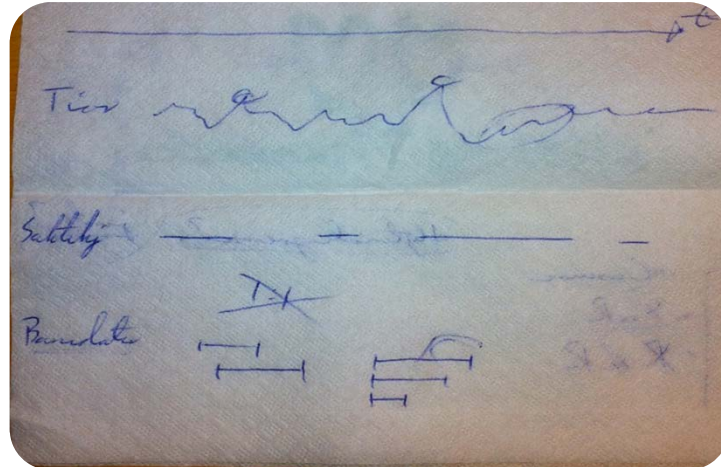


Analyse av punktlighetsdata i jernbanetrafikk: Modell for prioritering av vedlikehold

Masteroppgave ved Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet,
Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi, Institutt for produksjon- og kvalitetsteknikk,
Master i Organisasjon og ledelse, spesialisering i Logistikkledelse
Per Magnus Heggland, høst 2012; Veiledere Heidi Dreyer og Andreas Seim



Den spede begynnelse på en masteroppgave

I. Oppgavetekst



Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi
Institutt for produksjons- og kvalitetsteknikk

Vår dato 2011-09-08
Deres dato
Vår referanse HCD/LMS
Deres referanse

1 av 3

MASTEROPPGAVE

2011 – 2012

for

Per Magnus Heggland

FREMTIDENS KONSEKVENNSTYRING I PRIORITERING AV VEDLIKEHOLD AV JERNBANEINFRASTRUKTUR (Consequence management in prioritizing railway infrastructure maintenance)

Nasjonal Transportplan 2010-2019 setter tydelige mål om at godstransport skal flyttes fra vei til bane. Dagens nivå for service og leveringssikkerhet for godstransport på jernbane er imidlertid så lavt at transportørene flytter godstransport fra bane til veg. Dette er en utvikling som ikke er bærekraftig for samfunnet og som er stikk i strid med uttalte mål, både fra politikere, miljøbevegelse og jernbanesektoren.

For å lykkes med å tiltrekke mer gods til bane, må tidsbruken ved jernbanetransport fremstå som mindre usikker. Det er med andre ord behov for å øke punktlighet i togtrafikken på det norske banenettet.

Tradisjonelt har punktlighetsforbedring og utarbeidelse av tiltak for å bedre punktligheten vært preget av "skippertak-metoden". Når det har gått dårlig med et togprodukt eller en banestrekning i en periode, har man satt sammen en arbeidsgruppe. Arbeidsgruppen har fått i oppgave å utarbeide forbedringsforslag som skal bedre punktligheten. Forbedringsarbeidet har vært lite systematisk, lite faktabasert og ikke kontinuerlig. Strukturen på arbeidet har de siste årene blitt bedret gjennom utviklingen og implementeringen av en metodikk kalt Punctuality Improvement Method System (PIMS). PIMS ble utviklet i forskningsprosjektet Performance Measurement in Railway Operations (PeMRO). For å dra full nytte av PIMS samt effektivt bedre punktlighet er det imidlertid behov for å videreutvikle modellen for prioritering av tiltak generelt og vedlikeholdstiltak spesielt.

Studenten skal i masteroppgaven:

1. Gi en oversikt over relevant teori og best-practice på områdene "punktlighet i jernbane", "prestasjonsmåling i verdikjeder" og "vedlikeholdsstyring".
2. Beskrive dagens modell for prioritering av vedlikehold på infrastruktur.
3. Utvikle forslag til ny modell for konsekvensstyring i prioritering av vedlikehold på infrastruktur.

4. Prøve ut modell på en case hos Jernbaneverket.
5. Skissere et veikart for å oppnå et punktlighetsnivå som tilfredsstillende godstransportørens behov.

Kandidaten vil samarbeide tett med det pågående forskningsprosjektet PUSAM.

Oppgaveløsningen skal basere seg på eventuelle standarder og praktiske retningslinjer som foreligger og anbefales. Dette skal skje i nært samarbeid med veiledere og fagansvarlig. For øvrig skal det være aktivt samspill med veileder.

Det skal utarbeides en prosjektplan som skal inneholde følgende:

- En analyse av oppgavens problemstillinger.
- En kort beskrivelse av evt. case som skal benyttes.
- En oversikt over sentrale tema som skal belyses samt en beskrivelse av de arbeidsoppgaver som skal gjennomføres for løsning av oppgaven. Denne beskrivelsen skal munne ut i en klar definisjon av arbeidsoppgavens innhold og omfang.
- En redegjørelse for metodevalg.
- En oversikt over relevant litteratur som tenkes brukt i oppgaven.
- En tidsplan for fremdriften av prosjektet. Planen skal utformes som et Gantt-skjema med angivelse av de enkelte arbeidsoppgavens terminer, samt med angivelse av milepæler i arbeidet.
- En beskrivelse av hvordan veiledning skal foregå.

Prosjektplanen skal ha et omfang på ca. 5 sider og skal utarbeides i samråd med veileder. Den skal være godkjent av veileder innen **15. oktober 2011** etter utlevering.

Prosjektplanen er en del av oppgavebesvarelsen og skal vedlegges denne. Det samme gjelder senere fremdrifts- og avviksrappporter. Ved bedømmelsen av arbeidet legges det vekt på at gjennomføringen er godt dokumentert.

Besvarelsen redigeres mest mulig som en forskningsrapport med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, innholdsfortegnelse etc. Ved utarbeidelsen av teksten skal kandidaten legge vekt på å gjøre teksten oversiktlig og velskrevet. Med henblikk på lesning av besvarelsen er det viktig at de nødvendige henvisninger for korresponderende steder i tekst, tabeller og figurer anføres på begge steder. Ved bedømmelsen legges det stor vekt på at resultatene er grundig bearbeidet, at de oppstilles tabellarisk og/eller grafisk på en oversiktlig måte og diskuteres utførlig.

Materiell som er utviklet i forbindelse med oppgaven, så som programvare eller fysisk utstyr er en del av besvarelsen. Dokumentasjon for korrekt bruk av dette skal så langt som mulig også vedlegges besvarelsen.


Hvis kandidaten under arbeidet med oppgaven støter på vanskeligheter, som ikke var forutsett ved oppgavens utforming, og som eventuelt vil kunne kreve endringer i eller utelatelse av enkelte spørsmål fra oppgaven, skal dette straks tas opp med veileder.


Oppgaveteksten skal vedlegges besvarelsen og plasseres umiddelbart etter tittelsiden.

Besvarelsen skal innleveres i 1 elektronisk eksemplar (pdf-format) og 5 eksemplar (innbundet). Frist for innlevering er **1. september 2012**.

Ansvarlig faglærer/veileder ved NTNU: Professor Heidi C. Dreyer
Telefon: 73 55 05 13
Mobiltelefon: 982 91 146
E-post: heidi.c.dreyer@ntnu.no

**INSTITUTT FOR PRODUKSJONS-
OG KVALITETSTEKNIKK**


Per Schjølberg
førsteamanuensis/instituttleder


Heidi C. Dreyer
faglærer

II. Forord

Oppgaven som presenteres beskriver hvordan måling av medgått kjøretid for kjøring av tog mellom faste målepunkter i Jernbaneverkets infrastruktur kan brukes til prioritering av vedlikeholdsoppgaver. Masteroppgaven er gitt ved Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet, Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi, Institutt for produksjon- og kvalitetsteknikk og oppgaven ble gjennomført i perioden mellom høsten 2011 og høsten 2012.

Denne oppgaven markerer slutten på min erfaringsbaserte etter- og videreutdanning innen organisasjon og ledelse ved NTNU i Trondheim. Utdanningsløpet har vært krevende, men interessant. Jeg har satt stor pris på engasjerte foredragsholdere, god tilrettelegging (både fra NTNU og fra Jernbaneverket) og faglig innhold.

En stor takk til Trafikksjef Øyvind Brustad for støtten han har gitt til min personlige utvikling. En stor takk også til Heidi Dreyer ved NTNU som hovedveileder og Andreas Seim ved SINTEF som biveileder, for god støtte, faglige innspill og stor tålmodighet i arbeidet med å veilede undertegnende i studien som munnet ut i denne oppgaven.

Takk skal også hele forskerteamet i PUSAM prosjektet ha. Det har vært forunderlig underholdende og motiverende med gode diskusjoner, konstruktive innspill og gode ord i skriveprosessen.

Den største og dypeste takk går likevel til min kjære kone Heidi. Uten støtten og forståelsen jeg har fått fra deg hadde ikke dette gått. Takk for din omsorg, dine oppmuntrende ord i tunge stunder og dine bestemte krefter når det var nødvendig å sette fokus.

Til min datter Katrine og bonusbarn Thomas og Lindis kan jeg love at jeg blir mer tilgjengelig og tilstede fremover. Takk skal dere ha for tålmodigheten dere har vist meg.

Til mine foreldre, søsken og øvrige slekt og venner: Nå skal det bli godt å aktivere sitt sosiale nettverk igjen.

Trondheim, september 2012

Per Magnus Heggland

III. Sammendrag

Befolkningsvekst, urbanisering og økning i forbruk av kapitalvarer genererer et økt behov for transport. Med begrensede muligheter til å øke transportkapasiteten i luften og på veien vil jernbanen få en sentral rolle for å dekke økningen. Kravene til kvalitet og presisjon i transportarbeidet er og vil være økende. En av de mest sentrale kvalitetsindikatorerne ved transport er punktlighet. Formålet med denne oppgaven er å utvikle en modell for prioritering av vedlikehold på jernbaneinfrastruktur som baserer seg på analyse av måledata som omhandler kjøretid og likeledes skissere et veikart for å oppnå et punktlighetsnivå som tilfredsstiller godstransportørens behov.

I styringssystemet til Jernbaneverket er prioritering av vedlikehold illustrert som en prosess. Oppgaven gir en detaljert gjennomgang av denne modellen for vedlikeholdsstyring, punktlighetsutviklingen i norsk jernbane siden 2005, samt regimet for måling og rapportering av punktlighet.

Som grunnlag for studien beskrives et teoretisk grunnlag bestående av teori fra fagområdene vedlikeholdsstyring, punktlighetsoppfølging og prestasjonsmåling.

Studien er gjennomført etter prinsipper fra Design Science og har et flermetodedesign. Utvikling ble utført som en iterativ prosess i konteksten av en case fra strekningen Stjørdal-Skatval.

Resultatene fra studien har vist at det er mulig å identifisere endringer i kjøretid på en blokkstrekning ved bruk av statistisk prosesskontroll. Dette kan gi grunnlag for å styrke beslutningsgrunnlaget for prioritering av vedlikehold på jernbaneinfrastruktur. XmR-diagram fanget opp relativt små endringer i kjøretid som skyldtes endringer i infrastrukturen. Ved hjelp av en konsekvensmatrise kan man også oppsummere effekten av endringen i kjøretid. Med utgangspunkt i prosessbeskrivelsen for prioritering av vedlikehold i Jernbaneverket ble det utarbeidet en ny modell for hvordan prioritering av vedlikehold kan basere seg på målinger og rapportering av endringer i kjøretid. Det ble likeledes utviklet et forslag til ny modell for oppfølging av punktlighet.

Den utviklede modellen for prioritering av vedlikehold ble simulert prøvd ut på strekningen Stjørdal – Skatval. Ved utprøving av modellen ble data fra et tidsintervall hvor kjørehastigheten ble redusert i forhold til plan, benyttet. XmR-diagram detekterte raskt effekten av endringene i infrastruktur.

