblanketter. I 1990 kom system for automatisk måling innen region Øst (ETOS-STAT). I 2004 ble dagens system TIOS tatt i bruk – først i Østlandsområdet og etter hvert utvidet til hele landet.

Målekriteriet på 3 og 5 minutter ble etter hvert presisert til henholdsvis 3.59 og 5.59. Opprinnelig målte man i hele minutter, og tog var forsinket dersom de var mer enn henholdsvis 3 og 5 minutter

etter rute. Det innebar i praksis at tog ble regnet som forsinkede dersom de var 4 eller 6 minutter forsinket. Målekriteriene er fastsatt i forståelse med Samferdselsdepartementet.

I Norge har det dokumenterte arbeidet rundt punktlighet økt betraktelig de siste tiårene. Ved søk på «Punktlighet» i biblioteksystemet BIBSYS, et system som viser det som finnes i bibliotekene ved norske universiteter og høyskoler, får man 63 treff. De aller fleste omhandler tog og jernbane. Det er bare 5 dokumenter som er datert før år 2000. Det finnes likevel flere tidlige NSB-interne rapporter om punktlighet. Punktlighetsrapportene kommer oftest i kjølvannet av en periode med dårlig punktlighet, som blant annet kan skyldes en hard vinter, en større omlegging av togtrafikken, eller omfattende arbeid etter linjen i sommerperioden.

En gruppe rapporter ble utgitt i tiden rett etter åpningen av Oslotunellen i 1980, og etterfølgende år. Det oppsto uregelmessigheter i togavviklingen, og forsinkelser for både person- og godstrafikken. Siden begynnelsen av 1980-tallet er det også dokumentert arbeid med registreringer. Det var ønskelig med ensartede og systematiske registreringer, noe et EDB-basert system burde kunne bidra med. En tidlig refleksjon allerede da er at rapportene og statistikkene i for liten grad ble brukt til analyse og oppfølging. Det kunne også konstateres at punktligheten varierte ganske mye fra måned til måned. Bruk av ulike konsulentselskaper i analyse av punktlighet er dokumentert fra 1992, men det er mulig at det også forekom tidligere. De eldste dokumentene om punktlighetsanalyser viser at diskusjonen om datakvalitet synes å ha pågått like lenge som arbeidet med å innhente data om punktlighet. Men vurderingene rundt registreringer synes å ha tatt fart i 1990-årene, inkludert diskusjonen om hvordan følgeforsinkelser skal registreres.

Som en oppfølging av ruteplanarbeidet som ble implementert i ruteendringen 1994 (R94), ble det satt i gang et punktlighetsprosjekt. Dette prosjektet fokuserte blant annet på problemtog, lederatferd og bred involvering av alle ansatte. Problemtog ble definert som tog som har problemer med å holde egen rute og som derved skaper følgeforsinkelser for andre tog. Det ble foreslått at disse skulle vies spesiell oppmerksomhet i punktlighetsarbeidet.

På slutten av 1990-tallet begynte man å se på om statistiske metoder som statistisk prosesskontroll kunne bidra i punktlighetsarbeidet. Utvikling av verktøy for å analysere og presentere punktlighetsresultater har også økt i omfang i takt med bedringen av datakvaliteten. Det første arbeidet vi kjenner til som inkluderer statistisk prosesskontroll (SPC), ble utført som en del av forberedelsene for prosjektet Effekt600 i 1996. Analysene var basert på daglige observasjoner av enkelttog. En konklusjon fra arbeidet var at prosessen (i praksis togframføringsprosessen) var ute av kontroll, basert på de definisjonene som er vanlige å bruke i SPC (vi diskuterer dette senere i tilknytning til SPC-analyser).

I 1997 ble det foretatt en omlegging av verkstedsstrukturen for NSBs vedlikehold, og i 1998 og 1999 ble det innført en grunnruteendring i tilknytning til åpningen av Gardermobanen. Spesielt under forberedelsene av ruteendringen ved åpningen av Gardermobanen brukte man de samme tankene som var etablert i perioden 1993–1994. Det inkluderte også «Avgang på sekundet», et slagord og ikke minst en grunnleggende holdning som er tatt opp flere ganger i løpet av årene. I 1999 ble punktlighetsdata inkludert i jernbanenes statistikkrapport, noe som ikke hadde vært tilfelle de foregående årene (NSB, 1996, 1997, 1998; Jernbaneverket, 1999).

På 2000-tallet er utviklingen blant annet kjennetegnet av økt fokus på faktabasert styring og større tilgang til punktlighetsdata. Birger Kvaavik har vært en sterk pådriver i arbeidet med faktabasert styring. Dette har vært fundert i total kvalitetsledelse. Bruken av blant annet statistisk prosesskontroll er økt betydelig i jernbanen gjennom arbeidet med faktabasert styring.

Ulike former for visualisering av punktligheten har også kommet etter år 2000. Visualiseringsmulighetene økte blant annet som en konsekvens av at punktlighetsdata med høy oppløsning ble tilgjengelige. Et eksempel er PONDUS fra 2002, et prosjekt og et verktøy som illustrerte punktligheten over en hel strekning, for å se hvordan togene lå an i forhold til ruta over hele stekningen. Den første versjonen av PONDUS brukte manuelle notater av togpasseringer fra togledelsen, men senere versjoner kunne dra nytte av at punktlighetsdata fra signalanleggene ble lagret og gjort tilgjengelig via TIOS-systemet.

Senere utviklet PEMRO-prosjektet metoder og et system for identifisering, bruk og oppfølging av punktlighet i jernbanen. Prosjektet arbeidet med punktlighet i et bredt perspektiv, og med internasjonale kontakter. Aktivitetene inkluderte kvalitetssikring av punktlighetsdata, undersøkelse av hvilke andre typer av data man kunne anvende i punktlighetsarbeid, uttesting av alternative analyser og framstillingsformer, samt praktisk forbedringsarbeid. Det mest omtalte resultatet fra prosjektet er PIMS-metodikken, en metode for arbeid med punktlighetsforbedring.

Utover 2000-tallet og fram til i dag har fokuset på punktlighet som prestasjonsindikator i jernbaneproduksjon økt. De fleste jernbaneforetakene har egne ressurser som arbeider med punktlighetsforbedring. I tillegg til økt ressursbruk i jernbaneforetakene har satsningen på forskning og kunnskapsproduksjon rundt punktlighet som fag tiltatt etter år 2000. Siden år 2000 har også den akademiske innsatsen i punktlighetsarbeid økt betydelig. Den første masteroppgaven om punktlighet ble levert i 2002, og er blitt etterfulgt av flere oppgaver hvert etterfølgende år. De første norske doktorgradene om punktlighet ble fullført i 2009. Det første Forskningsrådsfinansierte prosjektet innenfor togtrafikk (PEMRO) startet i 2005. Det er siden gjennomført en forholdsvis omfattende norsk forskningsaktivitet innenfor jernbanetrafikk. I 2012 ble det etablert en erfaringsbasert masterutdanning ved NTNU i Trondheim der punktlighet og kvalitetsoppfølging har blitt tema, i tillegg til de mer tradisjonelle jernbanefagene. Datafangsten, som oppfølging og rapportering av punktlighet baserer seg på, har endret seg fra å være manuelle registreringer til å bli automatisert.

Parallelt med det som til daglig omtales som punktlighetsarbeid har det pågått flere aktiviteter som har påvirket punktlighetsarbeidet. Dette inkluderer kapasitetsanalyser og simuleringer. Utgangspunktet for bruk av simulering er at togtrafikken er styrt av et sett med regler og betraktninger som lar seg beskrive/programmere. De første simuleringene i NSB ble gjort tidlig på 1970-tallet. Cand. real Rune Moen tok sin hovedfagsoppgave ved Universitetet i Oslo på en simuleringsmodell av den planlagte Oslo S. Arbeidet ble støttet av et prosjekt i NSB, som sikret nødvendig jernbanefaglig bistand. Et konkret formål var å skaffe beslutningsunderlag for behovet for en planfri kryssing mellom Hovedbanen og Gjøvikbanen i Brynsbakken. Konklusjonen var at dette ikke var nødvendig, og slik ble det bygd. Modellen var laget i det objektorienterte simuleringsspråket Simula 67, som var utviklet av Kristen Nygård og Ole Johan Dahl ved Norsk Regnesentral, og som ble forløperen for mange moderne programutviklingsverktøy (De fikk senere «Databransjens Nobelpris» for sitt arbeid). Moens arbeid ble videreført av cand. real Svein Skartsæterhagen, som også på 90-tallet gjennomførte kapasitetsvurderinger for å se på løsninger for å utvide kapasiteten i Oslo-tunellen. Dette arbeidet konkluderte med at en utbygging til fire spor på Nationaltheatret stasjon sammen med modifikasjoner på Skøyen stasjon ville gi tilstrekkelig kapasitet ut fra de vurderingene man den gangen gjorde av behovet. Tiltakene på Skøyen stasjon er imidlertid ikke gjennomført som forutsatt i Skartsæterhagens arbeid.

Ved ruteendringen i oktober 1998 var ikke Romeriksporten ferdigstilt. Romeriksporten ble først åpnet for trafikk ett år etter at flyplassen på Gardermoen ble åpnet for trafikk. Man kunne bruke Gardermobanen nord for Lillestrøm. Under forberedelsene for åpningen av Gardermoen flyplass ble det derfor behov for å undersøke om man midlertidig kunne kjøre Flytoget sammen med annen

trafikk på Hovedbanen mellom Oslo S og Lillestrøm. En simuleringsmodell i simuleringsverktøyet RailPlan ble brukt for å undersøke dette, og det ble vist at en slik løsning var mulig. Dette ble også gjennomført.

Svein Skartsæterhagen utførte på 80- og 90-tallet flere kapasitetsanalyser for Oslo-området, og oppsummerte prinsippene rundt kapasitetsanalyse for jernbane i et kompendium som fortsatt er i bruk som kurslitteratur i faget jernbaneteknikk.

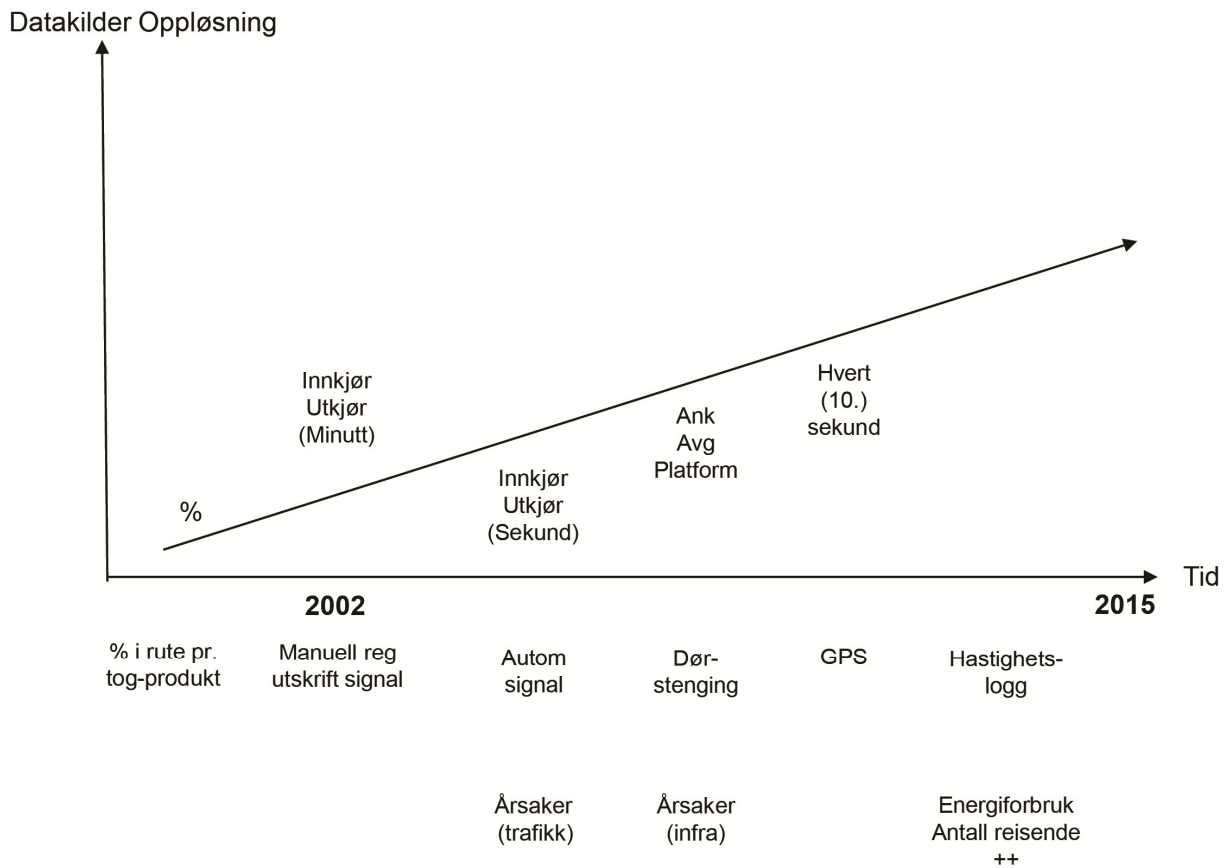
Inntil cirka 2003 var punktlighetsdata i praksis kun tilgjengelige som prosent tog i rute til endestasjon. Dataene var basert på manuelle registreringer og på utskrifter fra et gammelt system fra Norsk Data. Da systemet var utdatert og ikke kunne oppgraderes, var det heller ikke lagringsplass for dataene. For å få historikk i datamaterialet måtte man spare papirutskriftene. I tillegg ble det gjort manuelle notater av togledelsen i de områdene der det ikke var automatisk togstyring, blant annet nord for Trondheim. For å gjøre analyser av punktlighet og finne årsaker til forsinkelser måtte man innhente grunndata på papir og registrere dem i eksempelvis Excel.

Ved innføring av systemet TIOS fra 2003 ble togbevegelser automatisk lagret, og det ble mulig å analysere bevegelsene til hvert enkelt tog, basert på når togene passerte kjøresignalene. I tillegg blir årsaker til forsinkelser registrert.

Nye tog, fra Signatur/Flytoget som kom i 1998, har i økende grad ulike systemer som lagrer data fra sensorer i toget. Spesielt når disse dataene kan kobles til GPS-registreringer, gir de mulighet til å kartlegge togenes bevegelse mer nøyaktig enn hva som er tilfelle når man kun bruker data fra signalsystemene. Data som er interessante, inkluderer GPS-logg med posisjon og tidspunkt, dørstenging (tid og sted for åpning og stenging av dører) og hastighet på ulike tidspunkt og posisjoner. I tillegg kan man få data om forhold som energiforbruk. Nyere tog har også i ulikt omfang blitt utstyrt med telling av antallet av- og påstigende passasjerer.

Figur 6 illustrerer økningen over de seneste 10 til 15 årene i tilgangen på punktlighetsdata for jernbanen. Både antallet datakilder og oppløsningen i tilgjengelige data har økt, noe som medfører at jernbanetrafikken kan følges opp på en mye mer detaljert måte nå enn hva som tidligere var tilfelle.

NSB og Jernbaneverket har utført flere simuleringer av planlagte rutetabeller. Simuleringer har i stor grad også blir brukt for å teste alternative tiltak i infrastrukturen – f.eks. alternative utforminger av ny infrastruktur – for å se hva som togdriftsmessig vil kunne fungere best, med et gitt trafikkmønster. Tidligere var spesielt RailPlan og Timetable Robustness Analyzer brukt. På 80-tallet ble det også utført simuleringer av British Rails sitt forskningscenter, som brukte verktøyet GATTS (General Area Timebased Train Simulator). Før var ikke simulering av jernbanetrafikk en kontinuerlig aktivitet; det forutsatte utbyggingsplaner og tilgjengelig simuleringskompetanse i organisasjonene. De seneste årene er OpenTrack blitt det foretrukne simuleringsverktøyet, hos både NSB og Jernbaneverket.



Figur 6. Utvikling av tilgang på punktlighetsdata

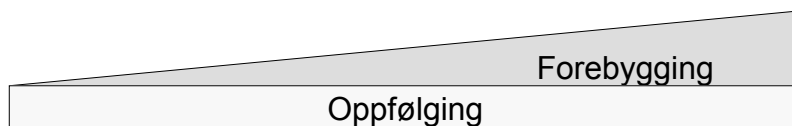
Bruk av simulering har vært et bidrag til å utvide punktlighetsarbeidet til både å omfatte analyser av erfaringsdata og å bruke data og modeller til å analysere kommende produksjonsmodeller, og da spesielt kommende ruteplaner. Figur 7 viser at det har vært en utvikling i arbeidet med punktlighet fra å fremst fokusere på erfaringer fra den inneværende ruteperioden, til å kunne vurdere punktligheten i kommende ruteplaner. Bruk av simulering er et viktig verktøy, men også strukturert bruk av erfaringsdata.

Fra

Til

Tiltak basert på erfaringer fra inneværende produksjonsplan

Forebygging av punktlighets-problemer før de oppstår



Figur 7. Utvikling i punktlighetsarbeid

3.2 FORSKNINGSPROSJEKTER

Jernbaneforskning i Norge har tradisjonelt vært knyttet til et lite og avgrenset miljø. Vi gjengir her noen av de større prosjektene som har bidratt til kunnskapen bak denne boken. Dette er på ingen måte et forsøk på å lage en uttømmende liste over forskningsaktivitet innenfor transport- eller jernbanefagene – men en historisk oppsummering av de punktlighetsprosjektene med en viss størrelse som vi kjenner til i nyere tid.

Den første formaliseringen av forskningssamarbeid på jernbane kom i stand med en rammeavtale mellom den gang NSB Drift og SINTEF Teknologi og Samfunn tidlig på 2000-tallet. Senere tilkom det en tilsvarende avtale mellom Jernbaneverket og NTNU/SINTEF, men som i mindre grad har blitt benyttet til punktlighetsarbeid.

En av de første større prosjektene i nyere tid var PEMRO – Performance Measurement in Railway Operations. PEMRO var et prosjekt finansiert av Norges forskningsråd som fokuserte på bruk og oppfølging av prestasjonsindikatorer i jernbanedrift. PEMRO pågikk mellom 2005 og 2008. En av leveransene fra PEMRO prosjektet var Punctuality Improvement Method System (PIMS metodikken). PIMS var en tilpasning av forskjellige kvalitetsarbeidsmetodikker inn i et overordnet system tilpasset jernbanefamilien.

PEMRO ble etterfulgt av prosjektet «Punktlighetsforbedring for godstrafikk på bane gjennom beslutningsstøttesystem basert på samfunnsøkonomiske kostnader» (PUSAM). Bakteppet til PUSAM var spørsmål om hvor mye svikt i punktlighet kostet. I PUSAM deltok Jernbaneverket, CargoNet, NSB og Flytoget, mens på forskningssiden gikk Transportøkonomisk institutt og SINTEF inn i samarbeid. PUSAM hadde to hovedleveranser; på den samfunnsøkonomiske siden ble det gjennomført en omfattende spørreundersøkelse blant godskunder for å frambringe nye enhetsverdier for forsinkelseskostnader for jernbanetransport. Undersøkelsene høstet mye oppmerksomhet, både nasjonalt så vel som internasjonalt (i akademiske kretser). På den tekniske siden ble det laget en første prototype av et punktlighetsanalyseverktøy som baserte seg på automatisk innsamlet punktlighetsdata. Dette åpnet for at man kunne utføre flere analyser med mindre innsats enn tidligere.

Prosjektet PRECIS ble opprettet som et resultat av erfaringer man så i PUSAM – økende trafikkvolum og strengere krav til punktlighet fra kunder av både passasjer- og godstog fører til et stadig økende fokus på presisjon. Nye ruteplaner for å tilfredsstille etterspørselen legger også opp til et presisjonsnivå som kan være utfordrende å avvikle i praksis. Leveransene fra PRECIS gikk mye lenger i å automatisere og pakke inn analyse- og oversiktsverktøy som kan benyttes til å vurdere presisjon og mangel på presisjon. På den samfunnsøkonomiske siden gikk man videre inn mot tematikk som punktlighetselastisitet og effekten av variasjon i punktlighet på etterspørsel. I tillegg ble det gjort mye empirisk arbeid på saktekjøringer.

3.3 MÅLE PUNKTLIGHET

Punktlighet anses, i tillegg til sikkerhet, å være den viktigste kvalitetsindikatoren for transport på jernbane (Olsson og Haugland, 2004). Det finnes flere ulike definisjoner av punktlighet.

Punktlighet refererer til en mulig tidsforskjell mellom faktisk leveringstid og planlagt leveringstid. Den planlagte leveringstiden er for eksempel en tid eller dato som er avtalt mellom to parter. Man kan skille mellom to typer punktlighet: objektiv og subjektiv punktlighet: Objektiv punktlighet kan defineres etter formelen $P = A - T$, der P er punktlighet, A er faktisk leveringstid og T er avtalt leveringstid. For denne typen punktlighet gjelder det at hvis P er større enn 0, er det gitte «produktet», eksempelvis et tog, forsinket og ikke punktlig. Hvis P er mindre enn eller lik 0, er «produktet» ansett som punktlig. Subjektiv punktlighet kan defineres etter formelen $P = A - T - R$, der P er punktlighet, A er faktisk leveringstid, T er avtalt leveringstid og R er det avviket man tolererer i forhold til oppsatt leveringstid. Dersom P er større enn 0, er det gitte «produktet» ansett som forsinket og ikke punktlig. Forskjellen mellom objektiv og subjektiv punktlighet ligger i den tredje variabelen, R. Hvordan punktlighet oppfattes, er gjerne forskjellig mellom ulike transportslag, og varierer fra land til land og person til person.

Granström (2005) definerer punktlighet som en oppfyllelse av en avtale mellom ulike parter, knyttet til en bestemt tid, og i jernbanesammenheng er denne avtalen rutetabellen. Gylee (1994) forklarer punktlighet på følgende måte: «muligheten til å oppnå en sikker ankomst til et bestemmelsessted etter en på forhånd kunngjort tidstabell». Denne definisjonen vil gjelde for bedrifter generelt. Rudnicki (1997) har en definisjon som passer godt inn for transportbedrifter, og dermed også jernbane: «Punktlighet er når et på forhånd definert kjøretøy ankommer, passerer eller forlater et på forhånd definert punkt på en på forhånd definert tid.» Vi har tidligere beskrevet punktlighet innenfor jernbanen som at «togtrafikken går i henhold til ruteplanen». Punktlighet blir derfor et viktig mål på i hvilken grad passasjerer eller godskunder på jernbanen mottar den tjenesten de betaler for.

Rietveld, Bruinsma og van Vuuren (2001) foreslår 7 mulige mål på påliteligheten:

1. Punktlighet – sannsynligheten for at et tog ankommer mindre enn x minutter for sent
2. Sannsynligheten for en tidlig avgang
3. Gjennomsnittlig differanse mellom forventet ankomsttid og planlagt ankomsttid
4. Gjennomsnittlig forsinkelse gitt at toget kommer for sent
5. Gjennomsnittlig forsinkelse gitt at toget kommer mer enn x minutter for sent
6. Standardavviket av ankomsttidene
7. Andre komplekse mål på alvorligheten av upålitelighet

Punktlighet og regularitet er to begreper som ofte brukes om hverandre. Begge parameterne sier noe om togenes avvik fra ruteplanen, men det er en vesentlig forskjell mellom dem. Punktligheten sier noe om andelen tog som avviker fra ruteplanen. Regulariteten sier hvor stor andel av togene som faktisk går, og ikke er innstilt. Regularitet kan måles for hele eller deler av en strekning. Man kan si at et tog er innstilt dersom toget ikke ankommer et på forhånd planlagt punkt på jernbanenettet. Regularitet sier noe om togene går i det hele tatt, mens punktlighet sier noe om presisjonen i toggangen.

Det finnes flere måter å måle punktlighet på. Ved å bruke gjennomsnittverdier i punktlighetsarbeid, vil en ikke få med den bredden eller den variasjonen som finnes. Dette kan være uheldig, ettersom variasjon er en viktig faktor når det gjelder forutsigbarhet. Et tog som er 0 minutter forsinket den ene dagen og 10 minutter forsinket den andre dagen, trenger sannsynligvis andre tiltak enn om togene hadde vært 5 minutter forsinket begge dagene. Det er ikke alltid at gjennomsnittet er karakteristisk for datamengden. Dette er spesielt viktig når det er stor spredning i forsinkelsene, for eksempel når forsinkelsene blir over 60 minutter, eller når en har et lite datamateriale, dvs. få registreringer. Hvis

man skal bruke gjennomsnittverdier, bør en også samtidig oppgi standardavvik (eller varians) og frekvensfordeling. Varians og standardavvik er to måter å vise spredningen på i et tallmateriale.

Prosentverdier kan gi gode indikatorer, da de ikke avhenger av hvor mange tog som trafikkerer en strekning. Samtidig forteller ikke gjennomsnittet om det er snakk om noen få, store eller mange, små forsinkelser på strekningen. I mange tilfeller vil ikke det å kjenne gjennomsnittet av forsinkelser være nyttig uten at en også vet hvor stor mengde tog som påvirkes. Hvis en skal måle om tog er forsinket, og punktligheten er på 85 %, er det viktig å vite om mengden tog er 3 eller 30 tog – både fordi konsekvensene er større når det er snakk om flere tog, og fordi tallgrunnlaget da er bedre.

Offisiell norsk punktlighetsstatistikk er basert på «andel tog i rute til endestasjon». Tog i rute defineres som ankommet endestasjon innen 3 minutter og 59 sekunder eller 5 minutter og 59 sekunder etter oppsatt rutetid, avhengig av togprodukt. Tidsangivelsene gir et overordnet mål på punktlighet. For bruk i operativt forbedringsarbeid er det imidlertid ofte hensiktsmessig å bruke punktlighetsdata med høyere oppløsning, både i tid og sted. Dette blant annet fordi:

- Andel tog i rute til endestasjon varierer ofte sterkt og er vanskelig å forklare.
- Gjennomføring av mindre og større punktlighetsforbedrende tiltak gir ikke nødvendigvis statistisk signifikant utslag i andel tog i rute til endestasjon. Det trengs andre og mer presise mål for å dokumentere effekt av gjennomførte tiltak.
- Andel tog i rute til endestasjon gir kun et overordnet og unøyaktig bilde av presisjon i trafikkavviklingen, og gir et svakt grunnlag for å peke på konkrete behov for forbedringer.
- Andel tog i rute til endestasjon sier lite om hvilke effekter et tog har hatt på annen togtrafikk.
- Det er en risiko for at tog ikke oppfattes som forsinket før de er 4 eller 6 minutter etter rute og at dette åpner for atferd som skaper forsinkelser.
- Punktlighet til endestasjon beskriver ikke opplevd kvalitet for de passasjerer som har gått på og av toget mellom utgangs- og endestasjon.

Ved å omregne forsinkelsene til en kroneverdi, kan man synliggjøre kostnader i forbindelse med forsinkelser, og hvor mye ressurser som bør brukes for å bedre punktligheten. Slik beregning kan også være en god metode for å lage prioriteringsrekkefølge for ulike punktlighetsprosjekt ettersom en kan velge å sette inn tiltak for å forbedre punktligheten der en vil ha mest igjen for det. Monetære verdier er dessuten erfaringsvis lett å kommunisere til publikum og media. Bruk av ressurser på punktlighetsforbedringer kan lettere rettferdiggjøres når en har en konkret kroneverdi å forholde seg til.

I Norge er det to hovedtyper av punktlighetsdata: tidsdata og årsaksdata. Dersom forsinkelsen øker med 4 minutter eller mer mellom to målepunkt, skal forsinkelsen registreres på en årsakskode. Registreringen gjøres av togleder eller TXP (togekspeditor). Det skal registreres en kode og gjerne en forklarende tekst i TIOS. Årsaksregistreringen er grunnlag for beregning av forsinkelsestimer og oppetid. Årsaksregistreringen legger grunnlaget for fordeling av forsinkelser mellom aktørene i jernbanen.

Det er åpenbart at man bør justere bruken av virkemidler for å redusere forsinkelser av forskjellige årsaker. For å kunne gjøre en slik avpassing av innsatsen etter årsak er det behov for å bestemme årsaken til de individuelle forsinkelsene. Dette ivaretas i TIOS-systemet.

Avviksregistreringen skjer underveis, slik at et tog kan få registrert flere merforsinkelser. Det innebærer at et tog kan generere forsinkelsesminutter selv om det ankommer endestasjonen i rute, dersom det har vært forsinket et eller flere steder på veien.

Det er 16 årsakskoder i TIOS, fordelt på infrastruktur trafikkavvikling togselskaper og utenforliggende forhold, som vist i tabell 2.

Infrastruktur	Trafikkavvikling	Togselskaper	Utenforliggende forhold
1. Bane 2. Sikringsanlegg, signalanlegg og fjernstyring 3. Elkraft/kontaktledningsanlegg 4. Tele 5. Planlagt vedlikeholdsarbeid 6. Materiell med feil sperrer spor	7. Trafikkavvikling	81. Feil på materiell 82. Materiell sent satt opp i togspor 83. Manglende personell 84. Stasjonsopphold 85. Planforutsetninger ikke oppfylt	91. Forsinkelse fra utlandet 92. Ytre forhold (eks. vær) 93. Uhell, påkjørsel 94. Uønsket hendelse

Tabell 2. Det er 16 årsakskoder i TIOS, fordelt på Infrastruktur (kode 1–6), Trafikkavvikling (kode 7), Togselskapene (kode 81–85) og Utenforliggende forhold (kode 91–94).

Kodesystemet som benyttes i TIOS, er grovt beskrevet et 3-delt hierarki mellom årsaksopprinnelse hos infrastruktureier (1–6), togselskaper (81–85) og utenforliggende forhold (91–94). I tillegg har man en kode for trafikkavvikling (7), som litt forenklet ofte er en konsekvens av en kombinasjon av andre forhold, mer enn en rotårsak i seg selv. Slike kodesystemer finnes hos de aller fleste infrastruktureiere i forskjellige land, men varierer i detaljeringsgrad mellom de ulike landene.

Tidsregistreringen har de seneste årene hatt forholdsvis god kvalitet, men det er knyttet større usikkerhet til årsakskodene. Det jobbes kontinuerlig med å forbedre registreringen av årsaker, noe som er viktig, ettersom disse brukes til å beregne forsinkelsestimer og oppetid. Jernbaneverket formidler antallet forsinkelsestimer og oppetiden til samferdselsdepartementet. Det er også fra tid til annen diskusjon om ulike typer av bonus- og malusordninger knyttet til punktlighet, og hvorvidt slike ordninger skal ta utgangspunkt i årsaksregistreringer.

I Norge er det først og fremst fire parametere som Jernbaneverket benytter som mål på hvordan nettverket yter. De er henholdsvis punktlighet, forsinkelsestimer, regularitet og oppetid. Jernbaneverket forholder seg til et oppetidskrav satt av samferdselsdepartementet. Oppetiden beregnes basert på forholdet mellom planlagte togtimer og forsinkelsestimer registrert på kode 1–6 og 92 i TIOS.

Jernbaneverket (2015) definerer oppetid som:

$$\text{Oppetid} = \frac{\text{totale togtimer} - (\text{forsinkelsestimer JBV} + \text{ytre forhold})}{\text{totale togtimer}}$$

JBV i ligningen angir Jernbaneverket. Merk at beregningen av oppetid er basert på forsinkelser forårsaket av infrastrukturen (representert med «forsinkelsestimer JBV» i ligningen). Oppetiden angir hvor stor andel av togtimene som er fastsatt i ruteplanen som blir overholdt. Dersom det er mange forsinkelser grunnet infrastrukturen, blir oppetiden lav, og motsatt.

Jernbaneloverket har i de senere årene også innført registrering av hendelser i en egen database («Hendelseslogg»). Innføringen startet 2010 og har til dels erstattet funksjonaliteten som eksisterte i Banemeldingssentralen. Her tilordnes hendelser i infrastrukturen (som for eksempel strømutfall, skinnnebrudd osv.) et unikt identifikasjonsnummer og en beskrivelse. Identifikasjonsnumrene kan også benyttes i TIOS ved årsaksregistrering av forsinkelser, slik at tidsmålinger med forsinkelse kan spores tilbake til en spesifikk hendelse. Registreringen gjøres av togleder/TXP.

Det er en del som setter spørsmålsteget ved nøyaktigheten av årsaksregistreringer og hva slags typer analyser de bør og kan benyttes til. Disse argumentene knytter seg primært til to forhold:

- 1) I hovedsak kategoriseres forsinkelser inn i årsaker av togleder slik at det nødvendigvis er en viss avstand både i tid og sted mellom en hendelse som forårsaker en forsinkelse, og den aktuelle toglederen som skal kategorisere en forsinkelse. Videre kan det på travle togledersentraler i perioder med større avvik være arbeidskrevende å kategorisere forsinkelsene fortløpende, og man kan derfor ende opp med å måtte etterregistrere tider i etterkant – med økt sjans for at man feilkategoriserer.
- 2) Valg og design av antall kategorier, og innhold i kategoriene, gir fordeler og ulemper. For å holde systemet på et håndterbart antall kategorier må hovedkategoriene innta en form av en slags «sekkeposter». Sekkeposter betyr at det vil være litt forskjellige typer hendelser innenfor hver kategori. I et perfekt system skulle man helst ha kategorier uten noe overlapp, men det er i virkeligheten tilnærmet umulig å designe.

Rent praktisk må registreringene til syvende og sist kodes ut fra hva den som registrerer oppfatter å være årsaken og vedkommendes forståelse av årsakskodesystemet. Tabell 2 gir oversikt over årsakskodene. I vedlegget om datagrunnlag utdypes denne beskrivelsen, og det er også eksempler på hendelser innenfor de forskjellige årsakskodene. En vil se at det kan være hendelser som grenser mellom ulike typer årsaker og hendelser, hvor det opplevde symptomet ikke nødvendigvis gjør det åpenbart hva som er rotårsaken. Det vil derfor bli noe variasjon i innholdet i kategoriseringen i TIOS. Summen av slike spørsmål er opphavet til hvorfor noen oppfatter dette som «symptomregistreringer» mer enn årsaksregistreringer. Der det er tilordnet en hendelsesidentitet ved en registrering i TIOS. Det har vært nedlagt betydelige mengder ressurser i å knytte disse to systemene godt sammen, slik at man kan gå dypere bak hver enkelt forsinkelse hvis man skulle være interessert i det.

Selv med rikere og større fangst av objektive måledata (som for eksempel tidsregistreringer) enn tidligere – så er det fortsatt behov for et system som gir en grov kategorisering av årsaker. Uten en slik nedbryting vil man vanskelig kunne skille ut hva som er forsinkelsestimer som skal telles med i oppetidsberegningen. Ikke alle årsaker lar seg nødvendigvis styre, mens andre årsaker kan ha rotårsak i forhold som man kan styre.

3.4 DATAKILDER

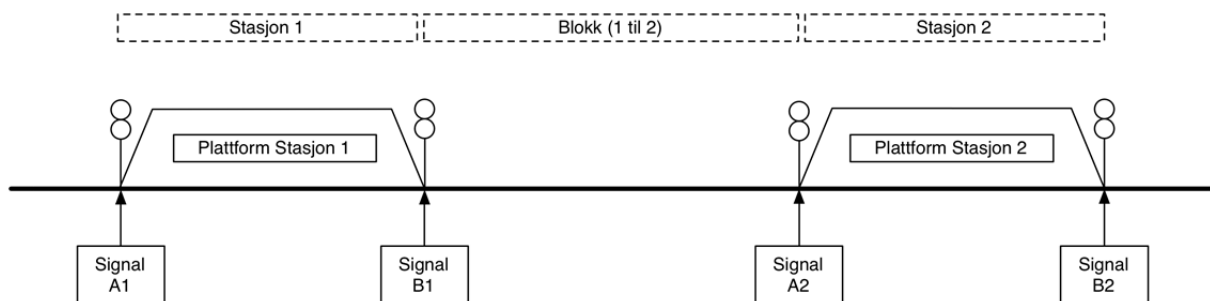
Norske jernbaneorganisasjoner har i løpet av 2000-tallet bygd opp betydelig kapasitet for automatisk datafangst fra jernbanedrift. Det er plassert ut sensorer som fanger data automatisk både i infrastrukturen og om bord på togene. Nyere utvikling innen IKT åpner spennende muligheter for bruk av jernbanens store datamengder.

Eksempler på data som registreres automatisk, inkluderer tidspunkt for passering av hovedsignal for innkjør og utkjør på stasjoner, GPS-data, tidspunkt for åpning og lukking av dører, strømforbruk og passasjertelling. I tillegg dokumenteres en rekke forhold manuelt. Forsinkelser som overstiger gitte grenser, tilegnes årsaker, feil i infrastruktur registreres i BaneData, og en rekke forhold med konsekvens for drift registreres i en hendelseslogg.

Registrering av punktlighetsdata består i å knytte togets tognummer til det tidspunktet toget passerer et kjent punkt i infrastrukturen (som oftest en stasjon). Datafangsten består i at tidspunktet for avgang blir registrert ved togets passering av utkjørsignalet til utgangsstasjonen, som vist i Figur 8. Denne tidsregistreringen sammenlignes med planlagt avgangstidspunkt i ruteplanen. Tilsvarende datafangst skjer også ved innkjørsignalene (signal A1 og A2 i Figur 8). Disse registreringene danner grunnlag for punktlighetsrapportering.

I Jernbaneverket registreres punktlighetsdata i dag på to forskjellige måter. På strekninger med etablert fjernstyring av togtrafikken fanges disse dataene automatisk, på andre strekninger registreres punktlighet manuelt. Alle tidsmålinger som blir gjort av togbevegelsene blir sammenlignet med ruteplanen for å avgjøre om toget er punktlig. Dersom tidsmålingene for punktlighet overstiger 4 minutters avvik fra ruteplan, eller toget har økt forsinkelsen med ytterligere 4 minutter siden forrige punktlighetsregistrering, ligger det krav om at det skal knyttes en årsak til forsinkelsen.

Der hvor det er automatisk registrering av punktlighetsdata (der det er sentralisert trafikkstyring/CTC) er det primært passeringsdata fra sporfelt som brukes. I all hovedsak er dette hovedinnkjør/-utkjør på stasjoner, samt noen utvalgte blokkposter. Selv om TIOS i hovedsak viser punktlighet på minuttnivå, så lagres sekundoppløsning i den underliggende databasen der det er tilgjengelig.



Figur 8. Målepunkter på linjen og stasjoner

Rent skjematisk registreres data i TIOS basert på utløsning/frigivning av sporfelt. Hvis man antar at et tog i Figur 8 over reiser fra venstre mot høyre (fra Stasjon 1 mot Stasjon 2), så vil det registreres ankomst (ATA_TID) når toget passerer sporfeltet tilknyttet Signal A1 («hovedinnkjør»), og avgang (ATD_TID) for Stasjon A når sporfeltet tilknyttet signal B1 («hovedutkjør») belegges. Tilsvarende vil det registreres ankomst på stasjon 2 ved signal A2 og avgang ved signal B2. Gitt at en følger samme tog, så vil derfor «stasjonsopphold»³ for stasjon 1 kunne regnes ut som $Avgang_1 - Ankomst_1$. Tilsvarende kan man regne ut kjøretiden for blokken mellom stasjonene hvis en tar $Ankomst_2 - Avgang_1$.

³ Her skriver vi «stasjonsopphold» fordi det avviker noe fra hva man vanligvis omtaler som stasjonsopphold. Vanligvis inkluderer begrepet også kjøring fra signal til plattform og fra plattform til signal, altså noe tid både før og etter at dørene er åpnet og lukket – eller godstoget har forlatt rampe/plattform.

Til disse tidspunktene hefter det noen måletekniske utfordringer, blant annet ved at inn- og utkjørsignalene (og tilhørende sporfelt) ikke står ved plattform. Ved noen stasjoner kan det dermed være en viss distanse fra toget settes i fart til man belegger tilhørende sporfeltet. Ettersom det måles likt for alle tog, så er det ikke noe galt i selve målingene (og de er sammenlignbare på tvers av tog), men man må ha i bakhodet at de ikke nødvendigvis viser togtrafikken nøyaktig slik den blir oppfattet av passasjerer eller godskunder.

Ruteplan lagres i TIOS slik at det kun eksisterer planlagte tidspunkter for ankomst i de tilfellene hvor det er planlagt stopp (utveksling av passasjer/gods eller rutemessig kryssing eller opphold). I tillegg kommer det systematiske avviket i at ruteplanen ikke legges ut ifra signalene, men fra plattformene – slik at et passasjertog som forlater plattform med «avgang på sekundet» nødvendigvis må passere utkjørssignalet «etter» rutetiden.

Medgått kjøretid for strekningen mellom to stasjoner bestemmes ved at tidsmålingen ved ankomststasjonen (innkjørmåling) trekkes fra tidsmåling ved avgang fra avgangsstasjonen (utkjørmåling). Disse tidsmålingene vil være egnet som et grunnlag for nyansering av punktlighetsrapporteringen og å avdekke hvor det er forbedringspotensialer.

De fleste norske tog har per i dag minst et GPS-system om bord. Systemene logger informasjon som GPS-koordinater, fart og høyde over havet. Tid mellom hver gang informasjonen logges og mellom hver gang systemet sender data til sentrale servere, kan justeres. Når tiden mellom hver logging er tilstrekkelig lav, kan GPS-systemene gi svært detaljert informasjon om togenes framføring, slik som hvor de vinner og taper tid i forhold til ruteplan, og variasjon i fart sett i forhold til sammenlignbare tog. GPS-data gir med andre ord mange nye muligheter for punktlighetsrelaterte målinger og operativ punktlighetsoppfølging.

Punktlighetsoppfølging utføres med ulike type data. I mange bransjer har det skjedd en rivende utvikling innenfor generering og tilgang på store datamengder. Arbeidet med dataene, og utnyttelsen av dem, har fått et eget begrep oppkalt etter seg; Big data, eller stordata på norsk. Datamengdene som nå er tilgjengelige for punktlighetsarbeid, er et godt eksempel på stordata.

Stordata er datasett som er så store at de ikke er egnet til å verken bli innhentet, lagret, prosessert eller analysert ved hjelp av tradisjonelle databaseverktøy. Tradisjonelle kjennetegn er volum, hastighet, variasjon og aktualitet. Bruk av stordata handler om å hente ut innsikt for å kunne ta kunnskapsbaserte avgjørelser. Det store fortrinnet er muligheten til å koble utallige datakilder for å se nye sammenhenger, mønstre, effekter mv. Det er mulig å «oppdage ting man ikke visste man lette etter». Man kan prosessere nye typer data og utnytte ustrukturert informasjon.