Avslutningsvis skisseres også en mulig vei mot å realisere et ønsket punktlighetsnivå i godstrafikken. Ved systematisk bruk av en revidert modell for punktlighetsforbedring som skisseres i oppgaven vil et ønsket punktlighetsnivå for godstransport (og persontog) kunne oppnås på sikt.

De viktigste bidragene fra studien har vært å isolere togkjøring som en prosess ved bruk av tidsregistreringer, påvise at statistisk prosesskontroll er egnet til oppfølging av togkjøring som prosess, en revisjon av Jernbaneverkets modell for vedlikeholdsstyring og en videreutvikling av PIMS-metodikken.

IV. Summary

Population growth, expansion of urban areas, and increasing consumption of capital goods increase demand for transportation. With limited opportunities for increasing air traffic and a congested road system, rail transport will play a central role in meeting this demand. Requirements for quality and precision in transport will become stricter. A key indicator of quality in rail transport is punctuality. The purpose of this master thesis is to develop a model for prioritization of maintenance on railway infrastructure that is based on analyses of trains' use of time between stations, and to sketch a roadmap towards achieving an acceptable level of punctuality in freight transport.

Prioritization of maintenance is illustrated as a process in the procedures of the Norwegian Railroad Administration (Jernbaneverket). This thesis provides a detailed introduction to these procedures, developments in punctuality since 2005, and the current system for measuring and reporting punctuality.

The theoretical foundation for this thesis consists of theory from Maintenance Management, Punctuality Management, and Performance Measurement.

The study was conducted based on principles from Design Science and had a multi method design. Development was conducted as an iterative process in the context of the rail section between Stjørdal and Skatval in Central Norway.

Results demonstrate that it is possible to detect changes in trains' use of time on small track sections by using Statistical Process Control. This could strengthen the basis for prioritization of maintenance on rail infrastructure. Control charts were capable of detecting even small changes in time consumption caused by changes to the infrastructure. The consequences of such changes were summarized in a matrix. A new model for prioritization of maintenance was subsequently developed based on existing procedures.

The model was tested on retrospective data from the rail section between Stjørdal and Skatval. Control charts quickly detected the effect of even small restrictions in speed limits on trains' use of time.

Finally, a possible roadmap towards achieving a desired level of punctuality was sketched. The roadmap entails systematic use of a revised model for punctuality improvement.

The main contributions of this Master thesis have been to isolate driving of trains as a process by using time stamps that are automatically collected by the signaling system, demonstrate that statistical process control was suited for monitoring this process, a revision of the model for prioritization of maintenance and a further development of the PIMS method.

V. Innholdsfortegnelse

I.	Oppgavetekst	ii
II.	Forord	v
III.	Sammendrag	vi
IV.	Summary	vii
V.	Innholdsfortegnelse	viii
VI.	Tabelliste	ix
VII.	Figurliste.....	x
VIII.	Ordliste.....	xi
1.	Innledning	1
1.1.	Bakgrunn for oppgaven	1
1.2.	Mål og forskningsspørsmål.....	2
1.3.	Avgrensninger.....	3
1.4.	Disposisjon av masteroppgaven	4
2.	Prioritering av vedlikehold i Jernbaneverket og jernbanedrift	6
2.1.	Jernbaneverkets modell for vedlikeholdsstyring.....	6
2.2.	Punktlighetsutvikling	8
2.3.	Punktlighetsdata.....	10
2.4.	Oppsummering av dagens situasjon.....	11
3.	Teoretisk grunnlag	12
3.1.	Vedlikeholdsstyring	12
3.2.	Punktlighet i jernbane	15
3.3.	Prestasjonsmåling.....	20
4.	Studiedesign og metode	25
5.	Utvikling av modell for prioritering av vedlikehold.....	29
5.1.	Måling og rapportering av variasjon i kjøretid på blokkstrekninger.....	29
5.2.	Statistisk prosesskontroll for overvåkning av medgått kjøretid	37
5.3.	Ny modell for konsekvensstyring i prioritering av vedlikehold	43
6.	Utprøving av modell for prioritering av vedlikehold i en case	46
6.1.	NSB lokaltog.....	46
6.2.	NSB regiontog	49
6.3.	CargoNet godstog	51
6.4.	Oppsummering av case	54
7.	Veikart for å oppnå et ønsket punktlighetsnivå for godstransportkjøpere	55
8.	Konklusjon.....	57
9.	Referanser	58
10.	Vedlegg	60

VI. Tabelliste

Tabell 1-1 Disposisjon av oppgaven	4
Tabell 3-1 Kostnader knyttet til vedlikehold (Wilson A., 1999).....	12
Tabell 3-2 Grunnleggende kartlegging for utforming av vedlikeholdsstrategi (Wilson A., 1999)	13
Tabell 3-3 Tolkingsregler for kontrolldiagram (Montgomery, 2009)	22
Tabell 3-4 Nøkkelegenskaper til et prestasjonsbasert målesystem (Kutucuoglu K Y et al., 2001).....	24
Tabell 5-1 Saktekjøringer mellom Stjørdal og Skatval.....	32
Tabell 5-2 tolkning av Figur 5-10 oppsummert	39
Tabell 5-3 konsekvensmatrise	39
Tabell 5-4 Sensitivitetsanalyse +35 sek. signal etter tolkningsregel 2	41
Tabell 5-5 Sensitivitetsanalyse – 20 sek. signal etter tolkningsregel 2.....	41
Tabell 5-6 Sensitivitetsanalyse -20 sek. signal etter tolkningsregel 3	41
Tabell 6-1 tolkning av Figur 6-1 oppsummert	47
Tabell 6-2 Tolkning av Figur 6-2 oppsummert	48
Tabell 6-3 tolkning av Figur 6-3 oppsummert	49
Tabell 6-4 Tolkning av Figur 6-4 oppsummert	51
Tabell 6-5 Tolkning av Figur 6-5 oppsummert	52
Tabell 6-6 Tolkning av Figur 6-6 oppsummert	53
Tabell 6-7 Konsekvensmatrise case	54

VII. Figurliste

Figur 2-1 Vedlikeholdsprosessen (Kilde: Jernbaneverkets styringssystem)	6
Figur 2-2 Punktlighet for Dovrebanen 2005 - 2011.....	9
Figur 2-3 Punktlighetsdata, målepunkter på stasjon 1	10
Figur 2-4 Utvikling av modell, målepunkter på stasjon 2.....	11
Figur 3-1 Balansering av korrektivt og forebyggende vedlikehold (Wilson, 1999)	13
Figur 3-2 Fire aspekter av punktlighet i jernbanedrift (Veiseth M, 2009).....	15
Figur 3-3 forklaringsmodell for punktlighet (Veiseth M, 2009)	16
Figur 3-4 Forklaringsmodell for direkte årsaker til svikt i punktlighet (kilde: TIOS, Jernbaneverket)	17
Figur 3-5 PIMS metodikken (Veiseth et al., 2011).....	18
Figur 3-6 Guide to univariate process monitoring and control (Montgomery, 2009)	21
Figur 3-7 Eksempel på Shewhart kontrolldiagram (Montgomery, 2009).....	22
Figur 4-1 Induksjon og deduksjon	26
Figur 4-2 Illustrasjon av studiedesign og metode	26
Figur 5-1 kontrolldiagram 1, alle tog med minutter avvik i forhold til ruteplan	29
Figur 5-2 kontrolldiagram 2, kun lokaltog minutter avvik i forhold til ruteplan	30
Figur 5-3 kontrolldiagram 3, kun lokaltog minutter avvik i forhold til ruteplan, gjennomsnitt	31
Figur 5-4 kontrolldiagram 4, kun lokaltog minutter avvik i forhold til ruteplan, enkelt tog	32
Figur 5-5 kontrolldiagram 5, lokaltog med "glidende" forventningsverdi, begge retninger.....	33
Figur 5-6 kontrolldiagram 6, lokaltog med "glidende" forventningsverdi, sørover okt.	34
Figur 5-7 kontrolldiagram 7, lokaltog med "glidende" forventningsverdi, nordover okt.	35
Figur 5-8 kontrolldiagram 8, klokkeslett registreringer enkelt-tog, sørover fra 1. til 31. okt.	36
Figur 5-9 kontrolldiagram 9, klokkeslett registreringer enkelt tog, nordover fra 1. til 31. okt.	36
Figur 5-10 kontrolldiagram 10, forslag til kontrolldiagram med varselgrenser	38
Figur 5-11 Sensitivitetsanalyse + 35 sek. 20. oktober	40
Figur 5-12 Sensitivitetsanalyse - 20 sek. 20. oktober	41
Figur 5-13 Modell for prioritering av vedlikeholdsaktiviteter i vedlikeholdsprosessen til Jernbaneverket.....	43
Figur 6-1 case NSB lokaltog sørover	46
Figur 6-2 case NSB lokaltog nordover	48
Figur 6-3 case NSB regiontog sørover	49
Figur 6-4 case NSB regiontog nordover	50
Figur 6-5 case CargoNet godstog sørover	51
Figur 6-6 case CargoNet godstog nordover.....	53
Figur 7-1 Illustrasjon av veien videre, revidert modell for punktlighetsforbedring	56

VIII. Ordliste

Blokkstrekning: En delstrekning av jernbanelinjen som befinner seg mellom to stasjoner.

Fjernstyringsanlegg: Det tekniske anlegget som gjør det mulig for togleder å fjernstyre sporveksler og signalanlegg på fjernstyrt strekning.

Forsinkelse: Når et tog passerer en stasjon senere enn det planlagte tidspunktet for passering som er oppgitt i ruteplanen.

Punktlighet: Et tog er punktlig når toget kjøres i henhold til ruteplanen. Grensen for når et tog er punktlig er tidspunkt i ruteplan og inntil 03:59 (mm:ss) etter ruten for lokaltog og flytog. For regiontog, grensepasserende tog og godstog er kravet for punktlighet inntil 05:59 etter oppgitt tid i ruteplan. Hvis et tog ikke oppfyller punktlighetskravet er det forsinket.

Punktlighetsregistrering: Er registrering av tidspunkt for når tog ankommer eller forlater en stasjon. Dette tidspunktet blir sammenlignet med planlagt tid i ruteplan for å avgjøre om toget er punktlig.

Rutedata: Rutedata er alle opplysninger fra ruteplanen om hvor alle tog skal finne seg til hvilken tid.

Ruteplan: Planen som forteller om hvor et tog skal finne seg til et planlagt klokkeslett.

Saktekjøring: En saktekjøring inntreffer når det av sikkerhetsmessige årsaker må innføres en lavere kjørehastighet enn den hastigheten som det er planlagt med i ruteplanen.

Sportilgangsordinator: Holder oversikt over hvilke strekninger som har saktekjøringer og estimerer konsekvensene for kjøretiden på grunn av disse saktekjøringene.

TIOS: TogInformasjon og Oppfølgings System. Jernbaneverkets datasystem som blant annet inneholder rutedata, punktlighetsregistreringer og årsaksregistreringer.

Togleder: En togleder har til oppgave å styre togtrafikken etter gjeldende lover og bestemmelser innenfor sitt ansvarsområde (geografisk avgrenset) på de togstrekningene som er fjernstyrt.

TXP: eller trafikkstyrer (fra gammelt av TogeXPeditør) sikrer at togtrafikken blir avviklet etter gjeldende lover og bestemmelser på togstrekninger som ikke er fjernstyrt (strekning som mangler fjernstyringsanlegg). Ansvarsområdet til TXP er trafikken på egen stasjon og trafikken som trafikkerer blokkstrekningene mellom egen stasjon og nabostasjoner.

Årsaksregistrering: En forsinkelse (eller merforsinkelse) på et tog som er større enn fire minutter skal knyttes opp i mot en årsak til forsinkelsen. Det er togleder eller TXP som har ansvaret for å angi årsak til forsinkelsen.

1. Innledning

I første kapittel vil rasjonale, målsetning, avgrensning og disposisjon for oppgaven beskrives.

1.1. Bakgrunn for oppgaven

Jernbanen anses å være en nøkkel i å løse fremtidens transportbehov både for gods og persontrafikk både i Europa (Commission-of-the-European-communities, 2001; Office-for-Official-Publications-of-the-European-Communities, 2008) og i Norge (Jernbaneverket, Avinor, Kystverket, & Statensvegvesen, 2012). Befolkningsvekst, fortetting i sentrale strøk og begrenset mulighet for å øke kapasitet på vei og i luftrommet 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 (Jernbanegruppa, 2011). I Norge har punktlighet fått spesielt mye oppmerksomhet de siste årene. Godsoperatører har mistet markedsandeler som følge av svak punktlighet (Cargo Net AS, 2012) og pendlere fortviler over uforutsigbarhet og NSB opplever passasjerflukt i tider med dårlig punktlighet (Aftenposten, 2011). Samferdselsdepartementet har som oppdragsgiver stilt krav til punktlighet i persontrafikken: 90 % for NSB og 95 % for Flytoget (Jernbaneverket, 2012). Hverken Flytoget eller NSB har oppnådd disse målene de senere årene, og NSB har vært lengst unna målet.

Myndighetene har også satt krav om 90 % punktlighet til godstrafikken på jernbane (Jernbaneverket, 2012). For godstogene 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 fremstått som varierende og lite forutsigbar. For godstrafikk på jernbane er en bedring av forutsigbarheten avgjørende i konkurransen mot alternative transportmidler.

Tradisjonelt er punktlighet beskrevet som andel tog i rute til endestasjon. I årsberetningen for 2011 skriver Cargo Net at kvalitet og punktlighet har vært en stor utfordring for selskapet også i 2011 (Cargo Net AS, 2012). De påpeker utfordringene i *“leveransen av transporttjenester på en infrastruktur som har betydelige mangler er krevende”*. Også NSB setter punktlighet i fokus: *“Det har i perioder vært betydelige problemer knyttet til infrastrukturen utenfor det sentrale Østlandsområdet. Dette skyldes dels klimatiske forhold som har forsterket utfordringene med en for svak infrastruktur og har resultert i stengte strekninger og bortfall av trafikk for både person- og godsvirksomheten”* (NSB AS, 2012).

Jernbanedirektøren skriver i Jernbaneverkets årsrapport for 2011 at det var en bedring for punktligheten i 2011 i forhold til 2010. Likevel ble ikke punktlighetsmålene nådd og satsingen på forebyggende vedlikehold skal intensiveres i årene som kommer. I Jernbaneverket brukes det betydelige ressurser for å sikre at togene kan fremføres punktlig blant annet ved økt fokus på forebyggende vedlikehold og fornyelse av infrastrukturen (Jernbaneverket, 2012).

Viktige årsaker til forsinkelser inkluderer økt feilfrekvens på infrastruktur og materiell, økt omfang av og behov for vedlikehold, samt manglende evne til å håndtere normal variasjon i været (Olsson N, Økland A, Veiseth M, & Stokland Ø, 2010). Måltrettet arbeid for å ta grep om disse forholdene krever

et strukturert og systematisk faktagrunnlag for prioritering (Goverde & Meng, 2012). Dagens rapportering av punktlighet er designet for å tilfredsstillere informasjonsbehovet på overordnet nivå i jernbanesektoren (Veiseth M, 2009). Punktlighet rapporteres som andel tog i rute til endestasjon, hvilket gir et grovt bilde av den totale prestasjonen til togtrafikken (Goverde & Meng, 2012; Veiseth M, 2009). Rapporteringen er imidlertid for aggregert til å kunne brukes direkte til å identifisere konkrete lokale tiltak der disse har størst effekt. For å kunne prioritere mellom forebyggende vedlikehold og korrektivt vedlikehold i den daglige jernbanedriften bør beslutningstøtte basere seg sanntidsdata som beskriver prestasjonene til de tekniske anleggene så nære sann tid som mulig (Guler, 2012).

1.2. Mål og forskningsspørsmål

Hovedmålet i denne oppgaven har vært å utvikle en ny modell for prioritering av vedlikehold som baserer seg på kunnskap om hvordan punktlighet kan måles og følges opp slik at dette gir et faktabasert beslutningsunderlag for prioritering av vedlikehold. Målsettingen skal oppnås ved å utvikle en modell for prioritering av vedlikehold basert på analyse av punktlighetsdata.

I henhold til oppgaveteksten og forstudierapporten var delmålene for oppgaven:

1. Gi en oversikt over relevant teori og best-practice på områdene "punktlighet i jernbane", "prestasjonsmåling i verdikjeder" og "vedlikeholdsstyring".
2. Beskrive dagens modell for prioritering av vedlikehold på infrastruktur.
3. Utvikle forslag til ny modell for konsekvensstyring i prioritering av vedlikehold på infrastruktur.
4. Prøve ut modell på en case hos Jernbaneverket.
5. Skissere et veikart for å oppnå et punktlighetsnivå som tilfredsstillere godstransportørenes behov.

Punkt 1 og 2 over danner bakgrunn og grunnlag for utvikling av forslag til ny modell for konsekvensstyring i prioritering av vedlikehold på infrastruktur. For å utvikle en ny modell for konsekvensstyring i prioritering av vedlikehold er man avhengig av å etablere et detaljert, strukturert og systematisk faktagrunnlag for prioritering. Dagens rapportering av punktlighet er for overordnet til å møte dette behovet. En ny modell for prioritering av vedlikehold må være robust mot endringer i infrastrukturen. Modellbaserte tilnærminger som simulering krever en svært detaljert og oppdatert beskrivelse av infrastrukturen. Alternativt kan man ta utgangspunkt i tidsmålinger fra togtrafikken og detektere endringer og mønstre i prestasjonsnivået. Dette kan gjøres med avanserte metoder for maskinlæring og kunstig intelligens. Som et steg på veien mot bruk av slike avanserte metoder kan man utforske bruk av statistiske analyser. I industriell statistikk brukes gjerne statistisk prosesskontroll for å overvåke prosesser. Disse metodene er utviklet for å detektere endringer i prosesser og gi innsikt i prosessenes variasjon. For å fungere krever statistisk prosesskontroll at man får isolert og målt de prosessene man søker kunnskap om.

Hovedmålet med oppgaven ble brutt ned i følgende forskningsspørsmål:

- a) “Kan måling og rapportering av variasjon i kjøretid på små delstrekninger (blokkstrekninger) styrke beslutningsgrunnlaget for prioritering av vedlikehold på jernbaneinfrastruktur, og hvordan bør eventuelt variasjon i kjøretid måles og rapporteres?”
- b) “Er statistisk prosesskontroll (SPK) et egnet verktøy for overvåkning av medgått kjøretid?”
- c) “Hvordan kan SPK bidra til å avdekke forbedringsområder i Jernbaneverkets infrastruktur slik at en bedring av punktligheten oppnås?”

Punkt 4 består i en uttesting av disse forskningsspørsmålene i en case hos Jernbaneverket. Punkt 5 tar utgangspunkt i resultatene fra casen og dagens praksis og peker mot hvordan en fremtidig praksis kan realiseres slik at arbeid med bedring av punktlighet kan blir mer effektivt.

Design-science er valgt forskningsmetode for oppgavebesvarelsen.

1.3. Avgrensninger

Prioritering av vedlikehold på jernbaneinfrastruktur er nødvendig fordi det er begrensede ressurser, både økonomiske og menneskelige, til å gjennomføre vedlikeholdet.

Fokuset i oppgaven vil være å undersøke om det er mulig å benytte målte verdier for medgått kjøretid for bedre å prioritere rekkefølgen på utførelsen av vedlikeholdsaktiviteter. Tidsmålinger som er generert av automatisk datafangst gjennom fjernstyringsanleggene i infrastrukturen til Jernbaneverket vil være kvantitative data som egner seg for statistiske analyser. Resultatene av analysene vil kunne være et egnet beslutningsunderlag for prioritering av vedlikehold.

Strekningen Stjørdal – Skatval er valgt for å utvikle modellen for prioritering av vedlikehold. Årsaken til at strekningen Stjørdal – Skatval er egnet for utvikling av modellen er blant annet fordi det er høydeforskjell mellom stasjonene. Høydeforskjellen vil kunne påvirke tidsbruken fordi noen tog kjører i stigning, og noen vil kjøre i fall.

I perioden mellom 1. mai 2011 og 30. oktober 2011 var det etablert en saktekjøring på strekningen mellom Stjørdal og Skatval som varierte både i utstrekning og tillatt kjørehastighet. I slutten av den valgte perioden ble feilene i infrastrukturen rettet slik at det ikke var saktekjøring på strekningen. På denne måten vil man kunne se hvordan modellen som blir utviklet responderer på normaltilstanden til infrastrukturen.

Strekningen mellom Stjørdal og Skatval vil med bakgrunn i disse forholdene være representativ for en typisk strekning mellom to stasjoner i Norge.

Utvikling av modellen for prioritering av vedlikehold vil ta utgangspunkt i relevant litteratur fra områdene prestasjonsmåling, styring av vedlikehold og punktlighet i jernbane.

1.4. Disposisjon av masteroppgaven

Jernbanesektoren har som andre sektorer utviklet et “stammespråk”. For at lesere utenfor jernbanesektoren også skal ha glede av å lese besvarelsen er det laget en ordliste hvor de mest sentrale begrepene er forklart (se kapittel VIII).

Oppgaven har en innledning der bakgrunnen for valgt tema blir belyst (se Tabell 1-1). I kapittel 2 blir det beskrevet hvordan punktlighetsdata blir innsamlet hvordan punktligheten har utviklet seg de siste årene samt hvordan Jernbaneverket prioriterer og gjennomfører vedlikehold. Så følger et kapittel med teori for å forankre den nye modellen for prioritering av vedlikehold. Dette kapitlet blir etterfulgt av redegjørelse for hvilken metode og fremgangsmåte som er brukt i oppgaven. En utførlig beskrivelse av utviklingen av den nye modellen for prioritering av vedlikehold blir etterfulgt av uttesting i en case før diskusjon, veien videre og konklusjon oppsummerer oppgaven.

Kapittel	Innhold
1: Innledning	Innledning, bakgrunn for oppgaven, mål og forskningsspørsmål, avgrensninger og disposisjon av oppgave
2: Prioritering av vedlikehold i Jernbaneverket og jernbanedrift	Jernbaneverkets modell for vedlikeholdsstyring, punktlighetsutvikling og punktlighetsdata
3: Teoretisk grunnlag	Vedlikeholdsstyring, punktlighet i jernbane og prestasjonsmåling
4: Studiedesign og metode	Studiedesign og metode
5: Utvikling av modell for prioritering av vedlikehold	Måling og rapportering av variasjon i kjøretid på blokkstrekninger, statistiskprosesskontroll for overvåkning av medgått kjøretid, ny modell for konsekvensstyring i prioritering av vedlikehold
6: Utprøving av modell for prioritering av vedlikehold	Gjennomføring av casestudien
7: Veikart for å oppnå et ønsket punktlighetsnivå for godstransportkjøpere	
8: Konklusjon	Konklusjon og epilog

Tabell 1-1 Disposisjon av oppgaven

I retningslinjer for masterprogrammet i organisasjon og ledelse er et av formkravene at skrifttypen i oppgavebesvarelsen skal være Times New roman, fontstørrelse er ikke spesifisert og linjeavstand skal være 1,5. I samråd med hovedveileder er det blitt enighet om at oppgaven kan leveres med standardinnstillinger for MS Word 2010 (skrifttype Calibri, font 11 med linjeavstand 1,15). Det ble videre enighet om at innholdsfortegnelser, figurlister og tabell-lister kunne skrives i font 10, slik at layouten ble bedre ivaretatt.

I samråd med veileder ble det enighet om å tone temaet “prestasjonsmåling i verdikjeder” noe ned og i tillegg endre temaet til “prestasjonsmåling”. Dette til fordel for temaene “punktlighet i jernbane” og “vedlikeholdsstyring”. Den foreløpige innholdsfortegnelsen som ble beskrevet i Prosjektplanen har naturlig nok endret seg underveis i skriveprosessen.