Det har vært en rask utvikling innenfor området stordata de senere årene. Følgende viktige utviklingstrekk er verdt å merke seg:

- Større mengder data, inkludert data fra internett og utviklingen av sensor- og sporings-teknologi
- Økt tilgjengelighet
- Økt press for å gjøre data mer tilgjengelig
- Tilgang til lagrings- og analysekapasitet gjennom nye løsninger for systemarkitektur og skytjenester med stor og skalerbar kapasitet til en lav kostnad.
- Tilgang til IT-plattformer for å sette data inn i en sammenheng, eksempelvis digitale kartverk (GIS) for presentasjon av posisjonsdata, eller bygningsinformasjonsmodeller (BIM)

Stordata kan deles inn i følgende kategorier etter måten de samles inn/genereres på:

- Internettaktivitet, inkludert aktivitet på sosiale medier og data fra søkemotorer (cookies, tekst, klikk)
- Bevegelsesrelaterte data, inkludert GPS, mobiltrafikk og lokalisering, bomstasjoner, RFID-brikker på gods
- Data om fysiske omgivelser
- Kommersiell aktivitet og bruk av betalingstjenester

Stordata åpner mange muligheter for analyser av transport. De mest åpenbare mulighetene ligger i å måle trafikkstrømmer på nye og utvidede måter. Det mest spennende er mulighetene til å kunne se på transportmønstre, og ikke bare måle trafikkvolum ved de punktene der det finnes en telling. Man kan bruke ulike former for trafikkmålinger i kombinasjon for å kvalitetssikre de ulike datakildene. Man kan også søke forklaringsfaktorer ved å kombinere trafikkdata med eksempelvis værdata.

En interessant form for måling er reisetid. Det kan være reise fra hjemmet til arbeid. Man kan måle endring i reisetid fra hjem til arbeid (og omvendt) før og etter en større investering (nytt dobbeltspor etc.) for en større befolkningsgruppe. Dette åpner for å måle punktlighet ikke bare for et transportslag, som jernbanen, men for hele reiser.

Tabell 3 er en illustrasjon av indikatorer, kilder og barrierer som kan brukes i oppfølging av punktlighet og mulige forklaringsfaktorer for punktlighet (Bull-Berg og Olsson, 2013).

Luktvaslimo (2005) foreslår følgende dimensjoner for å måle datakvalitet: antall observasjoner, oppløsning, nøyaktighet, fullstendighet, ensartethet, tidsriktighet, tolkbarhet, og tilgjengelighet. Det finnes matematiske metoder for å vurdere nøyaktighet, fullstendighet, ensartethet, og tidsriktighet, men forhold som tolkbarhet og tilgjengelighet, må vurderes av de som bruker og arbeider med dataene.

Kategori	Effekt	Indikator	Eksempel på kilde	Tilgjengelighet	Anvendbarhet og relevans	Personvern og eiendomsrett
Internett-aktivitet	(opplevd) tid	Omtale av baner	Internett, sosiale medier	God	Input til omdømmevurdering	Basert på aktuelle websider og apper
	Aktivitet på toget	Type bruk av internett på toget	Websider som oppsøkes fra lokalt nett	Kan logges	Type internett-aktivitet	Får ikke linkes til den enheten (PC, telefon etc)
Bevegelser	Tid	Punktlighet, faktisk reisetid	TIOS, data fra signalsystemene	God	Måler på blokkstrekning	Ikke personopplysning
	Tid	Punktlighet, faktisk reisetid	GPS	Krever at data lagres	Kan ha høy oppløsning	Ikke personopplysning
	Tid	Stasjonsopphold	Hastighetslogg, dørstenging	Ikke tradisjon for å levere ut	Måler stasjonsopphold.	Ikke personopplysning
	Volum	Antall reisende	Passasjer-tellingssystem	Ikke tradisjon for å levere ut	Måler på- og avstigende reisende	Ikke personopplysning
Fysiske omgivelser	Tid	Vær, temperatur, snøfall	Etablerte værdata	God	Forklaringsfaktor	Ikke personopplysning
	Tid	Signalstilling til enhver tid	Signalanlegg	Ikke tradisjon for å levere ut	Kompletterer data om togbevegelser	Ikke personopplysning isolert
	Tid	Tilstand infrastruktur	Logging fra sensorer i infrastrukturen	Ikke tradisjon for å lagre eller levere ut	Gir ny informasjon	Ikke personopplysning
	Tid	Tidsbesparelser	Mobiltelefondata	Krever at data gjøres tilgjengelig.	Kan vise hele reiser	Aggregerte og/eller anonymiserte data.
Kommersiell aktivitet	Volum	Billettsalg	Billettsalg	Bedriftsintern informasjon	Viser fremst omsetning	Må aggregeres
Interne registre/data	Tid	Feil som påvirker trafikken	Banedata, system med oversikt over infrastrukturen	Intern info hos infrastrukturforvalter	Viser kvalitet i tekniske løsninger	Ikke personopplysning
	Driftskostnad	Kostnad for drift- og vedlikehold	Regnskapssystem	Intern info hos infrastrukturforvalter	Viser kostnadsnivå,	Ikke personopplysning
	Tilstand infrastruktur	Antall feil	Banedata, system med oversikt over infrastrukturen	Intern info hos infrastrukturforvalter	Viser registrerte og utbedrede feil	Ikke personopplysning

Tabell 3. Illustrasjon av mulige indikatorer, datakilder og bruk av nye typer data til oppfølging av punktlighet

Oppløsningen antyder hvor omfattende dataene er. I punktlighetssammenheng kan oppløsning innebære frekvensen av målinger. Et eksempel er hvor hyppig en GPS registrerer posisjonen til et

tog. Nøyaktigheten i datamaterialet gjenspeiler i hvor høy grad man er nødt til å korrigere verdier som er feilregistreringer. Fullstendigheten gjenspeiler da avviket mellom det faktiske antallet observasjoner og det antallet observasjoner som man ideelt sett skulle ha. Ved enhver måling vil man oppleve at verdier ikke blir registrert på grunn av feil i registrering, måleutstyr etc. Ensartetheten i datamaterialet beskriver om dataene gjennomgående har samme format. Tidsriktighet har to deler. Den første er relatert til om data er relevante for den tidsrammen man ønsker å undersøke. Den andre berører om alle målinger er gjort i løpet av den samme tidsperioden.

Tolkbarheten til datamaterialet sier noe om dataene er egnet til sitt bruksområde og om de har et forståelig format. Tilgjengeligheten dreier seg om hvor tilgjengelige dataene er, både teknisk og praktisk.

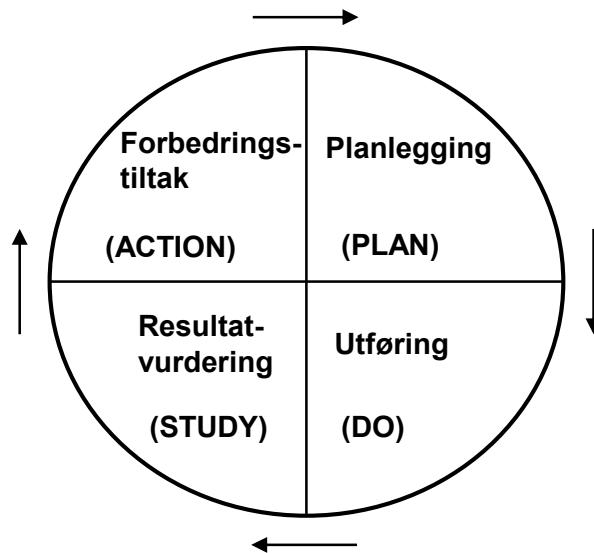
3.5 KVALITETSLEDELSE OG PUNKTLIGHET

Total kvalitetsledelse (TKL, Total Quality Management eller TQM på engelsk) har vært et begrep i flere tiår. Det oppfattes kanskje som litt gammelt nytt, men hovedideene er fortsatt aktuelle, og blir til stadig gjenbrukt i nye ledelsestrender, som 6-sigma og lean. Hovedideene inkluderer (se blant annet Aune, 2000):

- kunden i sentrum
- kontinuerlig forbedring av de prosessene som brukes i framstillingen av produkter og tjenester
- forpliktelse til stadig kvalitetsforbedring og innovasjon
- kunnskap framskaffet ved hjelp av vitenskapelige metoder
- medvirkning av alle; fra toppledelsen og ned til den enkelte ansatt

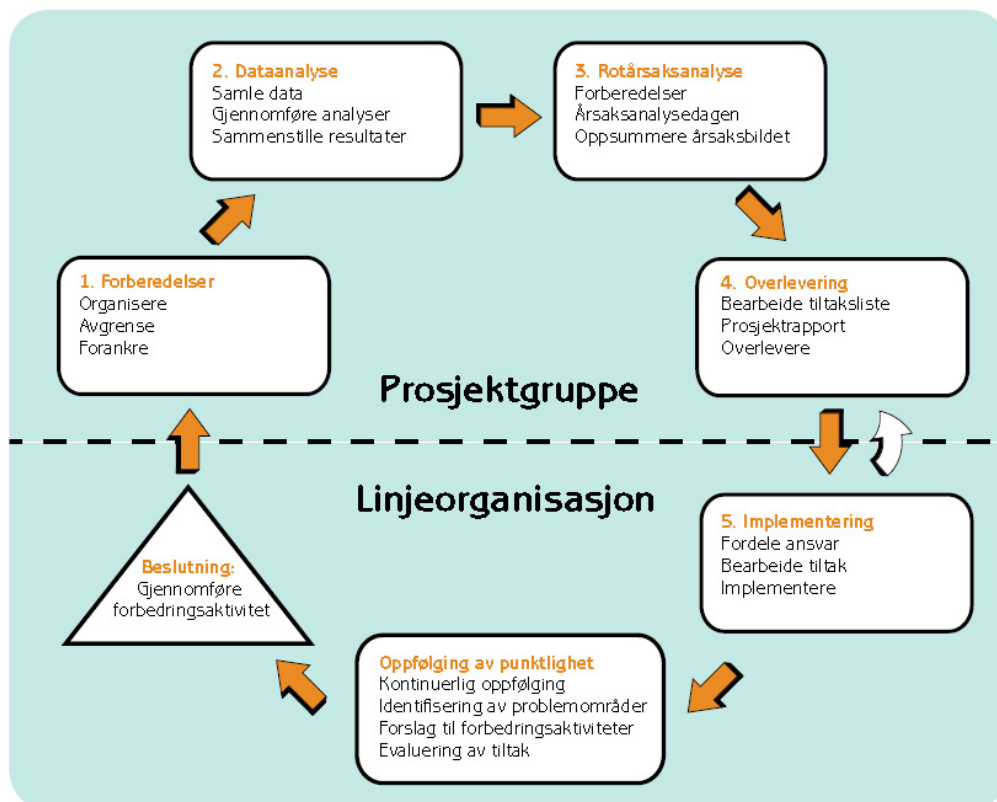
Kvalitetsledelse tar utgangspunkt i at man ønsker kontinuerlig forbedring. Man har kundens opplevelse i sentrum og man bruker fakta som basis for planlegging og iverksetting av tiltak. I tillegg ser man i kvalitetsledelse variasjon som uønsket. Forbedringsarbeid tar utgangspunkt i Demingsirkelen med trinnene planlegge, utføre, vurdere og forbedre.

Forbedringsprosessen starter med å planlegge hvor man vil gå. Gjennomfør så det som er planlagt. Sørg for å få med alle. Neste trinn er å sjekke hvordan ting utvikler seg. Man følger opp kvalitetsytelsen. Det kan bli nødvendig å foreta korrigeringer på basis av det man har lært. Forslag til endringer må tas til følge eller forkastes. Det som bestemmer hva man gjør, er resultatene fra foregående trinn (Aune, 2000). Deretter starter man en ny syklus med å legge nye planer. Denne syklusen skal ikke ta slutt, fordi man ønsker kontinuerlig forbedring.



Figur 9. Demingsirkelen som viser tanken bak kontinuerlig forbedring

I jernbanen bruker man PIMS-metodikken, som er en tilpasning av Demingsirkelen. PIMS er tilpasset jernbaneforetakenes organisering og de tilgjengelige datakildene som beskriver punktligheten.



Figur 10. PIMS-metoden (Veiseth, Olsson, Stokland, 2011)

Kvalitetsledelse ses gjerne som en nedenfra og opp-tilnærming. Det er viktig å få med alle ansatte og å utnytte kunnskapen til de som er nærmest den daglige driften. Fokus ligger ofte på mange mindre tiltak, som sammen kan gi et stort bidrag. Større tiltak, som å planlegge en ny Oslo-tunell, kan også utføres basert på kvalitetsledelse, men krever i tillegg en del andre tilnærminger og analyser. Slike strategiske prosesser er ofte betydelig mer ledelsesstyrte.

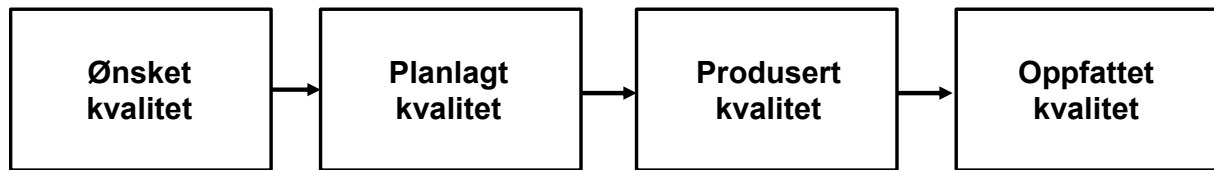
Det finnes et antall analyseverktøy som er vanlig innenfor kvalitetsledelse. De syv kanskje mest sentrale standardverktøy er trenddiagram, kontrolldiagram, histogram, spredningsdiagram, pareto-diagram, fiskebeinsdiagram og flytskjema. Alle disse diagrammene kan tilpasses jernbanen og er aktuelle i punktlighetsanalyser. Vi kommer til å vise eksempler på bruk av flere av dem til punktlighetsanalyser.

Et sentralt spørsmål er: Hva er kvalitet i transport? Metz (2005) definerer reisekvalitet som en funksjon av komfort, forutsigbarhet, sikkerhet (safety) og trygghet (security). Ordet kvalitet brukes i dag i svært mange sammenhenger. Ordet kommer opprinnelig av det latinske qualis som oversatt betyr «hvordan sammensatt» i betydning «som objektet virkelig er». I NS-ISO 8402 defineres kvalitet slik: «Kvalitet er helheten av egenskaper en enhet har og som vedrører dens evne til å tilfredsstille uttalte eller underforståtte behov.» En enhet i definisjonen kan blant annet være et produkt, en prosess, en organisasjon, en person eller en kombinasjon av disse. Bade egenskaper og behov kan endre seg over tid. Bedømmelsen av kvaliteten til enheten må derfor refereres til et bestemt tidspunkt. Kvaliteten av en vare eller gjenstand skal være noe som finnes i den, egenskaper som er spesiell akkurat for denne gjenstanden. Ordet «kvalitet» har tre betydninger (Aune, 2000):

1. **Produkt- og/eller brukerbasert.** Kvaliteten beskrives av produktegenskaper, som underforstått tilfredsstiller brukerens behov. Denne betydningen av begrepet refererer til egenskapene i produktet i forhold til brukerens behov, krav og forventninger. Kvalitet er noe ved produktet. Denne kvaliteten kan måles og bedømmes slik at mer eller mindre er bedre. Uansett er det som regel kunden som til syvende og sist avgjør hvor «god» kvaliteten er.
2. **Produksjonsbasert.** Kvalitet vil si fravær av feil. Produktet er i overensstemmelse med gitte spesifikasjoner/krav. Uansett hvilken egenskap et produkt er planlagt å skulle ha, vil det ikke bli bedømt som et kvalitetsprodukt hvis det ikke virker som forutsatt. Kjøper vi en eske med frukt, og finner noen av de råtne vil vi ikke karakterisere disse som god kvalitet selv om de uskadde fruktene er gode.
3. **Følelsesbasert.** Kvalitet innebærer noe ettertraktelsesverdig og udefinert, som man imidlertid kjenner igjen når man ser det. Gjerne noe luksuriøst, noe som koster mye. Dette er trolig den mest vanlige menneskelige oppfatning av kvalitet.

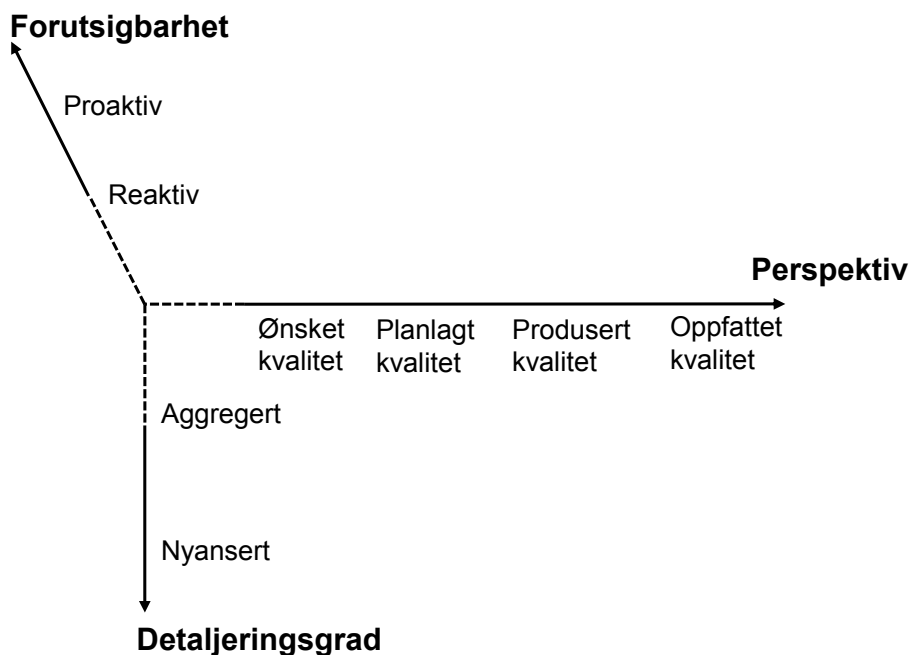
Punktlighet består av flere dimensjoner, som vist i Figur 11; Ønsket punktlighet, planlagt punktlighet, produsert punktlighet og oppfattet punktlighet, basert på (Bustindy, 1995; Fagerhaug og Olsson, 2005). Ønsket punktlighet er det punktlighetsnivået som kundene i jernbanesektoren krever, myndighetene legger til grunn som mål og det jernbanesektoren ønsker å tilby, eksempelvis mål om 90 % i rute til endestasjon. Det er ikke alltid samsvar mellom krav og forventninger til punktlighet og hvordan de ulike aktørene planlegger sin produksjon (planlagt punktlighet). Produsert punktlighet avhenger av hvor godt planene til aktørene tar hensyn til punktlighet, og hvor gode de enkelte aktørene er til å gjennomføre produksjon for jernbanetransport i henhold til planene. Opplevd punktlighet ses fra et kundeperspektiv, og kan avvike fra den produserte punktligheten som registreres. Spriket mellom opplevd og produsert punktlighet kan blant annet forklares med at Jernbaneverket og togselskapene måler punktligheten over hele tidsperioder (uker og måneder) og sammenstiller disse for alle togene i et togprodukt, mens faste kunder (eksempelvis pendlere) er opptatt av punktligheten til bestemte tog, og til andre stasjoner enn kun endestasjon. I tillegg påvirkes publikum av hvordan jernbanen blir omtalt i media. De fire kvalitetsaspektene kan oppfattes ulikt. Punktlighetsoppfølging i jernbanen bør dekke alle de omtalte områdene. Derved kan man avdekke eventuelle gap mellom de fire aspektene. Det er typisk den produserte punktligheten som

måles og følges opp. Planlagt punktlighet kan vurderes ved eksempelvis simuleringer av en planlagt rutetabell.



Figur 11. Fire aspekter av punktlighet i jernbanedrift

Figur 12 viser at de fire perspektivene kan analyseres på et aggregert eller detaljert nivå. På aggregert nivå følger man eksempelvis opp punktlighet sett over en lengre tidsperiode, som en måned eller et år, eller for en gruppe tog, som et togprodukt eller en strekning. Analysene kan også være proaktive eller reaktive. Reaktive analyser finner ut hva som har gått galt, eller bra. Proaktive analyser søker å finne forhold som kan komme til å påvirke punktligheten, som vær, en ny ruteendring, nytt togmateriell eller ny infrastruktur.



Figur 12. Perspektiver på prestasjonsmåling i jernbane

Aune (2000) mener at prestasjonsmåling er å kontrollere prosesser og utføre måling av prosessenes godhet. Dette omfatter målinger av effektivitet, produktivitet og kvalitet. Aune mener at hensikten med prestasjonsmålingene er å styre prestasjonene, ikke passiv registrering. Det er ikke noe poeng i å måle for å måle, men dataene som er samlet inn skal brukes for å bedre prestasjonene. Det er vanlig å si at «Man kan ikke styre det man ikke kan måle» (Sink og Tuttle, 1989; Kaplan og Norton, 1996).

Aune (2000) deler inn prestasjonsmålinger i to målestørrelser: kontrollstørrelser og styrestørrelser. Kontrollstørrelser er kvantitative verdier basert på virkningene eller resultatet av en prosess.

Styrestørrelser er prosessparametere som direkte eller indirekte påvirker utfallet av en eller flere kontrollstørrelser. Forsinkelser er en kontrollstørrelse i Aunes terminologi. De indirekte påvirkningsfaktorene er styrestørrelser.

Det er viktig å ha riktige måleparametere hvis en skal styre en organisasjon i ønsket retning. Prestasjonsmåling er en viktig del av organisasjoners metoder for å utvikle seg. Prestasjonsmål kan hjelpe bedriften å identifisere prosesser eller områder som har behov for forbedring, få et inntrykk av egen utvikling over tid, å sammenligne eget prestasjonsnivå med andres og til sist å måle om forbedringstiltak man iverksetter gir resultater. Prestasjonsmåling er ikke bare spørsmål om oppfølging og analyse. Prestasjonsmåling kan også aktivt bidra til endring. Måling påvirker oppførsel. At det iverksettes måling fører ofte til at oppførselen til mennesker endres for å etterkomme målingene. Som en oppsummering kan vi konstatere at:

- Måling påvirker atferd
- Man kan ikke styre det man ikke kan måle

Ulike former for prestasjonsmåling har eksistert i jernbanen siden lenge før det moderne begrepet prestasjonsmåling ble etablert. Innen jernbanedrift var det veletablert å lage ulike former for statistikk i etterkigstiden (Samuel, 1961). Milan (1996) sier de følgende punktene er de viktigste kvalitetsegenskapene for transporttjenester:

- Total reisetid mellom startpunkt og endepunkt
- Gjennomsnittlig hastighet
- Frekvensen (antall tog planlagt på ruta innenfor en tidsperiode)
- Tilgjengelighet (transporttjenestene er lett tilgjengelig i tid og rom)
- Pålitelighet, inkludert regularitet og punktlighet (trekkes fram som de viktigste kvalitetsegenskapene)

I mange sammenhenger gjør man et skille på oppfølging av om man gjør de rette tingene, eller om man gjør tingene rett. Dette kan også omtales som henholdsvis ekstern og intern effektivitet. Ekstern effektivitet (på engelsk «effectiveness») innebærer å gjøre de rette tingene på de rette tidspunktene, med rett kvalitet. Intern effektivitet (på engelsk «efficiency») vil si noe om hvor effektiv produksjonsprosessen er.

Hva kjennetegner så gode målingssystemer? Gode indikatorer har mange ulike kjennetegn. Gode prestasjonsmålesystemer bør inkludere indikatorer med følgende karakteristika (utdypes i blant annet Hronec, 1993; Lawlor, 1985; Skagestad, 2004):

- Økonomisk. Kostnaden med å implementere og følge opp indikatoren må være mindre enn gevinsten organisasjonen oppnår ved å ha denne indikatoren.
- Meningsfull. Indikatoren må gi mening og være nært knyttet opp mot organisasjonens målsettinger.
- Handlingsorientert. En god indikator bidrar til å fylle et informasjonsbehov. Videre bør den kunne føres videre til en gitt handling eller tiltak.
- Enkel. Målingene må være lette å utføre, og organisasjonen bør unngå en for omfattende og krevende måling.
- Forståelig. Det må være enkelt å kommunisere hva indikatoren faktisk måler. Det skal ikke være tvil om hva som måles og hvordan det måles.
- Påvirkelig. Det skal være mulig å påvirke den målte prestasjonen.
- Pålitelig. Måledata som trengs må være pålitelige og nøyaktige nok.

Prestasjonsmåling i jernbane har sine utfordringer. Produksjonsprosessen er kompleks med mange aktører og det kan diskuteres hvordan ulike kostnader skal fordeles. Geografiske faktorer og statsinngrep kan også forhindre rent kommersiell beslutningstaking (Nash og Shires, 2000). Cole og Cooper (2005) kritiserte ensidig bruk av prestasjonsmåling til oppfølging av jernbanesektoren fra myndighetsnivå. De mener blant annet at oppfølgingen av britisk jernbane er altfor ensidig fokusert på punktlighet og regularitet. De foreslår at sterk fokusering på et begrenset antall indikatorer framfor alt gjennomføres for å synliggjøre statens engasjement for kundeperspektivet i jernbanesektoren. Underliggende forhold som støtter opp om kvalitet i jernbanedrift blir derved gjemt bort. For å illustrere poenget sammenligner Cole og Cooper (2005) denne form for prestasjonsmåling med bruk av flomlys, der noen deler av en virksomhet blir sterkt opplyst, men andre blir værende i mørke.

3.6 PUNKTLIGHET I ET INTERNASJONALT PERSPEKTIV

Om punktlighet og punktlighetsmålinger

Som beskrevet tidligere brukes begrepet «punktlighet» for å beskrive andelen tog som ankommer endestasjon (endestasjonspunktlighet), eller som passerer andre fastsatte punkter i infrastrukturen i henhold til ruteplanen pluss et tidspåslag. Togene blir dermed regnet som enten «forsinket» eller «i rute». Størrelsen på tidspåslaget varierer mellom ulike togprodukter i Norge. Ulike land benytter også forskjellige tidspåslag for å avgjøre om tog er forsinket eller ikke. Tall som oppgis for andel punktlig tog til endestasjon, kan derfor ikke direkte sammenlignes mellom land uten at størrelsen på tidspåslaget tas med i betraktningen. Dermed er det utfordrende å sammenligne togframføring på tvers av land, selv innenfor Skandinavia.

Selv om tall for punktlighet ikke kan sammenlignes direkte mellom land, kan analyser av punktlighet og årsakene til punktlighetsbrister fra andre land gi nyttig innsikt i forbedringsarbeid for norsk jernbane. En lang rekke studier viser at punktlighet anses som det viktigste (eller et av de viktigste) kvalitetsmålet for jernbane fra kundenes ståsted (se eksempelvis Norheim og Ruud, 2011; Salkonen og Paavilainen, 2010; Seco og Goncalves, 2007; Andersson, 2014; Paulley mfl., 2006; Coulombel og de Palma, 2014; Monchambert og de Palma, 2014; Kroes mfl., 2005).

I måling av punktlighet inngår vanligvis ikke kansellerte tog. Kanselleringer oppsummeres i stedet i et mål for regularitet. Regularitet oppgis enten i prosent (andel oppsatte avganger som faktisk har blitt kjørt) eller som antall innstilte tog. Som for punktlighet vil definisjonen av regularitet variere mellom ulike land, avhengig av hvorvidt avganger som kanselleres i god tid før planlagt avgang inkluderes eller ikke. På strekninger med hyppige avganger vil regulariteten være mindre viktig for kundene enn på mindre trafikkerte strekninger.

Når punktlighet og regularitet ses i sammenheng, benyttes gjerne begrepet pålitelighet; hvor sannsynlig er det at avgangene både (1) kjøres og (2) er i rute. Ifølge en gjennomgang av publiserte akademiske artikler om kvalitetsfaktorer ved reiser gjennomført av Redman med flere (2013), er det påliteligheten som egentlig er mest sentralt. En studie fra Portugal underbygger dette med å vise at det er lav total pålitelighet som får reisende til å endre transportmiddel fra tog til privatbiler (Beirão og Cabral, 2007). Variasjon i reisetid kan også benyttes som mål for påliteligheten. Li, Hensher og Rose (2010) dokumenterte at reisende er villige til å betale for å redusere variasjon i reisetid.

Kundenes forventning er sentral for opplevelsen av forsinkelser. Kulturforskjeller kan forklare en del av forskjellene mellom for eksempel Japan, hvor et tog regnes som forsinket om det ankommer en

stasjon ett minutt etter ruteplanen, og Danmark som fram til 2012 benyttet 6 minutter som grense. I Europa har trenden vært i retning av mindre tidspåslag. Forskning fra Nederland viser at høy punktlighet ikke trekker reisende til å velge tog, men at det heller er lav punktlighet som fører til at reisende aktivt velger å *ikke* benytte toget. Punktlighet, eller pålitelighet kan anses som en «utilfredsstillere». Fravær av «utilfredsstilleren» gir ikke økning i antall reisende, samtidig som at frafallet i perioder med lav punktlighet er betydelig (van Hagen og Sauren, 2014). Funnene er i tråd med en eldre gjennomgang av publiserte artikler foretatt av Jevons mfl. (2005) og nyere analyser i PRESIS-prosjektet om etterspørselseffekter.

Sverige

Punktligheten angis som hvor mange prosent av togene som er ankommet til endestasjonen innen rutetid pluss et tidspåslag. For flytog og pendeltog er påslaget 2 minutter, mens påslaget er 5 minutter for regiontog og 15 minutter for godstog. Trafikverket innledet i 2013 en større satsning for å forbedre punktligheten for tog kalt «Tillsammans för tåg i tid». Arbeidet foregår i samarbeid med hele jernbanebransjen. At punktlighetsforbedring er en tidkrevende prosess som også får oppmerksomhet, vises blant annet av oppslaget i *Svenska Dagbladet* 31. mai 2015 om at forsinkelsene har økt «på trass av» fokus på bedring av punktligheten.

Danmark

Danmark har i likhet med Norge forskjellige marginer for forskjellige typer togstrekninger og produkter. DSB (den største passasjeroperatøren) hadde tidligere krav på 4:59/5:59 på fjern- og regionaltog («Fjernbanen»), og 2:29 på lokaltog («S-bane»). Fra 1. Januar 2013, etter et stort infrastrukturløft, ble kravene strammet til ned til en felles margin på 2:59, også for fjern- og regionaltogene. Endringer i operativ ruteplan som er varslet minst 48 timer i forveien, teller ikke som innstilling og innstilte tog teller ikke som forsinket.

Omstillingen ned til 3 minutter kom i høy grad i bakkant av kundereaksjoner og press fra utenfor jernbanen selv:

DSB kørte i 2012, hvor et tog først blev defineret som forsinket efter 6 minutter, med en historisk høj punktlighed på 94,3 pct. Omregnet til en forsinkelsesdefinition på 3 minutter svarer det til en punktlighed på 79,7 pct. (Transportministeriet 2015)

Argumentasjonen for justering av punktlighetsmarginene i Danmark var særlig at en punktlighetsmargin på 6 minutter var for høy i forhold til det som passasjerene forventet, samt at «resten av Europa» gikk samme vei mot strammere marginer for å møte økt etterspørsel og kapasitets-utnyttelse.

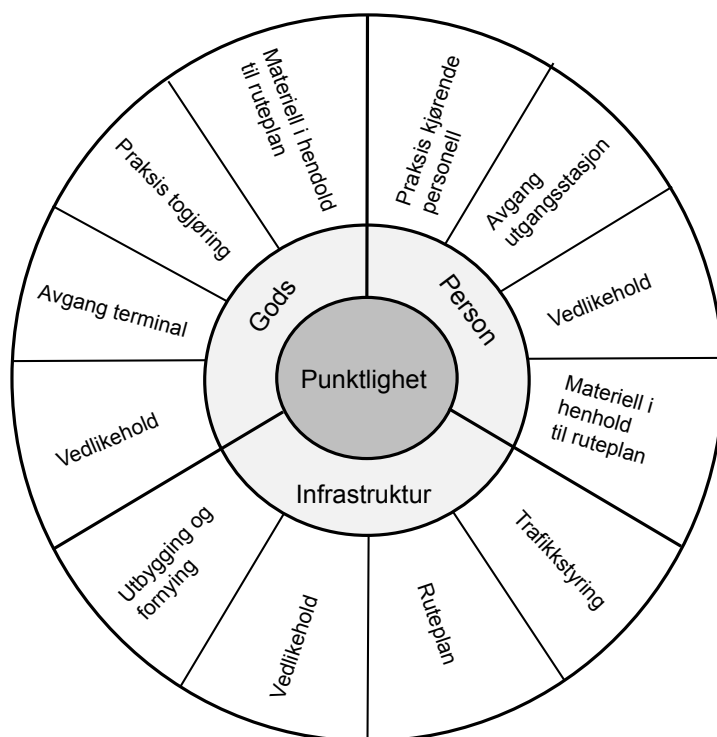
Verden for øvrig

Det brukes ulike marginer for å definere når et tog er forsinket. USA er blant de land som har høyest margin, med inntil 30 minutter for sine persontog. I en del land er det vanlig å ha 5 minutter som margin for persontog, men i noen tilfeller mindre margin for høyhastighetstog. Noen land har 30 minutters margin for godstog. I tillegg til at det finnes litt forskjellige marginer, er det også ulike definisjoner for hvor og hvordan forsinkelse skal måles. Forskjellige bonus-/malus- og

insentivordninger gjør det enda vanskeligere å sammenligne trafikk på tvers av land. Man har eksempler på hvor del-innstilte tog ikke teller med i punktlighetsstatistikken for et foretak – og det kan således være opportunt å innstille et veldig forsinket tog på nest siste stasjon for å «pynte på tallene».

3.7 AKTØRER INVOLVERT I PUNKTLIGHETSOPPFØLGING

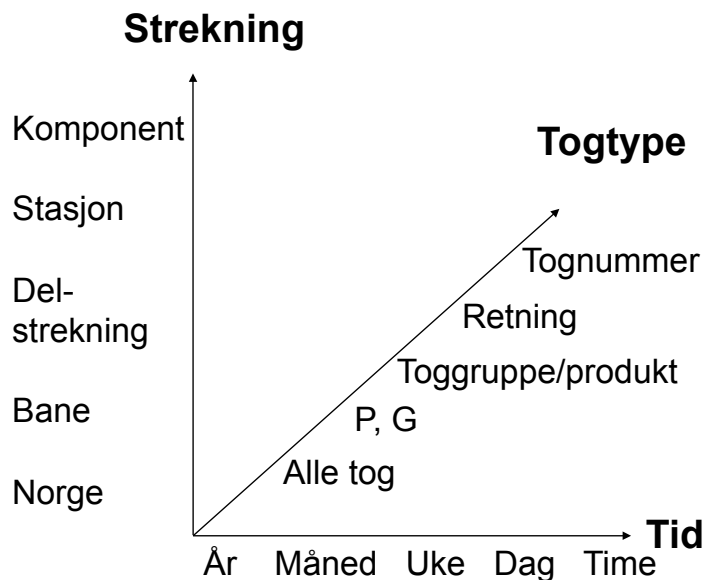
Mange er interessert i punktlighet. For å lykkes med punktlighetsarbeid er det viktig å være klar over hvilke interessenter som engasjerer seg i punktlighets spørsmål. Samferdselsdepartementet setter krav til punktlighet i sitt tildelingsbrev, punktlighet er en forutsetning for at mange av godstransportørene skal velge jernbane og persontogkunder er avhengige av punktlighet for å komme på jobb i tide. Dette gir høyt fokus på punktlighet hos infrastrukturforvalter så vel som hos operatørselskapene. Punktlighetsnivået påvirkes av både infrastrukturforvalter og togselskapene, og mange av årsakene til forsinkelser skyldes faktorer som berører flere enheter i et eller flere selskap.



Figur 13. Aspekter av punktlighet

Det sammensatte bildet av interessenter legger føringer for organisering av punktlighetsoppfølging. Punktlighetsarbeid må i stor grad koordineres på tvers internt i hvert selskap så vel som mellom selskapene. Figur 13 over viser hvordan punktlighet påvirkes av infrastruktur, gods- og persontogoperatører og viktige faktorer for hver av disse. Koordineringen av punktlighetsarbeid berøres i liten grad i denne boken, men er likevel vesentlig for å lykkes.

I en analysesituasjon begynner man ofte med overordnede analyser for å følge med på punktligheten. Dersom man vil undersøke uønsket lav punktlighet kan man zoome inn på ulike delstrekninger, tidsperioder og togtyper for å finne hvor problemene ligger. Det er derfor ønskelig å ha en zoom-mulighet i data og analyser. I Figur 14 går alle tre aksene fra generelt til høyere detaljeringsgrad.



Figur 14. Dimensjoner og grad av oppløsning i punktlighetsanalyser

Jernbanen har behov for metode for forbedring av trafikkvalitet i tre perspektiver:

1. Hvor ser det ut å være problemer?
Identifisere problemområder, eksempelvis
 - a. strekninger
 - b. tognummer
 - c. stasjoner
 - d. togprodukter
 - e. materielltyper
 - f. tid på døgnet
2. Hva er problemene? Er det slik vi tror?
Analyse av identifiserte problemområder, inkludert å finne
 - a. omfang, størrelse, type avvik
 - b. grunnleggende årsaker til avvik
 - c. forbedringstiltak
3. Følg opp tiltak og forventet forbedring

Punktlighetsoppfølging har grovt sett tre hovedelementer som vist i Figur 15. Oppfølgingen bør gjøres kontinuerlig. Når det er behov for det søker man å identifisere og gjennomføre tiltak. Etter gjennomføring av tiltak bør effekten av tiltakene følges opp, i tillegg til mer generell oppfølging.



Figur 15. Punktlighetsanalyser kan brukes til å identifisere og evaluere tiltak, og til kontinuerlig oppfølging

Som en illustrasjon kan man diskutere punktlighetsoppfølging på tre ulike detaljeringsnivåer. Det øverste og minst detaljerte nivået omfatter indikatorer til informasjonsbruk, beregnet for kunder og medarbeidere som ikke jobber med punktlighet til daglig. Det andre nivået er beregnet på personell som tar beslutninger på bakgrunn av punktlighetsdata, og andre som trenger detaljert informasjon om togenes og de ulike stasjonenes punktlighet. I den siste indikatorgruppen har målingene høy oppløsning for å brukes i forbedringsarbeid. Disse indikatorene brukes av personell som jobber med punktligheten til daglig, og som trenger å vite nøyaktig punktlighetsdata for eksempelvis en gitt stasjon eller et gitt tognummer. Tabell 4 viser noen eksempler på dette.

Målgruppe	Type	Fokus	Internt (jernbanepersonell)	Ekstern, kunder
Direktørnivå	Strategisk	Følge utviklingen	Prosent punktlighet til endestasjon	Punktlighet i pressemeldinger
Ukentlig oppfølging, mellomledere	Taktisk	Identifisere problemstillinger og følge opp tiltak	Sammenstillinger pr bane, togtyper og tidsperiode, ned på tognummer og dag i spesielle tilfeller	Periodevise oppsummeringer til kunder. Tilpasset statistikk til den enkelte reisende på «Mitt tog» på nettet
Forbedringsgrupper/detaljert	Operativt	Finne konkrete problemer og foreslå løsninger.	Forklaringsfaktorer på tognummer og dagnivå, enkeltavvik sett i sammenheng.	«Er toget i rute» på nettet

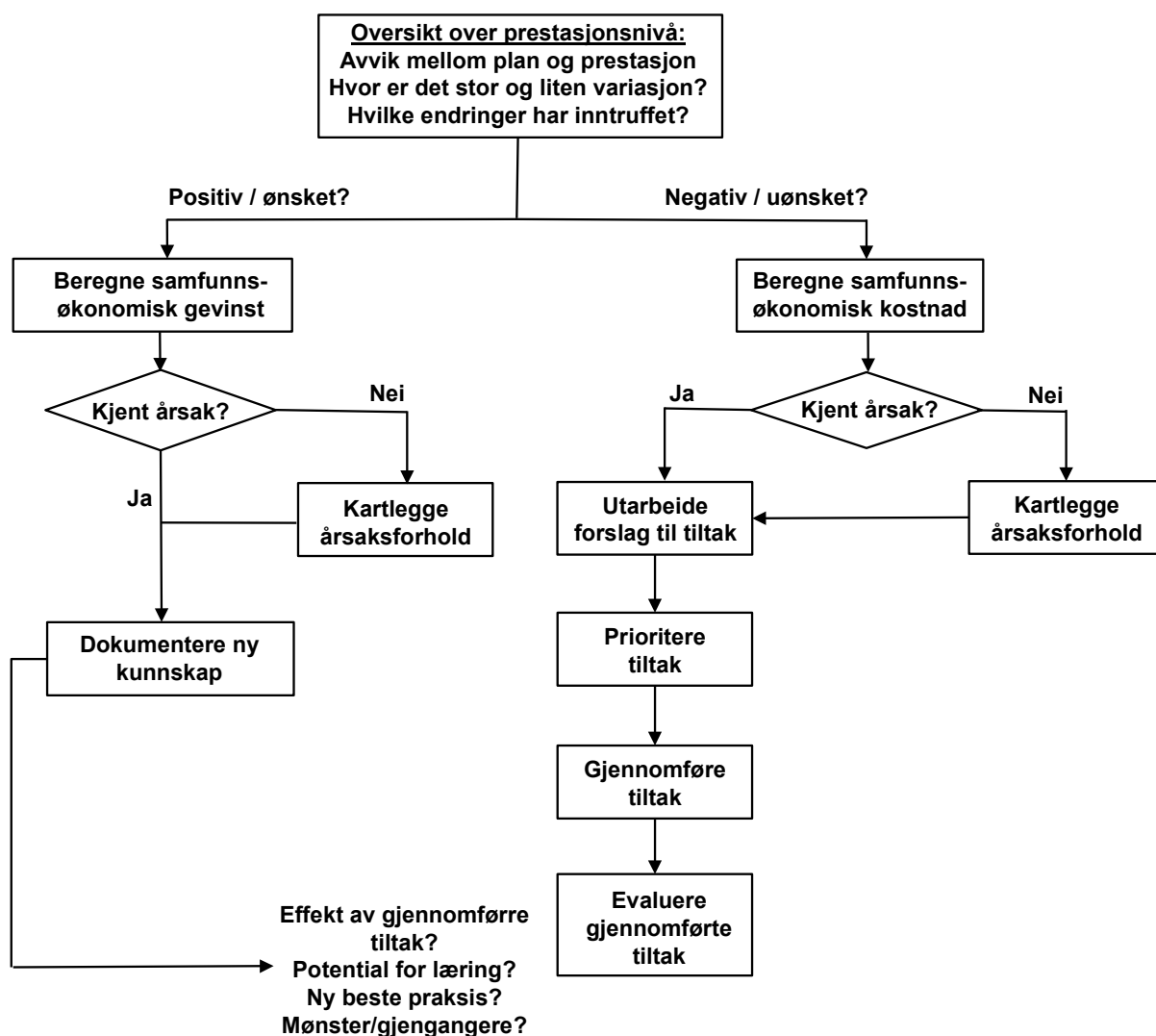
Tabell 4. Eksempler på ulike målinger på tre ulike nivå

Det er typisk en sammenheng mellom hyppighet i oppsummering og nivå som man rapporterer til. Det øverste nivået får rapporter mindre hyppig enn lavere nivå. I tillegg er en trend at rapporteringen skal kunne skje kontinuerlig og at verktøy kan lage oppsummeringer når noen trenger det og med selvvalgt tidsperspektiv og med selvvalgte strekninger, togprodukter etc. Likevel er det sannsynlig at ledere fortsatt ønsker et oversiktsbilde, men mellomledere og saksbehandlere har behov for et bredere spekter av sammenstillinger, fra det overordnede til det detaljerte.