Oppgavens tittel ble etter innspill fra veileder endret fra “*Fremtidens konsekvensstyring i prioritering av vedlikehold av jernbaneinfrastruktur*” til “*Analyse av punktlighetsdata i jernbanetraffikk: Modell for prioritering av vedlikehold*”.

For å avhjelpe kildehenvisninger og etablere oversikt over referanser er programmet End Note benyttet. End Note har den egenskapen at ved flere forfattere nevnes alle forfattere ved første gangs henvisning til kilden, men ved senere refereringer blir det "*hovedforfatter et al*". Stilen for kildehenvisning som er valgt for denne oppgaven er APA 6th.

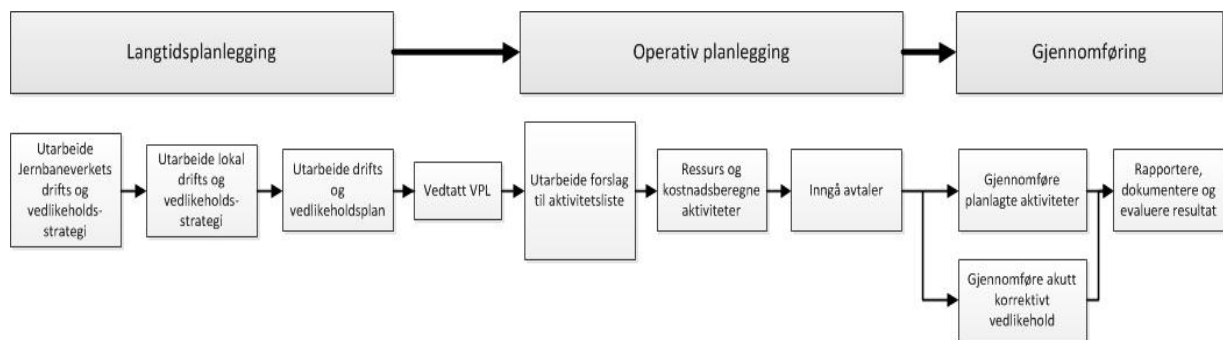
Innleveringsfristen for oppgaven var i utgangspunktet 2012.09.01, med etter enighet med veileder ble fristen utsatt til 2012.10.01.

2. Prioritering av vedlikehold i Jernbaneverket og jernbanedrift

For å øke forståelsen for problemstillingen er det i dette kapittelet kort beskrevet hvordan Jernbaneverket prioriterer vedlikeholdet av infrastrukturen, hvordan punktligheten har utviklet seg de senere årene, og likeledes redegjøres det for hvordan punktlighetsdata fanges og registreres. Jernbaneverket leverer infrastruktur, trafikkstyring, og tildeler sportilgang i Norge. Samferdselsdepartementet krever av Jernbaneverket at *“Jernbaneverket skal på vegne av staten, drifte, vedlikeholde og bygge ut statens jernbaneinfrastruktur med tilhørende anlegg og innretninger. Jernbaneverket har ansvaret for trafikkstyringen på det nasjonale jernbanenettet. Denne omfatter kapasitetsfordeling/ruteplanlegging og operativ trafikkstyring, herunder togledelse og publikumsinformasjonen på stasjoner”* (Stortinget, 2009)

2.1. Jernbaneverkets modell for vedlikeholdsstyring

Styring av vedlikeholdet på infrastrukturen i Jernbaneverket er beskrevet som en prosess som består av tre overordnede faser. Disse fasene består av: Langtidsplanlegging, operativ planlegging og gjennomføring (se Figur 2-1).



Figur 2-1 Vedlikeholdsprosessen (Kilde: Jernbaneverkets styringssystem)

Ved langtidsplanleggingen skal Jernbaneverkets drifts og vedlikeholds strategi, lokal drifts og vedlikeholds strategi og drift og vedlikeholdsplan utarbeides. Det er under utarbeidelsen av Jernbaneverkets drifts og vedlikeholds strategi at den langsiktige prioriteringen av vedlikehold på overordnet nivå gjøres. Prioriteringen utføres av Banedirektøren sin ledergruppe der blant annet assisterende banedirektører er medlemmer. De assisterende banedirektørene har lokale ledergrupper der banesjefer er medlemmer. En av oppgavene disse lokale ledergruppene har er å utforme lokal drift og vedlikeholdsstrategi slik at den lokale strategien bygger oppunder den sentrale drift og vedlikeholdsstrategien. Hver enkelt Banesjef har igjen sin lokale ledergruppe, der ledere for de forskjellige fagene (for eksempel bane, signal og strømforsyning) er medlemmer. De faglige lederne skal analysere tilstand for infrastruktur og beskrive behov for vedlikehold på infrastrukturen innen sitt fagområde. De forskjellige langsiktige vedlikeholdsbehovene blir prioritert og fastlagt i en lokal drifts og vedlikeholds strategi. Den lokale drifts og vedlikeholds-strategien etablerer grunnlaget for utarbeidelsen av 10-års drifts og vedlikeholdsplan. Denne planen er rullerende, og de forskjellige vedlikeholdsoppgavene prioriteres ut i fra lovpålagte krav, faglig skjønn og praksiskunnskap. Oppdateringen av den lokale 10-års drifts og vedlikeholdsplanen er tenkt å kunne ut i en årlig virksomhetsplan (VPL) som fører over til fasen for operativ planlegging.

Operativ planlegging består av å utarbeide forslag til aktivitetsliste, ressurs og kostnadsberegne aktiviteter og inngå avtaler for gjennomføring av vedlikeholdsaktiviteter. Vedlikeholdsaktivitetene kan utføres av Jernbaneverket selv eller av innleide eksterne firma. I aktivitetene "Utarbeide forslag til aktivitetsliste" og "ressurs og kostnadsberegne aktiviteter" blir de planlagte vedlikeholdsaktivitetene prioritert for det kommende driftsåret. I aktiviteten for og ressurs og kostnadsberegne aktiviteter benyttes en metodikk som har fått navnet PRIFO (PRIoritering av FORnyelsesprosjekter).

PRIFO er en kostnadsfunksjon som skal vise kostnadsbildet ved gjennomføring av forskjellige alternativer for vedlikehold. PRIFO består av tre kostnadsledd: sikkerhet, vedlikehold og punktlighet. PRIFO benyttes i JBV for vedlikeholdsprosjekter som har en kostnadsramme på over 5,0 millioner. Det største bidraget i kostnadsfunksjonen kommer fra leddet som omhandler punktlighet. PRIFO ivaretar vekten mellom sikkerhet og punktlighet opp i mot økonomi. Det oppleves som utfordrende å fastsette størrelsen på punktlighetsleddet. Utfordringen består blant annet i å fastsette størrelsen på følgeforsinkelsene de enkelte forholdene i infrastrukturen genererer. I dag blir punktlighetsleddet i PRIFO estimert. Den siste aktiviteten i delprosessen "operativ planlegging" er å inngå vedlikeholdsavtaler. Vedlikeholdsoppgaver kan utføres av ansatte i Jernbaneverket eller aktivitetene kan settes ut på anbud til eksterne firma.

Delprosessen "Gjennomføring av vedlikeholds aktiviteter" består av tre underprosesser: "Gjennomføre planlagte aktiviteter", "Gjennomføre akutt korrektivt vedlikehold" og prosessen "Rapportere, dokumentere og evaluere resultat". For å beskrive aktivitetene i prosessene er det utarbeidet prosedyrer og disse er illustrert som prosesser i vedlegg 10.3, 10.4 og 10.5. I de vannrette "svømmebanene" er de forskjellige rollene (funksjonene) illustrert. I de lodrette kolonnene er de forskjellige aktivitetene som skal gjennomføres i prosessen illustrert. Oppgavene som skal utføres av de forskjellige rolleinnhaverne (funksjonene) i de respektive aktivitetene er illustrert som nummererte bokser. Nummereringen på boksene gjengir rekkefølgen som oppgavene i hver aktivitet skal utføres i.

Delprosessen "Gjennomføre planlagte aktiviteter" har til hensikt å detaljplanlegge, gjennomføre og dokumentere planlagte vedlikeholdsaktiviteter. Det er i denne prosessen den planlagte delen av virksomhetsplanen blir utført. Prosedyren for å gjennomføre planlagte vedlikeholdsaktiviteter beskriver i detalj gjennomføringen av planleggbare drifts og vedlikeholdsaktiviteter og inneholder informasjon om hvem som skal delta i arbeidet, hvem som skal utføre arbeidet og hvilke formelle krav som stilles til utførelsen av arbeidet. Erfaringsmessig vil måten vedlikeholdet blir planlagt og gjennomført på ha stor innvirkning på underveispunktligheten (Olsson N et al., 2010).

I delprosessen "Gjennomføre akutt korrektivt vedlikehold" beskrives hvordan oppstått behov for vedlikehold skal gjennomføres. Behov for vedlikehold eller inspeksjon og kontroll av infrastrukturen kan oppstå ved eksempelvis bekymringsmeldinger fra publikum eller lokførere, eller ved planlagte periodiske tilstandskontroller av infrastrukturen. Feil i infrastrukturen skal utbedres, eller alternativt midlertidig utbedres hvis det er behov for større arbeider som krever detaljert planlegging. Etter at korrektivt vedlikehold er gjennomført blir infrastrukturen meldt klar for trafikk. Infrastrukturen kan meldes klar uten hastighetsrestriksjoner hvis ordinær hastighet kan forsvares sikkerhetsmessig. Om infrastrukturen derimot ikke oppfyller sikkerhetskravene etter at vedlikeholdet midlertidig er utført, blir infrastrukturen meldt klar men med restriksjoner på kjørehastighet. Det blir da etablert en

“saktekjøring”. Det har forekommet at planlagt vedlikehold har blitt nedprioritert til fordel for akutt feilretting. Når planlagte vedlikeholdsoppgaver blir nedprioritert til fordel for feilretting vil de planlagte vedlikeholdsoppgaver bli skjøvet på til neste års virksomhetsplan. Konsekvensen av denne omprioriteringen vil være at en saktekjøring vil kunne bli stående i flere måneder om ikke ekstra ressurser til vedlikehold blir tilført.

Delprosessen “Rapportere, dokumentere og evaluere resultat” har som formål å sikre at alt vedlikehold som er utført blir rapportert og dokumentert etter gjeldende krav. Det er også et krav om å evaluere gjennomførte vedlikeholdsaktiviteter. Erfaringsmessig er Jernbaneverket bedre på å evaluere om ønsket tilstand til infrastrukturen er oppnådd etter vedlikehold, enn å evaluere effekten vedlikeholdet har på punktligheten.