3.8 PROSESSER I PUNKTLIGHETSOPPFØLGING

Punktlighetsoppfølging bør bestå av kontinuerlige prosesser som gir oversikt over prestasjonsnivået i jernbanetrafikken for å hele tiden kunne prioritere de tiltakene som har størst nytte målt mot kostnad.

Vi viser kort et sammendrag av disse prosessene og kommer i senere kapitler inn på hvilke verktøy som kan brukes som støtte for prosessene. Prosessen i Figur 16 og Tabell 5 viser fokuspunkter for å bedre prestasjonsnivået i jernbanetrafikken. En slik oversikt bør brukes som underlag for å ta beslutninger på operativt, taktisk og strategisk nivå. Hensikten er å kontinuerlig kunne prioritere de tiltak som gir størst nytte i forhold til kostnad.



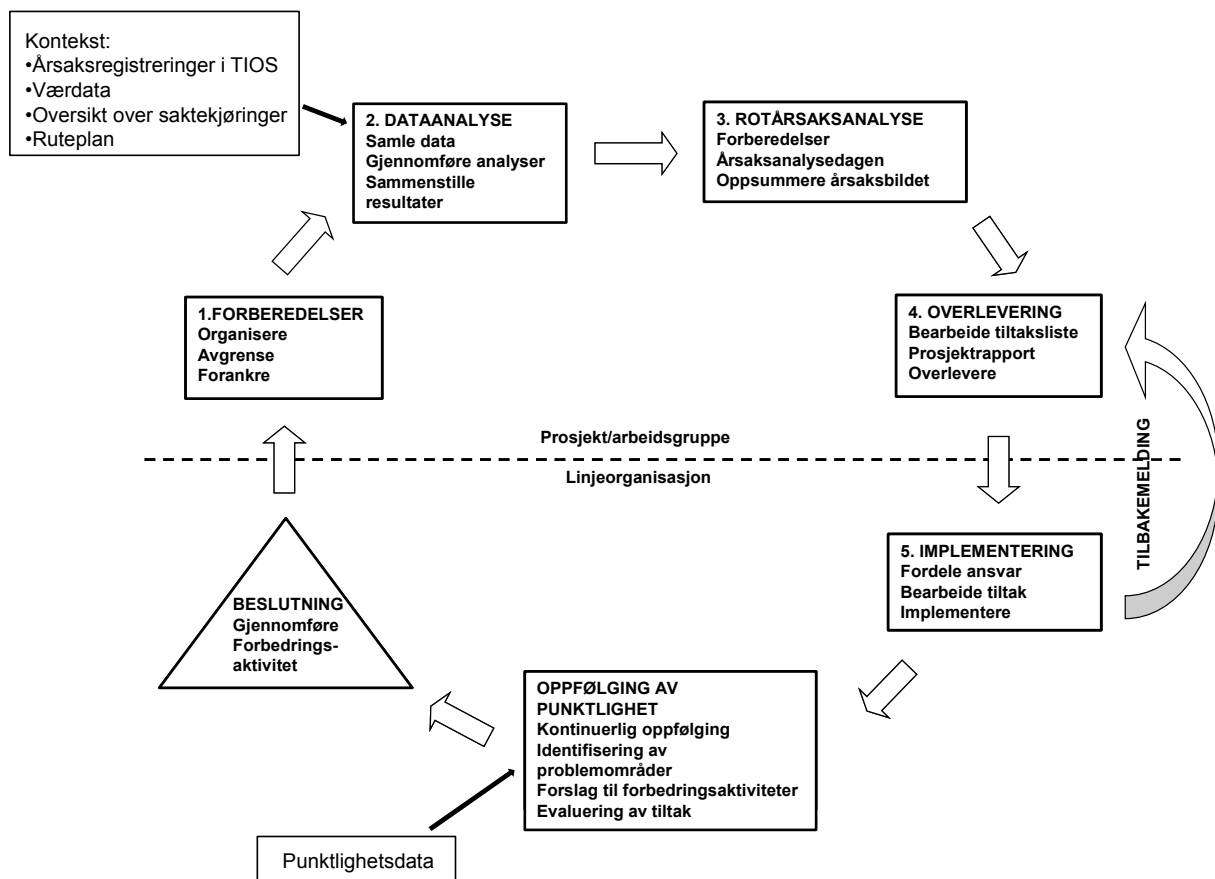
Figur 16. *Prosess for oppfølging av punktlighet og prioritering av tiltak*

Prosesstrinn	Beskrivelse
Oversikt over prestasjonsnivå	For å kunne prioritere de mest effektive tiltakene for å øke punktlighet er det nødvendig å ha en helhetlig oversikt over det punktlighetsrelaterte prestasjonsnivået. Oversikten bør sammenstilles med jevne mellomrom, eksempelvis daglig, ukentlig og månedlig. Den bør vise informasjon som hvilke strekninger har dårligst underveis- og endestasjons-punktligheit, hvor det er systematiske avvik mellom plan og faktisk prestasjon, hvilke saktekjøringer som er verst for punktligheten, hvor er det størst variasjon i framføringstid og hvor og når det har inntruffet endringer som påvirker trafikken.
Beregne samfunnsøkonomisk gevinst/tap	Slike beregninger tar utgangspunkt i verdier fra samfunnsøkonomiske verdsettingsstudier. I prinsippet kan gevinst/tap regnes ut som følger: [gjennomsnittlig tidstap eller-gevinst ved endring] x [antall tonn eller passasjerer berørt] x [forsinkelsesverdi]. Forsinkelsesverdiene beskriver imidlertid kostnad/gevinst knyttet til ankomst til endestasjon. For endringer underveis bør man ideelt sett justere ved å forsøke å angi endringens effekt på endestasjonspunktligheit.
Kartlegge årsaksforhold	I noen tilfeller oppnås et klart årsaksbilde ved hjelp av kun en samtale med involverte parter. Er det mer sammensatte årsaker bør man gjennomføre en systematisk rotårsaksanalyse med bred involvering.
Dokumentere ny kunnskap	Når årsak til observert forhold er kjent bør disse dokumenteres slik at jernbanen lettere kan utnytte vunnet kunnskap ved senere anledninger. Ved å vurdere om den nye kunnskapen bør få følger for praksis, og er overførbart til andre områder, kan man maksimere utnyttelsen av kunnskapen. Dersom det avdekkes gjentakende mønster kan denne innsikten være spesielt nyttig for punktlighetsforbedring.
Utarbeide forslag til tiltak	Tiltakene skal ha som hensikt å fjerne de bakenforliggende årsakene til uønskede forhold. Medarbeidere med kunnskap om årsakene er best stilt til å utarbeide forslag til tiltak.
Prioritere tiltak	Målet med denne aktiviteten er å hele tiden prioritere fram de tiltak som antas å gi størst positiv effekt per investerte krone. Samtidig bør en vurdere om det er synergier mellom tiltak.
Gjennomføre tiltak	Gjennomføres av linjeorganisasjonen.
Evaluere gjennomført tiltak	Effekt av tiltak bør dokumenteres for å forbedre estimatene av effekter av framtidige tiltak.

Tabell 5. Trinn og kort beskrivelse av prosessen for oppfølging av punktlighet og prioritering av tiltak

3.9 FRA PUNKTLIGHETSOPPFØLGING TIL PIMS-PROSJEKT

Jernbaneverket har besluttet at metodikken PIMS (Punctuality Improvement Method System) (Veiseth, Heggland, Wien, Olsson, & Stokland, 2011 og Veiseth 2009) skal benyttes for å etablere kunnskap om hvilke bakenforliggende faktorer som forårsaker svikten i punktlighet. PIMS-metodikken ble utviklet gjennom forskningsprosjektet PEMRO, og metodikken er illustrert i figuren under.



Figur 17. PIMS-metodikken (Veiseth mfl., 2011) med illustrasjon av bruk av ulike type data i et PIMS-prosjekt for punktlighetsforbedring

Punktligheten i togtrafikken overvåkes i den daglige driften. Ved identifisering av problemområder utarbeides et forslag til forbedringsaktiviteter i form av PIMS-prosjekter. Forslaget presenteres til linjeledere som fatter en beslutning om at PIMS-prosjektet skal realiseres. Målet med trinn 1 i PIMS-prosjektet er å legge et grunnlag for gjennomføringen av forbedringsprosjektet. utfordringer med punktlighet i jernbaneproduksjon går som regel på tvers av organisatoriske enheter i jernbanesektoren (både avdelinger internt i organisasjonene og på tvers av organisasjonene) og det vil være naturlig å organisere forbedringsarbeidet i form av et prosjekt for å ivareta tverrfagligheten i utfordringene. Fokuset for trinn 1 er derfor å etablere prosjektgruppe, avgrens problemstilling og forankre forbedringsprosjektet hos prosjektledere med tilstrekkelig beslutningsmyndighet.

I trinn 2, dataanalyse, sammenstilles tilgjengelige data som kan beskrive fokusområdet for PIMS-prosjektet. Det er forskjellige data som kan benyttes i dataanalysen, eksempelvis kan data være årsaks- og punktlighetsregistreringer fra TIOS.

Hensikten med det 3. trinnet i PIMS er todelt. Det første målet er å kartlegge, samt identifisere de bakenforliggende årsakene til hvorfor svikt i punktlighet forekommer i det valgte fokusområdet. Etter hvert som kunnskap om de bakenforliggende årsakene fastlegges, utarbeides løsningsforslag for å bedre punktligheten. For å utarbeide gode forbedringsforslag er man avhengig av at prosjektdeltakerne har inngående praksiskunnskap om de forholdene som skal undersøkes. Det er i dette trinnet måldata kobles sammen med praksiskunnskap.

I trinn 4 bearbeides forslagene til tiltak og en prosjektrapport utarbeides. Rapporten overleveres de linjelederne som i trinn 1 ble identifisert som prosjekteiere. Prosjekteierne realitetsbehandler forbedringsforslagene og kommer med tilbakemelding til prosjektdeltakerne om den videre skjebnen til forslagene. Overlevering av prosjektrapporten til prosjekteierne markerer at prosjektet nå er overlevert til linjeorganisasjonen, og at prosjektorganisasjonen oppløses. Implementering av de forbedringsforslagene som prosjekteierne (linjelederne) har besluttet å gå videre med er hovedaktiviteten i trinn 5.

I PIMS-metodikken er ansvaret for implementeringen av forbedringsforslagene lagt til linjeorganisasjonen, dette slik at eierskap til punktlighet kan etableres. I aktiviteten «oppfølging av punktlighet» følges effekten av de implementerte tiltakene opp for å dokumentere hvorvidt tiltakene har den ønskede effekten på punktligheten. Figur 17 viser hvordan PIMS-metodikken kan understøttes av data og verktøy.

3.10 RISIKOANALYSE AV STØRRE TILTAK

Et spørsmål som kan komme opp, er hvilke forhold som kan true punktlighet og regularitet ved større omlegginger av togtrafikken. Slike omlegginger er typisk knyttet til ruteendringer, men kan også være knyttet til å ta i bruk ny infrastruktur eller styringssystemer. Man ønsker i disse tilfellene gjerne å få en oversikt over risikofaktorer. Risiko kan defineres på flere måter. To aktuelle definisjoner er:

- Sannsynligheten for at en hendelse skal inntreffe, multiplisert med konsekvensen av hendelsen (se blant annet Cabinet office, 2002)
- Forskjellen mellom den informasjon man ideelt sett skulle ha for å ta en beslutning, og den informasjon man har tilgjengelig (basert på Galbraith, 1973)

Risiko oppfattes ofte som negativt, men kan også oppfattes positivt, det vil si som en mulighet. Basert på den første definisjonen går risikostyring ut på å øke sannsynligheten for og/eller den positive konsekvensen av ønskede hendelser, og redusere sannsynlighet og konsekvens av ugunstige hendelser. Risikoanalyse av større tiltak kan gjerne fokusere på muligheter i tidlige faser av prosjektet. Når oppstarten nærmer seg skifter typisk fokus mot å unngå negative hendelser.

Utarbeiding av en risikomatrix er en måte å systematisere informasjon om risiko og muligheter på. Et risikoregister er en sammenstilling av risiko og muligheter i et prosjekt. Matrisen er en måte å visualisere innholdet i et risikoregister på. En slik matrix har vist seg egnet mellom annet til å videreføre informasjon fra annet analysearbeid over i mer håndterbare aksjoner. Et risikoregister innehar ofte følgende elementer/aksjoner:

- Opplisting av risikofaktorer
- Vurdering av sannsynligheten for at noe skjer
- Vurdering av konsekvensen ved at noe skjer

- Ev. kalkulering av risiko
- Rangering av matrisens ulike elementer etter «alvorlighetsgrad»
- Beslutning av oppfølgingstiltak i forhold til den rangering som framkommer av ovenfor nevnte punkt

Figur 18 viser en risikomatrix. Selv om man ofte omtaler matrisen som risikomatrix kan den altså inneholde både risiko (eller trusler) og muligheter. Dette formatet har blitt vanlig på slike matriser de siste årene. Hver sirkel med et nummer representerer en risiko eller mulighet, og hvordan sannsynlighet og konsekvens er vurdert.

		KONSEKVENNS				
		Svært kritisk	Kritisk	Alvorlig	Middels	Liten
SANNSYNLIGHET	Veldig stor (90 %)		3		12, 13	
	Stor (70 %)		4, 5, 6	10, 11		
	Middels (50 %)		8	9		
	Liten (30 %)		14, 15			
	Nærmest utenkelig (10 %)					

Figur 18. Eksempel på risikomatrixe

Skalaen for sannsynlighet og konsekvens kan tilpasses det enkelte prosjekt. Størrelse på konsekvensen av en risikofaktor kan måles i forhold til påvirkning av jernbanetrafikken, eller kostnader for de involverte aktører. Sannsynlighet måles oftest i prosent sannsynlighet for at hendelsen skal inntreffe. Man kan også ha en skala fra 1 til 4 eller 5 for risiko og konsekvens.

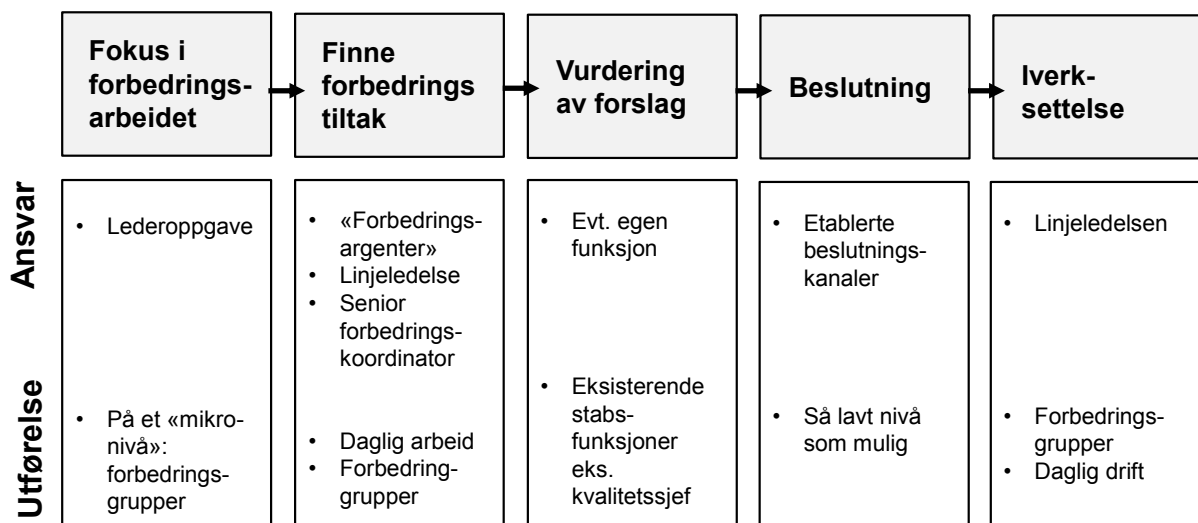
Hvor store ressurser som legges i oppdatering av risikomatrixen, avhenger av type og størrelse på prosjekt. I mindre prosjekter kan man lage en risikomatrix i tidligfasen av prosjektet, og oppdatere den noen få ganger, eksempelvis til styremøter. I større prosjekter oppdateres risikomatrixen til hver statusrapport, ofte månedlig. I kritiske faser av store prosjekter, som i forkant av oppstart av Gardermoen flyplass ble matrisene oppdaterte ukentlig.

Det er viktig å tydeliggjøre de grunnleggende forutsetningene for et tiltak, eksempelvis en større ruteendring. Erfaringer viser at dersom de grunnleggende forutsetningene for et prosjekt blir endret,

så er det et risikomoment. Et eksempel er at en ny ruteplan kan være basert på snuing av tog på en stasjon, og det må utføres tilpasninger på stasjonen for å kunne gjøre det. En grunnleggende forutsetning for ruteplanen er da at disse tiltakene blir gjennomført. I risikostyringen av ruteplanen bør slike forutsetninger listes opp, og følges opp. Dersom slike tiltak ikke blir ferdigstilt, er det et risikoområde. Ved strukturert oppfølging av planforutsetningene i løpet av planprosessen identifiserer og sammenstiller man aktuelle forutsetninger, for siden å basere risikooppfølgingen på å identifisere og følge opp eventuelle avvik. Det er også viktig at beslutningstakere er klare over hvilke forutsetninger som ligger til grunn for prosjekter. Disse forutsetningene laget av prosjektene kan være tydelig uttalte, eller mer implisitte. Hvor alvorlig er så et avvik mellom opprinnelige og observerte planforutsetninger? Større avvik kan man anta innebærer større risiko. Et annet viktig aspekt er hvor robust planen er overfor avvik i en planforutsetning, noe som er vanskelig å vurdere, men det kan eksempelvis gjøres av en gruppe med ressurspersoner.

3.11 PRIORITERE TILTAK

Generelt trenger man støtte for flere trinn i en forbedringsprosess, se Figur 19. Et viktig område er å vurdere alternative tiltak.



Figur 19. Eksempel på hva man trenger av systemer for å støtte ulike faser av forbedringsarbeidet

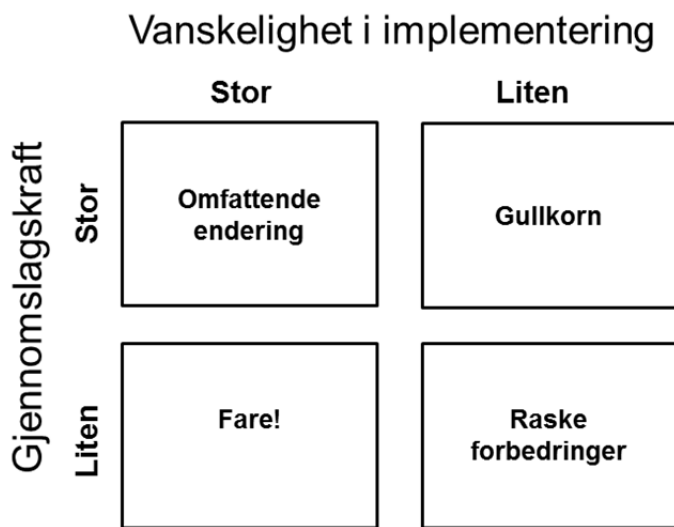
Det er ofte aktuelt å sammenligne ulike alternativer for å øke sannsynligheten for at det blir tatt en god og velbegrunnet avgjørelse om hvilke tiltak som skal iverksettes.

Det er tre hensikter med sammenstillingen av alternativer:

1. Sammenstille informasjon om konsekvenser for å legge til rette for beslutning
2. Peke på det «beste» planalternativet, det vil si å prioritere mellom alternativene
3. Vurdere om det beste alternativet er godt nok til å bli gjennomført, eller om det er flere alternativer som er gode nok til å gjennomføre, gitt at flere kan gjennomføres

Oppgavene er listet etter et stigende ambisjonsnivå. Det første punktet i sin enkleste form kan være en tabell med en kort, verbal beskrivelse av de ulike alternativene. De to senere punktene kan være mer omfangsrike å utføre.

En tilnærming som kan brukes, er å sortere mulige tiltak basert på hvor enkle tiltakene er å implementere, og etter hvor stor effekt de har, se Figur 20. Man er naturlig nok mest interessert i tiltak med stor effekt og som er forholdsvis enkle å gjennomføre. Dessverre er det sjelden man finner slike. Likevel kan det være hensiktsmessig å gjøre en sortering, spesielt for å synliggjøre om det er noen tiltak som kan være i kategorien vanskelig og liten effekt.



Figur 20. Kategorisering av ulike typer av tiltak

Måloppfyllelsesanalysene streber etter å få dekket så mange effekter som mulig i en sammenligning. Ambisjonen å dekke «alle» effekter og streben etter en form for «objektiv» vekting av ulike mål gir assosiasjoner til et rasjonelt verdensbilde, noe som i praksis ofte ikke alltid er gjennomførbart. Man må da satse på å få beskrevet de viktigste effektene. De generelle trinnene i en måloppfyllelsesanalyse er:

1. Interessentidentifikasjon og målformulering
2. Vekting av hvor viktige de ulike målene er
3. Vurdering av måloppnåelse for de ulike alternativene
4. Sammenstilling
5. Følsomhetsanalyse

Det første trinnet i en måloppfyllelsesanalyse er å definere målene. For å kunne utføre en sammenfattende aggregering av resultatet av analysen må målene vektis (ellers antas implisitt at vektingen er lik for alle de definerte målene). En sammenstilling utføres enklest ved å multiplisere måloppfyllelsen med vektingen av målet og resultatene summeres for hvert prosjekteralternativ. Avhengigheter mellom mål er en av de store utfordringene med måloppfyllelsesanalyser. Det finnes teknikker for å redusere, men ikke eliminere, denne svakheten ved metodene. Eksempler er bruk av gjensidig utbyttbare mål og samvirkende mål. Ved gjensidig utbyttbare mål så er oppfyllelse av et av målene A, B eller C tilstrekkelig, og det blir ikke bedre av at to eller tre av målene er oppfylt. Ved

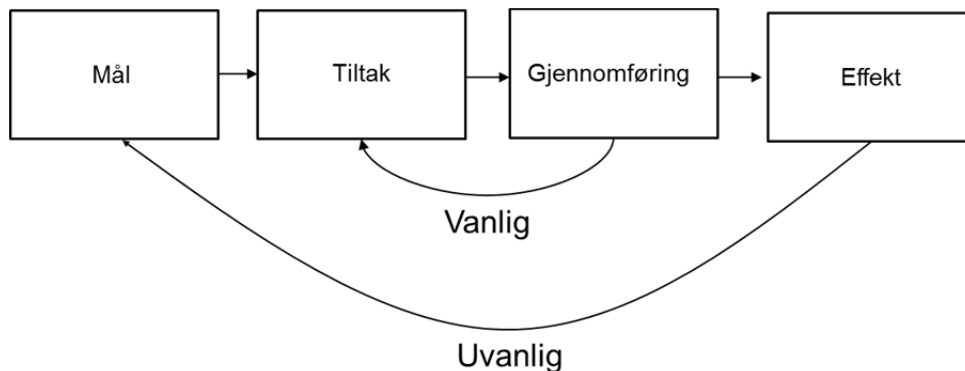
samvirkende mål så må alle målene A, B og C være oppfylte, og høy måloppfyllelse av A kan ikke kompensere for lav oppfyllelse av B eller C.

Det finnes mange usikkerhetsmomenter i denne type analyser. Man kan eksempelvis gjøre følsomhetsanalyser for å se hvilke faktorer som har størst påvirkning på sluttresultatet og disse faktorene studeres nærmere. Selv dersom det finnes datagrunnlag fra lignende prosjekter, så må relevansen av det aktuelle prosjektet vurderes subjektivt. Enkelt personer vurderer også usikkerhet på ulik måte og er i ulik grad villige å benytte ytterpunkter på skalaer. Enkle oversikter som den i Tabell 6 kan brukes for sammenstilling av forslag.

Forslag	Berørte enheter	Besparelse	Investeringsbehov	Prioritet	Oppstart	Tidsfrist	Ansvar

Tabell 6. Sammenligning og prioritering av forbedringsforslag

Oppfølging av iverksatte tiltak bør både omfatte både å følge opp at tiltakene faktisk blir utført, men også å følge opp effekten av tiltakene. Som Figur 21 viser, er det vanlig å følge opp at tiltakene blir gjennomført, men mer utfordrende å følge opp effekten av tiltakene.



Figur 21. Oppfølging av at tiltak understøtter målene. Det er vanlig å følge opp at tiltak blir gjennomført, men mindre vanlig å følge opp at man når definerte mål

Det er en tendens til å gå tilbake til gamle uvaner etter en tid, spesielt når «endringsagentene» har flyttet sin oppmerksomhet til andre områder. Ofte trengs det tiltak for å sikre at den «nye og bedre» arbeidsmåten blir den naturlige å bruke. Om det ikke er forbundet med for stor risiko, kan det være behov for å kutte ut mulighetene til å bruke gamle arbeidsmetoder.

4 ANALYSER OVER TID OG STREKNING

4.1 OM VISUALISERING OG ANALYSEMETODER

Visualisering er knyttet direkte til kjernen av punktlighetsarbeid – det å avdekke og forstå fenomener som gir seg utslag i trafikken, og kommunisere et behov for endring til de som kan gjøre noe med det. Grovt sett så kan man også si at man visualiserer for tre hensikter; *oppdagelse, forståelse og kommunikasjon*.

Man visualiserer for å oppdage og isolere interessante fenomener (eller uforståelige fenomener) i større mengder mindre interessant data. Man visualiserer for å forstå sammenhenger, i alle fall på et naivt plan, rundt fenomener man oppdager – eller vet om – for å se oppspillet og årsaken eller konsekvensen av et fenomen på andre deler av systemet. Hensikten er å øke egen forståelse eller trygghet for at det man skuer har pålitelighet og vekt. Til syvende og sist så visualiserer man for å formidle fenomener til andre. Man sier at et bilde er verdt mer enn tusen ord, og likeledes kan en kløktig utformet visualisering understøtte forståelsen av flere statistiske forhold vesentlig enklere enn hva presentasjon av R^2 eller signifikansverdi formidler. Visualisering er også et godt verktøy for å formidle komplekse statistiske forhold uten at det er nødvendig å forstå hele det statistiske opplandet.

Visualisering bærer mange likheter med punktlighetsarbeid. Punktlighetsarbeidets sammenstilling av forskjellige datakilder og analyser av til dels usynlige koblinger i trafikksystemet gir oppfølgeren innsikt i sammenhenger som ikke nødvendigvis er gjennomsiktede for de direkte involverte. Likevel er utfordringen at man ikke har myndighet nok til å utbedre forhold som man «så klart» ser er uheldige på dataskjermen. Her er et av punktlighetsoppfølgerens skarpeste verktøy nettopp å formidle de fakta og fenomener man har identifisert, på en så tydelig og forståelig måte at de rette vedkommende også får den samme innsikt, og dermed kan vurdere hva slags tiltak de kan treffe (og om det er korrekt at de skal treffe noen tiltak).

Innsikt er ofte et sekkebegrep for bruk av statistisk analyse og datagravedrift i forretningsanalyse. Det kan synes praktisk å dele begrepet videre i tre: *oversikt, framsikt og baksikt*. *Oversikt* er metodikk som aggregerer «tingenes tilstand» opp til en forenkling som gir leseren nok informasjon til å bedømme om man skal grave videre eller si seg fornøyd (typisk: «dashboard»-løsninger). *Framsikt* gir leseren en kvalifisert gjetting på en framtidig tilstand gitt et utgangspunkt, dette kan være enkle framskrivninger eller mer avanserte former for prediksjonsmodeller. Til sist har man *baksikt*, som oppsummerer forhold som ligger tilbake i tid, hvor man i etterpåklokskap besitter alle (eller i alle fall de tilgjengelige) fakta og kan rapportere, nøste opp og vise sammenhengene hvorfor, eller i alle fall hvordan, det gikk.

De analysemetodene vi skal presentere nå, representerer forskjellige hensikter med tanke på hva slags innsikt de gir – dette kan også være med på å beskrive deres virkeområde. En analyse som gir god oppsummering av inntrufne forhold, vil ikke nødvendigvis være spesielt fornuftig anvendt til å spå fremtiden – med mindre man er sikker på at fremtiden vil arte seg lik en fortid man har data og historikk på.

Dette kapittel er strukturert som beskrevet i Tabell 7. Det begynner med oppfølging av det store bildet for punktligheten. Man kan siden zoome inn på hvor og når togene er forsinket. I tillegg er det interessant å se på om endringer innebærer et trendbrudd, og på fordelingen av størrelsen på

forsinkelser. Vi diskuterer også oppfølging i langt tidsperspektiv, typisk over flere år. Til sist viser vi noen verktøy som kan brukes til analyser og visualiseringer.

Perspektiv	Verktøy
Det store bildet	Trenddiagram punktlighet Trenddiagram forsinkelsestimer
Hvor er togene forsinket	Visualisering i kart Pådrag Varmekart Sammenheng mellom avgang og ankomsttid Sannsynlighet for forsinkelse til endestasjon
Når er togene forsinket?	Varmekart
Hvilke endringer innebærer et trendbrudd	Kontrolldiagram Variasjonsplott
Hvordan er fordelingen mellom store og små forsinkelser?	Histogram (input til simulering)
Hvordan ble det?	Flere ovenstående, men brukt over lang tid

Tabell 7. Sammenheng mellom ulike perspektiv på analyser og tilhørende verktøy

4.2 TID OG STREKNING – TO VIKTIGE DIMENSJONER

Mange punktlighetsanalyser omfatter en eller begge av dimensjonene tid og strekning. Disse kan studeres hver for seg, ved å se utviklingen i punktlighet (eller varianter av det, som forsinkelser eller kjøretid) over en strekning, eller over en tidsperiode. I tillegg kan man ha analyser som omfatter både tid og strekning.

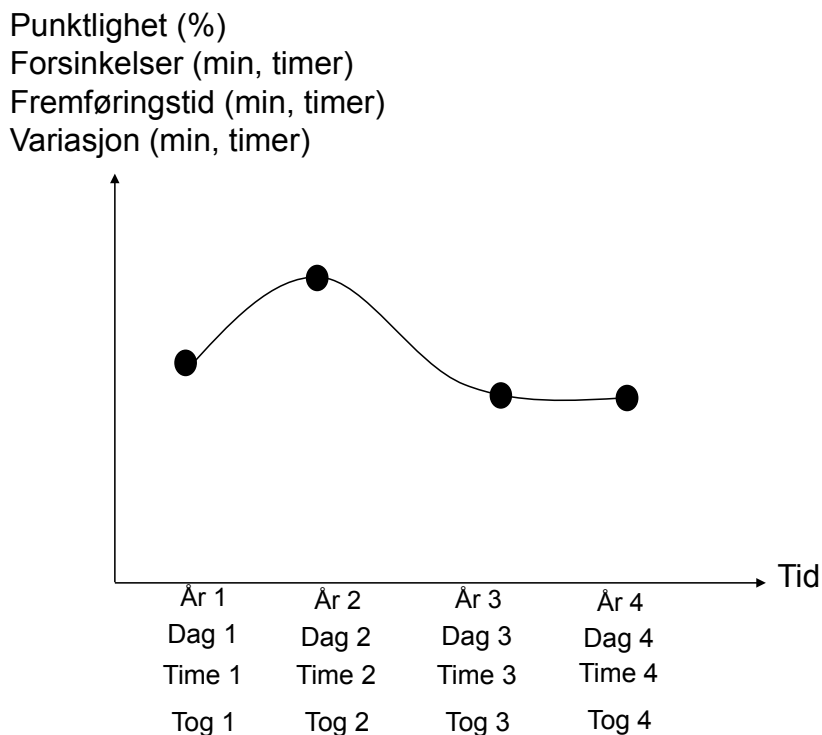
Analyser som ser på utviklingen over tid ser gjerne ut som varianter av Figur 22.

Det vanligste formatet for analyser over tid er ulike varianter av trenddiagram. Trenddiagram viser punktlighetsutviklingen over tid. Aktuelle måleparametere (oftest vist på y-aksen) i diagrammene er:

- Punktlighet i prosent for ulike togkategorier
- Forsinkelse eller framføringstid
- Forsinkelsestimer

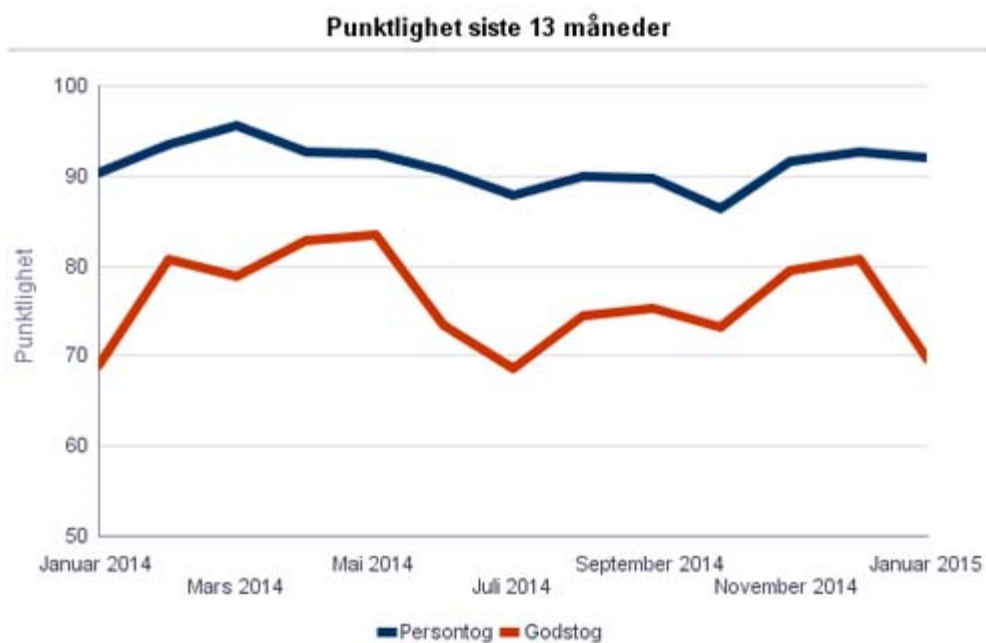
Trenddiagrammene kan vise ulike tidsperioder på x-aksen. De vanligste er:

- Punktlighetsutvikling sammenhengende over flere år
- Punktlighet fordelt over året (eksempelvis måned for måned), der hver kurve representerer et år
- Punktlighetsutvikling over alternative tidsperioder som et døgn eller en uke



Figur 22. Punktlighetsutvikling over tid

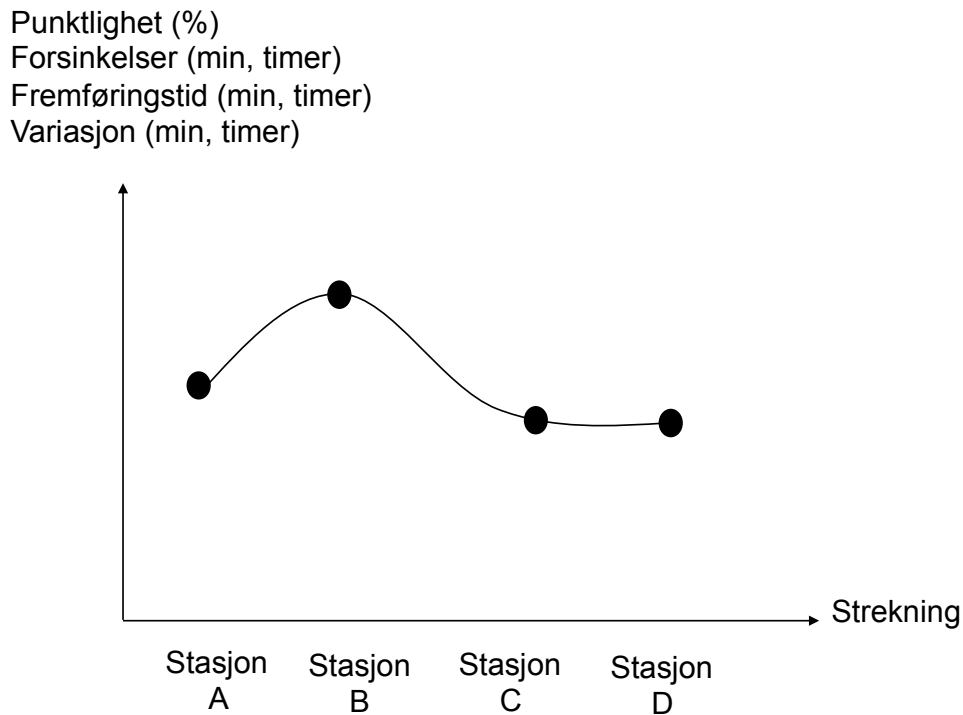
Figur 23 viser et eksempel fra Jernbaneverkets hjemmeside. Figuren viser utviklingen over et år, delt på to togkategorier (persontog og godstog).



Figur 23. Grafisk visning av punktlighet for godstog og persontog på Dovrebanen i perioden januar 2014 til januar 2015. Kilde: Jernbaneverket

Figur 23 viser punktlighetsstatistikken for godstog og persontog på Dovrebanen i perioden januar 2014 til januar 2015. Punktlighetskravet for perioden var 90 % og 9 av 10 tog skulle komme til endestasjon, Oslo eller Trondheim innenfor rutetid + 05:59 minutter. Data for konstruksjon av diagrammet er hentet fra den interne månedsrapporteringen i Jernbaneverket for årene 2005 til 2011.

Det kan også være interessant å se utviklingen over en strekning for punktlighet, forsinkelser og mulige påvirkningsfaktorer. Da kan man bruke grafer som er varianter av Figur 24.



Figur 24. Punktlighetsutvikling over en strekning

Vi har sett noen eksempler der y-aksen i diagrammet er et mål på forsinkelser, og x-aksen enten en tidsskala eller en strekning. Man kan også lage diagrammer som kombinerer strekning-strekning eller tid-tid. Ofte blir slike diagrammer noe mindre intuitive enn tid og streknings diagram, men de kan vise interessante forhold, og de kan være en kompakt måte å oppsummere informasjon som ellers måtte bli presentert i flere diagrammer.

4.3 DET STORE BILDET

Vi kommer til å vise flere ulike grafer som viser utviklingen i forsinkelser over tid. Utviklingen må ikke vises som en graf, men kan eksempelvis være i tabellform, som vist nedenfor i Figur 25. Figuren er et utdrag fra en tabell fra Jernbaneverkets hjemmesider.

PUNKTLIGHET I TOGTRAFIKKEN

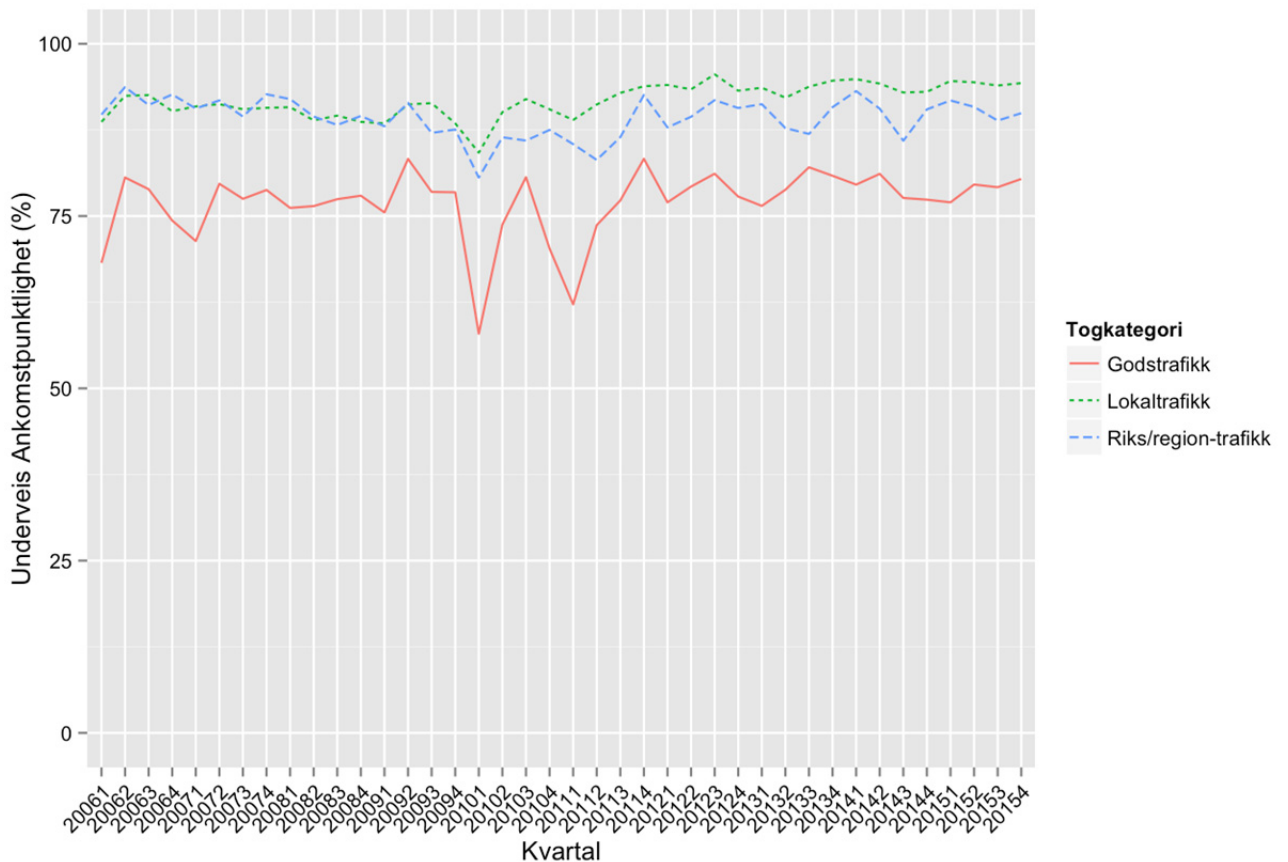
2014

(% i rute til endestasjon)

	MÅL	Gj.snitt 2013	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DES	GJ.SN.2014
NSB LANGDISTANSE															
Dovrebanen	90	64	91	93	89	94	76	73	54	81	85	73	90	82	82
Nordlandsbanen	90	85	93	97	86	92	88	83	66	85	92	90	93	93	88
Raumabanen	90	85	97	97	98	97	92	89	83	92	95	89	99	95	94
Rørosbanen	90	73	80	86	92	93	91	76	58	68	76	83	91	89	82
Bergensbanen	90	85	81	84	89	87	94	80	65	81	78	85	79	75	82
Sørlandsbanen	90	87	79	91	95	93	89	85	82	81	87	81	91	82	86
Gj.snitt Langdistanse	90	80	87	91	92	93	88	81	68	81	86	84	91	86	86

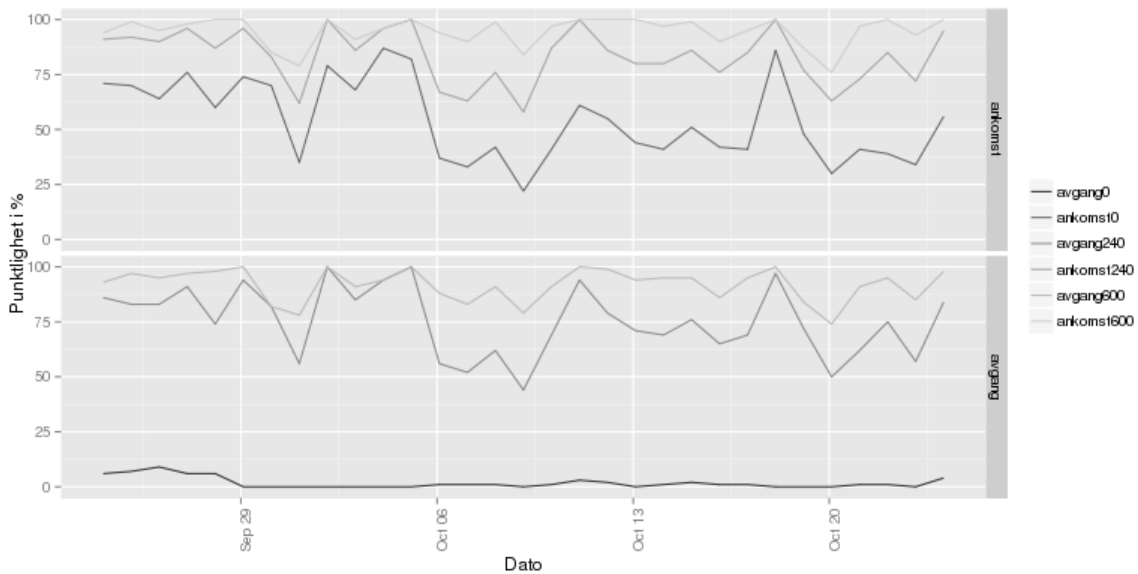
Figur 25. Punktlighet i prosenter for noen baner i 2014. Kilde: Jernbaneverket

Erfaring viser at ulike grafiske og statistiske analyseformer kan bidra til oversikt og grunnlag for analyser. En relativt enkel måte å visualisere utviklingen til en prosess over tid på, er å lage et såkalt trenddiagram. Trenddiagram er ofte brukt i punktlighetsoppfølging og viser punktlighetsutviklingen over tid. Trend-diagrammet i avslører først og fremst om prosessen viser en negativ eller positiv trend over tid. En annen å måte bruke trend-diagrammet på er å se om det er tendens til at en trend, eller variasjon, gjentar seg i samme periode. Et eksempel kan være å se om forsinkelse til endestasjonen øker i høytider. Å undersøke rundt gjentakelser kan være svært nyttig når man søker årsaken til et problem. Diagrammene viser typisk utviklingen i punktlighet over tid, eller over en strekning. Figur 26 er et eksempel på trend-diagram, og viser at det totalt sett har vært en nedadgående trend i punktligheten fra 2006–2010, men at det er vært bedring siden. Man ser også at det er stor variasjon i punktligheten mellom månedene.



Figur 26. Punktlighet målt som prosentvis punktlighet til endestasjon, fra 2006 til 2015 for landet som helhet

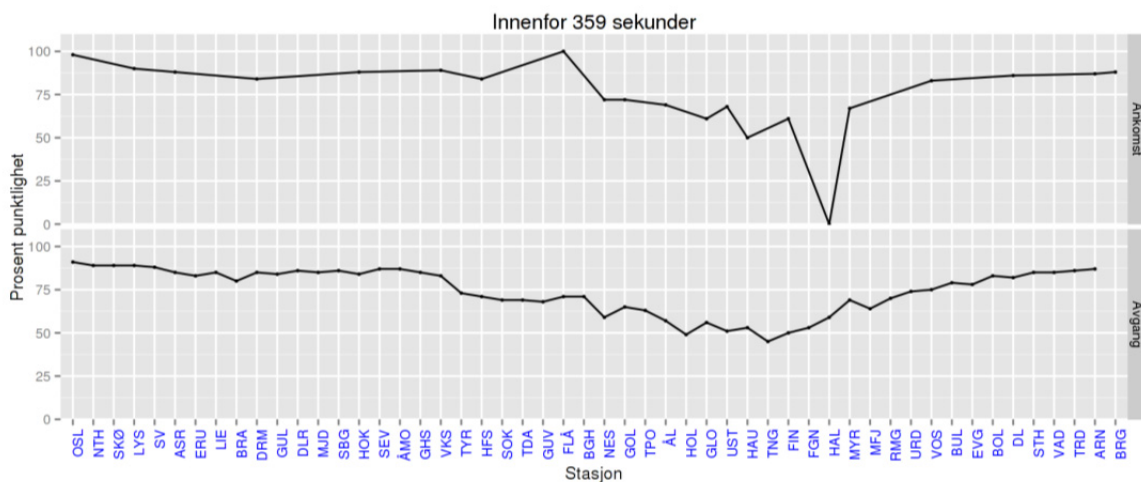
Figur 27 viser punktlighet for et togprodukt (tog mellom Oslo og Lillehammer) i løpet av en måned. Her er grensene satt til henholdsvis 0 minutters forsinkelse, 240 (dvs. definisjon på forsinket tog, 3 min 59 sekunder) og 10 minutter (600 sekunder). Det vises avgangspunktlighe nederst og ankomstpunktlighe øverst i grafen.



Figur 27. Punktlighe tsutvikling over tid for en gruppe av tog. Her vises hvor stor andel av togene som er 0, 1, 3 og 5 minutter forsinket ved avgang og ankomst (dvs. 0, 240 og 600 sekunder)

4.4 HVOR ER TOGENE FORSINKET?

Punktlighe t måles ofte til endestasjon. Men når man skal studere punktlighet, vil man gjerne vite hvor på linjen en forsinkelse oppstår. I tillegg kan det være et problem om tog er forsinket underveis, selv om de ankommer endestasjon i rute. På enkeltsporstrekninger kan toget forsinke møtende tog. På både enkelt- og dobbeltsporstrekninger kan etterfølgende tog forsinkes. Figur 28 viser punktligheten på de ulike stasjonene for et togprodukt på Bergensbanen. Det framgår at i dette tilfellet er underveispunktlighe ten lavere enn punktligheten til endestasjon.



Figur 28. Punktlighe tsutvikling på Bergensbanen, for ankomst- og angangspunktlighe t. Her er punktlighet angitt innenfor 5 minutter og 59 sekunder.

Å vise punktligheten på et kart er en variant av å vise punktligheten på en linje. Vi har sett at det er ønskelig med geografisk tilknytning i trafikkanalyser, og ny teknologi åpner for interessante muligheter. På relativt kort sikt er GPS en viktig kilde til informasjon både om trafikk og muligens også en del andre forhold. Figur 29 er basert på en «GIS-løsning»⁴. Presentasjonen er basert på den underliggende standarden for store deler av Banedata. Det gir også en «enklere» måte å anvende GPS-kilder direkte inn mot kartløsninger på enn å gå veien om for eksempel kilometrering. Kilometrering er et avstandsmål benyttes i jernbanen for å få en nøyaktig angivelse av et sted på jernbanen. På det norske jernbanenettet viser oftest kilometreringen avstanden til Oslo S. Det finnes flere unntak, spesielt har Nordlandsbanen og Meråkerbanen Trondheim S som nullpunkt. Ofotbanen har Narvik Havn som nullpunkt.



Figur 29. Punktlighet vist på et kart

Jernbaneverket har et punktlighetskart på sine hjemmesider, der man kan se punktligheten for ulike toglinjer, som vist i Figur 30.

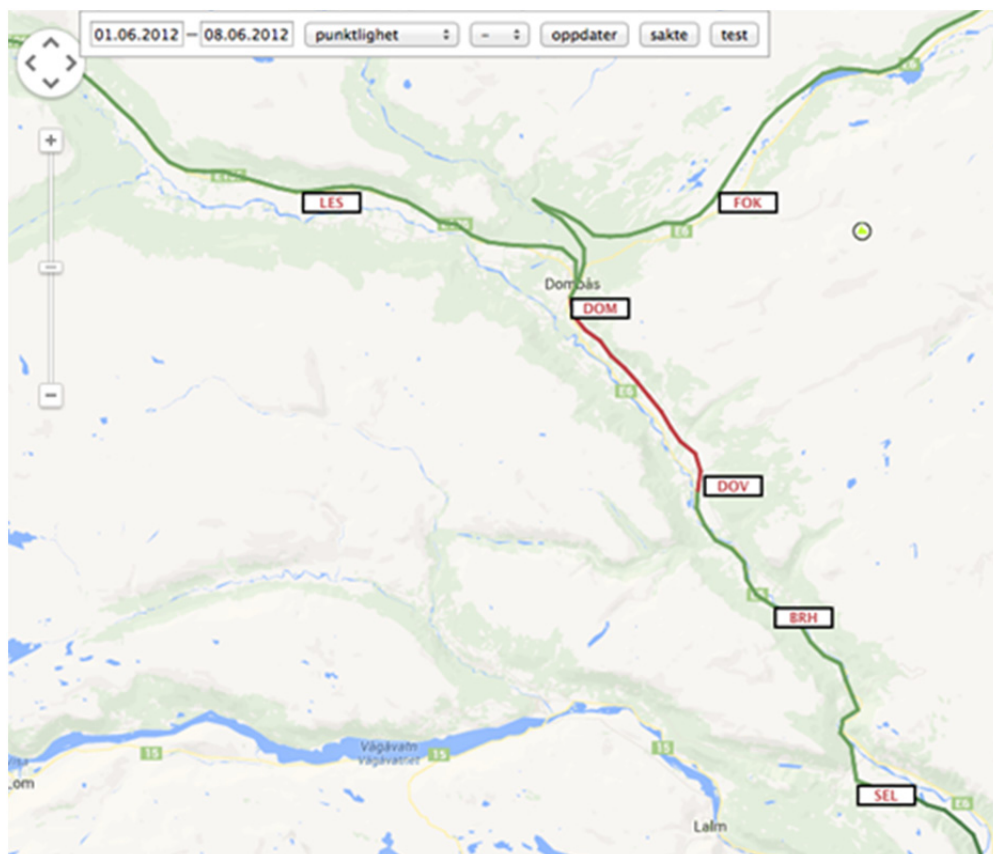
⁴ GIS – Geografisk Informasjonssystem, et knippe «standarder» for databaseløsninger som inneholder geografisk referert data.



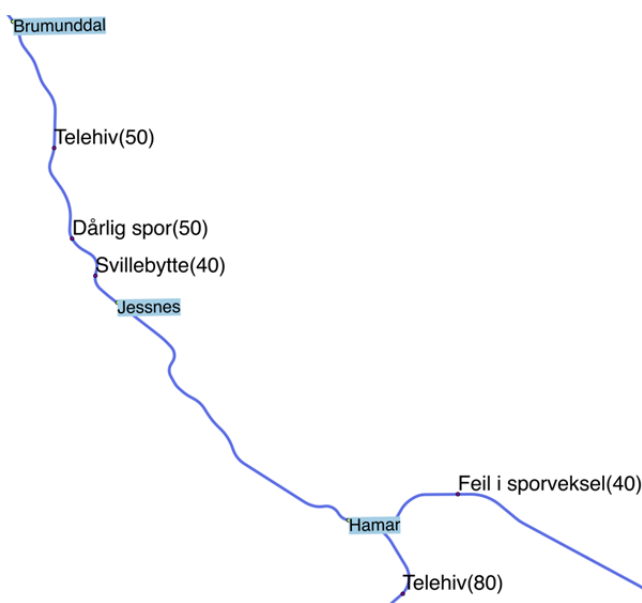
Figur 30. Punktighet vis på et linjekart. Kilde: Jernbaneverket

Noe arbeid har blitt lagt ned i å sammenstille data fra Banedata/JBVs kartvisning og informasjon om relevante lokasjoner (for eksempel lokasjoner i TIOS) og andre kilder. Slik sammenstilling gir muligheter for enklere å legge til informasjon fra utenforliggende kilder, for eksempel vær- og ekstremvarselkilder, som i all hovedsak er geografisk refererte kilder (eksempelvis løsninger som ble framskaffet i forskningsprosjektet «Vann på avveie»). Likeledes åpner informasjonssystemet for å kunne eksponere resultater fra analysemotorer framstilt i PRESIS inn i en eller flere åpne GIS-standarder (for eksempel WFS/WCS eller GeoJSON) slik at motorene kan anvendes inn i eksisterende kartløsninger uten alt for mange spesialtilpasninger.

Noen av prototypene som er framskaffet, er det forholdsvis enkelt å videreutvikle inn i en GIS-basert løsning (ut fra en løpende vurdering av kost/nytte). For andre prototyper (spesielt de som baserer seg på GPS-data i analysen) er det essensielt å ha en geografisk referert base i bunnen. Vi viser i Figur 31 og Figur 32 eksempler på skjermbilder fra analyser og verktøy under utvikling basert på PRESIS/GIS-basert løsning.



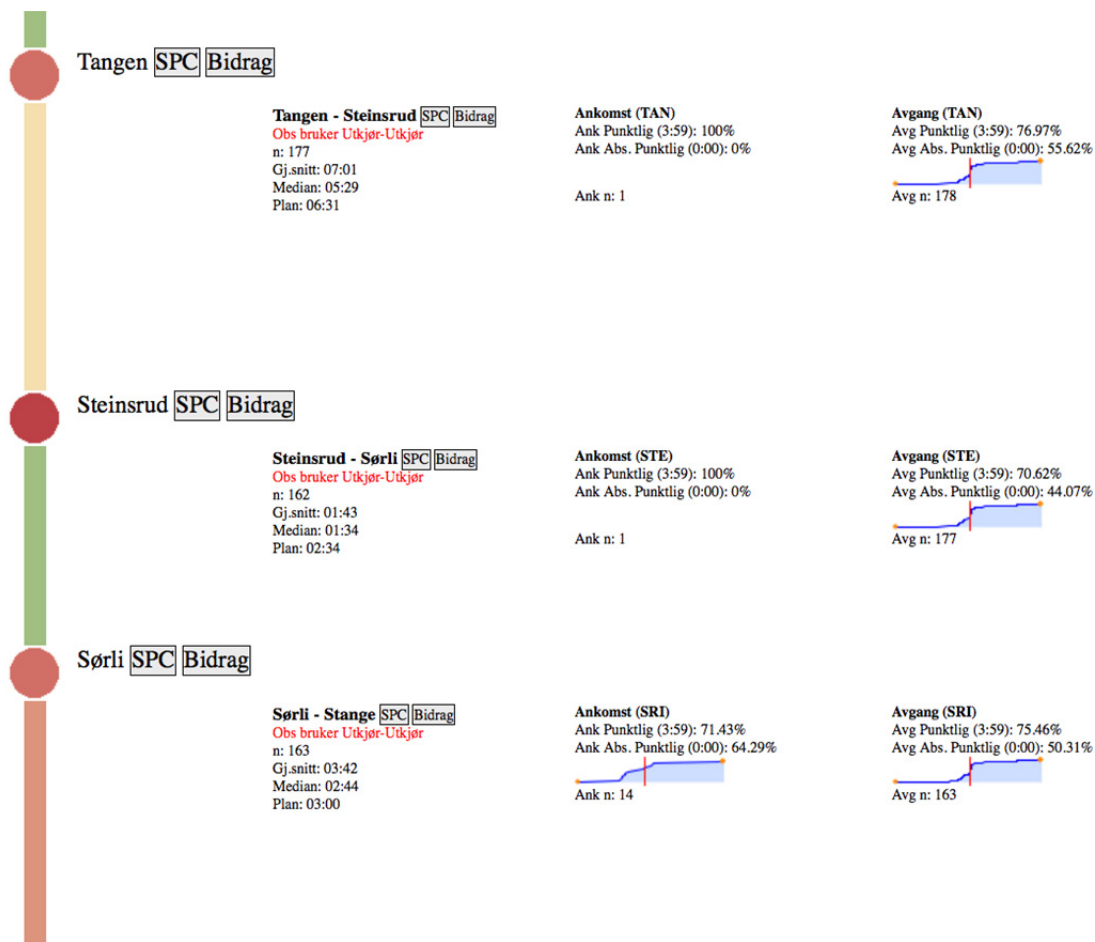
Figur 31. Kartvisning med kjøretidsoverlegg på skinnen, adresserbar per kilometer



Figur 32. PREIS-kartvisning med saktekjøringsoverlegg, hvor hver markør indikerer saktekjøringer i banenettet

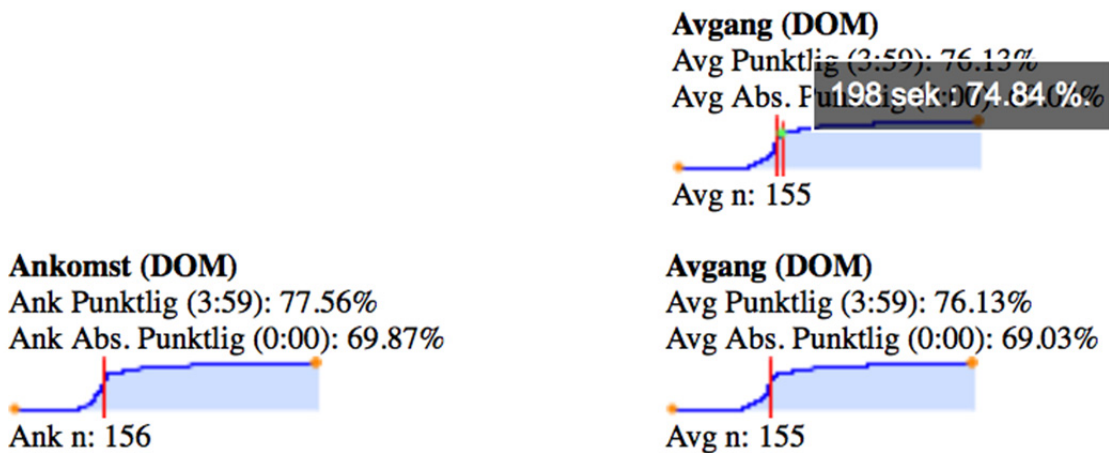
Man kan også vise forsinkelser basert på et stilisert linjekonsept av de eksisterende banene. Innenfor den tidsluken som er valgt (og ev. filtrering på tognummer/operatør/togkategori), vises linjen med en 6-trinns fargeskala fra grønn til rød for kjøretid (grønn er kortere enn plan, rød er lengre enn plan), og stasjonene med en 6-trinns fargeskala for avgangspunktighet (grønn fra 90 % +). Tilordnet hvert strekk er det et informasjonspanel som viser antallet tog (n) som inngår i fargekodingen, samt

numeriske verdier for gjennomsnittlig kjøretid og gjennomsnittlig plantid (for å ta høyde for at forskjellige tognumre kan ha varierende kjøretidsberegning).



Figur 33. Illustrasjon av punktlighetspresentasjon basert på en linjestrekning, med forsinkelsesfordelinger og fargekoding basert på om togene tar inn tid, eller blir mer forsinket på de ulike delstrekningene

I verktøyet som vises i Figur 33, har hver stasjon et eget informasjonspanel som viser henholdsvis ankomst og avgangspunktlig, samt en «sparkline»-visualisering som viser profilen til punktligheten, med sekunder i forhold til plan på x-aksen og andel tog ankommet/avgang på y-aksen. Den røde, vertikale linjen viser plantiden (altså 0-punktet). Ved å dra musepekeren over kan man lese ut «nøyaktig» verdi for stedet man peker på (se teksten i det grå feltet i Figur 34).



Figur 34. Detalj fra ovenstående figur med illustrasjon av fordelingen av kjøretid på delstrekninger

4.5 NÅR ER TOGENE FORSINKET?

Om varmekart

Et sentralt forskningstema i PREIS-prosjektet har vært å se nærmere på muligheter for å visualisere og presentere variasjon, primært over tid – for å få fram stabilitet (eller mangel på), og presisjon i togsystemet. Varmekart er aggregerte visninger som er konseptuelt enklere enn statistiske mål på variasjon, men som har likevel en del av tidsserie-tankegodset bygd inn.

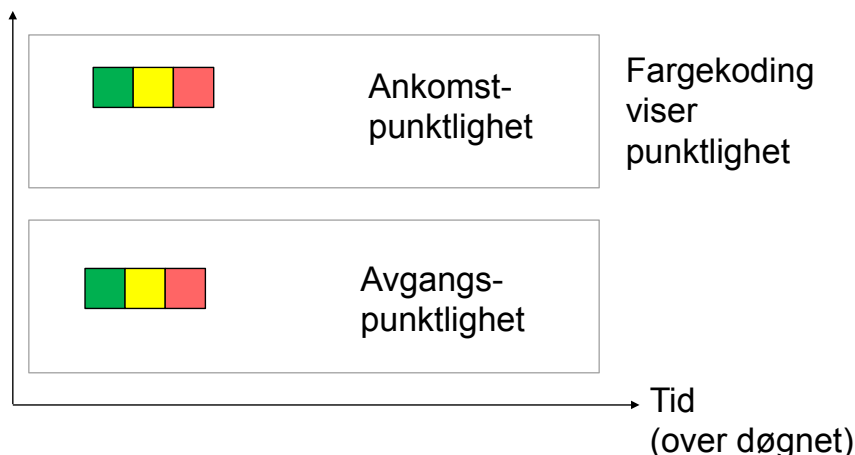
Varmekart åpner for å kunne se på både tidsmessige variasjoner (uke for uke), trafikkmessige variasjoner (time for time) og strekningsvise variasjoner (stasjon for stasjon). Fordi man kan justere marginen for punktlighetsberegningen, er det mulig å gjøre seg opp en formening om hvilken robusthet/slakk som eksisterer i det snittet man visualiserer. Varmekart er en familie med visualiseringer hvor man kan sammenstille punktlighetsdata langs *tre* akser. Idéen her er at de både gir utvikling over:

- uke-for-uke (y-aksen)
- time-for-time eller stasjon for stasjon (x-aksen)
- punktlighet i % (fargekoding)

Varmekart med utvikling over tid

Varmekartene visualiserer og presenterer variasjon og presisjon i togsystemet, se Figur 35. Plottene er delt i to panel, hvor det nederste viser punktlighet som målt på avgang (Faktisk tid < plan tid + margin), og det øverste viser punktlighet som målt på ankomst (ved samme metode). Aksene for de to panelene er like, slik at samme rute i hhv. øverste/nederste panel viser den samme kombinasjonen. y-aksen (vertikal) viser uke-for-uke. Den nederste linjen i begge plottene representerer da den første uken i analyseperioden for henholdsvis ankomst og avgang, og så videre oppover.

Tid (Uke for uke)

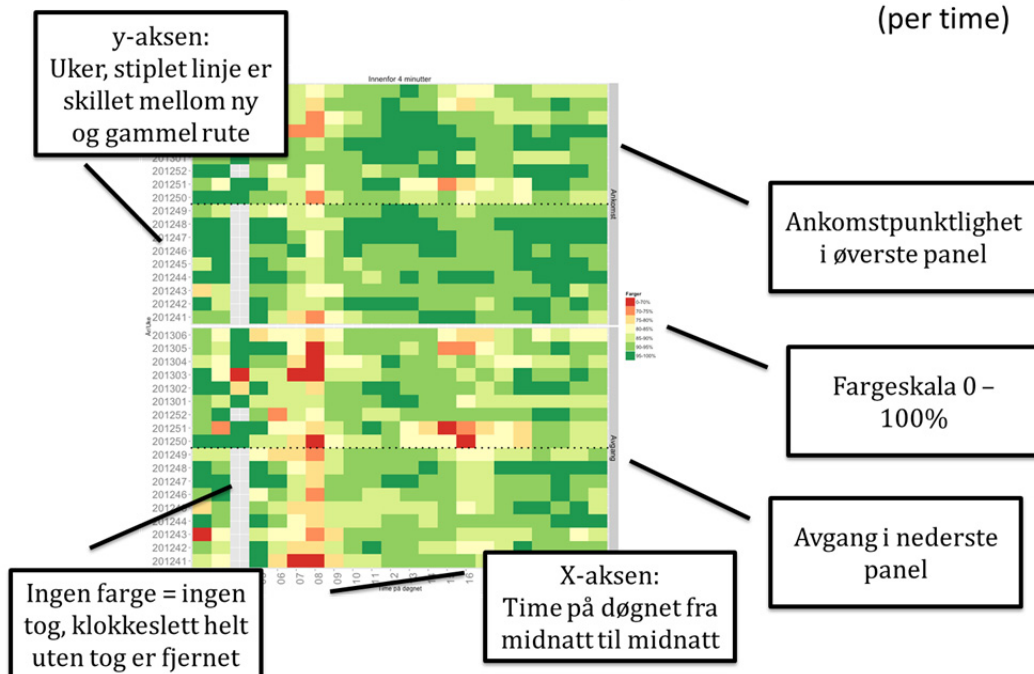


Figur 35. Prinsippskisse for varmekart, med tid uke for uke på y-aksen, og tid over døgnet på x-aksen. Fargekodingen viser punktligheiten i den aktuelle timen, for hver uke.

x-aksen (horisontal) i Figur 36 viser time på døgnet, altså fra 00 (midnatt) til venstre over til 23 til høyre. Punktligheit er således her aggregert innenfor hele timer. Det er brukt en såkalt diskret inndeling slik at hver firkant bortover aksen representerer gjennomsnittspunktligheiten for én time.

Forklaring av Varmekart

(per time)

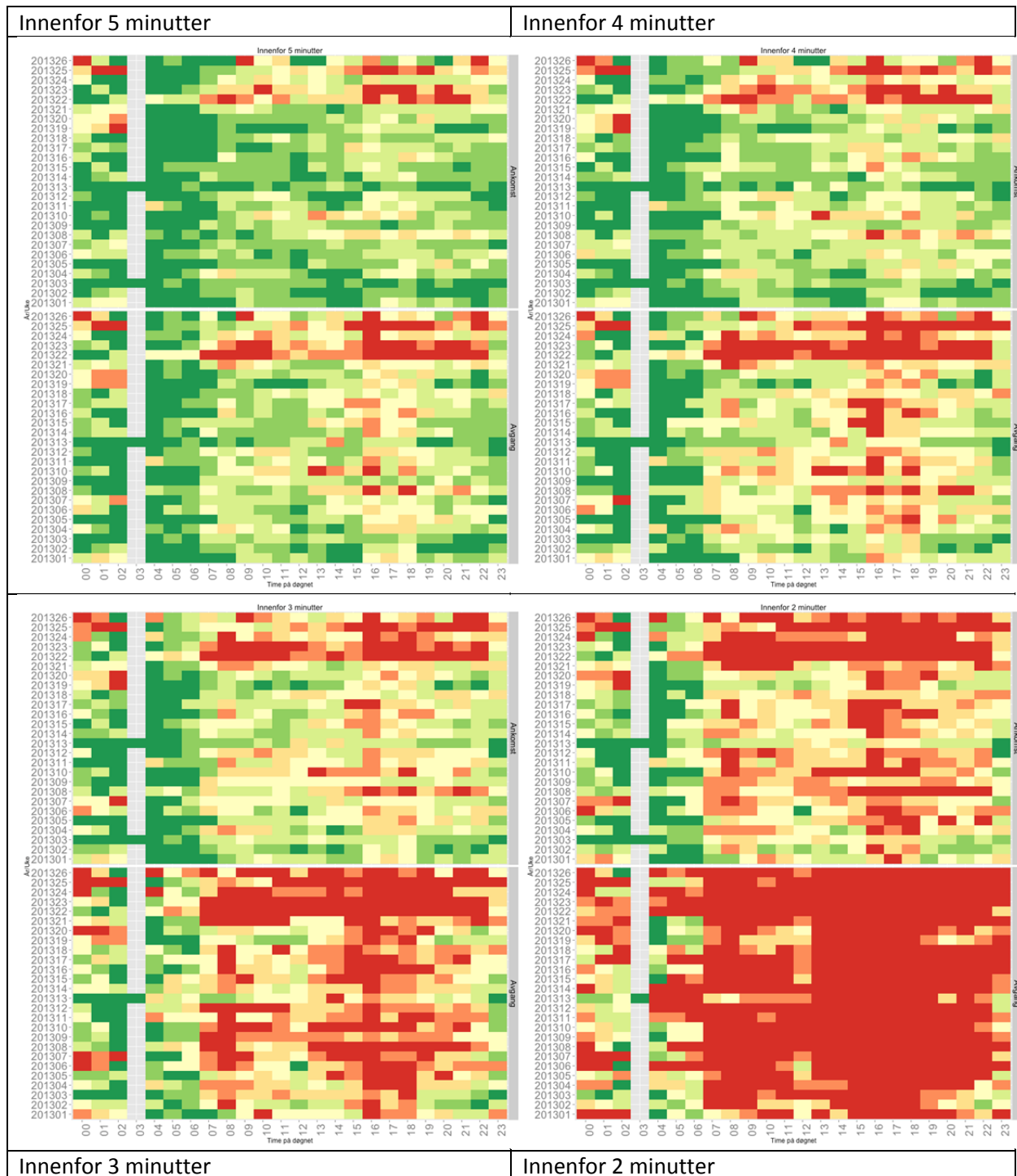


Figur 36. Forklaring av varmekart

Man kan stille inn hvilken grense som benyttes for punktligheitsmålet. I Figur 37 har vi vist 4 forskjellige for å illustrere et mulig bruksområde. Punktligheiten angis av skalaen med en klassifisering i punktligheit fra mørk rødt (0–70 %), lys rødt (70–75 %), mørk gul (75–80 %), gul (80–85 %) lyseste

grønn (85–90 %), middels grønn (90–95 %) og mørk grønn (95 % +). Der hvor det ikke er noen farge (indikert med grå skravering), er det ikke registrert togtrafikk i databasen for kombinasjonen. I eksemplene i

Figur 37 er det vist et panel av 4 plott for samme strekning (i dette eksemplet regiontog Skien – Lillehammer).

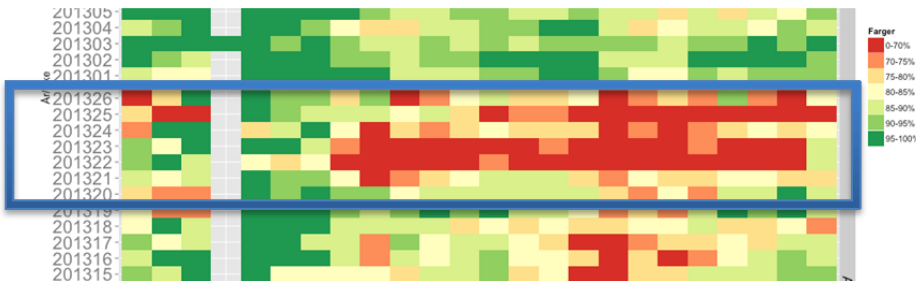


Figur 37. Eksempel på varmekart med grense for forsinkelse på henholdsvis 5, 4,3 og 2 minutter

Hensikten med å framstille et forholdsvis «komplisert» plott er at det gir en ganske kraftfull mulighet til å se på både tidsmessige variasjoner (uke for uke), trafikkmessige variasjoner (time for time) og

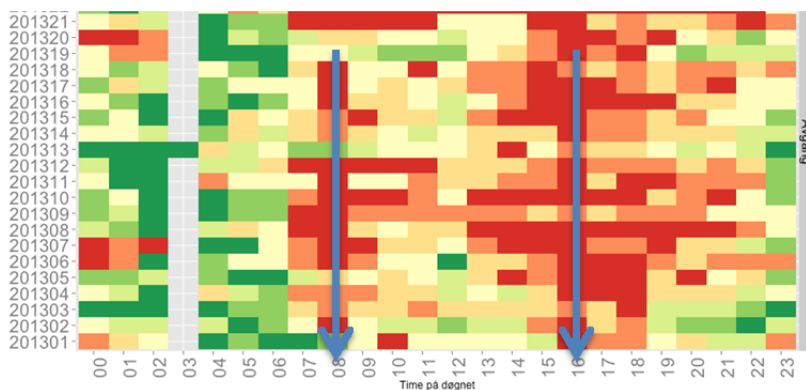
strekningvis variasjoner (stasjon for stasjon). Fordi man kan justere marginen for punktlighetsberegningen, er det mulig å gjøre seg opp en formening om hvilken robusthet/slakk som eksisterer i det snittet man visualiserer. Eksempelvis i

Figur 37 som er plottet over, kan man se at det var gjennomgående forstyrrelser i trafikken i uke 23/26 – noe som indikeres med et *horisontalt* bånd med dårligere punktlighet enn både de tidligere og påfølgende ukene, se Figur 38.



Figur 38. Detalj fra Figur 37 for å vise punktlighetsproblemer i en periode

Alternativt kan man se på døgnavariasjon, indikert av de to pilene i Figur 39, som viser en tendens til dårligere punktlighet rundt klokken 08 (for eksempel morgenrush) og tilsvarende klokken 16 (ettermiddagsrush). Utstrekning av de røde feltene i horisontalen sier noe om rush-effektens utstrekning i tid, hvor det i dette plottet kan synes som om at morgenrushet er mer kompakt enn ettermiddagsrushet.



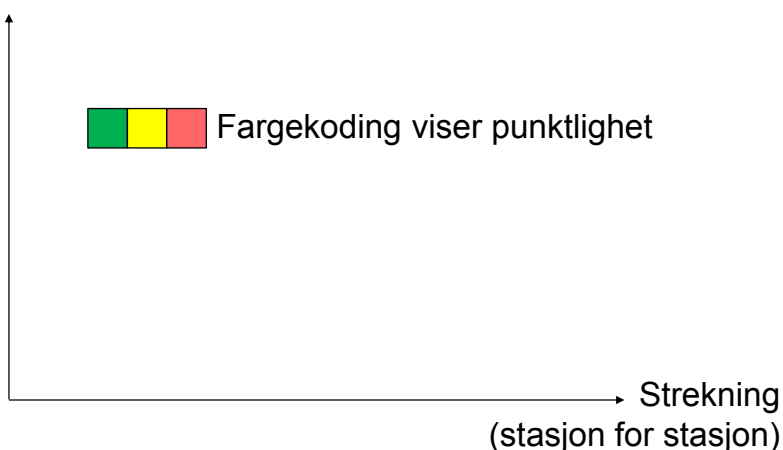
Figur 39. Detalj fra varmekart, for å vise punktlighetsproblemer i rushtidene

Tilsvarende kan man se etter systematiske endringer som for eksempel følge av ruteplanendringer, eller trafikkstyringsendringer, hvor man kan skille i før/etter-perioder og se om det har utslag på horisontal/vertikale felter eller i systematiske endringer (som da vil være synlig som skifter mot y-aksen).

Varmekart med utvikling over strekning

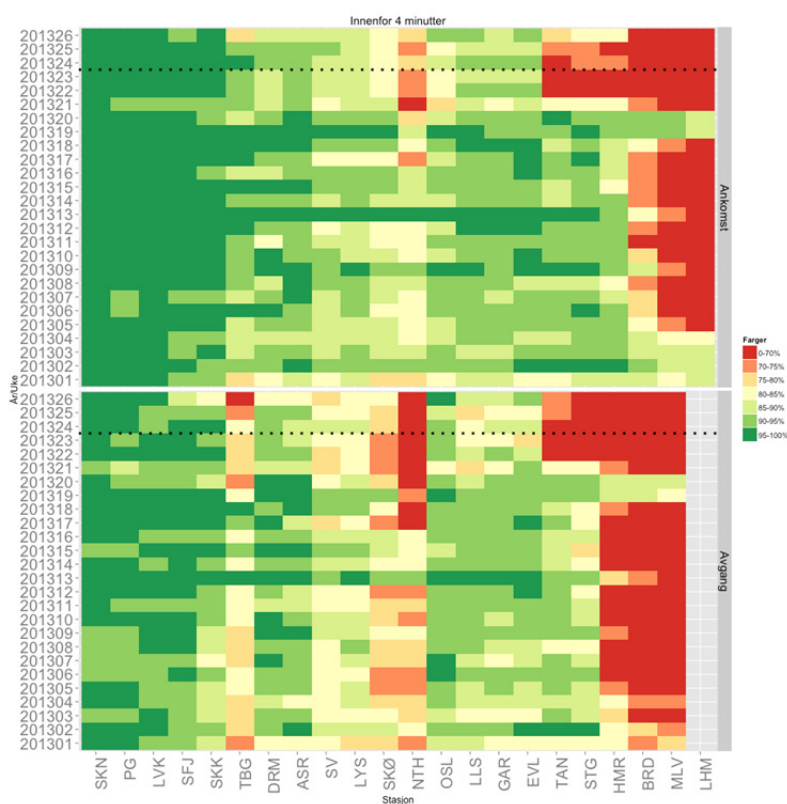
Alternativt kan man plote strekning (stasjoner) på x-aksen, som vist i plottet under, slik at man får (retningsbestemt) visning av punktlighet langs et strekk, uke for uke (Figur 40).

Tid (Uke for uke)



Figur 40. Prinsippskisse for varmekart, med tid uke for uke på y-aksen, og strekning på x-aksen. Fargekodingen viser punktligheten for den aktuelle strekningen, for hver uke.

Ved bruk av strekning på x-aksen kan man undersøke effekter på underveispunktlighet, hvor særskilte stasjoner vil skille seg ut i vertikalen (slik som rushtid gjør), og for eksempel ruteplanmessige eller trafikkstyringsutfordringer vil framtre som felter over x-aksen (slik som synlig i strekningseksempellet i Figur 41, hvor man kan se et markant fall i punktlighet fra Stange fram til påske, og fra Eidsvoll/Tangen etter uke 21).



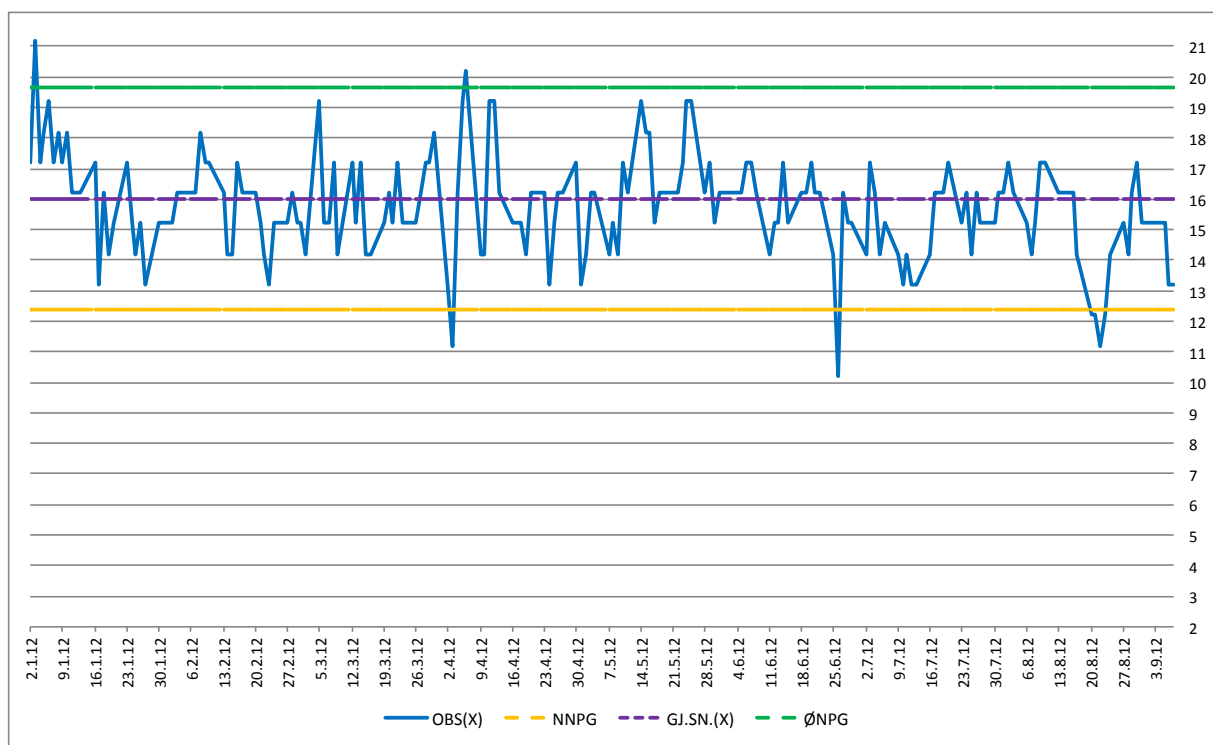
Figur 41. Eksempel på varmekart, med strekning på x-aksen. Kartet viser utvikling i punktlighet over strekningen. Togene beveger seg fra venstre til høye i figuren.

4.6 HVILKE ENDRINGER INNEBÆRER ET TRENDBRUDD?

Kontrolldiagram

Kontrolldiagram er en illustrasjon av punktlighetsutviklingen over tid, med bruk av noe statistisk analyse. Statistisk analyse gjorde et kvantesprang ved Bell Telephone Laboratories når Walter A. Shewhart i 1924 utviklet konseptene for statistiske kontrolldiagram og statistisk prosesskontroll, også kjent som kontrolldiagram. Innen transportsektoren i Norge har deler av metodeverket for statistisk prosesskontroll blitt brukt under navnet faktabasert styring. Statistisk prosesskontroll er en viktig del av faktabasert styring.

Statistisk prosesskontroll er en samling visuelle verktøy for å raskt fange opp endringer og mønstre i prosesser. Verktøyene visualiserer etterfølgende målinger slik at endringer og mønstre kan ses umiddelbart uten dyp innsikt i den underliggende statistikken. Figur 42 viser et eksempel på et kontrolldiagram.