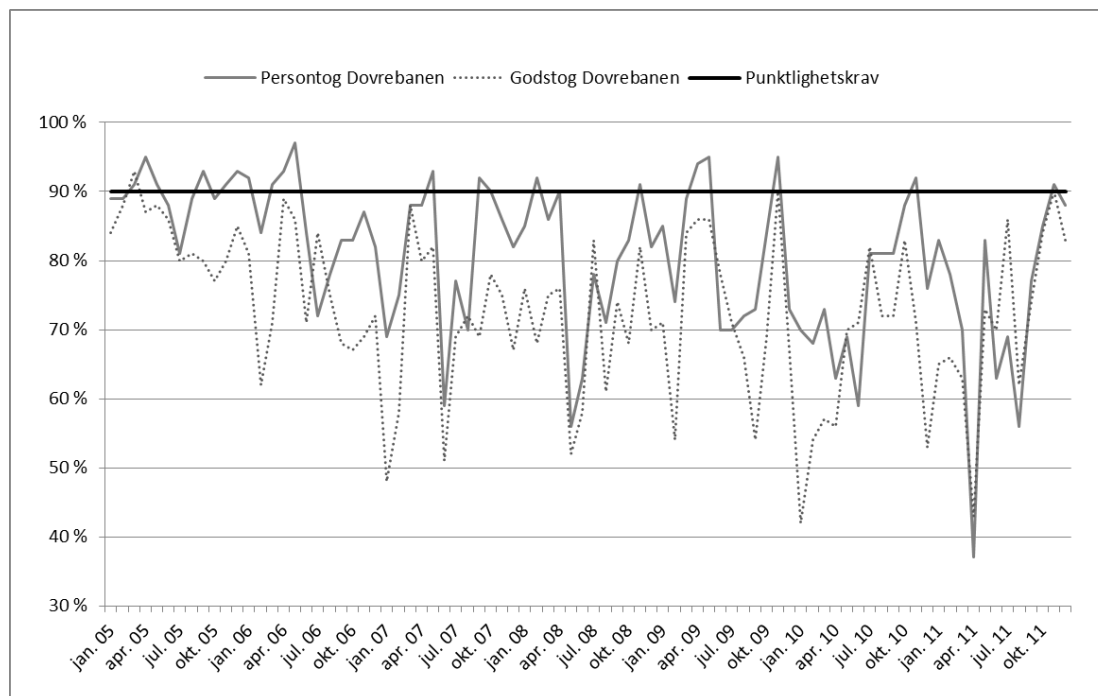
2.2. Punktlighetsutvikling

Personbefordring på jernbane har den egenskapen at opplevd punktlighet ikke nødvendigvis er sammenfallende med den punktligheten som Jernbaneverket og togselskapene rapporterer. Jernbanesektoren rapporterer på punktlighet til endestasjonen, men passasjerene som kun reiser på en del av strekningen kan oppleve at toget som benyttes “alltid” er forsinket både fra passasjerens opprinnelsesstasjon, og til endestasjonen for de daglige reisene. Hvis vi ser bort i fra Flytoget er all persontransport på jernbane i Norge gjenstand for offentlig kjøp. Det vil si at togselskapene inngår en kontrakt med Samferdselsdepartementet om hvilke transporttjenester som skal tilbys til passasjerene og at jernbaneselskapene får en godtgjøring i forhold til produksjonsvolumet som er avtalt.

Godstransport på jernbane er en deregulert næring i Norge. Det vil si at i praksis kan alle som har godkjenning fra Jernbanetilsynet for å drive med godstransport på det norske jernbanenettet har anledning til å be om å få benytte jernbanenettet. Det er i dag flere jernbaneforetak som utfører godstransport på det norske jernbanenettet der LKAB Malmtrafik AB (tidligere MTAS) på Ofotbanen og CargoNet er de største aktørene. Godstransport på det norske jernbanenettet er i hovedsak tredelt. Vi har bulktransport (typisk malmtransporten fra malmgruvene i Kiruna til utskipningshavna i Narvik), systemtog (for eksempel transport av flybensin til Gardermoen) og stykk gods i containere (fra samlastere som Bring og Schenker). Det er i hovedsak transporten av containere som er utsatt for konkurranse fra biltransport. Punktligheten til godstransport på jernbanen i Norge er synkende med en negativ punktlighetsutvikling (Olsson N et al., 2010). Den dårlige punktligheten resulterer i at leveringsservicen fra samlastere til transportkjøpere blir for dårlig. Man risikerer at godstransport flyttes fra bane til veg, fordi transport på veg fremstår som mer forutsigbar. Denne utviklingen er i strid med uttalte mål, både fra politikere, miljøbevegelse og jernbanesektoren selv.

For å analysere punktlighetsutviklingen og diskutere hvordan den økende feilfrekvensen i infrastrukturen påvirker punktligheten vil rapporten “Driftsstabilitet på Jernbaneverkets nettårsaksanalyser 2005-2010” (Olsson N et al., 2010) og punktlighetsstatistikk fra Jernbaneverket danne basis.

Figur 2-2 viser punktlighetsstatistikken for godstog og persontog på Dovrebanen i perioden 2005 – 2011. Punktlighetskravet var i perioden på 90 %, det vil si at 9 av 10 tog skulle komme til endestasjon (Oslo eller Trondheim) innenfor rutetid + 05:59 (mm:ss). Data for konstruksjon av diagrammet er hentet fra den interne månedsrapporteringen i Jernbaneverket for årene 2005 til 2011 (se vedlegg 10.23).



Figur 2-2 Punktlighet for Dovrebanen 2005 - 2011

Punktligheitsutviklingen for togene på Dovrebanen er sammenfallende med utviklingen for punktlighet i Norge for øvrig i perioden. Vi ser i Figur 2-2 at punktligheten er ustabil og at nivået er synkende frem til august 2011. Det var i 2010 ikke etablert kunnskap om årsakene til forverringen av punktligheten siden 2005. Jernbaneverket bestilte derfor våren 2010 en undersøkelse fra SINTEF (Olsson N et al., 2010) der undersøkelsen skulle kartlegge årsakene til økningen av forsinkelser etter toppåret 2005. Undersøkelsen konkluderte med at nedgangen i punktlighet skyldtes:

“en kombinasjon av spesielt følgende forhold: a) Økning i feilfrekvens på infrastruktur og rullende materiell, b) Omfattende arbeid nær sporene grunnet nyinvesteringer og økt omfang av vedlikehold, c) Manglende evne til å håndtere normal variasjon i været. Samlet sett har disse forholdene gitt en redusert robusthet i jernbanesystemet. Den reduserte robustheten medfører at selv mindre økninger i trafikkvolumet og endringer i regelverk for togframføring skaper omfattende forsinkelser”.

Etter august 2011 har det vært en tendens til bedring. Noe av årsaken til bedringen er nok at anbefalingene fra rapporten fra SINTEF er tatt til følge og at rapporten er en del av beslutningsunderlaget til Jernbaneverket i prioriteringen av vedlikeholdsoppgaver. En annen forklaringsfaktor til bedringen i punktlighet er den store vedlikeholdsinnsettsen på Østlandet generelt, og Oslo S spesielt. Den største andelen av tog trafikkerer Østlandet, og på grunn av dette vil tiltak som utføres i dette området av landet gi utslag på den overordnede punktlighetsstatistikken som rapporterer på punktlighet til endestasjon for person- og godstog i Norge. Oslo S er endestasjon og målepunkt for en stor andel av persontogene slik at når punktlighet for persontog i Norge

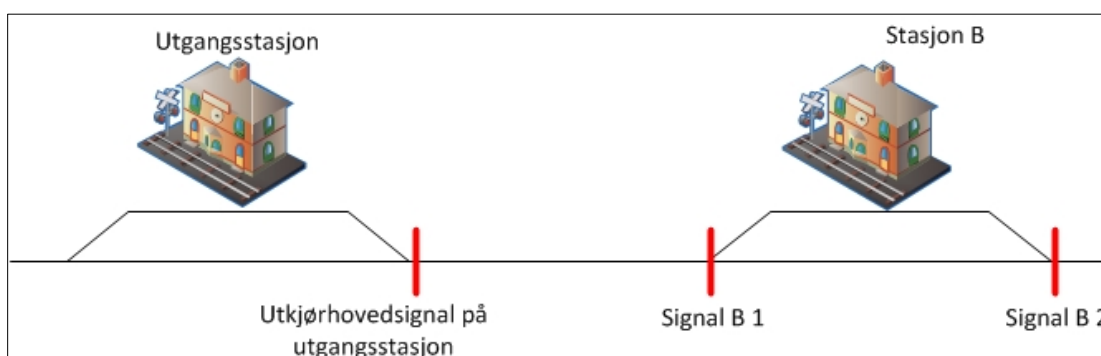
rapporteres, vil tyngdepunktet bestå av lokaltog på Østlandet. Det samme gjelder for godstog som har sitt tyngdepunkt på Alnabru godsterminal. Konsekvensene av enkeltfeil i infrastrukturen vil ikke bli synliggjort på grunn av aggregering av data, og i tillegg vil det ikke etableres klare sammenhenger mellom enkeltfeil i infrastrukturen og hvordan disse feilene påvirker punktligheten. Selv om punktlighet for persontog og godstog i Norge blir brutt ned til punktlighet for hvert enkelt togprodukt, vil ikke denne sammenhengen tydeliggjøres (se Figur 2-2).

2.3. Punktlighetsdata

Data om punktlighet fanges på to måter i Jernbaneverket. Enten automatisk der det er etablert fjernstyring, eller manuelt på strekninger uten fjernstyring. Disse dataene består av å knytte tidspunktet for når tog passerer stasjonen opp i mot togets tognummer. Passeringstidspunktet for det bestemte toget blir sammenlignet med det planlagte passeringstidspunktet i ruteplanen for å avgjøre om toget er i rute (punktlig) eller ikke. Ruteplanen er konstruert basert på en rekke forutsetninger. Eksempler på ruteplanforutsetninger er hvilket togmateriell som skal kjøre i ruten, hvilken hastighet det er på strekningen toget skal kjøre osv. Svikt i punktligheten oppstår først og fremst fordi ruteplanforutsetninger ikke oppfylles. Noen eksempler er: Godstog kan kjøre med for svake lokomotiv i forhold til det som er planlagt, lokaltog kan gå med for få vogner slik at det brukes mer tid for på og avstigning av passasjerer og infrastrukturen har en lavere kjørehastighet enn den planlagte (også kalt saktekjøring).

Hver uke presenteres saktekjøringer i en excel bok fra sportilgangskoordinator i banesjefens stab. I denne excel boken blir størrelsen på forsinkelsene som hastighetsnedsettelsen medfører også estimert. Utfordringen med denne estimeringen er at medgått tid for retardasjon og akselerasjon er beregnet ut i fra togmateriell med gode retardasjon og akselerasjonsegenskaper. Resultatet av beregningene blir videre gjort gjeldende for alle typer tog. Disse hastighetsnedsettelsene er ikke planlagt i ruteplanen som togtrafikken kjøres etter og dette medfører at infrastrukturen fremstår med en mindre kapasitet enn det ruteplanen har lagt til grunn.

For å nyansere konsekvensene av saktekjøringene for de forskjellige typer tog, vil punktlighetsdata fra Jernbaneverkets punktlighetsdatabase (TIOS) bli benyttet i oppgaven.

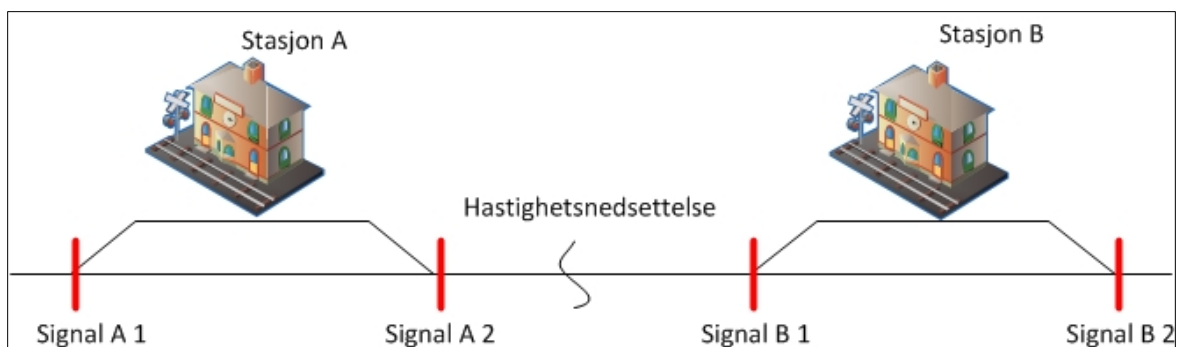


Figur 2-3 Punktlighetsdata, målepunkter på stasjon 1

Datafangsten foregår ved at tidspunktet for avgang blir registrert ved passering av ukjørsignalet til utgangsstasjonen (se Figur 2-3) og sammenlignet med planlagt avgangstidspunkt i ruteplanen. Tilsvarende datafangst skjer også ved innkjørsignalene (signal B1 i Figur 2-3). Disse registreringene danner grunnlaget for punktlighetsrapporteringen.

Det er automatisk datafangst der det er etablert fjernstyring av togtrafikken, og det er togleder som knytter årsaker til eventuelle forsinkelser som oppstår på strekninger med fjernstyring. På strekning uten fjernstyring er det TXP som foretar både punktlighetsregistrering og registrering av årsaker til punktlighetsbrist.

Alle tidsmålinger som blir gjort av togbevegelsene blir sammenlignet med ruteplanen for å avgjøre om toget er punktlig. Hvis tidsmålingene for punktlighet underveis overstiger 4 minutter avvik fra ruteplan, eller toget har økt forsinkelsen med ytterligere fire minutter siden forrige punktlighetsregistrering, vil TIOS kreve at togleder eller TXP knytter en årsak til forsinkelsen, eller merforsinkelsen.



Figur 2-4 Utvikling av modell, målepunkter på stasjon 2

Togtrafikk som fremføres over strekningen mellom stasjon A og stasjon B vil bli målt tidsmessig i forhold til hvilket passeringstidspunkt som er oppgitt i ruteplan for disse angitte målepunktene.

For å finne medgått kjøretid for strekningen mellom stasjon A og stasjon B vil målingen for toget ved stasjon A (ved signal A 2 for tog i retning fra A til B, i Figur 2-4) og trekke fra målingen for toget ved stasjon B (ved signal B 1 i Figur 2-4). Likeledes måles kjøretiden for trafikken den motsatte retningen (fra stasjon B til stasjon A).

Kjøretid fra stasjon A til stasjon B = målinger ved B1 - målinger ved A2

Kjøretid fra stasjon B til stasjon A = målinger ved A2 - målinger ved B1

Disse tidsmålingene vil være egnet som et grunnlag for å nansere punktlighetsrapporteringen og avdekke hvor det er forbedringspotensialer.

2.4. Oppsummering av dagens situasjon

En av årsakene til forsinkelser er som nevnt feil på infrastrukturen (Cargo Net AS, 2012; Jernbaneverket, 2012; NSB AS, 2012; Olsson N et al., 2010). Måltrettet arbeid for å ta grep om disse forholdene krever et detaljert, strukturert og systematisk faktagrunnlag for prioritering. Dagens rapportering av punktlighet er designet for å tilfredsstillere informasjonsbehovet på overordnet nivå i jernbanesektoren (Veiseth M, 2009). Punktlighet rapporteres som andel tog i rute til endestasjon, hvilket gir et grovt bilde av den totale prestasjonen til togtrafikken. Rapporteringen er imidlertid for aggregert til å kunne brukes direkte i prioritering av vedlikehold.

For å kunne avdekke hvor punktlighetssvikt oppstår og likeledes avdekke hvor forbedringstiltak vil ha størst effekt, er det behov for å utvikle nye måter å rapportere og følge opp punktlighet på.

3. Teoretisk grunnlag

I kapitlet teoretisk grunnlag er det en oversikt over teori om vedlikeholdsstyring, punktlighetsoppfølging og prestasjonsmåling. Avsnittet om vedlikeholdsstyring har til hensikt å redegjøre for hvilke faktorer som er viktig å tenke på når man skal lage en modell for prioritering av vedlikehold. I avsnittet om punktlighet er det fokusert på punktlighet som prestasjonsindikator. Prestasjonsmåling er fokuset i avsnitt 3.3 og verktøyet kontrollidiagram fra statistiskprosesskontroll er viet oppmerksomhet. Det er i oppgaven behov for å etablere et teoretisk fundament slik at man kan forankre bruken av høyoppløselige punktlighetsdata til å utarbeide beslutningsunderlag for prioritering av vedlikehold.

3.1. Vedlikeholdsstyring

Bedrifter har behov for å utvikle vedlikeholds-strategier som sørger for at produksjonsutstyret er tilgjengelig når produksjon av varer og tjenester er planlagt. Vedlikehold kan være ressurskrevende, og det vil være behov for å utvikle prestasjonsindikatorer for vedlikehold som balanserer mål for produksjon og mål for vedlikehold (Muchiri P, Pintelon L, Gelders L, & Martin M, 2011).

Utvikling av en forebyggende vedlikeholdsstrategi krever økt forebyggende vedlikehold og et økt fokus på planlegging av vedlikeholdet (Wilson A., 1999). Vedlikehold bør i følge Wilson tilføre produksjonsleddet i organisasjonen verdi. En konsekvens av denne tilnærmingen er at all utførelse av forebyggende vedlikehold (se Figur 3-1) eller vedlikeholdsprogram bør rettfærdiggjøres ut i fra eventuelle konsekvenser for den verdiskapende prosessen om vedlikeholdet ikke blir utført. Denne vurderingen bør ligge til grunn for hvilken type vedlikehold man strategisk velger for hver enkelt komponent. Utførelsen av vedlikehold er også knyttet til direkte og indirekte kostnader som er illustrert i Tabell 3-1.

Direkte kostnader	Indirekte kostnader
Arbeidskraft	Kvalitetskostnader
Reservedeler og materialer	Variasjon i produksjonsutstyret
Innleide entreprenører	Manglende ytelse
Administrative kostnader	Produksjonstid som går tapt pga. funksjonssvikt
Vedlikeholdsprosjekter	Produksjon av feil
	For mye vedlikehold i forhold til krav
	Manglende kapasitet
	Økt risiko for sikkerhetsbrist

Tabell 3-1 Kostnader knyttet til vedlikehold (Wilson A., 1999)

For å utarbeide en vedlikeholds-strategi som balanserer korrektivt og forebyggende vedlikehold er det behov for å utføre en grunnleggende kartlegging. En del av denne kartleggingen vil, i følge Wilson være å besvare spørsmålene i Tabell 3-2:

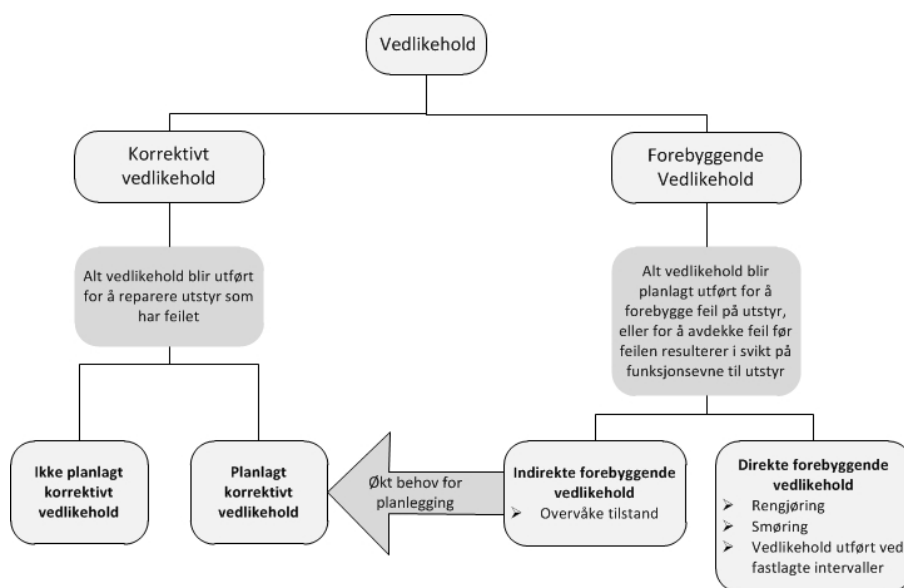
Spørsmål som må besvares i utforming av strategi
Hvilket utstyr er kritisk for produksjonen?
Hva er de vanligste årsakene til funksjonssvikt?
Er det mulig å overvåke det kritiske utstyret slik at vanlig vedlikehold forebygger årsakene til svikt i funksjonsevne?
Hvordan bør utstyret vedlikeholdes?
Når og hvor ofte må utstyret vedlikeholdes for å opprettholde tilfredsstillende funksjonsevne?
Hvor skal vedlikeholdet utføres?
Hvem skal utføre vedlikeholdet?
Hvordan kan vedlikeholdet utføres kostnadseffektivt?

Tabell 3-2 Grunnleggende kartlegging for utforming av vedlikeholdsstrategi (Wilson A., 1999)

Svarene på disse spørsmålene kan danne basisen i utviklingen av vedlikeholdsstrategien for hver enkelt komponent som skal vedlikeholdes.

Wilson (1999) anbefaler videre at vedlikeholdsstrategien bør vise den planlagte arbeidsbelastningen ved gjennomføring av vedlikeholdsoppgavene, og i tillegg ta hensyn til de forventede feil og funksjonssviktene de enkelte komponentene vil få (se Figur 3-1). Mengden vedlikehold og likeledes hvilken strategi for vedlikeholdet (forebyggende eller korrektivt) vil også påvirke sviktraten til komponentene som skal vedlikeholdes.

En strategi for vedlikeholdet bør også synliggjøre hvor mye vedlikehold som kreves, hvilken kompetanse man trenger for å utføre vedlikeholdet, hvor vedlikeholdet skal utføres, i hvilket tidsrom av driftsdøgnet vedlikeholdet kan utføres og hvordan de nødvendige ressursene man må ha for å gjennomføre vedlikeholdet skal organiseres.



Figur 3-1 Balansering av korrektivt og forebyggende vedlikehold (Wilson, 1999)

Vedlikeholdsstrategien har til hensikt å optimere vedlikeholdet ved å balansere ressursbruk til vedlikehold opp mot kostnader ved funksjonssvikt på produksjonsutstyret som skal vedlikeholdes. Utforming av strategier for vedlikehold tar utgangspunkt i vedlikeholdsmodeller. I Jernbaneverket brukes PRIFO som er en beregningsmodell som baserer seg på livssyklus-kostnader. Livssyklus-kostnader blir estimert ut i fra at kostnadene for vedlikehold vil tilta med alderen på infrastrukturen ved at vedlikeholdsbehovet vil øke. Samtidig med at vedlikeholdsbehovet øker også sannsynligheten for funksjonssvikt. Lignende modeller for vedlikehold er "Frangopol's model" og "Rijkswaterstaat's model" (Noortwijk J. M. & Frangopol D. M., 2004) som også baserer seg på sannsynlighet for funksjonssvikt. Frangopols modell støtter utforming av en påliteligbasert vedlikeholdsstrategi, mens Noortwijk støtter utformingen av en tilstandsbasert vedlikeholdsstrategi.

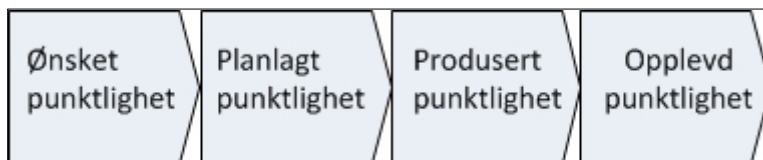
Strategier for vedlikehold kan også klassifiseres som aldersavhengig vedlikehold og vedlikehold basert på inspeksjon og reparasjon (Rackwitz & Joanni, 2009). Aldersavhengig vedlikehold er en strategi der vedlikeholdet blir utført ved faste tidsintervall. Tidsintervallene blir avgjort av feilfrekvens på det tekniske utstyret og kostnader forbundet med funksjonssvikt. Ved vedlikehold basert på tilstandskontroll ved inspeksjoner blir vedlikehold utført ved behov. Frekvensen på inspeksjoner av de tekniske anleggene blir bestemt av kjent feilfrekvens og kostnader forbundet med funksjonssvikt. Rackwitz og Joanni (2009) argumenterer for at den mest kostnadseffektive vedlikeholdsstrategien vil være å utføre vedlikehold basert på inspeksjon av de tekniske anleggene. Denne strategien må sees på som en strategi for forebyggende vedlikehold.