Figur 42. Eksempel på kontrolldiagram. Her vises variasjonen i tilgjengelige enheter av en type rullende materiell over en tidsperiode. NNPG = nedre naturlige prosessgrense, ØNPG = øvre naturlige prosessgrense

Kvaavik (2008) bruker alternative styringsdiagram for å omgå antakelsen om at de aktuelle dataene er normalfordelte. I et XmR styringsdiagram modifierer man øvre og nedre prosessgrense. Styringsdiagrammet brukes for å overvåke utviklingen av variasjonsbredden med den hensikt å fange opp at prosessens signaler vises i styringsdiagrammet (Kvaavik, 2008). Man kan bruke SPC-plotting, for blant annet strekning («blokk») og stasjonsopphold.

Bidragsplottene – som også er delt i blokk- og stasjonstid – plotter i hvilken grad tidsforbruket i blokk eller stasjon er større eller mindre enn planlagt tid (både relativ og nulljustert).

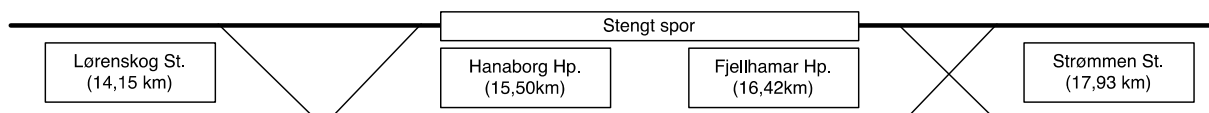
SPC er godt egnet for å følge opp kontinuerlige prosesser. I jernbanesammenheng kan det diskuteres på hvilket nivå statistisk prosesskontroll skal utføres. Det er fristende å bruke metoden på

ankomstpunktligheit for utvalgte tog. Man kan da se hvor stabil togframføringsprosessen er. Ofte finner slike analyser at prosessen ikke er under kontroll. Det viser at variasjonen er stor, og man kan identifisere når det skjer avvik som ikke er tilfeldige. I de fleste tilfeller kjenner driftspersonalet ved jernbanen til at det har skjedd noe spesielt, og det trenger man sjelden SPC-diagrammet til å finne.

Vanlig bruk av SPC i andre bransjer inkluderer vareproduserende industri og helsesektoren. I begge tilfeller studerer man gjerne forholdsvis avgrensede prosesser, som prøveanalyser i et medisinsk laboratorium eller bearbeidingen som utføres av en maskin i et verksted. SPC er egnet og godt etablert til denne type prosesser. Spørsmålet er hva som er den riktige overføringen til jernbanen. En tilnærming er å bruke SPC på ankomstpunktligheit til endestasjon for et tognummer, eller et togprodukt. Dersom man finner at dette ikke er en prosess som er under kontroll, så er det en rekke faktorer som kan bidra, og analysen gir ikke noen særlige svar annet enn at «her er det noe som bør undersøkes nærmere». Det er da interessant å kunne zoome inn mot eksempelvis hver blokkstrekning (eller annen avgrenset del av linjen som man har data for). Ved å gjøre det studerer man en mer avgrenset prosess. Erfaringer tilsier at SPC gir mer forklaringsverdi når det brukes på avgrensede deler av jernbanen, sammenlignet med å se på hele strekninger eller grupper av tog. Det er derfor ønskelig at verktøyene kan tilpasses slik at det man analyserer (tidsrom, strekning, tognummer) kan velges. Derved kan man zoome fra overordnede analyser til mer avgrensede. Vi kommer til å vise eksempler på bruk av SPC basert på punktlighetsdata. Grafene viser tog-for-tog kjøretid mellom to signaler (enten som kjøretid på blokk, eller opphold på stasjonsområde). Man kan legge inn en linje for å vise et løpende gjennomsnitt («moving average») over siste n tog. I tillegg kan man vise øvre og nedre kontrollgrense.

Case Hovedbanen Lørenskog – Strømmen

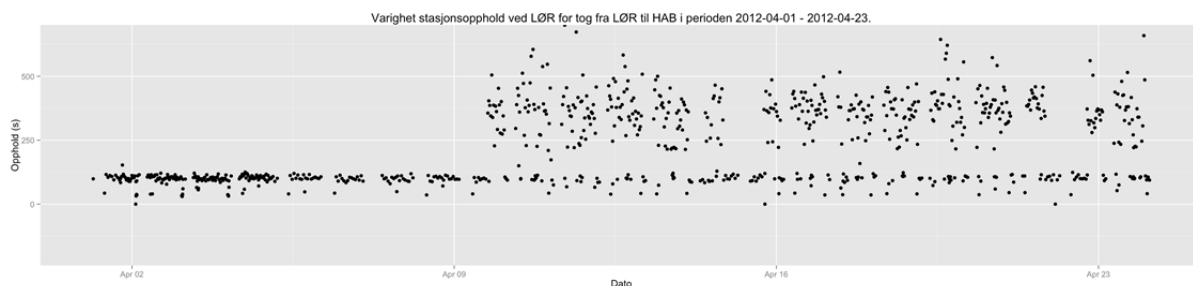
Rett etter påske 2012 stengte Jernbaneverket ett spor på Hovedbanen mellom Lørenskog og Strømmen for å utvide plattformen ved Hanaborg stasjon. På denne strekningen ble det da enkeltsporet drift fram til ny plattform var på plass. Figur 43 viser prinsipielt hvordan denne stengingen ble.



Figur 43. Skisse over den fysiske situasjonen i caset, der et spor ble stengt. Man gjorde om et dobbeltspor til enkeltspor på en del av strekningen.

Stengingen var forventet å forårsake mindre forsinkelser i lokaltrafikken på Hovedbanen. Det var ønskelig å vite mer om effekten på togtrafikken i området, og prototypen på Presis beslutningsstøtteverktøy ble benyttet for å undersøke dette.

Plottet under (Figur 44) viser stasjonsopphold på Lørenskog stasjon for nordgående lokaltog, tog som venter på signal for å kjøre mot Hanaborg stasjon. Langs Y-aksen vises lengde på stasjonsoppholdene, mens på X-aksen vises de sekvensielle nordgående lokaltogene, og hvert punkt på grafen representerer et enkelt lokaltog.



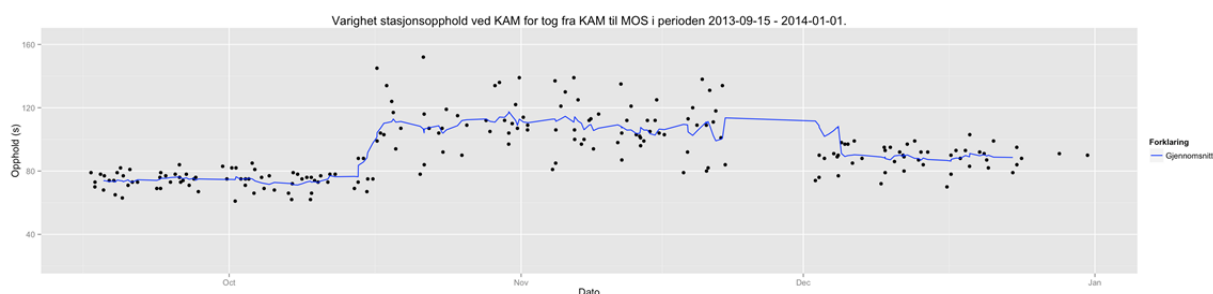
Figur 44. Trend-diagram for toggangen før og etter stenging av et spor. Hvert punkt er et tog. Det framgår tydelig at både gjennomsnittlig framføringstid og spredningen øker ved overgang til enkelsporet drift.

Som det framgår av pottet, skjer det plutselig en markant endring i tid for stasjonsopphold. Endringen skjer på dagen for stenging av det ene sporet, og her ses det at stasjonsoppholdet går fra gjennomsnittlig 100 sekunder til nesten 400 sekunder i gjennomsnitt. Forskjellen mellom de seneste og raskeste togene, variasjonsbredden, ble også betydelig større etter stenging av det ene sporet. Ved bruk av Presis beslutningsstøtteverktøy ser man raskt at før stenging var hovedvekten av tog på strekningen litt før rute inn til stasjonen, mens etter stenging ble de fleste tog forsinket med i underkant av fire minutter.

Case Saktekjøring ved Kambo

Figur 45 viser ytterligere en graf fra verktøyet. Grafen viser tiden et godstog bruker mellom innkjør og utkjør («Oppholdstid på stasjon») ved Kambo, på Østfoldbanens vestre linje, rett nord for Moss. I perioden helt til venstre i figuren er det ordinær hastighet. Så settes hastigheten ned, og framføringstiden og variasjonen går opp. Til høyre i figuren settes hastigheten opp nesten til ordinær hastighet.

Årsaken her er feil ved en sporveksel som medførte kraftig nedsatt hastighet gjennom stasjonen. Etter en periode ble saktekjøringen justert noe, og hastigheten ble satt litt opp. Strekningen med reduksjon er veldig kort (over én sporveksel), men endringen i hastighet utgjør likevel 40 sekunder lengre kjøretid gjennom stasjonen for godstog som ikke har rutemessige stopp. Etter justeringen kan man se at man henter inn nærmere 20 sekunder, slik at saktekjøringen «kun» utgjør 20 sekunder.

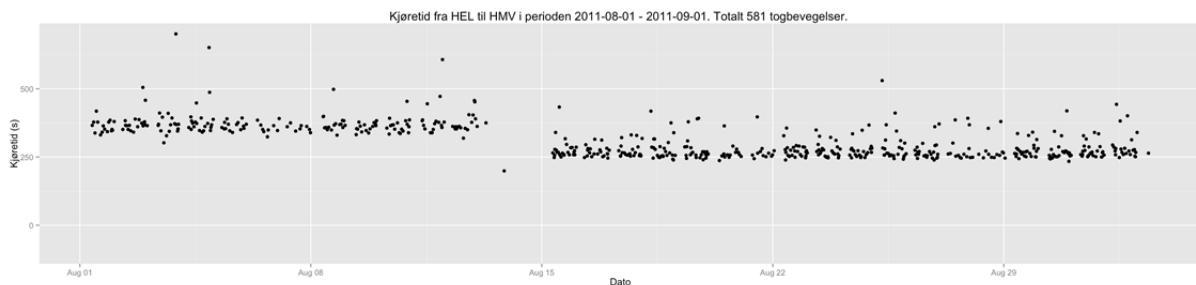


Figur 45. Trend-diagram for caset. Hver svart prikk er et tog, den blå linjen er glidende gjennomsnitt.

Case Gevingåsen jernbanetunell

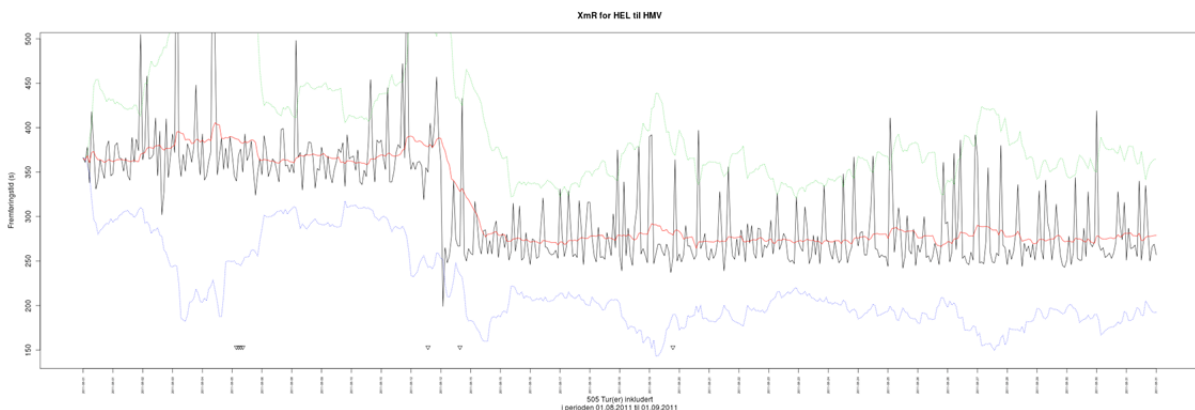
I mange tilfeller gjør man tiltak for å bedre situasjonen for jernbanetrafikken, blant annet å redusere framføringstiden. Et eksempel på dette er Gjevingåsen jernbanetunell på Nordlandsbanen. Her ble en ny banestrekning på totalt 5,7 km åpnet 23. august 2011, hvor 4,4 km av disse er tunell⁵. Strekningen er vel to km kortere enn den gamle strekningen, og skal på sikt gi 4-5 minutter tidsbesparelse, men dette utnyttes først ved ny ruteplan på hele Nordlandsbanen.

Ved slike forbedringstiltak ønsker man i løpet av kort tid å se om tiltaket har en effekt som ønsket. Som det framkommer av Figur 46 og Figur 47 ser man en tydelig endring i framføringstid på strekningen. Her har gjennomsnittlig framføringstid mellom disse to stasjonene blitt redusert fra ca. 375 sekunder til ned mot 250 sekunder.



Figur 46. Trend-diagram for framføringstid mellom Hell og Hommelvik, før og etter åpning av Gevingåsen tunell. Hvert tog er et svart punkt i grafen.

Vi viser to framstillinger av den samme situasjonen ved åpningen av Gjevingåsen tunell. Hvert sort punkt på begge grafene representerer et lokaltog. I Figur 47 viser vi også gjennomsnitt og kontrollgrenser. Den røde linjen representerer flytende gjennomsnitt basert på de siste 20 tog, Den grønne og den blå streken representerer henholdsvis øvre og nedre kontrollgrense, og er også flytende basert på de siste 20 målinger.



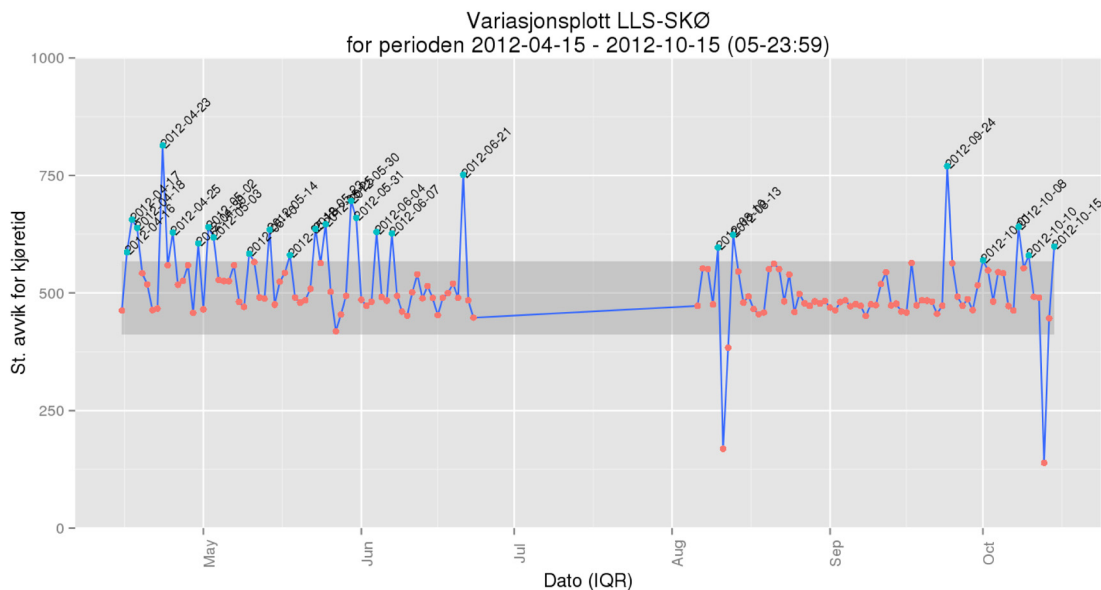
Figur 47. Trend-diagram for framføringstid mellom Hell og Hommelvik, før og etter åpning av Gevingåsen tunell. Hvert tog er et punkt på den svarte kurven.

⁵ Jernbaneverket: <http://www.jernbaneverket.no/no/Prosjekter/Prosjekter/Ferdige-prosjekter/Gevingasentunnel/Prosjektartikler/Offisiell-apning-av-Gevingasen/>

Variasjonsplott

I stedet for å bruke framføringstid på y-aksen kan man bruke variasjon i framføringstid, og studere hvordan den utvikles over tid. Man kan eksempelvis anta at variasjonen i framføringstid kan bli redusert etter at det er gjennomført forbedringstiltak på en strekning.

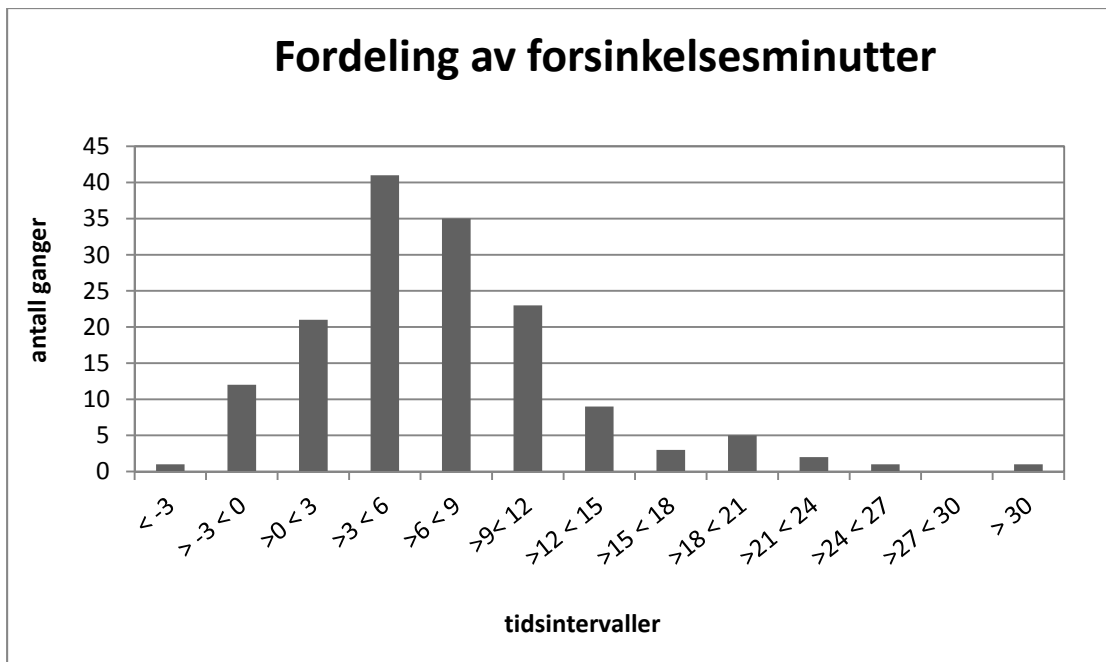
Figur 48 viser en effekt av Prosjekt Oslo. Prosjektet utførte omfattende utbedringer i Oslo-tunellen sommeren 2012. Variasjonen i framføringstiden mellom Lillestrøm og Skøyen ble redusert etter tiltaket, sammenlignet med situasjonen før sommeren.



Figur 48. Variasjonsplott for framføringstiden mellom Lillestrøm og Skøyen

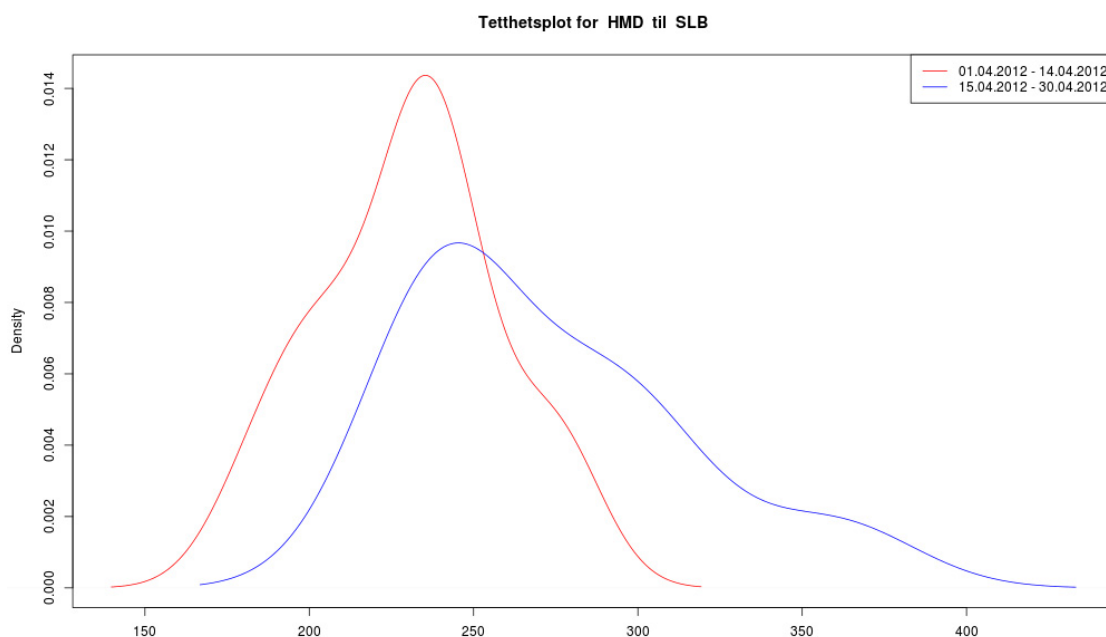
4.7 HVORDAN ER FORDELINGEN MELLOM STORE OG SMÅ FORSINKELSER?

Et histogram er et diagram, der data er samlet i forskjellige grupper, gjerne i intervall. Til forskjell fra paretodiagrammet eller et vanlig søylediagram er histogrammet sortert i en kontinuerlig rekkefølge. Det er normalt at y-aksen betegner frekvensen. Formelt sett er det arealet, ikke bare høyden av stolpene, som viser mengdene. Imidlertid er det vanlig å ha like intervall i de ulike gruppene, og da er det i praksis høyden som angir omfang. Figur 49 illustrerer hvordan histogram kan brukes for å vise fordelingen på når et tog pleier å komme fram i forhold til ruta.



Figur 49. Illustrasjon av et histogram, med fordeling av forsinkelsesminutter i tidsintervaller

Paretodiagrammet kan videreføres til et tetthetsplott, som i Figur 50. Her vises en kontinuerlig kurve for eksempelvis fordeling av kjøretiden mellom to stasjoner, eller andre punkter på jernbanelinjen.

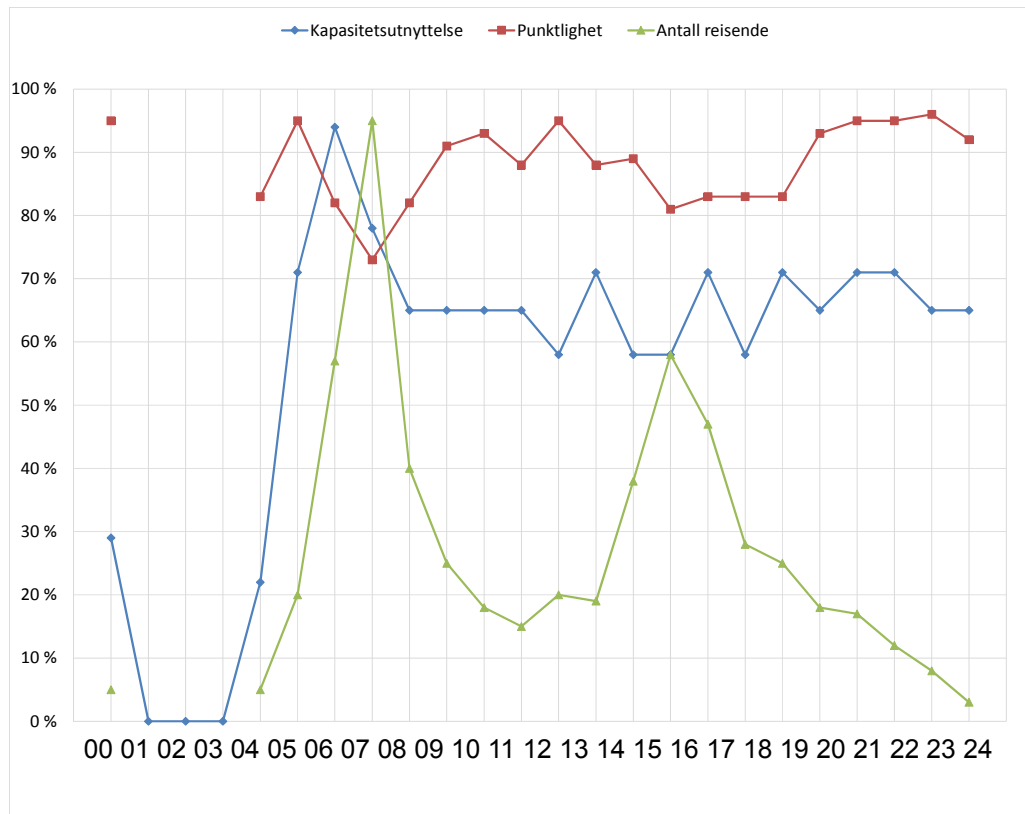


Figur 50. Illustrasjon av et histogram, med fordeling av forsinkelsesminutter i tidsintervaller

Plottet som settes opp, er et tetthetsplott, som vist over, med kjøretid mellom de valgte punktene i sekunder på X-aksen, og andelen tog med den kjøretiden på y-aksen. Rød kurve er for periode A og blå kurve for periode B.

Analysen kan utvides med en statistisk kontroll av hvor sikker man kan være på at kjøretiden er endret. Kjøretidsspredning er et enkelt test-verktøy (statistisk test), for å se på endring i kjøretid i mellom to tidsperioder.

En variant av histogram er å se på utviklingen over en kortere tidsperiode, eksempelvis et døgn. Punktlighet over døgnet kan relateres til belastningen på en strekning. Belastning måles som antall ankomster og avganger i løpet av hver klokke time over døgnet. Figur 51 viser en analyse av punktlighet for lokaltog i forhold til antall reisende i lokaltogene, og total kapasitetsutnyttelse mellom Asker og Oslo S. Denne typen analyse kan også presenteres som et spredningsdiagram. Et spredningsdiagram hadde fokusert på sammenhengen mellom kapasitetsutnyttelse og punktlighet. Ved å vise data på en tidsakse ser man utviklingen over døgnet, noe som kan være lettere å kommunisere.



Figur 51. Eksempel på illustrasjon av punktlighet, kapasitetsutnyttelse og antall reisende over døgnet på strekningen Asker–Oslo S. Kapasitetsutnyttelse og punktlighet i prosent, antall reisende er indeksert. Analysen er utført i 2002.

4.8 HVORDAN BLE DET?

Oppfølging i et langt tidsperspektiv

Det er ofte interessant å se på punktlighetsutviklingen over en tidsperiode. Spesielt interessant er det gjerne dersom tidsperioden inkluderer en endring som forventes å påvirke punktligheten.

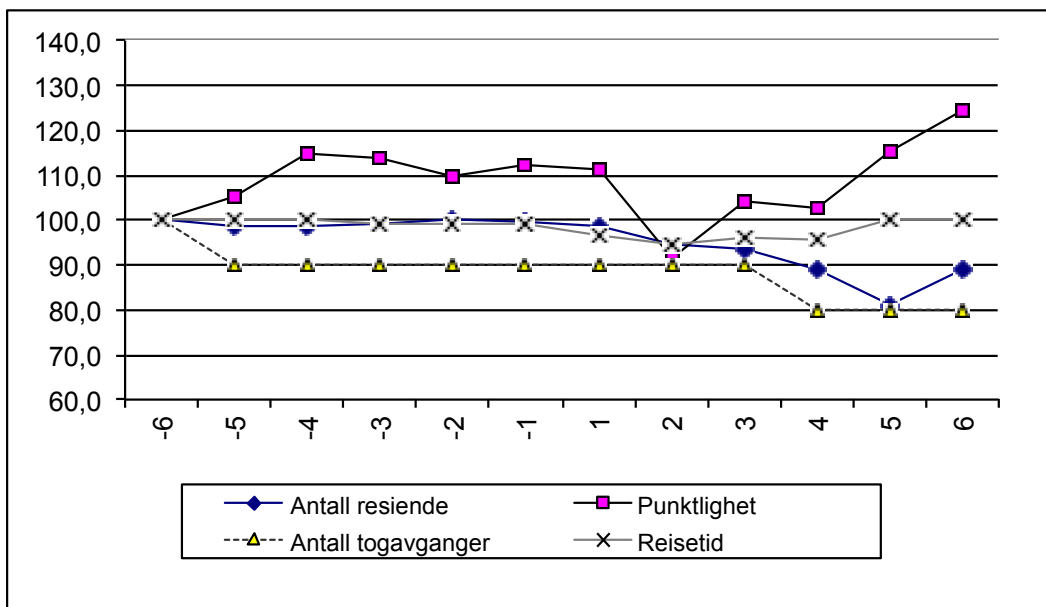
Et spørsmål som kan komme opp, er over hvilken tidsperiode man ønsker å måle og sammenligne punktlighet. Hva er sammenligningsgrunnlaget? Det er naturlig å sammenligne en uke med de foregående ukene. Men det kan også være fornuftig å sammenligne med den samme perioden året

før, eller den samme perioden en serie av år tidligere. På denne måten kan man eksempelvis kompensere for sesongvariasjoner.

Punktlighetsoppfølgingen kan ha ulike tidsperspektiv, inkludert:

- Hvor hyppig man utfører analyser og oppsummeringer
- Hvor lang tidsperiode man analyserer
- Hvilken tidsperiode man bruker som referanse for å identifisere endringer og avvik

Figur 52 viser utviklingen år for år for punktlighet, antall reisende, reisetid og antall avganger på Bergensbanen i perioden før og etter 1999. I denne perioden ble det bygd flere parseller, som blant annet skulle gi bedret punktlighet.



Figur 52. Situasjonen før og etter åpningen av ny infrastruktur. Utviklingen i antall reisende, antall avganger, punktlighet og reisetid. Situasjonen 6 år før åpning er satt til indeks 100 for alle disse forholdene. Figuren er basert på nye baner Tunga-Finse og Gråskallen på Bergensbanen, som ble åpnet 1998 og 1999.

Tidspunkt for oppfølging

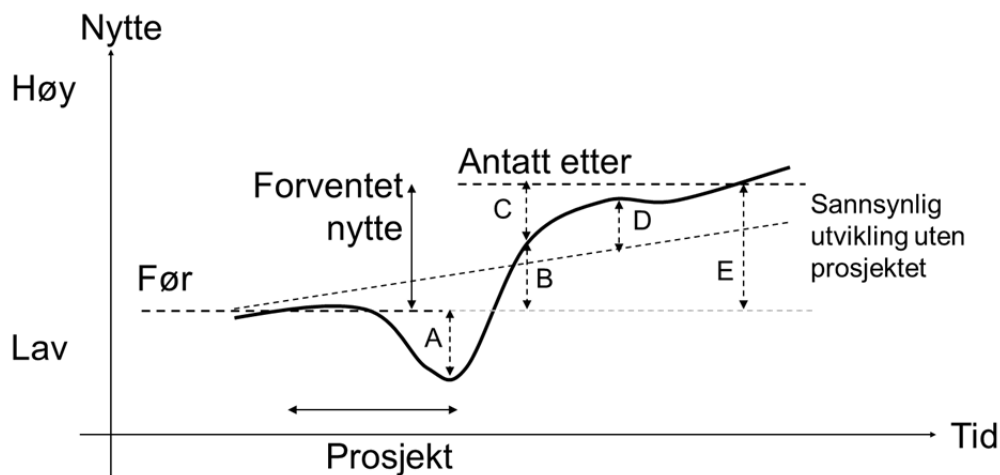
Det er en del forhold man bør tenke på når man sammenligner utviklingen i punktlighet over en tidsperiode. Figur 53 viser ulike alternative referansegrunnlag for ex post-evaluering, og en prinsippskisse for hvordan utviklingen ofte, men ikke alltid, er under og etter utføring av et forbedringsprosjekt. Man kan skille mellom sammenligning av før- og ettersituasjonen, eller sammenligning med forventet situasjon. I jernbanesammenheng kan aktuelle prosjekter være større infrastrukturutbygginger, som dobbeltsporparseller, nytt rullende materiell, nye rutetabeller, eller mindre tiltak som utskifting av sporveksler, forbedret jording, fjerning av saktekjøringer og lignende. Situasjon A illustrerer evaluering rett etter avsluttet prosjekt. Figuren illustrerer at det ofte kan være en forverring i en kortere periode, eksempelvis grunnet innkjøringsproblemer. Alternativ B viser forbedringen en tid etter prosjektet, sammenlignet med førsituasjonen. C tar utgangspunkt i samme tidspunkt som B, men her sammenligner man med det man forventet av effekter, eksempelvis forbedring av punktlighet. I figuren har man ikke oppnådd hele den planlagte forbedringen en tid etter avsluttet prosjekt. Det er en sammenligning med hvordan man kan anta at det hadde vært uten prosjektet. Man har da antatt hvordan utviklingen hadde vært uten prosjektet, og brukt det som

referanse. Her kan man iblant bruke andre banestrekninger som ikke har fått utbedringer som sammenligningsgrunnlag. Til sist er E en sammenligning mellom før- og ettersituasjonen forholdsvis lenge etter prosjektet.

Det ideelle er at situasjonen etter at prosjektet er gjennomført samholdes med situasjonen man ville ha hatt på det samme tidspunktet uten at prosjektet hadde blitt gjennomført. Videre kan man samholde oppnådde effekter med den estimerte nytten slik den ble framsatt før prosjektet ble vedtatt og igangsatt (vist med situasjon B i figuren). Dette evaluerer hovedsakelig kvaliteten på planleggingsarbeidet.

Samholdes oppnådd endring av tilstand mot før-situasjonen før prosjektet (situasjon B og E i figuren), kan det gi erfaringsdata om typiske endringer som kan oppnås ved slike prosjekter. Dette vil være nyttig kunnskap for framtidig estimeringsarbeid i etterfølgende prosjekter.

Endelig kan man sammenligne oppnådde effekter i prosjektet som evalueres med hva andre, lignende prosjekter har oppnådd. Det sikrer at evalueringen ikke bare forholder seg til den interne estimeringen i dette ene prosjektet, men gir en ekstern referanse gjennom en form for benchmarking.



Figur 53. Referansegrunnlag for ex post-evaluering

Situasjon A i Figur 53 illustrerer evaluering rett etter avsluttet prosjekt. B viser forbedringen en tid etter prosjektet. C viser at man kanskje ikke har oppnådd hele den planlagte forbedringen en tid etter avsluttet prosjektet. D innebærer en sammenligning med hvordan man kan anta at det hadde vært uten prosjektet. E er en sammenligning mellom før- og ettersituasjonen forholdsvis lenge etter prosjektet.

Figur 53 viste et mulig forløp for nytteeffektene av et prosjekt i tiden etter dets ferdigstilling. Ofte ser man faktisk en nedgang i opplevd nytte rett etter at et prosjekt er fullført og ny infrastruktur er tatt i bruk. Etter en tid oppnås mer av den nytten prosjektet ble etablert for å realisere, og nettogevinsten er positiv. Om nytten eller de positive effektene fortsetter å øke i lang tid etter prosjektet, er det usikkert om det skyldes selve prosjektet eller andre forhold.

Dette taler for et kompromiss med hensyn til evalueringstidspunkt:

- For tidlig (innen ett år etter avslutning) vil kunne risikere å evaluere prosjektet før hele nytten er realisert, slik at man i praksis er i situasjon A i Figur 53.

- For sent (mer enn kanskje 4–5 år etter avslutning) vil evaluere prosjektet på et tidspunkt der man vil kunne oppleve «effektutvanning» og der observerte effekter er påvirket av annet enn bare det prosjektet man vil studere.
- Prosjekter er svært ulike når det gjelder hvor raskt nytteeffekter materialiserer seg og ikke minst utvikler seg over tid. For noen prosjekter, for eksempel bygging av et nytt dobbeltspor kan nytten i form av redusert reisetid komme først når man utfører en ruteendring.

Et annet moment er levetiden på det objektet/infrastrukturen prosjektet har levert, spesielt i forhold til estimert levetid. Dersom levetiden blir kortere enn forventet, forringes selvsagt den totale nytten fra prosjektet, og vice versa om den blir lengre. Dette vil man faktisk ikke kunne vite før man er klar for utrangering eller oppgradering, og som da kanskje tilsier en siste sluttevaluering på dette tidspunktet.

4.9 VERKTØYKASSE PÅ NETT

Det finnes flere presentasjoner av punktlighet på Jernbaneverkets hjemmesider, og muligheter for å bruke sanntidsdata for å se om et spesielt tog er i rute. Se blant annet disse linker (kan bli endret):

<http://www.jernbaneverket.no/no/Nyheter/Punktlighetskart/>

<http://www.jernbaneverket.no/no/Punktlighet/>

<http://www.jernbaneverket.no/no/Nyheter/Togenes-punktlighet-og-regularitet/>

Forskningsprosjektet PRESIS har tatt fram en verktøykasse som inneholder flere av de analysene som er beskrevet tidligere. Analysene er basert på punktlighetsdata fra Jernbaneverket.

De verktøy fra PRESIS-prosjektet som er sammenstilt, er følgende:

- SPC-verktøyet viser «prosesskontrolldiagram» for kjøretid.
- Heatmap. Varmekart viser punktlighet over tid/strekk/tid-på-døgnet.
- CorRail gir korrelasjonsplott mellom underveispunktlighet og endestasjonspunktlighet.
- Volum gir antallet tog over strekning sammenholdt med drivmaskinfeil (tidlig prototype).
- Kryssingsplott gir korrelasjon mellom to tog som krysser, viser presisjon i kryssing.
- Variasjonsplott viser variasjonen i togtrafikken dag for dag, overlatt med et kontrolldiagram.
- Presisometeret gir punktlighet over tid/strekning for forskjellige punktlighetsgrenser.
- Videreutviklet TogGraf
- KryssForsink. Viser kryssinger, filtrert på forsinkelsesmargin («følgeforsinkelser»).
- Rutefinner gir stasjoner (med dataregistrering) i rekkefølge for et gitt tognummer/dag

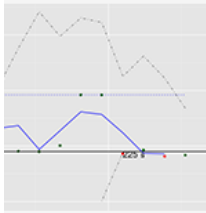
I løpet av PUSAM- og PRESIS-prosjektene er det utviklet flere verktøy for å plote analysegrafer direkte på data fra TIOS (slik at man slipper omveien rundt for eksempel Excel). Disse prototypene ble realisert i statistikkverktøyet R, en SQL-database med trafikkdata og knyttet til et web-grensesnitt for enkel filtrering.

Generelt for disse prototypene er at de tillater filtrering på blant annet:

- (Fra / Til) – stasjon
- Dato-område
- Togkategori (passasjer/gods)
- Togoperatør
- Tognummer (inkl. hurtigvalg konstruert fra nummerserier)

Grafplotterne ble utviklet for å raskt kunne framstille kontrolldiagrammer og vanlige statistiske plott over utviklingen i trafikken – tog for tog, basert på de to enkleste metrikkene; stasjonsopphold og kjøretid. Normale bruksområder kan være både overvåkning av utvikling over tid (en typisk oppgave for kontrolldiagrammer), samt visuell inspeksjon av tidligere fenomener.

Verktøy fra PRESIS-prosjektet



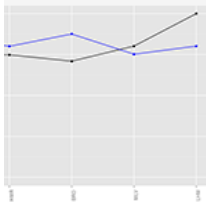
SPC

SPC verktøyet viser "prosesskontrolldiagram" for kjøretid.



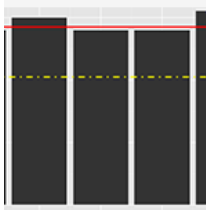
Heatmap

Varmekart viser punktlighet over tid/strekk/tid-på-døgnet



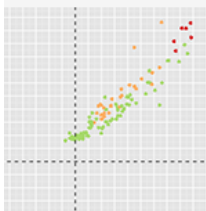
CorRail

CorRail gir korrelasjonsplott mellom underveispunktligheit og endestasjonspunktligheit (komplisert)



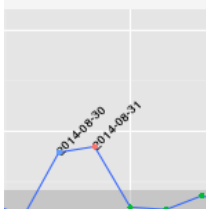
Volum

Volum gir antallet tog over strekning sammenholdt med drivmaskinfeil (tidl. prototype)



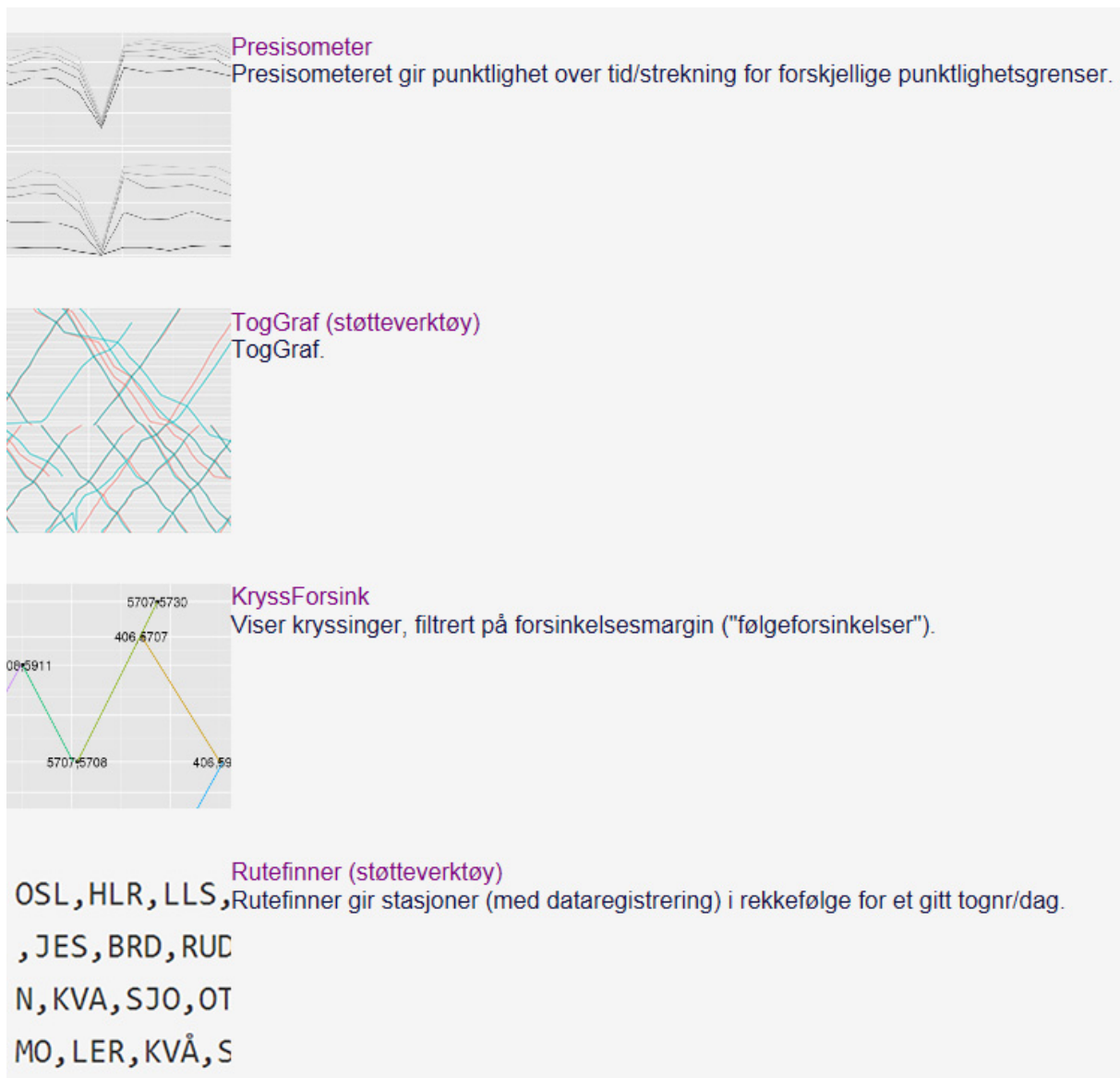
Kryssingsplott

Kryssingsplott gir korrelasjon mellom to tog som krysser, viser presisjon i kryssing.