For å kunne gjennomføre en strategi som baserer seg på forebyggende vedlikehold har man behov for systemer som tilbyr beslutningsstøtte for når vedlikehold må utføres for at funksjonsdyktighet skal opprettholdes i de tekniske anleggene. Beslutningsstøttesystemene bør basere seg på måledata som beskriver tilstand til de tekniske anleggene. Disse måledataene bør videre være tilgjengelige så nært sanntid som praktisk mulig. Slike måledata kombinert med regler (utformet av praktikere med lang erfaring fra utøvelse av vedlikehold) er satt sammen i et beslutningsstøttesystem av Guler for å støtte prioriteringen av vedlikehold (Guler, 2012). Strategier for vedlikehold er basert på å overvåke tilstand til tekniske anlegg kombinert med erfaringer om feilfrekvens og sviktrate. En mulighet for å overvåke tilstanden til de tekniske anleggene er å bruke måledata som kvantifiserer leveransene fra de tekniske anleggene slik at man ved statistiske analyser kan få et tidligere varsel på endringer i prestasjonsevnen til de tekniske anleggene. Panagiotidou og Tagaras foreslår i sin artikkel å overvåke outputen fra produksjonsprosesser ved hjelp av måledata som blir plottet i et kontrollidiagram fra Statistisk Prosess Kontroll (SPK) (Panagiotidou S & Tagaras G, 2010). Ved å overvåke leveransene fra produksjonsprosessen ved hjelp av SPK får man tidlige varsler om at tilstanden til tekniske anleggene har endret seg. Ved å få tidlig varsel om behov for vedlikehold på de tekniske anleggene vil man kunne utføre vedlikehold før det får alvorlige konsekvenser for leveransene fra produksjonen. Med denne måten å overvåke tilstanden til de tekniske anleggene vil man kunne velge en strategi for tilstandsbasert vedlikehold og gjennomføre vedlikeholdet kostnadseffektivt på en slik måte at produksjonsutstyret er tilgjengelig når produksjon av varer og tjenester er planlagt. Ved hjelp av prestasjonsmåling av produksjonsprosessen som beslutningsunderlag blir en mer nyansert prioritering av vedlikehold gjennomført. Dette vil være en strategi som vil basere seg på forebyggende vedlikehold.

3.2. Punktlighet i jernbane

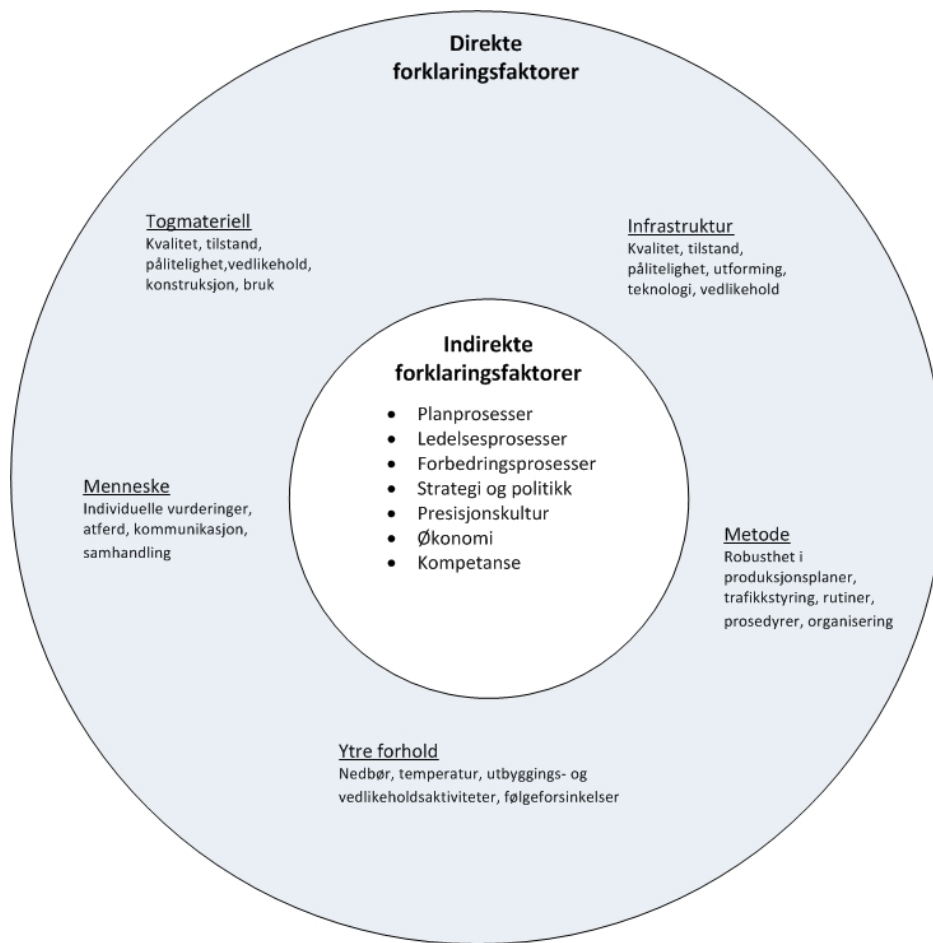
Punktligheit er en prestasjonsindikator som rapporteres og følges tett opp i jernbanesektoren i Norge. Det påstås at etter sikkerhet er punktlighet den viktigste kvalitetsindikatoren for transport på jernbane. I SINTEF rapporten "Beregning av punktlighet og pålitelighet for godstransport på jernbane – PUSAM teorigrunnlag" (Økland A & Ekambaram A, 2010) fastslår forfatterne at "punktlighet er et viktig mål på hvilken grad passasjer eller godskunde mottar tjenesten de betaler for". I sin avhandling definerer Granstrøm punktlighet som oppfyllelse av en avtale til en bestemt tid mellom ulike parter, og at denne avtalen i jernbanesammenheng er rutetabellen (GRANSTRÖM R, 2005). I denne oppgaven vil punktlighet defineres som: "punktlighet i jernbanedrift er at togtrafikken går i henhold til ruteplanen" (Veiseth M, 2009).

Punktligheit har flere dimensjoner (se Figur 3-2). Ønsket punktlighet er det nivået på punktlighet som kundene til jernbanesektoren krever, myndighetene fastsetter mål om og jernbanesektoren ønsker å tilby. Det er ikke alltid samsvar mellom krav og forventninger til punktlighet og hvordan de enkelte aktørene i jernbanesektoren planlegger sin produksjon (Veiseth M, 2009). Den produserte punktligheten er avhengig av hvor godt planene til de enkelte aktørene tar hensyn til punktlighet, og hvor gode de enkelte aktørene er til å gjennomføre produksjonsplanene for å produsere jernbanetransport. Opplevd punktlighet kan videre avvike fra produsert punktlighet. Et eksempel på dette avviket er at en passasjer som tar det samme rushtidstoget hver dag kan oppleve togene som lite punktlig, og samtidig kan togselskapet og Jernbaneverket rapportere at punktligheten på togene er tilfredsstillende til endestasjonen. En av årsakene til spriket mellom opplevd og produsert punktlighet er at Jernbaneverket og togselskapene måler punktligheten over hele uken og måneden samlet for alle togene i et togprodukt, mens faste kunder (for eksempel pendlere) er opptatt av punktligheten til bestemte tog.



Figur 3-2 Fire aspekter av punktlighet i jernbanedrift (Veiseth M, 2009)

Det er mange årsaker til at punktlig togtrafikk ikke oppnås. I sin doktoravhandling deler Veiseth disse årsakene inn i direkte og indirekte forklaringsfaktorer (se Figur 3-3).

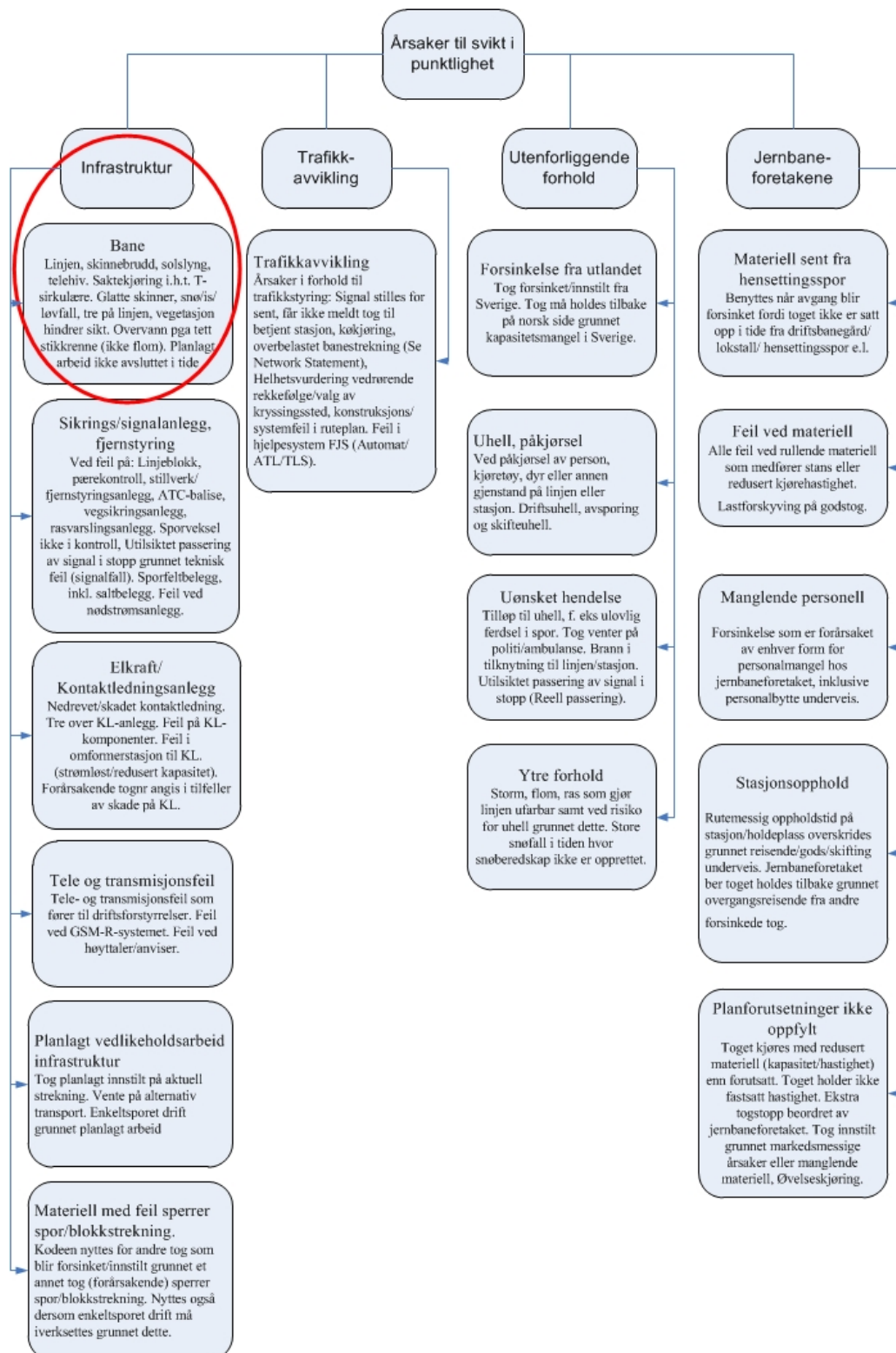


Figur 3-3 forklaringsmodell for punktlighet (Veiseth M, 2009)

Med direkte forklaringsfaktorer menes forhold som direkte påvirker punktligheten til jernbanetrafikken. Det kan være feil på togmateriellet eller feil i infrastrukturen. I indirekte forklaringsfaktorer inngår prosesser, rammebetingelser som er bestemt og kultur som påvirker de direkte forklaringsfaktorene.