Variasjonsplott

Variasjonsplott viser variasjonen i togtrafikken dag for dag, overlagt med et kontrolldiagram (IQR).



Figur 54. Eksempel på verktøykasse

4.10 VERKTØY FOR PUBLIKUM

Det finnes flere måter for publikum å finne informasjon om punktligheten i jernbanen på. Jernbaneverket legger regelmessig ut informasjon om punktligheten. I tillegg finnes det muligheter for å få informasjon tilpasset den enkelte reisende. «Mitt tog» bruker den samme type data fra TIOS som vi har beskrevet tidligere, og viser det for utvalgte strekninger og tidsperioder. Her kan man finne punktligheten for ulike togavganger.

Mitt tog - punktlighet

Punktlighet for strekning

[Gå til Punktlighetskart](#)

Velg strekning

Fra Til

Velg dato og tidsrom

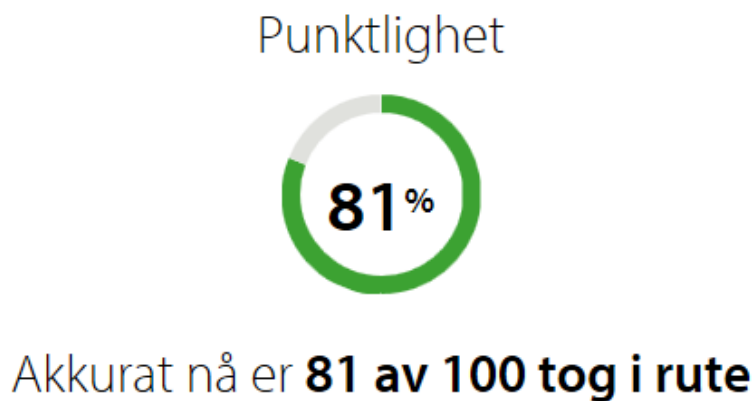
Fra dato	Til dato	Fra tid	Til tid	
<input type="text" value="18.05.2015"/>	- <input type="text" value="29.05.2015"/>	<input type="text" value="07:00"/>	- <input type="text" value="09:00"/>	<input type="button" value="Vis valgt periode"/>

i Et tog regnes som **i rute** dersom det ankommer endestasjonen innenfor en margin på 3 minutter og 59 sekunder.

For langdistansetog er denne marginen 5 minutter og 59 sekunder.

Figur 55. Eksempel på verktøy på web der publikum kan se punktlighet for utvalgte tog. Kilde: Jernbaneverket

Både Jernbaneverket og togselskapene har oppdatert informasjon om punktligheten for togene til enhver tid. Informasjonen er ofte plassert på hjemmesiden til selskapene.



Figur 56. Eksempel på verktøy der publikum kan se punktligheten akkurat nå. Kilde: Jernbaneverket

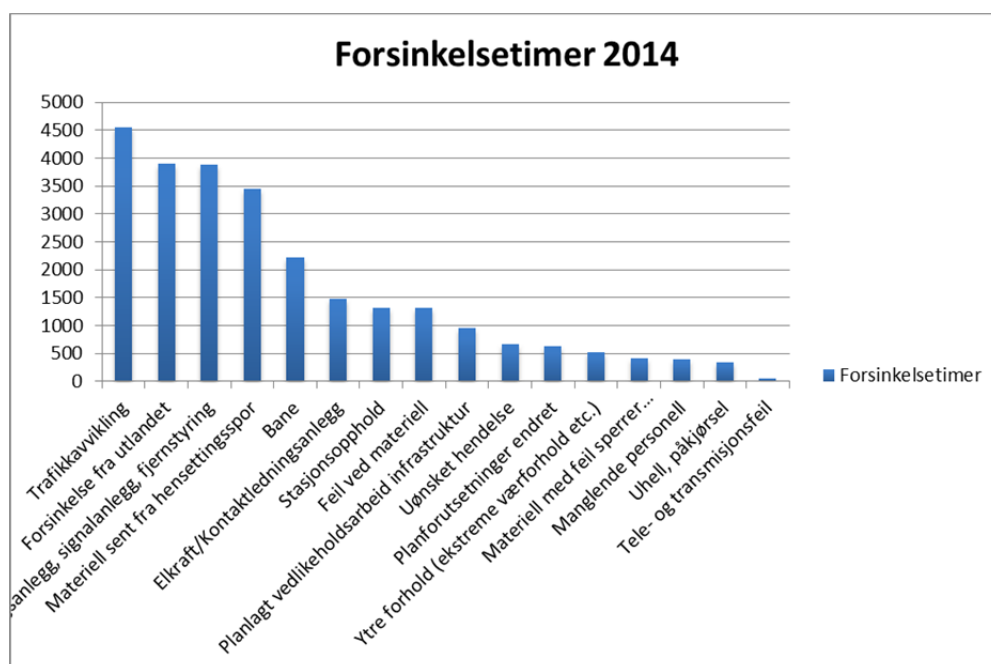
5 ANALYSER AV ÅRSAKER TIL FORSINKELSER

5.1 BRUK AV ÅRSAKSKODER

Punktlighetsarbeid er problemløsning. Det finnes en rekke verktøy for denne type problemløsning – både visuelle og basert på statistikk. I dette kapittelet fokuserer vi på årsaker til forsinkelser, og analyser av årsaker.

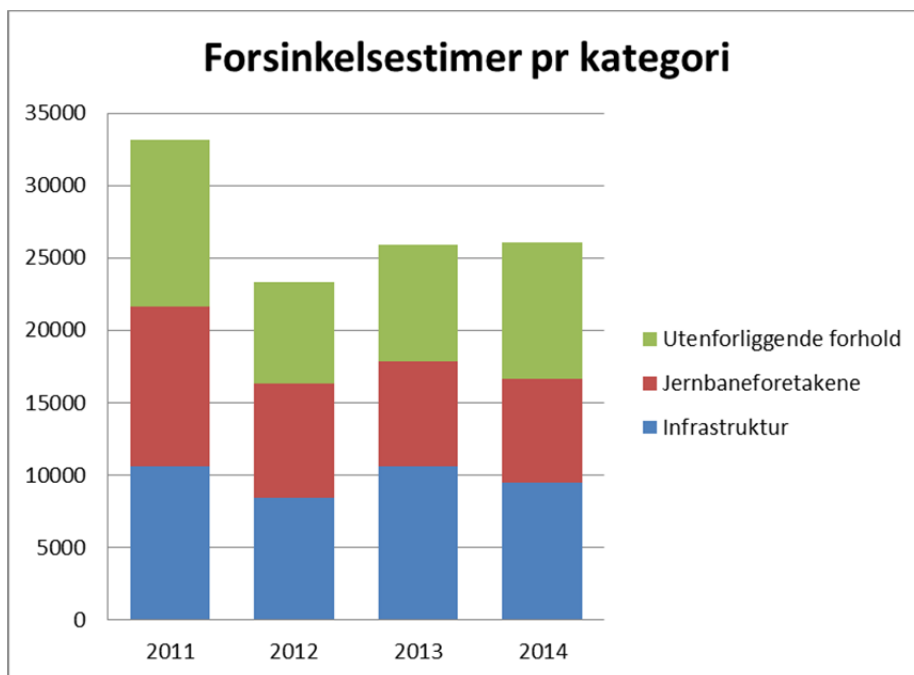
Registrering av årsaker til forsinkelser skaper muligheter til oppfølging av forsinkelser. Når et tog blir mer enn fire minutter forsinket, eller får en merforsinkelse på fire minutter, skal togleder eller TXP angi en direkte forsinkelsesårsak. TIOS benytter totalt 16 forskjellige årsakskoder. På et overordnet nivå er årsakene delt inn i infrastruktur, trafikkavvikling, togselskap og utenforliggende årsaker. Disse registreringene bidrar til at man kan etablere et overordnet bilde av hva som påvirker punktligheten.

Årsaksregistreringene kan brukes til å vise i hvor stor grad ulike forhold bidrar til forsinkelser i jernbanen. Figur 57 viser et paretdiagram for forsinkelsesårsaker for hele 2014. Dette er basert på data fra Jernbaneverket.



Figur 57. Alle forsinkelsetimene i 2014 fordelt på kode og kategori. Kilde: Jernbaneverket

En vanlig måte å presentere forsinkelsetimer på er å se på utviklingen over tid, som vist i Figur 58. Her vises hvordan man vanligvis presenterer tallene for flere år.



Figur 58. Utvikling i forsinkelsestimer i perioden 2011 til 2014. Kilde: Jernbaneverket

Årsaksregistreringene brukes også til å beregne oppetid i jernbanen. Oppetiden beregnes basert på forholdet mellom totalt antall planlagte togtimer og forsinkelsestimer registrert på koder relatert til infrastruktur. Oppetiden angir hvor stor andel av togtimene som er fastsatt i ruteplanen som blir overholdt. En høy oppetid innebærer at det er få forsinkelser grunnet infrastrukturen. Figur 59 viser hvordan oppetiden på de ulike banestrekningene blir presentert på Jernbaneverkets hjemmesider.

Oppetid- ny organisasjon

	201501	201502	201503	201504	201505	201506	201507	201508	201509
Bane	Oppetid	Oppetid	Oppetid	Oppetid	Oppetid	Oppetid	Oppetid	Oppetid	Oppetid
(Hjuksebø) - Notodden	99.8	99.6	99.8	99.1	99.5	94.4	99.8	100.0	99.1
Arendalsbanen	99.9	99.5	100.0	99.8	99.6	99.5	100.0	99.4	99.9
Bergensbanen	98.5	98.5	98.4	98.7	97.2	98.8	99.4	99.0	98.9
Bratsbergbanen	99.9	99.8	100.0	100.0	99.6	99.2	98.4	99.8	98.9
Dovrebanen	99.1	99.2	99.5	99.6	99.1	97.6	99.0	99.6	99.2
Drammenbanen	99.4	99.5	98.5	99.0	99.4	99.3	99.1	98.8	99.3
Flåmsbanen	99.9	100.0	100.0	99.8	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Gardermobanen	99.5	99.5	99.0	99.7	99.6	99.4	97.9	99.3	99.6
Gjøvikbanen	99.5	99.7	99.4	99.7	97.6	96.8	98.8	99.7	96.9
Hovedbanen	98.8	99.1	96.7	99.1	99.3	98.8	98.5	99.3	99.3
Kongsvingerbanen	99.4	99.5	98.8	99.6	99.5	99.2	99.7	99.2	99.4
Meråkerbanen	100.0	100.0	100.0	99.9	100.0	99.9	100.0	99.8	99.8
Nordlandsbanen	99.7	99.3	99.6	99.7	99.6	99.6	99.3	99.4	99.4
Oftobanen	95.0	96.3	99.2	95.9	98.0	93.4	97.1	96.3	99.1
Oslo S - Skøyen	97.8	98.1	95.7	98.8	98.3	97.9	97.2	97.0	98.0
Raumabanen	100.0	100.0	99.9	100.0	99.9	100.0	100.0	100.0	99.8
Roa - Hønefossbanen	100.0	100.0	97.6	99.8	99.0	99.1	97.5	99.8	95.1
Rørosbanen	99.1	99.7	99.5	99.7	98.9	99.1	99.3	98.4	98.9
Solørbanen	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Spikkestadbanen	99.6	99.8	99.4	99.5	99.8	99.8	99.9	99.9	99.7
Sørlandsbanen	99.2	99.2	99.2	99.0	98.7	99.1	98.9	98.7	98.7
Vestfoldbanen	99.6	99.7	99.5	98.8	99.0	99.6	98.7	99.7	96.3
Østfoldbanen	99.4	99.3	99.5	99.3	99.7	99.5	98.8	98.9	99.2
Grand Total	99.1	99.2	98.9	99.2	99.0	98.8	98.9	99.0	98.9

Figur 59. Oppetider fordelt på banestrekning, til og med september 2015. Kilde: www.jernbaneverket.no

5.2 TIDLIGERE FORSKNING OM ÅRSAKER TIL FORSINKELSER

Eksempler på studier

Det er gjennomført en lang rekke studier for å avdekke årsakene til forsinkelser oppstår og hvordan disse sprer seg i jernbanenettet. Faktorer som går igjen i disse studiene, er vær og klima, kapasitetsbruk, reisendes oppførsel, utforming av tog og plattform, samt trafikkstyring.

En mye sitert britisk studie fra 1992 undersøkte fem faktorer med antatt påvirkning på forsinkelser. Av disse viste det seg at bare toglengde og avstand fra utgangsstasjon var statistisk signifikante (Harris, 1992). Etter hvert som mer og bedre data har blitt gjort tilgjengelig, har detaljeringsgraden i studiene økt. For norske forhold ble det omtrent ti år senere dokumentert at antallet reisende, hvor fulle togene var og avgangspunktligheten, hadde høyest korrelasjon med punktlighet til endestasjon (Olsson og Haugland, 2004). Funnene viste overraskende liten sammenheng mellom saktekjøringer og punktlighet og bidro til økt oppmerksomhet rundt terskelverdier for forsinkelser; hvor stort tidstapet kunne være på delstrekninger uten at det første til større forsinkelser på nettet. For saktekjøringer som ikke ledet til forsinkelser som oversteg terskelverdien, vil de resulterende forsinkelsene skjules i normal variasjon i kjøretid på strekningen.

Tiden togene bruker på stasjonen, har blitt studert i flere omganger siden Olsson og Hauglands undersøkelse. Det har blitt dokumentert i flere land at togtype, utforming av stasjon og hvor på stasjonen toget stopper har stor innflytelse på tiden toget bruker på stasjonen (Heinz, 2000; Carey og Carville, 2003). Passasjerutveksling tar gjerne lengre tid enn forventet. I tillegg til de faste komponentene i ankomst- og avgangsprosedyrene oppstår situasjoner på stasjonene som resulterer i ytterligere forsinkelser (blant annet dokumentert i en undersøkelse av Harris, Mjøsund og Haugland, 2013).

Feil i infrastrukturen bidrar også til forsinkelsene. Infrastrukturfeil kan føre til store forsinkelser. Bergström og Krüger (2013) påpeker at en stor andel av forsinkelsestimene som registreres, skyldes enkelte store forsinkelser. Målt i forsinkelsestimer hadde store og små forsinkelser totalt sett omtrent samme omfang.

Værforhold kan påvirke både infrastruktur og rullende materiell negativt. I tillegg tar gjerne passasjerutveksling på stasjoner lengre tid når været og forholdene på plattformen er dårlige. Xia mfl. (2013) presenterer en undersøkelse som dokumenterer hvordan vind, temperatur og sesongfaktorer (som løvfall) påvirker både punktlighet og antallet kanselleringer negativt. Studien, som benyttet ulike typer værdata for hele Nederland, dokumenterte sterk negativ effekt av nedbør (både regn og snø), sterke vindkast og temperatursvingninger. Flere studier har blitt gjennomført etter vinteren 2009–2010, som var spesielt kald i Europa. Ludvigsen og Klæboe (2014) legger fram fire case-studier fra hhv. Norge, Sverige, Sveits og Polen. Studien peker på at operatører og infrastrukturforvaltere ikke var forberedt på trippel-effekten av uvanlig lave temperaturer, perioder med sterk vind og stort snøfall. Godstrafikken ble lammet over en lengre periode enn nødvendig som følge av manglende evne hos operatørene til å handle proaktivt. Minst 11 Europeiske land opplevde ekstraordinære vinterproblemer på rullende materiell. Problemene inkluderte koblinger og at togene dro med seg ballast som siden skadet utstyr under togene. Et annet problem gjennom vinteren var hyppige tilfeller av hjulslag. I løpet av vinteren måtte norske godsoperatører reprofilere over 2 000 hjul (mer enn en fjerdedel av alle hjulene på norske godsvogner). I Sverige økte antallet kanselleringer med 150 % gjennom vinteren og en dobling av forsinkelsesomfanget sammenlignet med en vanlig vinter. Et stort problem var isdannelse på kjøreledningen. Forsinkelseskostnaden anslås å ha kostet det svenske samfunnet omtrent 3 milliarder SEK, samtidig som kostnaden ved tiltak som kunne redusert forsinkelsesmengden til omtrent det halve ville vært omkring 450 millioner SEK.

Følsomheten for forsinkelser (robustheten) avhenger blant annet av hvor stor andel av kapasiteten på jernbanen som dedikeres til togbevegelser og slakk. Punktlighetsbrudd vil føre til flere følgeforsinkelser (eller sekundærforsinkelser) i tilfeller med høy kapasitetsutnyttelse.

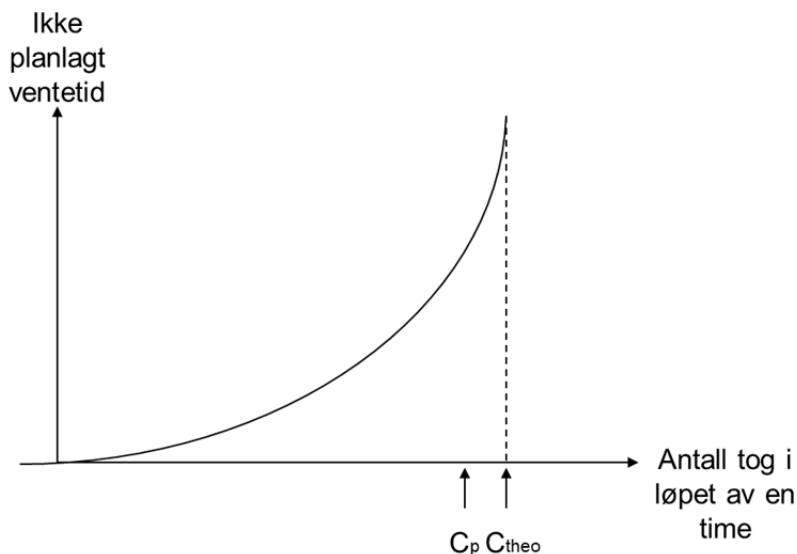
Bruk av simulering sammen med registreringer av virkelig togtrafikk kan benyttes for å evaluere ulike strategier for togledelse. Jiang, Chen og Zhong (2010) har vist at kontrollsystemet (togstyringen) er ansvarlig for 10 % av alle forsinkelser på mer enn 5 minutter på det kinesiske høyhastighetsnettet. Ulike strategier for togledelse har blant annet vært undersøkt av Marinov mfl. (2013) og Kliewer og Suhl (2011). Studiene viser at med de rette verktøyene kan togledelsen redusere omfanget av forsinkelser i jernbanesystemet gjennom å endre tildelingen av sportilgang etter at forsinkelser har oppstått. Dette er i tråd med funn fra Törnquist (2007) og Andersson (2014).

Punktlighet og kapasitet

Kapasitet på sporet framheves ofte som en viktig faktor som påvirker punktlighet, spesielt for følgeforsinkelser. Flere studier viser at når kapasitetsutnyttelse øker, så øker også forsinkelsene. Anbefalt utnyttelsesgrad varierer med tidsperiodens lengde (man gjør ofte et skille mellom døgnkapasitet og timekapasitet), ønsket punktlighet og type togtrafikk. Den typen togtrafikk som tåler lavest kapasitetsutnyttelse, er typisk baner med mange ulike typer av tog. UIC (UIC 2004) anbefaler kapasitetsutnyttelse på 60 % som døgnkapasitet (stor del av driftsdøgnet), men en timekapasitet (under noen få timer i rushtid) på 75 %. Ved høyere kapasitetsutnyttelse må man regne med forsinkelser.

Handstanger (2009) bruker et elegant rammeverk basert på Schwanhäusser (1999) for å vise sammenhengen mellom forsinkelser og kapasitetsutnyttelse. Teorien hun bruker, er basert på Schwanhäusser (1999), som er en meget viktig person i dette fagets historie, og har mange publikasjoner på feltet. I en publikasjon fra 1973 beskrives den såkalte STRELE-formelen, som fortsatt benyttes til å analysere følgeforsinkelser på strekninger.

Handstanger (2009) skiller mellom planlagt og ikke planlagt ventetid i en ruteplan. Planlagt ventetid oppstår ved etablering av ruteplanen. Ikke planlagt ventetid oppstår til daglig i trafikken, når ruteplanen kjøres. Alle avvik fra ruteplanen kan ses som ikke planlagt ventetid, inkludert forsinkelser og venting grunnet for tidlige ankomster. Handstanger skisserer en tett sammenheng mellom ikke planlagt ventetid og kapasitetsutnyttelse, som vist i Figur 60. Når trafikkmengden øker, så øker den ikke planlagte ventetiden. Når man nærmer seg den teoretiske kapasitet, øker køer i systemet, og derved ikke planlagt ventetid.

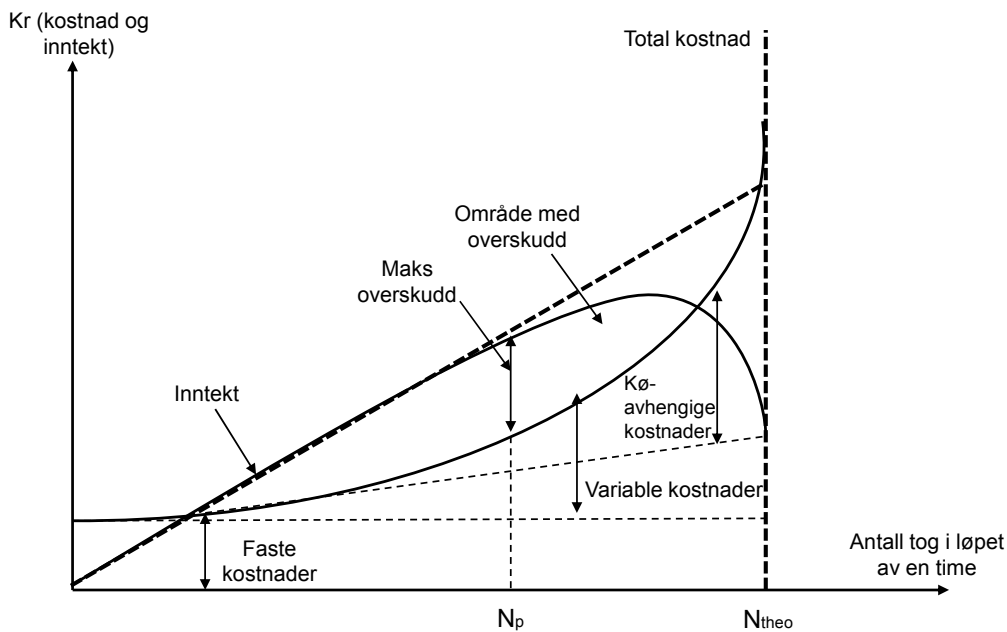


Figur 60. Sammenheng mellom ikke planlagt ventetid og kapasitet. C_{theo} = teoretisk kapasitet på trekningen. Kilde: Handstanger (2009), som er basert på Schwanhäusser (1999)

Hensikten med modellen er å beskrive jernbanens inntekter som funksjon av kapasitetsutnyttelsen. Modellen er også interessant for å forklare slakkens betydning i planlegging og trafikkutførelse.

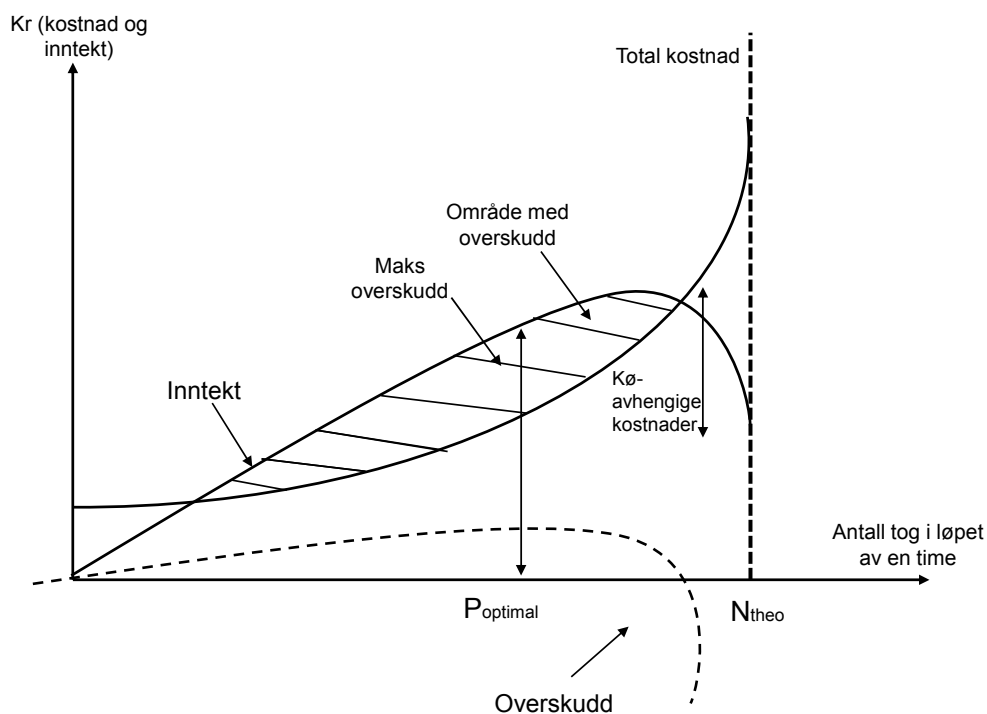
Det finnes faste kostnader i jernbanen, eksempelvis tilknyttet infrastrukturen. Variable kostnader er relatert til trafikk tettheten på en linje. Disse kostnadene inkluderer vedlikehold, kostnader for rullende materiell og til energi. I et marked med stor etterspørsel som ikke er mettet, øker inntektene lineært med økt antall tog som kjøres. Man antar da at alle tog har likt passasjerbelegg.

Når antall tog er lavt, er det få følgeforsinkelser, fordi det er lite køer på sporet. Når antallet tog øker, så øker de variable kostnadene, som vist i Figur 61.



Figur 61. Kostnad og inntekt som funksjon av antallet tog på en strekning. Kilde: Handstanger (2009), som er basert på Schwanhäusser (1999)

Ventetid for tog består av planlagt og ikke planlagt ventetid. Den planlagte ventetiden øker når det blir flere tog, fordi ruteleiene blir mindre optimale. Den ikke planlagte ventetiden øker på grunn av forsinkelser. Når antallet tog øker, så øker ventetiden, og den kan bli uendelig når systemet blir helt overbelastet. Det hadde vært tilfelle dersom man planla å utnytte all teoretisk kapasitet på sporet, noe som ikke er realistisk. Figur 62 har et skravert areal der operatøren tjener penger. Fortjenesten kommer av at med økt produksjon øker inntektene innledningsvis mer enn utgiftene. Med økende trafikk øker kø-kostnadene suksessivt, slik at totale kostnader etter hvert øker mer enn inntektene. Fortjenestearealet har derfor et maksimum, ved en optimal trafikkmengde. Dersom det går færre tog, så er banen underutnyttet. Dersom det går flere tog så er banen overbelastet.



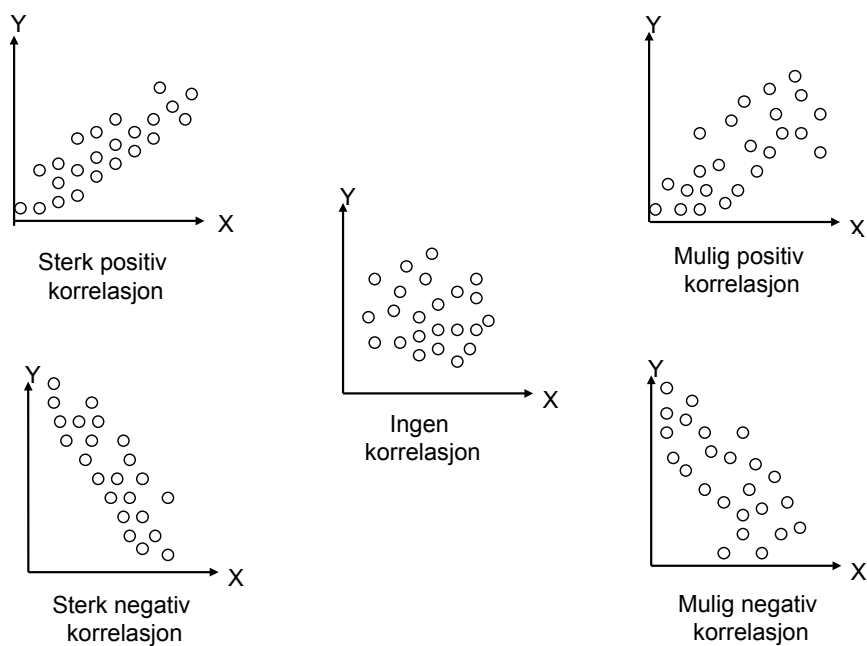
Figur 62. Overskudd som funksjon av antallet tog på en strekning. Kilde: Handstanger (2009), som er basert på Schwanhäusser (1999)

Man kan også bruke køteoretiske beregninger. Ved mer kø er systemet mer utsatt for forsinkelse.

5.3 SPREDNINGSDIAGRAM OG KORRELASJON

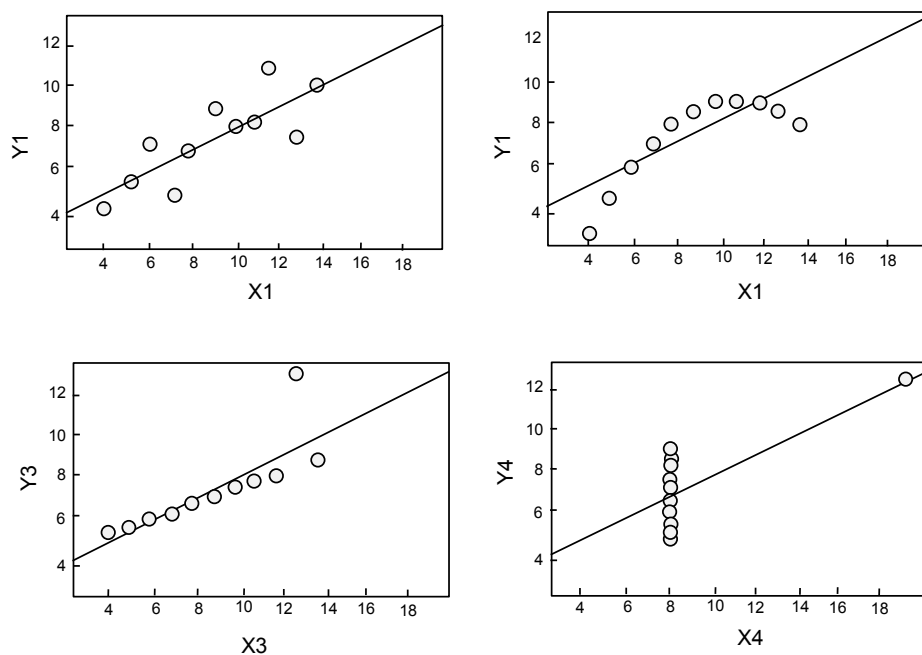
Generelt om sammenhenger i spredningsdiagrammer

Spredningsdiagram viser om en variabel samvarierer med en annen variabel. Vi måler begge variablene for så å plote dem inn i et XY-diagram. Man har ofte den variabelen man vil ha forklart, eksempelvis ankomstpunktighet, på Y-aksen, og den variabelen man antar påvirker på x-aksen. Figur 63 viser de viktigste typene sammenhenger man kan finne ved hjelp av spredningsdiagrammer.



Figur 63. Generelle spredningsdiagrammer

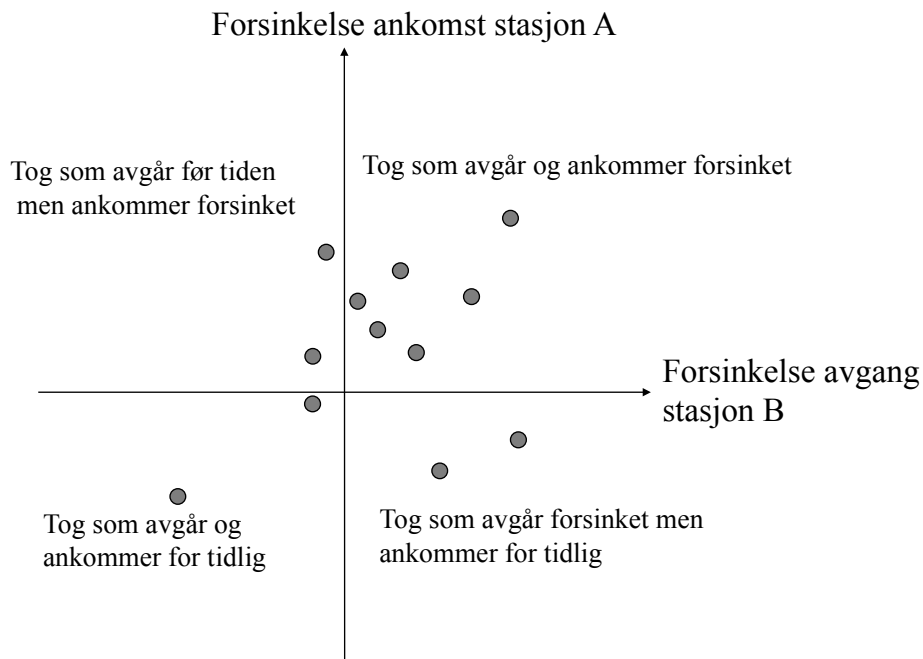
Francis Anscombe lagde i 1973 et datasett for å vise hvordan denne typen deskriptiv statistikk (som sentralmål/gjennomsnitt og variasjon/standardavvik) kan være misledende (Anscombe, 1973). Det er derfor ofte en fordel å lage et plot for å studere korrelasjon, ikke bare beregne korrelasjonen mellom to variabler. Anscombes «kvartett» vises i Figur 64 som fire plott med ganske forskjellig karakteristik. Alle fire plottene har gjennomsnittsverdi 9 på x-aksen og 7,5 på y-aksen, og variasjon på 11 (x) og 4,1 (y). Korrelasjonen er også lik for alle figurene (0,816), en regresjonsmodell vil gi $y = 3 + 0,5x$ for alle fire datasettene. Dette illustrer hvordan man kan la seg mislede ved og utelukkende se på tallene, uten å se på fordelingen av dataene.



Figur 64. Generelle spredningsdiagrammer

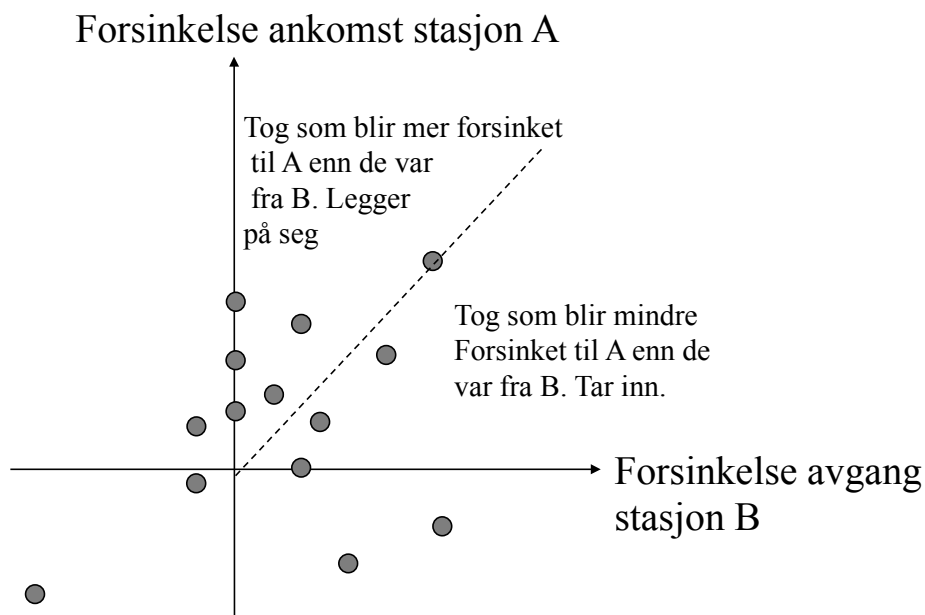
Sammenheng mellom avgangs- og ankomsttid

I Figur 65 vises spredningsdiagram for avgangs- og ankomstpunktlighet. Man kan se på sammenhengen mellom avgang fra en stasjon, og ankomst til en senere stasjon. Analysen kan utføres på avgangsforsinkelser fra utgangsstasjonen og ankomstforsinkelser til ankomststasjonen. Man kan også zoome inn på en utvalgt delstrekning som man er interessert i.

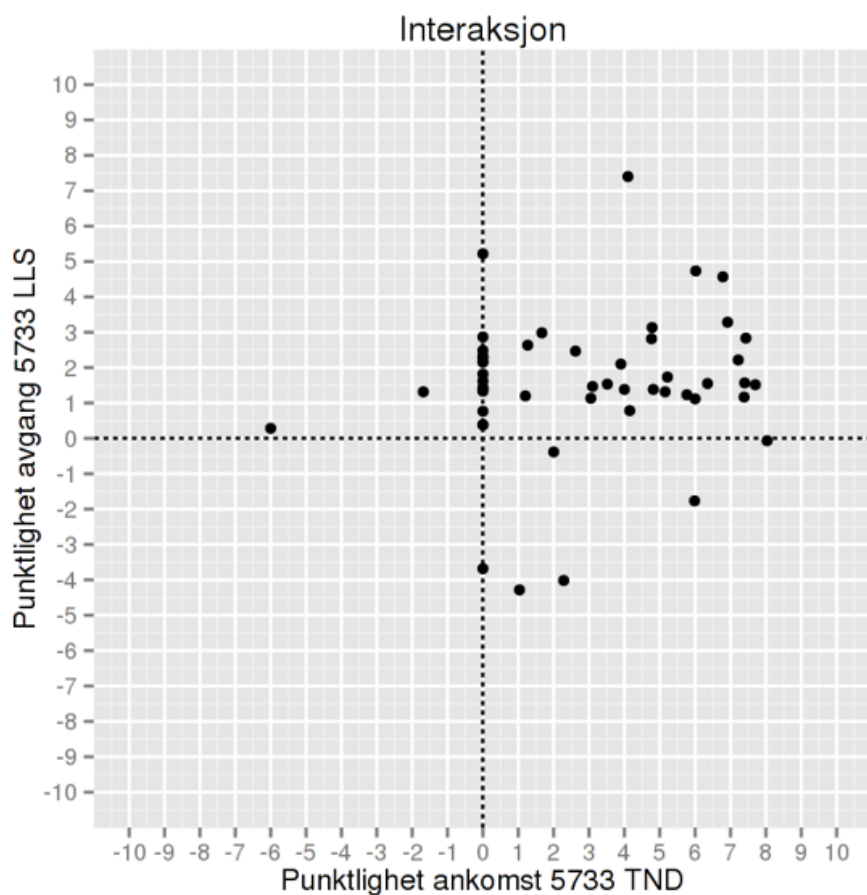


Figur 65. Diagram som viser sammenhengen mellom avgangstid fra en stasjon, og ankomsttid til en etterfølgende stasjon

Den øvre høyre delen av grafen er oftest mest aktuell for nærmere studier. Her er tog som avgår og ankommer med varierende grad av forsinkelse, som vist i Figur 66. Figur 67 er en illustrasjon på bruk av denne typen graf for tognummer 5733 basert på avgangstid fra Lillestrøm og ankomsttid til Trondheim. Vi ser blant annet at toget i noen tilfeller går ca. 4 minutter for tidlig, og at togene i dette utvalget var maksimalt 8 minutter sene fra Lillestrøm.



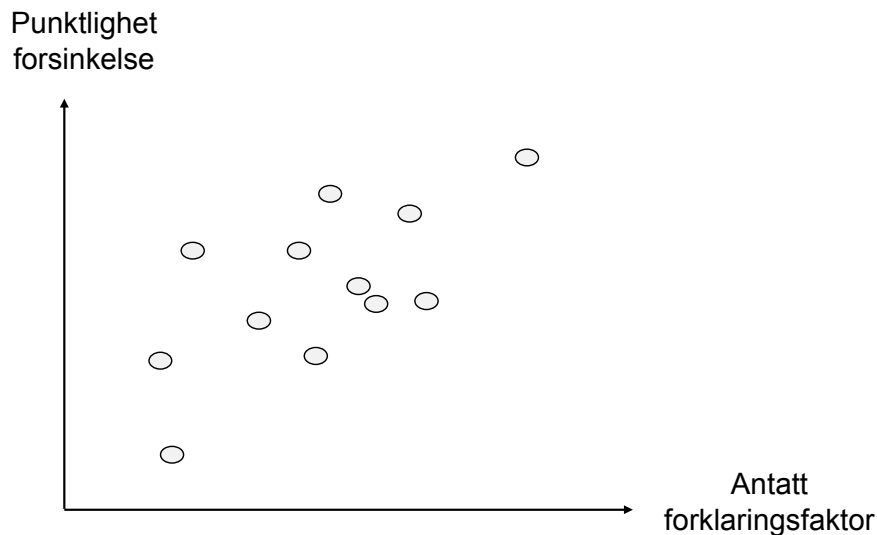
Figur 66. Sammenhengen mellom forsinket avgang fra en stasjon, og forsinket ankomst til en etterfølgende stasjon



Figur 67. Sammenhengen mellom forsinket avgang fra en stasjon, og forsinket ankomst til en etterfølgende stasjon. Her vist for tog 5733 basert på registreringer på Lillestrøm (som representerer avgang fra Alnabru) og ankomst til Trondheim

Sammenheng mellom forsinkelser og antatte forklaringsfaktorer

Gjennom korrelasjonsanalyser kan man se på om en endring (eksempelvis en økning) i forsinkelsene skjer samtidig med en utvikling (økning eller reduksjon) i noe som antas å påvirke forsinkelsene. Korrelasjonsanalysene ser på samvariasjon mellom ulike påvirkningsfaktorer og punktlighet/forsinkelser.



Figur 68. Sammenhengen mellom forsinket avgang fra en stasjon, og forsinket ankomst til en etterfølgende stasjon

Når man analyserer korrelasjon mellom forsinkelsestimer og antatte påvirkningsfaktorer, kan man beregne en korrelasjonsfaktor mellom de to variablene. En høy korrelasjonsfaktor forteller oss at det er en sterk samvariasjon mellom forsinkelser og den antatte påvirkningsfaktoren. De endres samtidig. Både negativ korrelasjon og positiv korrelasjon indikerer at det er en sammenheng mellom variablene. Ved positiv korrelasjon så opptrer en økning i påvirkningsfaktoren (eksempelvis omfang av anleggsarbeid) samtidig med en økning i forsinkelsestimene. Med en negativ korrelasjon sammenfaller en reduksjon i en antatt årsak (eksempelvis antall tilgjengelige togsett) med en økning i forsinkelsene.

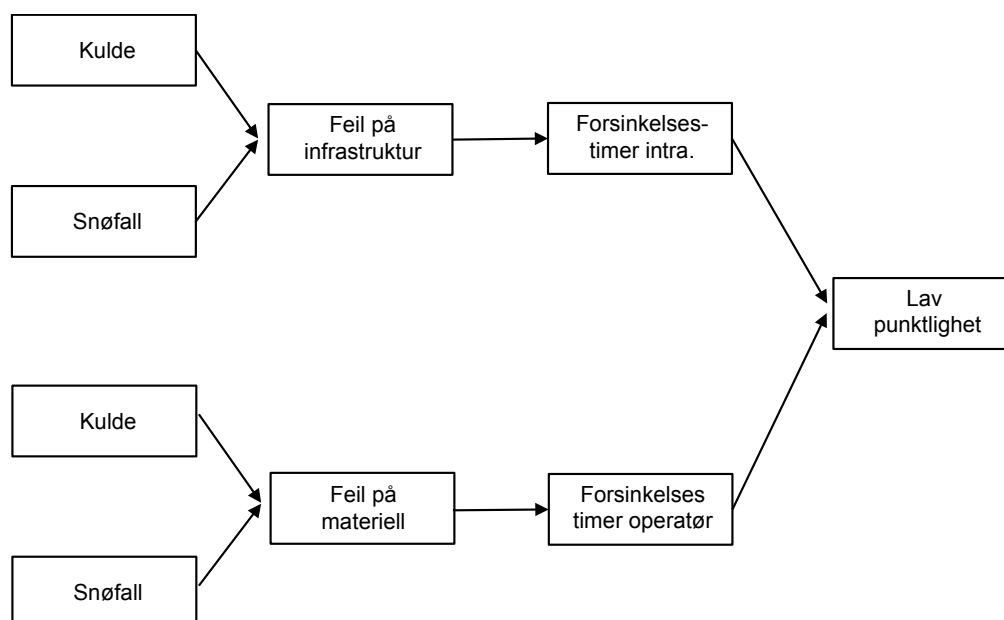
Korrelasjon betyr ikke nødvendigvis at det finnes et årsaks-virkningsforhold mellom påvirkningsfaktoren og forsinkelsene. Man ser bare at de endres på en lignende måte i samme tidsrom. Det kan for eksempel være en tredje faktor som påvirker både forsinkelsene og den antatte påvirkningsfaktoren. Likevel er det slik at dersom det synes logisk at en faktor er årsak til forsinkelser, og man finner en korrelasjon mellom årsaken og forsinkelser, så styrkes antakelsen at man her har funnet en reell årsak til forsinkelser.

Man kan gjøre slike analyser for å undersøke hvordan eksempelvis været påvirker toggangen. Data for punktlighet og eksempelvis snødybde kan sammenstilles. I en matrise lager man to kolonner med tallverdier som henger sammen. Det kan være punktlighet for en toglinje for en dag og snødybde på et representativt sted på banen.

Forklaringsfaktor	Avhengig variabel
Snødybde	Punktlighet
0	90
0	91
3	87
4	87
5	88
5	85
6	87
7	80
7	85
6	80
8	85
10	89

Tabell 8. Tabell som viser hvordan utgangspunktet for en korrelasjonsanalyse kan se ut. Her vises snødybde og punktlighet uke for uke på Østlandet.

Tallene på hver linje kan være snødybde og punktlighet for en gruppe tog på en dag, en uke eller annen tidsperiode. Tabell 8 viser et eksempel med tallpar for snødybde og punktlighet i de samme periodene. Vi kan også sette opp antatte årsakssammenhenger som vist i Figur 69.



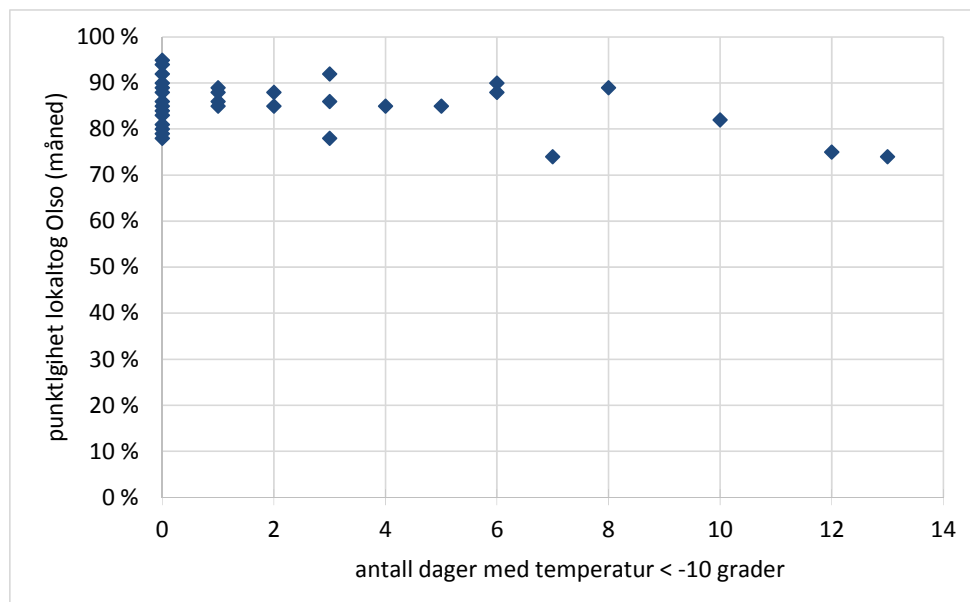
Figur 69. Antatte sammenhenger mellom vintervær og punktlighet

Det viser seg at det er god korrelasjon mellom lav punktlighet og ekstremvær i form av temperaturer under minus 10 grader eller snøfall på mer enn 10 centimeter, som vist i Tabell 9. I tabellen vises korrelasjonen mellom de to forklaringsfaktorene og punktlighet til endestasjon, for ulike togprodukt.

Korrelasjon	Antall dager med temperatur under -10°C	Antall dager med snøfall > = 10 cm
Lokaltog Oslo	-0,57	-0,52
Gods CN	-0,67	-0,53
Flytog	-0,83	-0,59
Langdistanse	-0,43	-0,28
Mellomdistanse	-0,57	-0,48

Tabell 9. Korrelasjon mellom punktlighet til endestasjon og antall dager med henholdsvis mindre enn -10 grader og snøfall over 10 cm. Værdata gjelder Asker. (Måned for måned i 2005 til og med februar 2010)

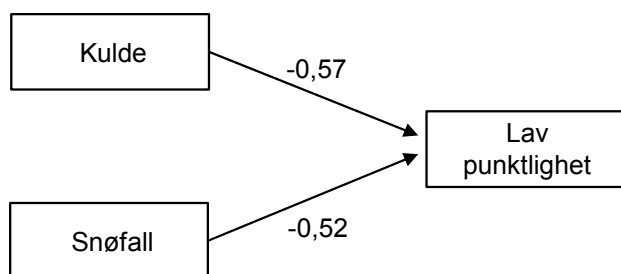
Figur 70 er en illustrasjon av korrelasjonsanalysene som er vist i Tabell 9. Her vises at dersom det er 7 dager eller mer med -10 grader eller kaldere, så ligger punktligheten for lokaltog i Oslo på omtrent 80 % eller lavere.



Figur 70. Korrelasjon mellom punktlighet til endestasjon og antall dager med mindre enn -10 grader

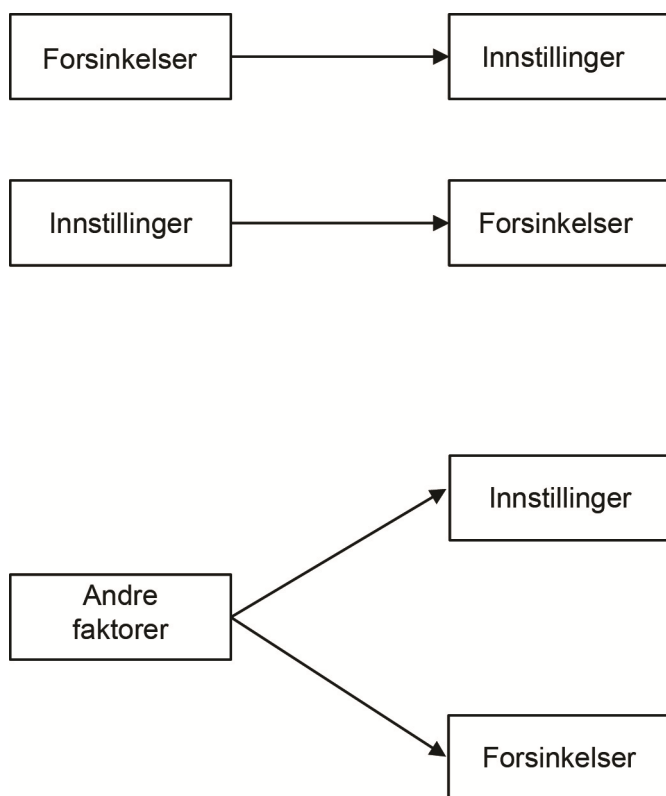
Trenden i analysene er at når temperaturen går ned, går punktligheten ned. Når snødybden går opp, går punktligheten ned.

Figur 71 viser grafisk at den antatte sammenhengen mellom kulde (målt som antall dager per måned med lavere temperatur enn -10 grader) og snøfall (målt som antall dager per måned med snøfall på mer enn 10 cm) er sterkere for punktlighet enn forsinkelsestimer.



Figur 71. Illustrasjon av korrelasjonen mellom punktlighet til endestasjon og antall dager med henholdsvis mindre enn -10 grader og snøfall over 10 cm. Værdata gjelder Asker. (Måned for måned i 2005 til og med februar 2010)

Når det gjelder vær og punktlighet, er det liten tvil om at været kan påvirke punktligheten, men punktligheten påvirker i liten grad været. Årsaks-virkningssammenhengen mellom innstillinger og forsinkelser er ikke like enkel. Som det vises i Figur 72 er flere sammenhenger mulige. Forsinkelser kan være årsak til innstillinger, eksempelvis for at togsettet skal kunne gå punktlig i neste avgang. Innstillinger kan gi forsinkelser for andre tog, blant annet fordi det blir flere reisende i øvrige tog. Forsinkelser og innstillinger kan også ha en eller flere andre årsaker uavhengig av hverandre, som infrastrukturproblemer eller værforhold. Ved analyser av aggregerte data er det derfor utfordrende å skille innstillinger som årsak til forsinkelser, eller som konsekvens. Det vi kan studere, er samtidighet av forsinkelser og årsaker, og utviklingen av innstillinger over tid.



Figur 72. Mulige sammenhenger mellom innstillinger og forsinkelser.

Tabell 10 viser korrelasjonen mellom innstillinger og punktlighet. Det er generelt sett god korrelasjon mellom innstillinger og punktlighet. Negativ korrelasjon innebærer at når punktligheten går ned, så går antallet innstillinger opp, og omvendt.

Punktlighet for	Innstillinger, Flytoget	Innstillinger, NSB
Lokaltog Oslo	-0,44	-0,61
Godstog CN	-0,29	-0,58
Flytog	-0,42	-0,62
Langdistanse	-0,46	-0,61
Mellomdistanse	-0,45	-0,58

Tabell 10. Korrelasjon mellom innstillinger og punktlighet

Vi har sett på korrelasjonsanalyser, som gjøres for to variabler. Man kan også studere hvordan flere antatte forklaringsfaktorer påvirker punktligheten, som illustrert i Tabell 11. Regresjonsanalysene avdekker samvarians mellom forklaringsfaktorer og studert avhengig variabel (som punktlighet). I tillegg viser modellene basert på regresjonsanalyse hvor sterkt hver forklaringsvariabel påvirker punktligheten. Regresjonsanalysene sier imidlertid ikke noe om hvordan påvirkningen mellom variablene finner sted, om en har direkte sammenheng mellom forklaringsfaktor og studert avhengig variabel eller om samvariasjonen er tilfeldig.

Forklaringsfaktor 1	Forklaringsfaktor 2	Forklaringsfaktor n	Avhengig variabel
Kapasitetsutnyttelse	Antall reisende	Snødybde	Punktlighet (%) eller forsinkelse (minutter) eller forsinkelsestimer

Tabell 11. Illustrasjon av regresjonsanalyse for å studere hvordan ulike antatte forklaringsfaktorer påvirker punktligheten. Hver linje kan representere en dag, en uke, et tognummer, en bane i en tidsperiode eller et annet utvalg.

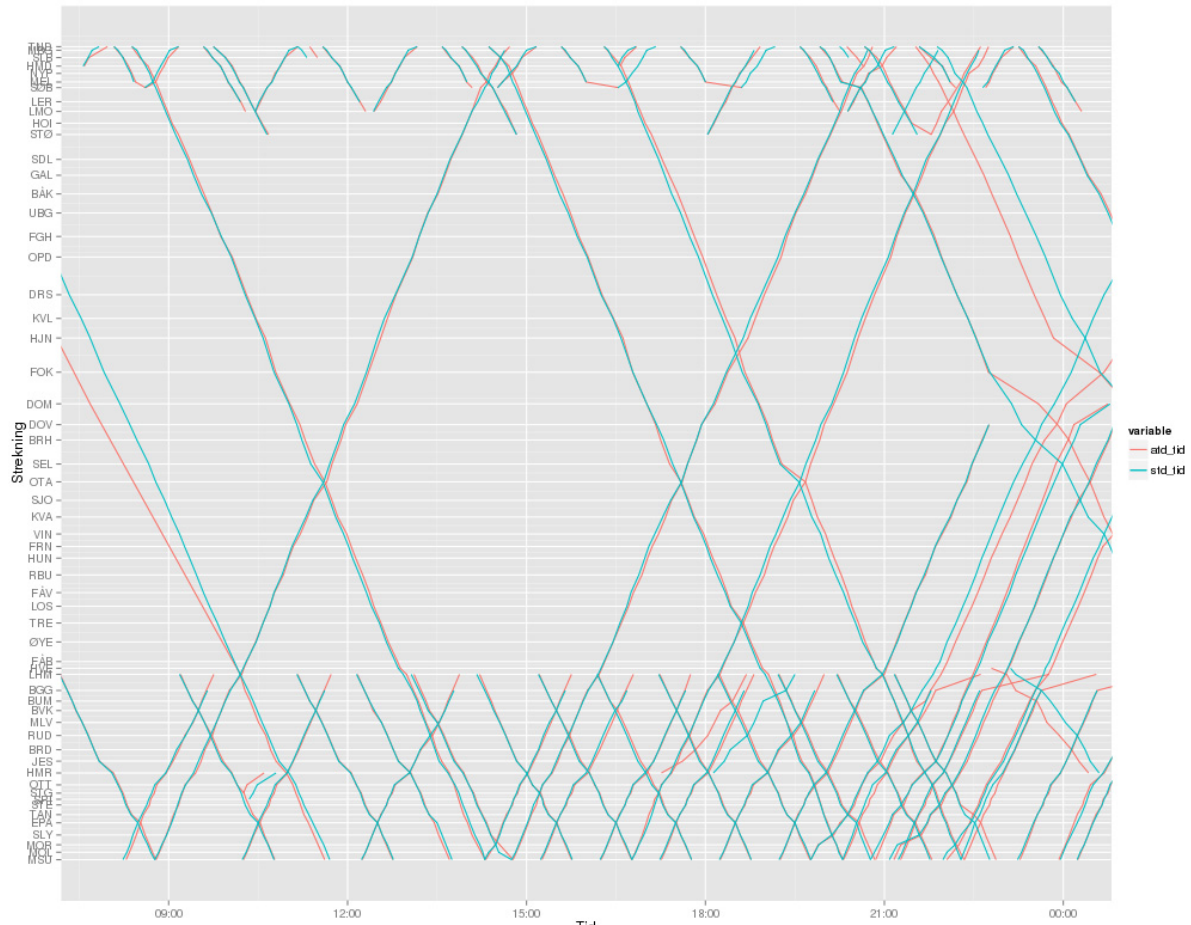
5.4 HVORDAN PÅVIRKER ULIKE TOG HVERANDRE?

Utgangspunkt

Det er interessant å studere hvordan tog påvirker hverandre. På dobbeltspor er påvirkningen først og fremst mellom foregående og etterfølgende tog, men det kan være mer sammensatte påvirkninger mellom tog på stasjoner. På enkeltspor er det spesielt i kryssinger som tog påvirker hverandre. Dette innebærer at analyser av hvordan tog påvirker hverandre på dobbeltspor typisk ser på flere tog i samme retning, men på enkeltspor ser man ofte på tog i motsatte retninger.

Visualiseringer i grafisk rute

Grafisk rute er et format som mange i jernbanen er vant ved. De grafiske rutene brukes blant annet ved planlegging av togtrafikken. Figur 73 viser grafisk rute og faktisk toggang for Dovrebanen 2015-01-11 mellom klokken 0730 og 0100.

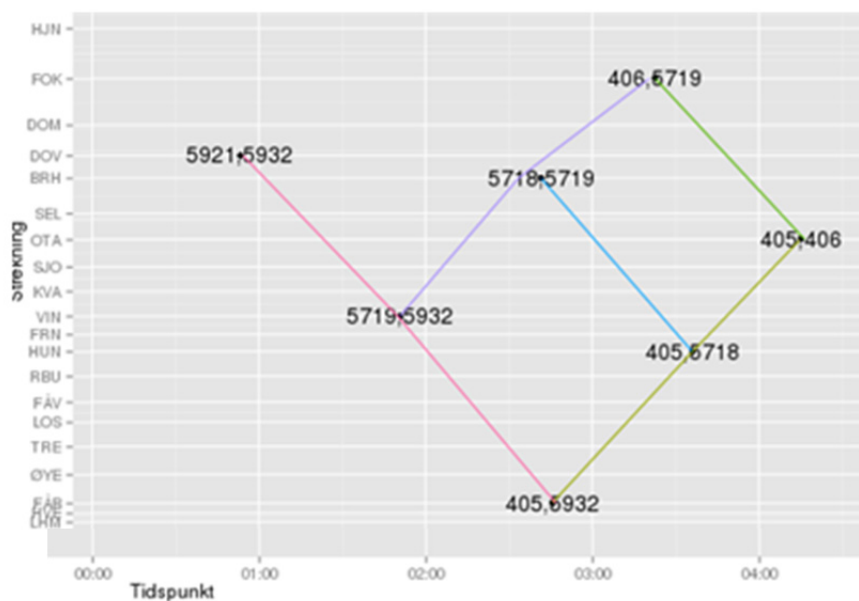


Figur 73. Visning av toggangen på en strekning basert på samme format som for grafisk rute. Grønn strek er planlagt togframføring, rød strek er faktisk. Røde streker som ligger til høyre for tilhørende grønne streker, viser forsinkede tog. Kryssing av røde streker på andre steder enn tilhørende grønne streker viser en omlagt kryssing.

Kryssingsinteraksjon

Kryssingsinteraksjon er et støtteverktøy som gir korrelasjonsplott for kryssende togpar. Togparene velges ut ifra en automatisk generert liste over «detekterte» kryssinger (togpar som har overlappende opphold) på en valgt stasjon.

Korrelasjonsplottet viser så fargekodet korrelasjon mellom det valgte togpar-nummeret innenfor den angitte tidsluken. Fargen representerer forsinkelse (klassifisert i 5-minuttersklasser) for toget på y-aksen, mens formen på punktet viser om togene faktisk overlappet på stasjon eller ikke.



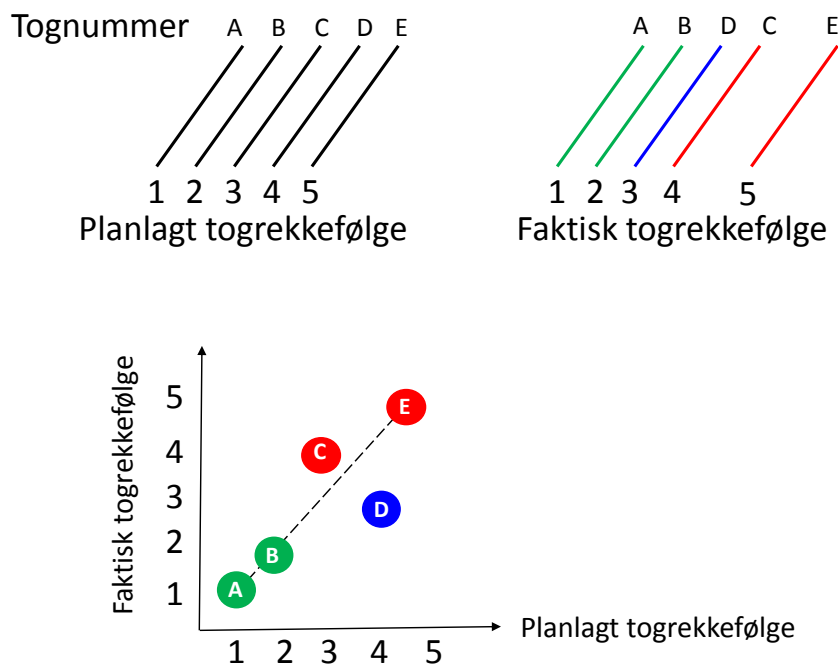
Figur 74. Illustrasjon av hvordan tog påvirker hverandre på en enkeltsporet strekning

Illustrasjonen av krysningssituasjoner er primært et tidlig-diagnose-verktøy for å se på presisjon i kryssinger og i noen grad også se på hvilket tog i et tog-par som «forsinker» hvilket.

Togrekkefølge

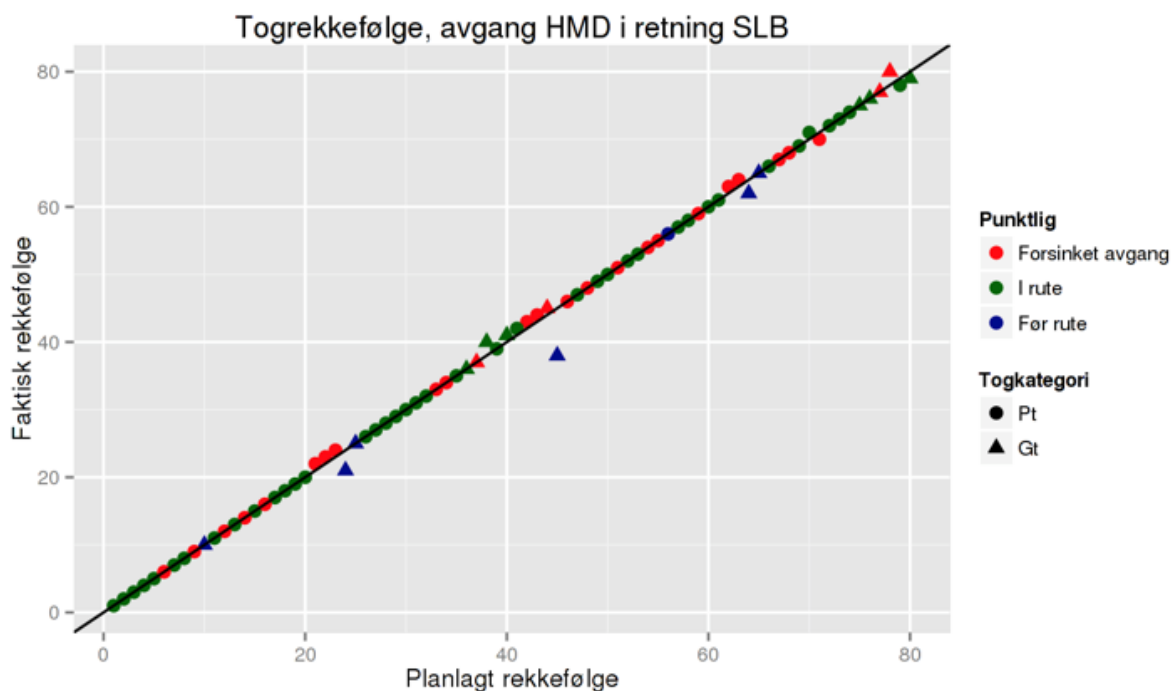
Togrekkefølge-verktøyet er et konseptuelt verktøy som er på et veldig tidlig stadium, men i prinsippet viser (ut ifra TIOS) rekkefølgen tog har kjørt mellom to målepunkter. På y-aksen så vises planlagt rekkefølge, og på x-aksen så vises faktisk rekkefølge. Det vil si at punkter som ligger på den rette linjen $y = x$, kjører rekkefølgemessig der de skal – de som ligger under linjen, kjører «før sin tur», og de som ligger over, kjører «etter». Gitt at rekkefølgen er regnet innen utvalget, så vil det da naturlig nok være en balanse mellom at skal noen kjøre før tur, må noen andre kjøre etter.

I Figur 75 vises en generell grafisk rute for fem tog, A til E. Øverst til venstre er den planlagte togrekkefølgen angitt. Øverst til høyre vises den faktiske togrekkefølgen. Her går tog D før ruta og tidligere i togrekken enn planlagt. Tog C er forsinket og går senere i rekken enn planlagt. Tog E er forsinket, men på planlagt plass i rekken.



Figur 75. Illustrasjon av prinsippene for analyse av togrekkefølge. Grønt angir tog i rute, blått tog før rute og rødt forsinkede tog.

Hensikten med å utarbeide denne visualiseringen er i stor grad å moderere eller kvalitetssikre observasjoner gjort i andre verktøy. I situasjoner hvor trafikkavviklingen avviker veldig fra planen (slik som midten av plottet vist over), så er vil det være påvirkning på en del av de andre verktøyene, også. Rekkefølgevisningen kan benyttes til å undersøke om det er rekkefølgen i trafikkavviklingen som avviker eller om det er andre faktorer som spiller inn. Figur 76 viser en analyse av togrekkefølgen, basert på de prinsippene som er presentert i Figur 75.



Figur 76. Visning av togrekkefølgen for tog fra Heimdal til Selsbakk for to dager i mai 2015. Grense for punktlig tog er satt til 359 sekunder.

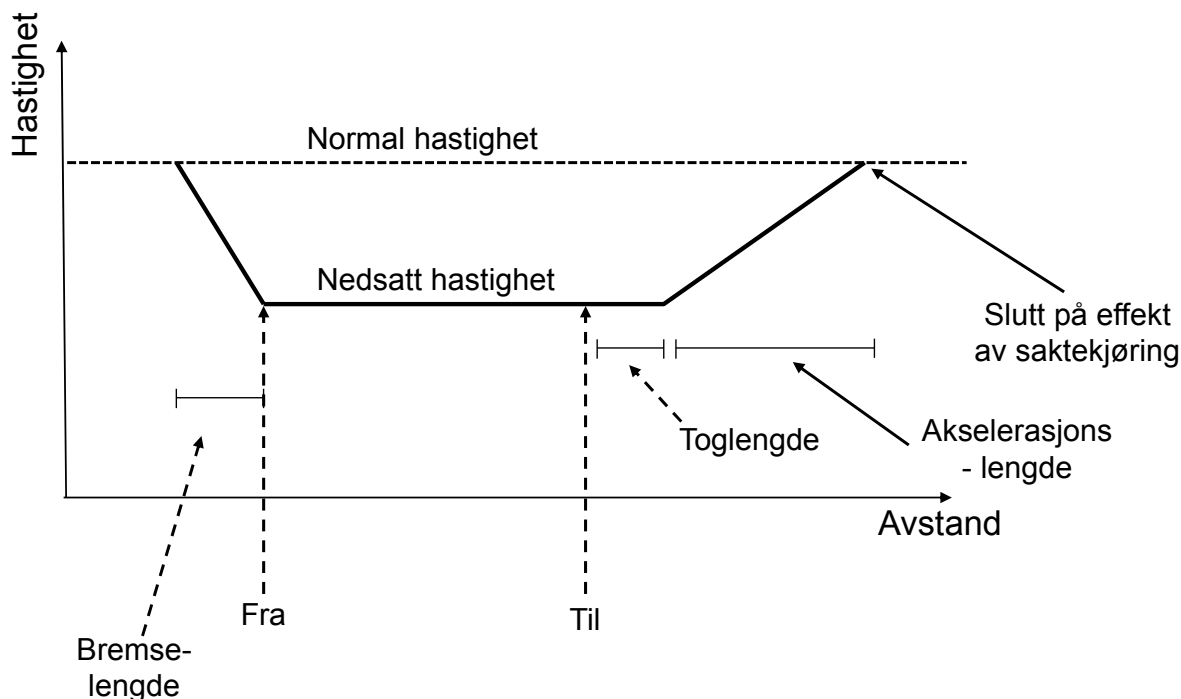
Ytterligere detaljer er formen på punktet O for persontog og Δ for godstog. I tillegg representerer grønne punkter tog som er mer enn 60 sekunder (konfigurerbart) før plan, og røde punkter tog som er 239 sekunder (3:59) bak. Man kan også se i hvilken grad forsinkelser vedvarer over tid (mange røde på rad) og eventuelt om forandring av rekkefølge har effekt på forsinkelsessituasjonen.

5.5 SAKTEKJØRINGER

Prinsipp og effekt

Det er ganske vanlig at man av sikkerhetsgrunner setter ned hastigheten på en jernbanestrekning. Togene kan da framføres på banen, men med lavere hastighet normal makshastighet. Togrutene er oftest tilpasset til den ordinære hastigheten. Det er derfor interessant å studere effekten av saktekjøringer på jernbanen.

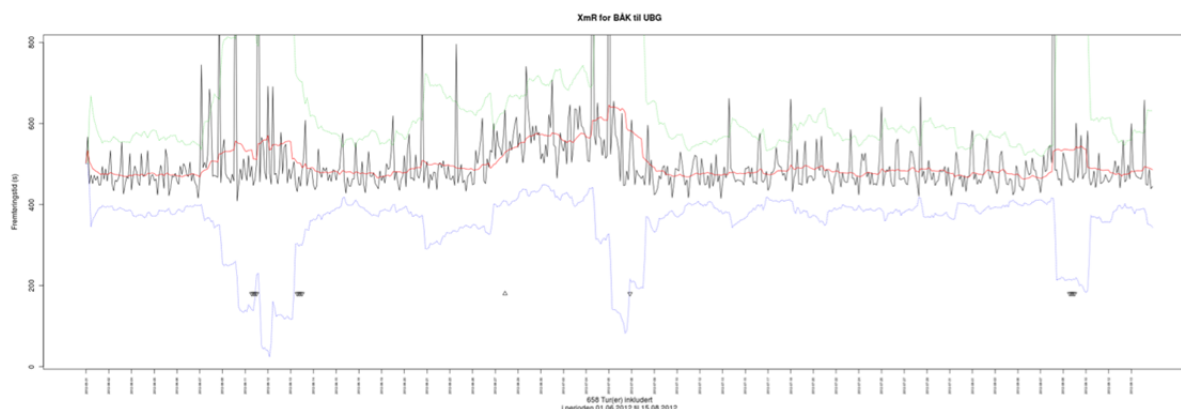
Figur 77 viser prinsippet for en saktekjøring, og konsekvensene. Toget må begynne å bremse slik at det er nede i den reduserte hastigheten når toget kommer inn på den delen av linjen som har redusert hastighet. Det kjører så med redusert hastighet til hele toget har passert strekningen med nedsatt hastighet. Deretter begynner akselerasjonen opp til normal hastighet. Dette innebærer at hastighetsnedsettelsen påvirker framføringshastigheten på en større del av jernbanelinjen enn kun den delen som har nedsatt hastighet.



Figur 77. Prinsippskisse for effekten av en saktekjøring

Case saktekjøring på strekningen Ulsberg – Berkåk

Figur 78 viser et eksempel på effekten av en saktekjøring. Bildet viser alle godstog på strekningen mellom Berkåk og Ulsberg på Dovrebanen, nordover på vei fra Alnabru til Trondheim. Midt i bildet ser man en periode hvor framføringstiden for de aktuelle togene hadde en tydelig økning. Nærmere undersøkelser viste at på denne strekningen var det i det aktuelle tidsrommet en saktekjøring på grunn av skinnebytte, og hastigheten var nedsatt til 40 km/t. Figur 78 viser derfor hvilken effekt denne saktekjøringen har hatt på framføringstiden mellom de to målestasjonene.



Figur 78. Illustrasjon av effekten av en saktekjøring

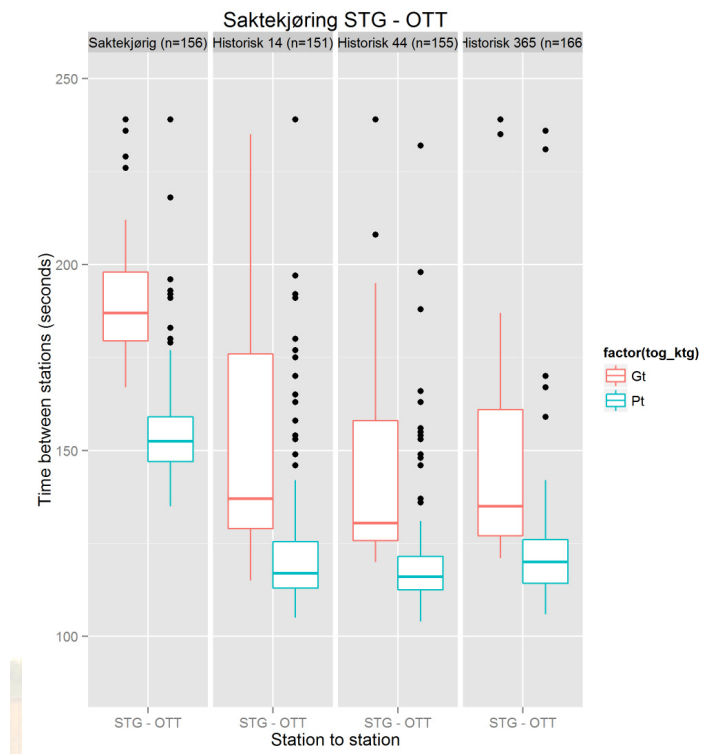
I Figur 78 viser svart linje framføringstid for hvert enkelt tog på strekningen. Rød er glidende gjennomsnittlig tid. Rød og grønn er øvre og nedre kontrollgrense.

Figuren viser samtidig at det i denne perioden har vært noen spesielt høye toppene. Toppene er tog som brukte mye lengre tid på strekningen enn hva normalen er. Årsaksregistreringene knyttet til

forsinkelser i TIOS avdekker at disse toppene kom av problemer på signalkabler som gjorde at noen tog måtte framføres på muntlig kjøretillatelse mens feilen ble rettet. Dette forsinket to godstog med henholdsvis 15 og 13 minutter på en strekning godstogene normalt bruker 8–9 minutter på å tilbakelegge.

Boxplott

Boxplott kan brukes for å studere forskjeller i spredning av framføringstid ved to tidspunkt, eksempelvis i en periode med en saktekjøring, og en periode (før eller etter) uten saktekjøringen. Boxplott er en tradisjonell måte å vise grupper med data på gjennom inndeling i et sett nøkkeltall (i dette tilfellet kvartiler, altså fjerdedeler av alle verdiene). Fordelen er at kvartiler er relativt sett robuste statistikker (robust i den forstand at de er mindre sensitive for avvik fra eventuelle antakelser). Bruksområdet er primært å se på i hvilken grad en saktekjøring kan tilskrives mye forsinkelse grunnet lengre kjøretid. Boxplott kan til en viss grad indikere statistisk signifikant forskjell (tilsvarende hva kjøretidsspredningsplottet beskrevet over også gjør). Videre så vil det indikere effektforskjeller mellom trafikktypene.

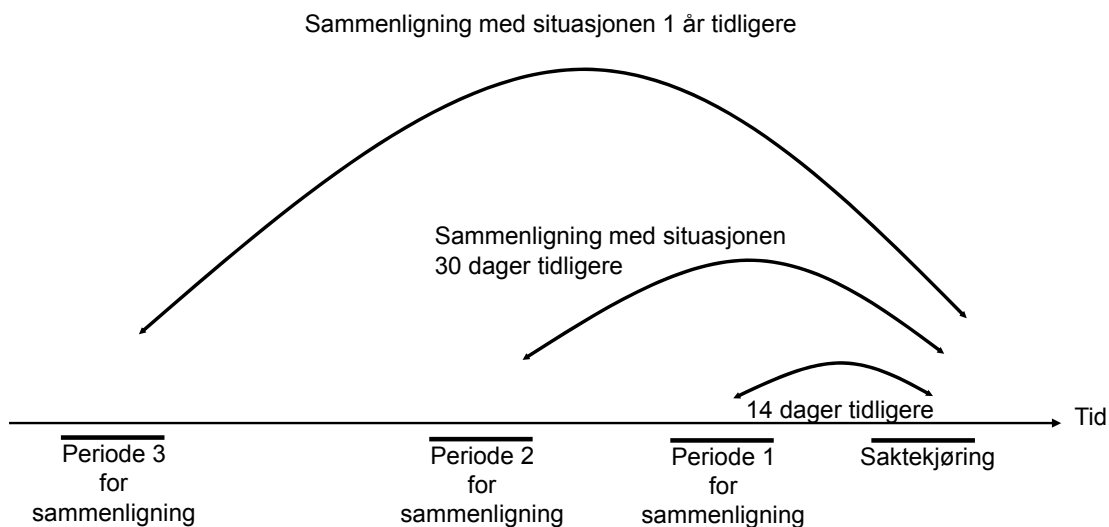


Figur 79. Boxplott for saktekjøring. Fra venstre til høyre vises henholdsvis kjøretid i perioden med saktekjøring, kjøretiden i en periode 14 dager tidligere, 44 dager tidligere og et år tidligere

Boxplottene er videre delt i to, en søyle for passasjer- og en for godstrafikk. Den sentrale streken er medianen for utvalget, mens boksen omfatter hhv. 25 % og 75 % av verdiene (slik at området blir interkvartil-omfanget). Strekene ut fra boksen angir $1.5 \cdot$ interkvartil-omfanget, som korresponderer til røft et 95 % intervall for sammenligning av medianer. Data utenfor disse igjen angis som punkter.

Case saktekjøring sammenlignet med situasjonen 14, 30 dager og et år før saktekjøringen

Basert på en database over saktekjøringer kan man velge ut en saktekjøring. Man finner blant annet saktekjøringer i dokumenter som kalles for t-sirkulære. For å sette opp sammenligninger for å se på effekten av saktekjøringen så velges en like lang tidsperiode 14 dager før starten av saktekjøringen. Tilsvarende gjør man en sammenligning med en tidsperiode 30 dager tidligere, og til sist en sammenligning med situasjonen i samme periode året før, som vist i Figur 80.



Figur 80. Analyse av effekten av en saktekjøringer, og ulike tidsperioder som man sammenligner med

Denne typen analyser kan brukes for å finne ut i hvor stor grad en saktekjøring skaper forsinkelser grunnet lengre kjøretid. Boxplott kan til en viss grad indikere statistisk signifikant forskjell (tilsvarende hva kjøretidsspredningsplottet beskrevet over også gjør). Videre så vil det også indikere effektforskjeller mellom trafikktypene.

Siden det finnes mange saktekjøringer, er det også mulig å sammenligne utviklingen på tvers av strekninger som utsettes for saktekjøringer på ulike tidspunkt, for å få et mer presist anslag for effekten av en «typisk» saktekjøring, eller av ulike typer saktekjøringer.

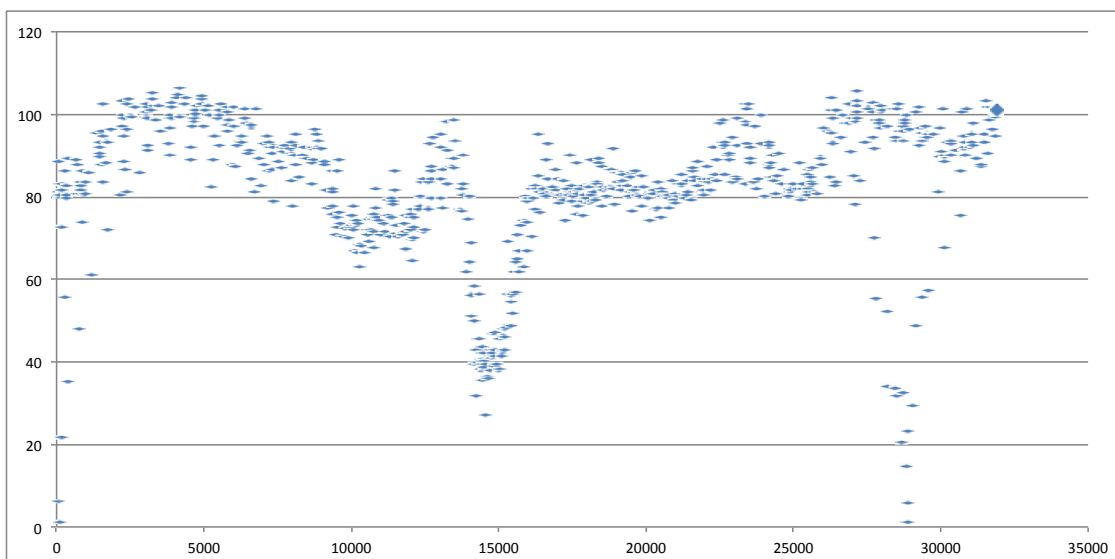
Bruk av GPS for å studere saktekjøringer

Man kan bruke GPS-data for å studere effektene av en saktekjøring. Fordelen med GPS-data er at de kan ha høyere oppløsning enn data fra signalanlegget. Det er derfor mulig å se på togbevegelse innenfor en blokkstrekning. I plottet i Figur 81 og Figur 82 ser vi brutto-hastighetene (rapportert fra GPS-mottakeren) registrert for et knippe tog. X-aksen er meter fra forrige stasjon.

I Figur 81 vises først et flytende gjennomsnitt, og saktekjøringens omfang (markert med pil, ellers er den så vidt synlig som en rød prikk) er tegnet inn. Dette viser grafisk omfanget i distanse av retardasjon og akselerasjon etter passering av hastighetsnedsettelsen. Det er tydelig at akselerasjon og retardasjon gir effekter langt utover lengden på den faktiske saktekjøringen.



Figur 81. GPS-støttet analyse av effekten av en saktekjøring. Her vises flytende gjennomsnitt.



Figur 82. GPS-støttet analyse av effekten av en saktekjøring. Her vises hvert enkelt tog.

5.6 ANALYSE AV FØLGEFORSINKELSER

Kvantitativ metode

Dette kapittelet beskriver en kvantitativ framgangsmåte for å detektere og beskrive spredning av forsinkelser mellom tog på infrastruktur med enkeltspor.

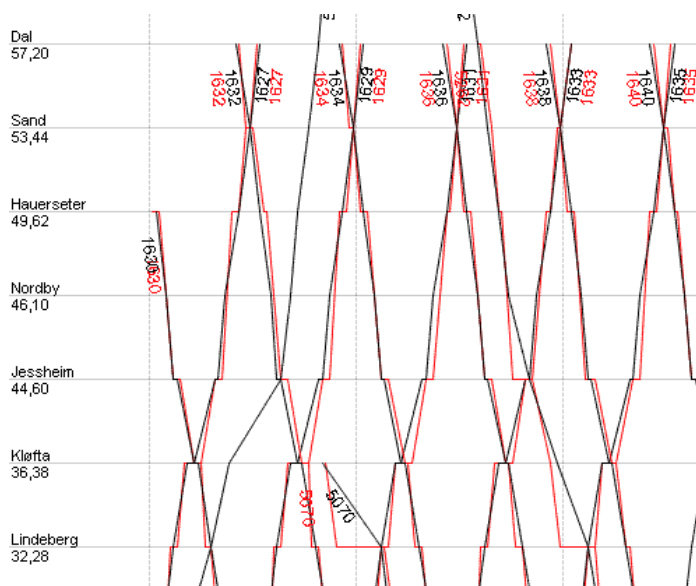
Kapasiteten på jernbanen er antatt å være en viktig faktor angående følgeforsinkelser. En måte å definere kapasitet på er å gå ut fra det maksimale antallet tog som kan krysse hele jernbanelinja eller bestemte kritiske flaskehalsen eller strekninger i et gitt tidsrom (Burdett og Kozan, 2006). Kapasiteten er blant annet begrenset av jernbanelinjene, antall kryssingsspor og tidsavstanden som kreves

mellom togene. Stor kapasitetsutnyttelse betyr flere tog på jernbanelinjene, og derav større avhengighet mellom togene. Med mindre togtabellen, trafikkavvikling og infrastruktur fungerer som planlagt, vil en økning i kapasitetsutnyttelsen føre til økning i sekundærforsinkelser i både antall og omfang – og dermed vil sannsynligheten for følgeforsinkelser øke.

Følgeforsinkelser er spesielt viktig og komplekst på jernbanelinjer med enkeltspor, siden forsinkelser «overføres» mellom tog som kjører i motsatt retning, i motsetning til en dobbeltsporet jernbanelinje, hvor forsinkelsen spres bakover til tog som kjører i samme retning. Dersom et tog er forsinket ved ankomst til et kryssingsspor, må toget som reiser i motsatt retning vente på kryssingen inntil det forsinkede toget har ankommet, med den konsekvens at den totale forsinkelsen er doblet. For å analysere følgeforsinkelser er det nyttig å detektere mønstre av forsinkelsesspredning mellom kryssende tog. Når slike interaksjoner er identifisert, er det mulig å analysere større forsinkelsesmønstre, som nettverk av forsinkelser som hyppig inntreffer, kilder eller årsaker til forsinkelser som ofte går igjen, eller andre karakteristikker som fører til at ved bestemte forsinkelser blir forsinkelsene spredt i større omfang. Slik informasjon kan være veiledende for justeringer av togtabellen, med den hensikt å dempe bestemte forsinkelser ved å redusere kritikaliteten til visse kryssinger, for eksempel ved å legge inn mer slakk eller buffer der det er mulig.

Metoden tar utgangspunkt i punktlighetsdata fra TIOS. De viktigste opplysningene som benyttes i denne metoden, er ruteplanbestemt (planlagt) og faktisk avgangstid og ankomsttid (med dato) for hvert tog på hver stasjon, stasjonskode, samt rute nummer. Dataene beskriver bevegelsene til togene gjennom nettverket.

Grafiske ruter illustrerer godt kryssingsforløpet på en jernbanelinje med enkeltspor. I tog-grafer er både den planlagte ruteplanen og den faktiske gjennomførte kjøreruta lagt inn. Stasjonene er plassert geografisk langs den vertikale aksene og tid langs den horisontale aksene. De svarte linjene beskriver de planlagte tidene, mens de røde linjene er faktiske reisetider. De planlagte grafene beskriver ikke nødvendigvis realistiske bevegelser, men snarere reserverte tidsblokker. Skjæringspunkt mellom to svarte eller to røde linjer på en stasjon indikerer en kryssing. Når en rød linje ligger til venstre for den tilhørende svarte linjen, betyr det at toget ligger før tidsplanen. Tilsvarende, dersom en rød linje ligger til høyre for den tilhørende svarte linjen, er toget forsinket. Dette illustrerer en primærforsinkelse første gang det inntreffer, og en sekundærforsinkelse hvis det fortsetter over mer enn en stasjon.



Figur 83. Eksempel på tog-graf, svart linje er planlagt tid og rød linje er faktisk tid.

Ved å studere toggrafer kan man detektere relasjoner og mønstre mellom tog på stasjoner med kryssingsspor. Observasjoner av tilfeller hvor et tog har forsinket et annet tog, gir bakgrunnen for å sette opp noen betingelser som må tilfredsstilles for at en følgeforsinkelse skal inntreffe. Betingelsene er basert på planlagt og faktisk ankomst og avgang på stasjoner. De beskriver hvordan kryssingsforløpet må arte seg for at kryssingen kan karakteriseres som årsak til en resulterende følgeforsinkelse. Et tilfelle kan beskrives som at tog *A* forårsaker en følgeforsinkelse på tog *B*. En grov beskrivelse av betingelsene vil da være at tog *A* ankommer stasjonen med en forsinkelse større enn x sekunder, at tog *A* og tog *B* krysser på denne stasjonen, og at tog *B* har en forsinkelse på mer enn x sekunder ved avgang fra stasjonen.

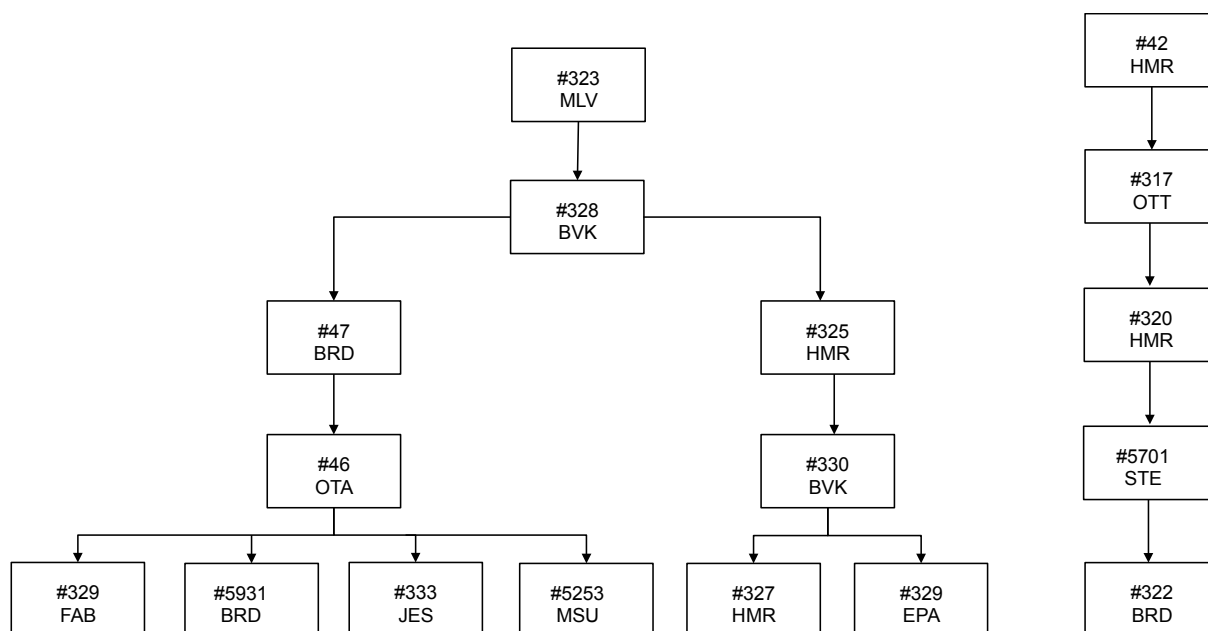
En prototype av metoden ble implementert i Java 1.6.0, og punktlighetsdataene som ble brukt for å kjøre programmet, ble hentet fra TIOS. Algoritmen ble implementert rekursivt for å kunne nøste opp og identifisere nettverk eller trær av følgeforsinkelser. Hver iterasjon avgjør om kryssingen er en følgeforsinkelse eller ikke. Dersom et tog *A* forsinket et tog *B*, tilsvarende kryssingsforløpet beskrevet over, vil programmet gjøre et tilsvarende søk på tog *B* til det er mindre enn y sekunder forsinket. Programmet sjekker alle påfølgende stasjoner hvor tog *B* er forsinket for å se hvorvidt tog *B* forsinket kryssende tog. Slik fortsetter det til alle togene i spredningsforløpet er nøstet opp. Grensen y skal være mindre eller lik x og blir bestemt av brukeren av programmet, det sammen gjelder for grensen x .

Som følge av prosessene som brukes for timeplanlegging, finnes det noen tog på noen stasjoner som ikke har planlagt ankomsttid i ruteplanen (for eksempel på et kryssingsspor uten passasjerutveksling, e.l.). Derfor har det for denne metoden vært nødvendig å gjøre en antakelse for forsinkelser i ankomst på grunn av mangel på data. I prototypen som er laget er det antatt at forsinkelse i ankomst på en stasjon er lik forsinkelsen i avgang på den foregående stasjonen.

Bruk av sanntidsdata i analysen gir en direkte og presis beskrivelse av situasjonen på jernbanen med hensyn til spredning av forsinkelser. I sammenligning med andre metoder, har også denne metoden noen begrensninger; den er kun anvendelig på jernbane nettverk med enkeltspor, og det er ikke mulig å velge enkelte initialsituasjoner eller -forsinkelser for å se utfallet av disse. Statistisk analyse eller andre etterbehandlinger av resultatene må gjennomføres i sammenligning over flere datoer.

Analyseeksempler

Resultatene fra metoden kan framstilles og analyseres på flere måter. Den mest illustrative måten er å tegne følgeforsinkelsene fra en hendelse som et «spredningstre». I et spredningstre plasseres toget som er skyld i den første følgeforsinkelsen (spredningstog/kildetog) øverst, med kobling ned til toget som ble forsinket. Koblingene forgreiner seg videre nedover og utover til de neste togene som ble forsinket av et (eller flere) av togene i treet. To eksempler er illustrert i Figur 84. Figuren viser eksempler på følgeforsinkelser fra to ulike kildetog, tog #323 og #42, på Dovrebanen 26.4.2013. Som det kommer fram av eksemplene, kan følgeforsinkelsene utvikle seg på flere måter; enten som fleregrenet tre eller enkel-grenet tre. Strukturen på spredningsforløpet vil blant annet være avhengig av tettheten i togtrafikken på jernbanelinja samt kryssingsmønsteret.



Figur 84. Eksempel på enkelt- og fler-grenede spredningstrær, fra Dovrebanen 26.04.2013

Det er flere måter å sammenligne andelen følgeforsinkelser på over en lengre periode. En måte er å telle opp antall tog som opplever følgeforsinkelser og antall tog som starter en følge av forsinkelser (kildetog) i en avgrenset periode på en gitt strekning. Eksempel er vist i Tabell 12. Her er det summert over hver stasjon mellom stasjonene Kongsvinger (KVG) og Lillestrøm (LLS) i perioden 4. til 10. Februar 2013.

Stasjon	# tog forsinket	# kilde-tog	Andel kilde-tog %	# tog forsinket ved følgeforsinkelse	Andel følgeforsinkelser %
KVG	78	0	0,0	1	1,3
GLT	125	1	0,8	2	1,6
SAN	121	8	6,6	12	9,9
SKA	137	2	1,5	9	6,6
DIS	125	1	0,8	8	6,4
SET	171	29	17,0	54	31,6
ARN	181	6	3,3	14	7,7
HAG	156	7	4,5	32	20,5
RFS	178	6	3,4	23	12,9
BLK	139	2	1,4	19	13,7
SOR	201	3	1,5	11	5,5
RVN	171	20	11,7	59	34,5
FET	215	3	1,4	4	1,9
LLS	468	2	0,4	17	3,6

Tabell 12. Antall tog som opplever følgeforsinkelser og antall tog som starter en følge av forsinkelser

Kode 7 og følgeforsinkelser

En annen framgangsmåte for å nøste opp følgeforsinkelser baserer seg på årsakskodene. Når en forsinkelse øker med 4 minutter eller mer mellom to målepunkter, skal den registreres på en årsakskode, og gjerne med forklarende tekst. Kode 7 er årsakskoden for trafikkavvikling, og brukes

for ulike typer forsinkelser. Erfaringsmessig er trafikkavvikling en sekundærårsak. I mange tilfeller vil derfor en årsaksregistrering på kode 7 være registrert med et forårsakende tog eller en forklaring med «følgeforsinkelse fra tog #X».

Som eksempel kan vi vise til en analyse som ble gjennomført basert på forsinkelsene registrert under Kode 7 Trafikkavvikling. Formålet var å finne ut hvor stor del av forsinkelsene under trafikkavvikling som faktisk skyldes følgeforsinkelser. Analysene ble gjennomført på to ulike måter, av henholdsvis Jernbaneverket, i samarbeid med NSB, og SINTEF.

I den førstnevnte analysen tok man utgangspunkt i registreringene under trafikkavvikling, og spesielt registreringer med registrert forårsakende tog. Følgeforsinkelser ble nøstet opp, inntil 5 ganger, basert på forårsakende tog, og årsaken til det første forårsakende toget ble funnet. På denne måten avdekkes den opprinnelige årsaken bak forsinkelsen under trafikkavvikling. Resultatet viste blant annet at 43 % av de registrerte forsinkelsene skyldes følgeforsinkelser fra andre NSB-tog.

Resultatet fra denne analysen kan sammenlignes med resultater fra prototypen beskrevet over. Metoden ble brukt på samme strekning i samme tidsperiode. Her blir alle tog tatt med, uavhengig om det er NSB-tog eller ikke. Følgeforsinkelsene ble deretter sammenlignet med registreringene under trafikkavvikling. Resultatet viste blant annet at 40,4 % av forsinkelsen under trafikkavvikling i den perioden som ble analysert skyldes følgeforsinkelser, når kun resultatet fra prototypen ble lagt til grunn. Det kom fram at registreringene og følgeforsinkelsene fra prototypen ikke alltid stemmer over ens. I enkelt tilfeller er det registrert et forårsakende tog som ikke kommer fram i prototypen eller motsatt, og i andre tilfeller er det registrert andre forårsakende tog enn det prototypen kommer fram til. I noen av de sistnevnte tilfellene er det gjerne det som antas å være kildetoget som blir registrert framfor kryssingstoget. Hvis det antas at både registreringen og algoritmen har rett i forhold til tilfellene når årsaken er en følgeforsinkelse, så blir den tilsvarende andelen omtrent 60 %.

Når det første forårsakende toget i en rekke er funnet, kan man videre se på hvilke årsaker og årsakskoder forsinkelsene faktisk tilhører.

6 VEIEN VIDERE

Det skjer mye innenfor jernbanen. Mens vi jobbet med denne boken, la regjeringen fram planer for en omorganisering av jernbanen. Selv om rollefordelingen kan endres i framtiden, forventer vi at analyseformene for punktlighet er aktuelle uansett.

Mye skjer også på datasiden. Sannsynligvis kommer mulighetene for å koble data fra ulike kilder til å øke. Det gjelder blant annet infrastrukturdata. Likevel er det en risiko for at omorganisering av jernbanen kan gjøre noen data vanskeligere tilgjengelige, eksempelvis data om antall reisende.

Mye punktlighetsanalyser av kommende tiltak, som større infrastrukturinvesteringer, gjøres ved bruk av simulering. Denne boken har fokusert på analyser av utført togtrafikk. Slike analyser kompletterer simuleringer, og kan gi ny kunnskap som kan brukes til å forbedre og kvalitetssikre simuleringer. De analysene vi har presentert, er derfor ikke tenkt å utføres istedenfor simuleringer, men i tillegg til.

Vår bok har viet mest oppmerksomhet til tidsdata. Årsaksregistreringer er omtalt, men ikke like fokusert. Dette kan framstå som et paradoks, når det er årsaksregistreringene som ofte får mest oppmerksomhet i punktlighetsarbeid. Mange av analysene kan brukes også på årsaksregistreringer. Årsaksregistreringer har en svakhet ved at de er basert på manuell registrering. Det kan være vanskelig for eksempelvis en togleder å ha oversikt over hva som er den egentlige årsaken til en forsinkelse. Tidsregistreringer er i de fleste tilfeller automatiske. Det medfører at det er lettere å ha god nøyaktighet på registreringene, sammenlignet med de manuelle årsaksregistreringene. Det innebærer ikke at tidsdata er feilfrie, men de finnes i store mengder. I de fleste tilfeller finnes det parallelle registreringer i ulike systemer, eksempelvis fra signalsystemene, GPS og i andre systemer på det rullende materiellet. Det er derfor fristende å se på hvordan tidsdata, og andre data, kan bidra til å forbedre og kvalitetssikre årsaksregistreringene. Eksemplene fra blant annet analysene av følgeforsinkelser illustrerer denne typen analyser. Vi forventer at slike analyser kommer til å bli mer vanlige i framtiden.

En interessant utvikling er at trafikkdata blir tilgjengelige for de reisende via internett og app-er. Data som tidligere var forbeholdt en liten gruppe innenfor jernbanen, kan nå bli bruk av mange.

Man investerer i jernbanen for tiden, inkludert nye dobbeltspor i Østlandsområdet innenfor InterCity-området. Den typen analyseformer som vi har presentert her, kan brukes til å følge opp effekten av slike utbygginger. Slik oppfølging er viktig, da samfunnet bruker betydelige ressurser. Men det er viktig at det ikke bare er store og synlige prosjekter som får oppmerksomheten. Analysene som er presentert her, kan også brukes til å følge opp mindre tiltak, og summen av en gruppe mindre tiltak. Vi håper at dette kan bidra til god bruk av tilgjengelige ressurser. Jernbanen gjør nytte for seg først når togene går. Vi har forsøkt å vise ulike måter å studere det på.

REFERANSER

- Algaard, E. og Treacher, P. (2014). Network Rail's international benchmarking programme, UK. Proceedings of the ICE. *Civil Engineering*, 167(2), pp. 74–80.
- Andersson, E. (2014). An economic evaluation of the Swedish prioritisation rule for conflict resolution in train traffic management. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 111, pp. 634–644.
- Andersson, T. (2010). Situationen för järnvägen under vintern 2009/10 - Trafikverket
- Anscombe, F.J. (1973). Graphs in statistical analysis. *The American Statistician*, 27(1), pp. 17–21.
- Aune, A. (2000). *Kvalitetsdrevet ledelse – kvalitetsstyrte bedrifter*. Oslo: Gyldendal.
- Beirão, G. og Cabral, J.S. (2007). Understanding attitudes towards public transport and private car: A qualitative study. *Transport policy*, 14(6), pp. 478–489.
- Bender, M., Büttner, S. og Krumke, S.O. (2013). Online delay management on a single train line: beyond competitive analysis. *Public Transp*, 5, pp. 243–266.
- Bergström, A. og Krüger, N.A. (2013). *Modeling passenger train delay distributions: evidence and implications*. Working Papers in Transport Economics No 2013:3. Stockholm: CTS – Centre for Transport Studies.
- Bhanot, N. og Singh, H. (2014). Benchmarking the performance indicators of Indian Railway container business using data envelopment analysis. *Benchmarking: An International Journal*, 21(1), pp.101–120.
- Bull-Berg, H. og Olsson, N. (2013). *Nye datakilder i evaluering av store statlige investeringer – et potensial for Big Data?* SINTEF rapport A25786. SINTEF Teknologi og samfunn.
- Bustinduy, J. (1995). More quality in regional transport. *Public Transport '95, 51st International Congress*. Paris: International Commission on Regional Transport.
- Burdett, R.L. og Kozan, E. (2006). Techniques for absolute capacity determination in railways. *Transportation Research, Part B: Methodological*, 40(8), pp. 616–632.
- Bärlund, G. (2000). Benchmarking in transport. I: *Transport Benchmarking – Methodologies, Applications & Data Needs. Proceedings of the Paris Conference, November 1999*. Paris: OECD, pp. 19–35.
- Börjesson, M. og Eliasson, J. (2011). On the use of «average delay» as a measure of train reliability. *Transportation Research, Part A: Policy and Practice*, 45(3), pp. 171–184.
- Cabinet Office (2002). *Risk: improving government's capability to handle risk and uncertainty*. London: Strategy Unit, Cabinet Office.
- Carey, M. og Carville, M.C. (2003). Scheduling and platforming trains at busy complex stations. *Transportation Research, Part A* 37, pp. 195–224.
- Cole, B. og Cooper, C. (2005). Making the trains run on time. *Production planning and control*, 16(2), pp. 199–207.
- Coulombel, N. og de Palma, A. (2014). The variability of travel time, congestion, and the cost of travel. *Mathematical Population Studies*, 21(4), pp 220–242.

- Deiss, R. (2000). Benchmarking European Transport. I: *Transport Benchmarking – Methodologies, Applications & Data Needs. Proceedings of the Paris Conference, November 1999*. Paris: OECD, pp. 35–83.
- Eliasson, J. og Börjesson, M. (2014). On timetable assumptions in railway investment appraisal. *Transport Policy*, 36, pp. 118–126.
- Enno Wiebe, L. F. (2010, October 20). Factsheet Snow and Ice. Retrieved April 21, 2011, from UIC Information Platform «Winter and Railways».
http://www.uic.org/forms/IMG/pdf/001_factsheet_snow_and_ice.pdf
- Fagerhaug, T. og Olsson, N. (2005). *PEMRO Arbeidspakke 1.2. State of the art innenfor prestasjonsmåling*. Trondheim: SINTEF Teknologi og samfunn.
- Fosgerau, M. og Engelson, L. (2011). The value of travel time variance. *Transportation Research, Part B: Methodological*, 45(1), pp. 1-8.
- Fosgerau, M. og Karlström, A. (2010). The value of reliability. *Transportation Research, Part B: Methodological*, 44(1), pp. 38–49.
- Galbraith, J.R. (1973). *Designing complex organisations*. Reading, MA: Adison-Wesley.
- Gibson, S., Cooper, G., Ball, B. (2002). The evolution of capacity charges on the UK rail network. *Journal of Transport Economics and Policy*, 36 (2), pp. 341–354.
- Gorman, M.F. (2009). Statistical estimation of railroad congestion delay. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45(3), pp. 446–456.
- Granström, R. (2005). *Maintenance for improved punctuality – a study of condition monitoring technology for the Swedish railway sector*. Licentiate thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Luleå University of Technology, Luleå, Sweden.
- 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 P384*, 9, pp. 153–165.
- van Hagen, M. og Sauren, J. (2014). Influencing the train experience: using a successful measurement instrument. *Transportation Research Procedia*, 1(1), pp. 264–275.
- Halse, A.H. og Killi, M. (2012). *Verdsetting av tid og pålitelighet for godstransport på jernbane*. TØI rapport 1189/2012. Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- Halse, A.H. og Killi, M. (2013). *Hva koster et forsinket godstog? Anvendelse av nyere forskningsresultater*. TØI rapport 1250/2013. Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- Halse, A.H., Samstad, H., Killi, M., Flügel, S. og Ramjerdi, F. (2010). *Verdsetting av framføringstid og pålitelighet i godstransport*. TØI rapport 1083/2010. Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- Handstanger, A.C.T. (2009). *Scheduled waiting time from crossing on single track railway lines*. Doktoravhandling, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi, Institutt for bygg, anlegg og transport, Trondheim.
- Hansen, I.A. og Pacht, J. (2008). *Railway timetable and traffic*. Hamburg: Eurailpress.
- Harris, N.G. og Godward, E.W., red. (1992). *Planning passenger railways: A handbook*. Glossop: Transport Publishing Co.

- Harris, N.G., Mjøsund, C.S. og Haugland, H. (2013). Improving railway performance in Norway. *Journal of Rail Transport Planning & Management*, 3(4), pp. 172–180.
- Heinz, W., 2000. *Passagerutbyte i tåg. Mätningar av av- och påstigningstider samt ansats till modell för att beskriva samband*. TRITA IP AR 00-86. Stockholm: Royal Institute of Technology.
- Hronec, S.M. (1993). *Vital sign. Using quality, time, and performance measurements to chart your company's future*. New York: AMACOM/American Management Association.
- Huang, Y.Y, Dong, Y. og Zhao, Y.K. (2011). Simulation study of temporary speed restriction on train operation. *Journal of Railway Signaling & Communication*, 1, pp. 13–15.
- Jernbaneverket (1999). *Jernbanestatistikk 1999*. Oslo.
- Jernbaneverket (2015). *Se punktlighetstall og tiltak*.
<http://www.jernbaneverket.no/Nyheter/Togenes-punktlighet-og-regularitet/>
- Jevons, D., Meaney, A., Robins, N., Dargay, J., Preston, J., Goodwin, P. og Wardman, M. (2005). RESPOND TO CHANGE? Association for European Transport and contributors 2005 abstracts.aetransport.org/paper/download/id/2191
- Jiang, W., Chen, X. og Zhong, Z. (2010). The impact of quality of services in Chinese train control system on train delays analysis. *Proceedings of the 72nd IEEE Vehicular Technology Conference, VTC Fall 2010, 6–9 September 2010, Ottawa, Canada*.
- Kaplan, R.S. og Norton, D.P. (1996). *The balanced scorecard – translating strategy into action*. Boston, Massachusetts: Harvard Business School Press.
- Kato, H., Kaneko, Y. og Soyama, Y. (2010). Influence of chronic delays in Tokyo urban rail service on passenger behaviours and perceptions. *European Transport Conference 2010, Proceedings*.
- Kliwer, N., og Suhl, L. (2011). A note on the online nature of the railway delay management problem. *Networks*, 57(1), pp. 28–37.
- Kroes, E., Kouwenhoven, M., Duchateau, H., Debrincat, L.L. og Goldberg, J. (2005). On the value of punctuality on suburban trains to and from Paris. Association for European Transport and contributors 2005 abstracts.aetransport.org/paper/download/id/2190
- Kvaavik, B. (2008). *Bedre i dag enn i går, men ikke så god som i morgen*. Oslo: NSB AS.
- Lawlor, A. (1985). *Productivity improvement manual*. London: Gower Publishing Company.
- Li, Z., Hensher, D.A. og Rose, J.M. (2010). Willingness to pay for travel time reliability in passenger transport: a review and some new empirical evidence. *Transportation Research, Part E* 46 (3), pp. 384–403.
- Liu, L., Lu, H., Lu, M. og Shang, J. (2009). Study on the system design and optimal models of urban rail transit traction calculation system. I: Yin Hai Wang, Ping Yi, Shi An og Hua Wang, red. (2009). *ICCTP 2009: Critical Issues in Transportation Systems Planning, Development, and Management*. American Society for Civil Engineers, pp. 1–7.
- Ludvigsen, J. og Klæboe, R. (2014). Extreme weather impacts on freight railways in Europe. *Nat Hazards*, 70, pp. 707–787.
- Luktvaslimo, Ø. (2005). *Data fra jernbanedrift*. Masteroppgave, Institutt for Produksjons- og kvalitetsteknikk, NTNU, Trondheim.

- Marinov, M., Şahin, I., Ricci, S., Vasic-Franklin, G. (2013). Railway operations, time-tabling and control. *Research in Transportation Economics*, 41(1), pp. 59–75.
- Metz, D. (2005). Journey quality as the focus of future transport policy. *Transport Policy*, 12(4), pp. 353–359.
- Milan, J. (1996). The trans European railway network: three levels of services for the passengers. *Transport Policy*, 3(3), pp. 99–104.
- Ministry of Infrastructure and the Environment (2013). *The social value of shorter and more reliable travel times*. 2nd ed. Den Haag: KiM Netherlands Institute for Transport Policy Analysis.
- Minken, H. og Samstad, H. (2006). *Virkningsberegning av tiltak for raskere og mer pålitelig gods-transport: en ny metode*. TØI rapport 825/2006. Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- Monchambert, G. og de Palma, A. (2014). Public transport reliability and commuter strategy. *Journal of Urban Economics*, 81, pp. 14–29.
- Nash, C. og Shires, J. (2000). Benchmarking European railways – An assessment of current data and recommended indicators. I: *Transport Benchmarking – Methodologies, Applications & Data Needs. Proceedings of the Paris Conference, November 1999*. Paris: OECD, pp. 119–136.
- Norheim, B. og Ruud, A. (2011). *The underestimated demand for public transport?* Henley-in-Arden, UK: Association For European Transport and Contributors.
- NSB (1996). *Jernbanestatistikk 1996*. Oslo: NSB BA.
- NSB (1997). *Jernbanestatistikk. 1997*. Oslo: NSB BA.
- NSB (1998). *Jernbanestatistikk 1998*. Oslo: NSB BA.
- OECD/ITF (2009). *Improving reliability on surface transport networks*. Report, Joint Transport Research Centre of the OECD and the International Transport Forum.
- Olsson, N., Sætermo, I. A. F., Røstad C., (2002). *Konsekvensvurdering av anleggsarbeid i Vestkorridoren*. SINTEF rapport STF38 F02820. Trondheim: SINTEF Teknologi og samfunn.
- Olsson, N.O.E. (2006). Impact analysis of railway projects in a flexibility perspective. *Transport Reviews*, 26(5), pp. 557–569.
- Olsson, N.O.E og Bull-Berg, H. (2015). Use of big data in project evaluations. *International Journal of Managing Projects in Business*, 8(3), pp. 491–512.
- Olsson, N.O.E. og Haugland, H. (2004). Influencing factors on train punctuality – results from some Norwegian studies. *Transport Policy*, 11(4), pp. 387–397.
- Olsson, N. og Veiseth, M. (2011). *Jernbanetrafikk*. Trondheim: Tapir Akademisk Forlag.
- Paulley, N., Balcombe, R., Mackett, R., Titheridge, H., Preston, J., Wardman, M., Shires, J. og White, P. (2006). The demand for public transport: The effects of fares, quality of service, income and car ownership. *Transport Policy*, 13(4), pp. 295–306.
- Redman, L., Friman, M., Gärling, T. og Hartig, T. (2013). Quality attributes of public transport that attract car users: A research review. *Transport Policy*, 25 (January), pp. 119–127.

- 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*, 35(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*, pp. 661–666.
- Salkonen, R. og Paavilainen, J. (2010). Measuring railway traffic punctuality from the passenger's perspective. *The 12th World Conference on Transport Research July 11–15, Lisbon, Portugal*.
- Samstad, H., Killi, M., Flügel, S. og Ramjerdi, F. (2010). *Verdsetting av framføringstid og pålitelighet i godstransport*. TØI rapport 1083/2010. Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- Samuel, H. (1961). *Railway operating practice*. London: Odhams Press.
- Schwanhäußer, W. (1999). *Kenngößen zur Fahrwegkapazität*. Umdruck RWTH. Aachen.
- 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. I: C.A. Brebbia, red. (2007). *Proceedings of the 13th International Conference on Urban Transport and the Environment in the 21st century*. Southampton: WIT press, pp. 313–325.
- Significance, Goudappel Coufeng og NEA (2012). *Erfassung des Indikators Zuverlässigkeit des Verkehrsablaufs im Bewertungsverfahren der Bundesverkehrswegeplanung: Schlussbericht*. Rapport. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
- Sink, D.S. og Tuttle, T.C. (1989). *Planning and measurement in your organization of the future*. Norcross: Industrial Engineering and Management Press.
- Skagestad, R. (2004). *Kritiske prestasjonsindikatorer i jernbanedrift*. Master thesis. Dept. of Production and Quality Engineering, the Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.
- Small, K.A., Noland, R., Chu, X. og Lewis, D., 1999. *Valuation of Travel-Time Savings and Predictability in Congested Conditions for Highway User-Cost Estimation*. NCHRP Report 431. Washington: Transportation Research Board, US National Research Council.
- Svenska dagbladet (2015). Fler sena tåg trots satsning. *Svenska Dagbladet* 31. mai 2015, pp. 8–9.
- Szafránski, Z. (2011, March 9). *Winter and Railways – Study*. Retrieved May 3, 2011, from UIC: http://www.uic.org/forms/IMG/pdf/500_uic_siafi_report__winter_and_railways.pdf
- Tomii, N. (2010). How the punctuality of the Shinkansen is achieved. I: Ning og Brebbia, red. (2010). *Computers in railways XII*. Southampton: WIT Press, pp. 111–120.
- Trafikverket (2013). *Analys av punktligheten inom järnvägstrafiken*. Resultatrapport 2013. http://www.trafikverket.se/contentassets/8187ba3c1b554c9bb0b46817929b73f7/2013_117_analys_av_punktigheten_inom_jarnvagstrafiken_resultatrapport_2013_130830.pdf
- Transportministeriets pressemelding (2015). <http://www.trm.dk/da/nyheder/2015/forbrugerradet-taenk-misforstaar-nyt-maal-for-punktlighed>
- Törnquist, J. (2007). Railway traffic disturbance management – An experimental analysis of disturbance complexity, management objectives and limitations in planning horizon. *Transportation Research, Part A*, 41, pp. 249–266.

UIC (2004). UIC CODE, Capacity June 2004. International Union of Railways.
<http://banportalen.banverket.se/Banportalen/upload/1753/HandbokUIC406.pdf>

Veiseth, M. (2009). *Forbedring av punktlighet i jernbanedrift – utvikling av punktlighetsprosessen*. PhD-avhandling. Institutt for produksjons- og kvalitetsteknikk, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU), Trondheim.

Veiseth, M., Olsson, N., Stokland, Ø. (2011) Metodehåndbok PIMS Punctuality Improvement system. SINTEF Teknologi og Samfunn, Trondheim <http://www.sintef.no/globalassets/upload/pims-metodehandbok-til-web.pdf>

Veiseth, M., Heggland, P.M. Wien, I., Olsson, N.O.E. og Stokland, Ø. (2011). Development of a punctuality improvement method. *The TQM Journal*, 23(3), pp. 268–283.

Wangness, P.B. og Rødseth, K.L. (2014). *22 lands retningslinjer for behandling av netto ringvirkninger i konsekvensutredninger: En litteraturstudie*. TØI rapport 1382/2014. Oslo: Transportøkonomisk institutt.

Xia, Y., Van Ommeren, J.N., Rietveld, P. og Verhagen, W. (2013). Railway infrastructure disturbances and train operator performance: The role of weather. *Transportation Research, Part D* 18 (2013), pp. 97–102.

VEDLEGG. DATAGRUNNLAG

TIOS Tabell-oversikt

Feltnavn	Beskrivelse	Eksempel
UTG_DT	Utgangsdato for turen beskrevet (se TOG_NR)	2012-06-23
TOG_NR	Tog nr beskriver rute med tidspunkter jf. ruteplanene fra Jernbaneverket som angir klokkeslett/sted.	42, 303, 5703
STASJON_KD	Bokstavkode som entydig identifiserer stasjon	OSL – Oslo S HMR – Hamar TND – Trondheim S
STA_TID	Scheduled Time of Arrival – Ankomstid jf. plan for punktet angitt av stasjon_kd	2014-01-01 12:32:00
ATA_TID	Actual Time of Arrival – Tidspunkt hvor siste vogn passerer hovedinnkjør	2014-01-01 12:33:23
STD_TID	Scheduled Time of Departure – Avgangstid jf. plan for punktet angitt av stasjon_kd	2014-01-01 12:36:00
ATD_TID	Actual Time of Departure – Tidspunkt hvor toget passerer hovedutkjør	2014-01-01 12:37:31
TOG_KTG	Tog-kategori, Pt – passasjertog, Gt – godstog,	PT
COMPANY_NV	Operatør	NSB
HEL_INNSTILT	Helinstilling J/N	J
DEL_INNSTILT	Delinstilling J/N	N
PLANLAGT_SPOR	Planlagt spor på stasjon	2
FAKTISK_SPOR	Faktisk spor på stasjon	1

TIOS Årsaksregistreringsoversikt

Feltnavn	Beskrivelse	Eksempel
Innstilt		
Forsinkelse	Forsinkelse i minutter (rundet nedover)	
HL-ID	Evt. Id i hendelsesloggen	
HL-beskrivelse	Beskrivelse fra hendelsesloggen	
Forårsakende	Forårsakende tog (for eksempel ved følgeforsinkelser)	
Kommentar	Fritekstkommentar	
Feilkode	Årsakskode jf JBV.	

Tabell for GPS-data

Feltnavn	Beskrivelse	Eksempel
Timestamp		
Latitude	Breddegrad i WGS84	
Longitude	Lengdegrad i WGS84	
Speed	Hastighet km/t	
Course	Kompassretning	
Ignition	Tenning J/N	
Created_timestamp		
Altitude	Høyde m.o.h.	
Distance	Avstand siden forrige måling?	
Total_distance	Total avstand	
Sub_location_name	Logisk stedangivelse	
Route_id	Rute-id (ekvivalent med tog_nr)	
Route_timestamp		
At_station	Logisk stasjonsangivelse	
Last_station	Forrige stasjon jf rute	
Next_station	Neste stasjon jf rute	
Delay_in_min	Forsinkelse i minutter	
Has_arrived_at_destination	Ankommet endestasjon	
Departure_date	Utgangsdato (ekvivalent med utg_dt)	
Lok_navn	Lok individ	

Årsakskode	Forklaring
1. Bane	Linjen, skinnebrudd, solslyng, telehiv. Saktekjøring i.h.t. T-sirkulære. Glatte skinner, snø/is/løvfall, tre på linjen, vegetasjon hindrer sikt. Overvann pga tett stikkrenne (ikke flom). Planlagt arbeid ikke avsluttet i tide.
2. Sikringsanlegg	Ved feil på: Linjeblokk, pærekontroll, stillverk/fjernstyringsanlegg, ATC-balise, vegsikringsanlegg, rasvarslingsanlegg. Sporveksel ikke i kontroll, Utilsiktet passering av signal i stopp grunnet teknisk feil ("signalfall"). Sporfeltbelegg, inkl. saltbelegg. Feil ved nødstrømsanlegg.
3. Kraft/Kontaktledningsanlegg	Nedrevet/skadet kontaktledning. Tre over KL-anlegg. Feil på KL-komponenter. Feil i omformerstasjon til KL. (strømløst/reduisert kapasitet). Forårsakende tognr angis i tilfeller av skade på KL.
4. Tele- og transmisjonsfeil	Tele- og transmisjonsfeil som fører til driftsforstyrrelser. Feil ved GSM-R-systemet. Feil ved høyttaler/anviser.
5. Planlagt vedlikeholdsarbeid infrastruktur	Tog planlagt innstilt på aktuell strekning. Vente på alternativ transport. Enkeltsporet drift grunnet planlagt arbeid.
6. Materiell med feil sperrer sporet/blokkstrekning	Kode 6 nyttes for andre tog som blir forsinket/innstilt grunnet et annet tog (forårsakende) sperrer spor/blokkstrekning. Nyttas også dersom enkeltsporet drift må iverksettes grunnet dette.
7. Trafikkavvikling	Årsaker i forhold til trafikkstyring: Signal stilles for sent, får ikke meldt tog til betjent stasjon, køkjøring, overbelastet banestrekning (Se Network Statement), Helhetsvurdering vedrørende rekkefølge/valg av kryssingssted, konstruksjons/systemfeil i ruteplan. Feil i hjelpesystem FJS (Automat/ATL/TLS).følgeforsinkelser
81. Feil ved materiell	Alle feil ved rullende materiell som medfører stans eller redusert kjørehastighet. Lastforskyving på godstog.
82. Materiell sent fra hensettingsspor	Benyttes når avgang blir forsinket fordi toget ikke er satt opp i tide fra driftsbanegård/lokstall/hensettingsspor e.l.
83. Manglende personell	Forsinkelse som er forårsaket av enhver form for personalmangel hos jernbaneforetaket, inklusive personalbytte underveis.
84. Stasjonsopphold	Rutemessig oppholdstid på stasjon/holdeplass overskrides grunnet reisende/gods/skifting underveis. Jernbaneforetaket ber toget holdes tilbake grunnet overgangsreisende fra andre forsinkede tog.

85. Planforutsetninger endret	Toget kjøres med redusert materiell (kapasitet/hastighet) enn forutsatt. Toget holder ikke fastsatt hastighet. Ekstra togstopp beordret av jernbaneforetaket. Tog innstilt grunnet markedsmessige årsaker eller manglende materiell, Øvelseskjøring.
91. Forsinkelse fra utlandet	Tog forsinket/innstilt fra Sverige. Tog må holdes tilbake på norsk side grunnet kapasitetsmangel i Sverige
92. Ytre forhold	Storm, flom, ras som gjør linjen ufarbar samt ved risiko for uhell grunnet dette. Store snøfall i tiden hvor snøberedskap ikke er opprettet.
93. Uhell, påkjørsel	Ved påkjørsel av person, kjøretøy, dyr eller annen gjenstand på linjen eller stasjon. Driftsuhell, avsporing og skifteuhell.
94. Uønsket hendelse	Tilløp til uhell, f. eks ulovlig ferdsel i spor. Tog venter på politi/ambulanse. Brann i tilknytning til linjen/stasjon. Utsiktet passering av signal i stopp (Reell passering).

PUNKTLIGHET I JERNBANEN – HVERT SEKUND TELLER

Jernbanen er et komplekst transportsystem der kravene til kvalitet er økende. Hva mener vi med punktlighet i jernbanen, hvorfor oppstår forsinkelser, og hva kan gjøres for å få en mer presis togtrafikk?

Denne boken gir en innføring i punktlighetsarbeid for jernbanen. Bak ligger en serie forskningsprosjekter fra de siste ti-femten årene, hvor norsk jernbanesektor har deltatt sammen med SINTEF, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) og Transportøkonomisk institutt (TØI). Boken er nyttig for alle som arbeider med analyser og forbedring av kvalitet i jernbanen spesielt, og i transport generelt.