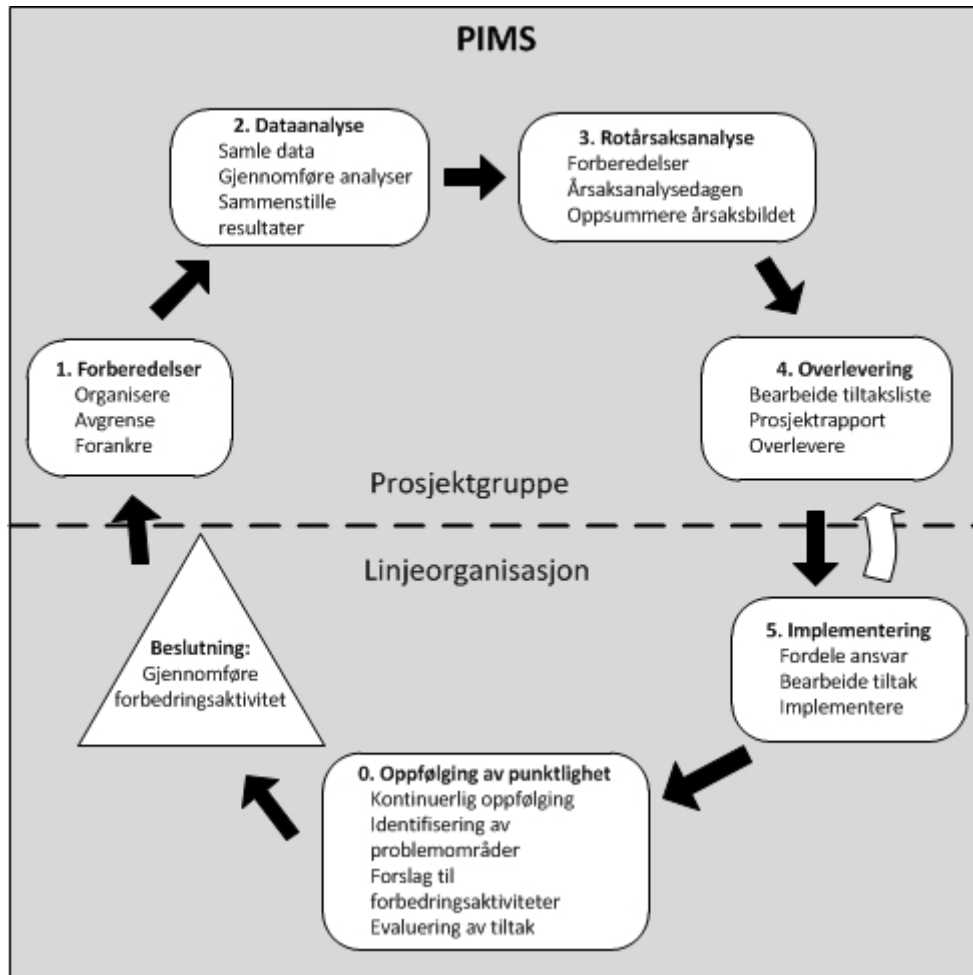
De direkte forklaringsfaktorene som Veiseth viser til er i god overensstemmelse med strukturen til årsaksregistreringen i TrafikkInformasjons og OppfølgingsSystemet (TIOS) til Jernbaneverket. Hvis et tog blir mer enn fire minutter forsinket, eller får en merforsinkelse på fire minutter, krever TIOS at togleder eller TXP angir en direkte forsinkelsesårsak som knyttes til forsinkelsen som er påført toget. Det viser seg at det er utfordrende å få korrekt årsaksregistrering på punktlighetssvikter, og sammenhengen mellom årsaksregistreringen og påvirkning på punktligheten ikke alltid er opplagt. I TIOS er det 16 årsakskoder å velge mellom (se Figur 3-4). I denne oppgaven settes fokus på hvordan fremføringen av tog påvirkes av uønskede forhold ved infrastrukturen registrert i årsakskoden bane. I rapporten som SINTEF leverte til Jernbaneverket (Olsson N et al., 2010) var en av årsakene til en redusert robusthet i jernbanesystemet at det i perioden mellom 2005 til 2010 hadde vært en økning i feilfrekvensen i infrastrukturen.

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.



Figur 3-4 Forklaringsmodell for direkte årsaker til svikt i punktlighet (kilde: TIOS, Jernbaneverket)

For å etablere en kunnskap om hvilke bakenforliggende faktorer som forårsaker svikten i punktlighet har Jernbaneverket besluttet at metodikken Punctuality Improvement Method System (PIMS) (Veiseth, Heggland, Wien, Olsson, & Stokland, 2011) skal benyttes. PIMS metodikken ble utviklet i forskningsprosjektet PeMRO¹.



Figur 3-5 PIMS metodikken (Veiseth et al., 2011)

I den daglige driften overvåkes punktligheten og når problemområder identifiseres utarbeides forslag til forbedringsaktiviteter i form av PIMS prosjekt (trinn 0 i Figur 3-5). Forslaget presenteres til linjeledere som fatter en beslutning om at PIMS prosjektet skal realiseres. På trinn 1 i PIMS prosjektet er målet 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. Det som må fokuseres i trinn 1 er å etablere prosjektgruppen, avgrense problemstillingen og forankre forbedringsprosjektet hos linjeledere som har tilstrekkelig beslutningsmyndighet (prosjekteiere). I trinn 2 dataanalyse, sammenstilles tilgjengelige data som kan beskrive fokusområdet for forbedringsprosjektet. Det er forskjellige data som kan benyttes i dataanalysen. Eksempler på data kan være årsaks og punktlighetsregistreringer fra TIOS.

¹ PeMRO: Performance Measurements in Railways Operations, forskningsprosjekt utført i tiden 2005-2008 av SINTEF og jernbaneforetakene i Norge.

Hensikten med trinn 3 i PIMS prosjektet er todelt. Det første målet er å kartlegge og identifisere de bakenforliggende årsakene til hvorfor svikt i punktlighet forekommer på det valgte fokusområdet. Når kunnskap om de bakenforliggende årsakene er etablert, utarbeides løsningsforslag for å bedre punktligheten. For å utarbeide de gode forbedringsforslagene er man helt avhengig av at prosjektdeltagere har inngående praksiskunnskap om de forholdene som skal undersøkes. På trinn 3 kobles måledata sammen med praksiskunnskap. I trinn 4 bearbeides forslag til tiltak og en prosjektrapport utarbeides. Rapporten overleveres til de linjelederne som ble identifisert som prosjekteiere i trinn 1. Prosjekteierne realitetsbehandler forbedringsforslagene og kommer med tilbakemelding (illustrert med hvit pil mellom trinn 4 og 5 i Figur 3-5) til prosjektdeltagerne 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 implementering av forbedringsforslag lagt til linjeorganisasjonen slik at eierskap til punktlighet kan etableres. I aktiviteten "oppfølging av punktlighet" følges effekten av de implementerte tiltakene opp for å dokumentere om tiltakene har den ønskede effekten på punktligheten. Hittil har det hvert utfordrende å dokumentere effekten av gjennomførte forbedringstiltak på grunn av den overordnede punktlighetsrapporteringen (Goverde & Meng, 2012; Veiseth M, 2009). For å bli i stand til å forbedre punktligheten er det behov for punktlighetsdata med høyere oppløsning enn avvik i minutt i forhold til ruteplanen og i Nederland har man løst dette ved å benytte datafangst for tidregistreringer som har sekundoppløsning. En utfordring ved å bruke tidregistreringer med sekundoppløsning i punktlighetsoppfølging er at ruteplanen er oppgitt i kun hele minutter. Det er likt både i Norge og i Nederland. I Nederland har man benyttet 80 % kvartilen av gjennomsnittet for målt kjøretid av tog som ikke blir forsinket på blokkstrekninger for å måle underveispunktliggheten med sekundoppløsning. Argumentasjonen for å bruke 80 % kvartilen er at tog som bruker vesentlig mer tid enn de raskeste togene ikke skal trekke opp snittet (Goverde & Meng, 2012). Ved å bruke høyoppløste tidregistreringer for togene og sammenligne tidregistreringene med kjøretiden som er planlagt med i ruteplanen vil man kunne gi detaljerte og gode tilbakemeldinger til planleggerne som konstruerer ruteplanen, finne grunnleggende utfordringer i gjennomføringen av jernbaneproduksjon og avdekke årsak – virkningsammenhenger og koble årsaker til forsinkede tog til vedkommende linjeleder som har ansvaret for årsaken til punktlighetssvikten (Goverde & Meng, 2012).

Høyoppløselige tidregistreringer på sekundnivå finnes også i TIOS databasen i Norge, og en anvendelse av disse dataene i punktlighetsoppfølging i Norge hadde vært ønskelig.

3.3. Prestasjonsmåling

Prestasjonsmåling kan beskrives som en prosess som samler data fra målinger av prestasjonsindikatorer og sammenligner resultatene med målsettinger organisasjonen har satt seg. Motivasjonen for å bruke ressurser på prestasjonsmåling har utgangspunkt i at ledere har behov for å evaluere hvor godt bedriften presterer, kontrollere at de riktige oppgavene blir løst, overvåke ressursbruken slik at budsjetter holdes, for bedre å kunne motivere til ønsket atferd, for å kunne rapportere status for driften av organisasjonen til interessenter, for å kunne feire gode prestasjoner, for å lære hva som fungerer og hva som ikke fungerer, og for å kunne drive med et strukturert forbedringsarbeid (Behn Robert D, 2003). En vanlig måte å kategorisere mål på er harde og myke mål. Harde mål er kvantifiserbare størrelser mens myke mål ofte fastsettes ved spørreundersøkelser eller intervju. Metoder som nyttes for å rapportere på måloppnåelse vil avhenge av om det er harde eller myke mål som skal oppnås. Ved rapportering av harde mål er ofte statistikk benyttet mens for myke mål gjennomføres ofte intervju.

I verdikjeder er det flere måter å måle og følge opp prestasjoner på. Grovt sett kan målinger sammenlignes mot finansielle eller operasjonelle mål (Gunasekaran A, Patel B, & McGaughey R E, 2004). Finansielle og operasjonelle mål kan karakteriseres som harde mål.

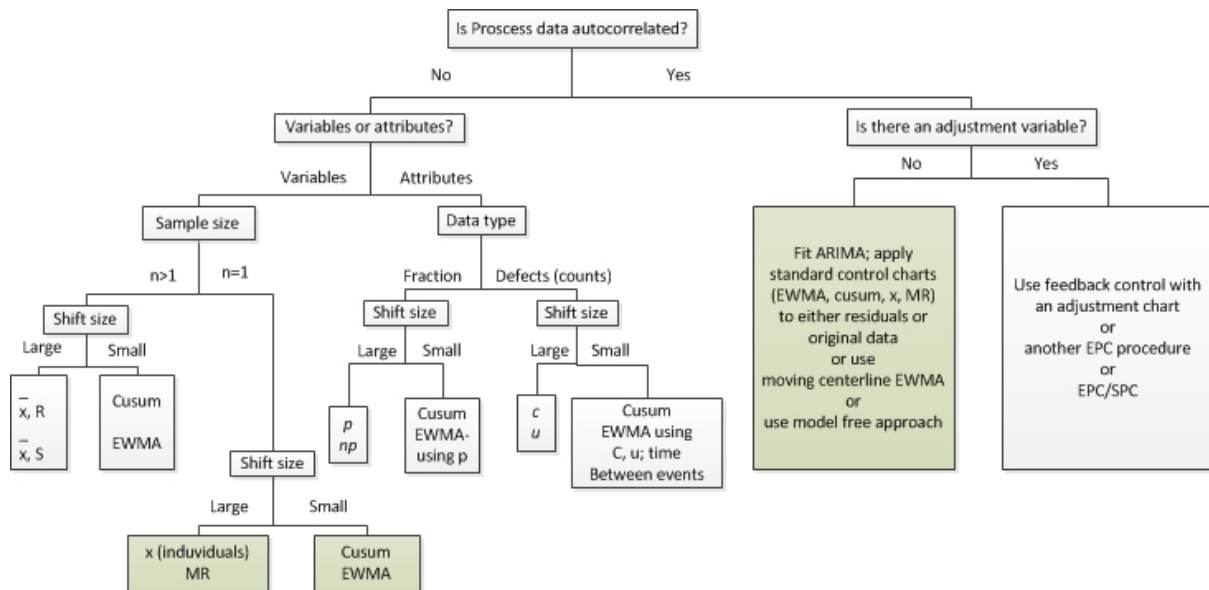
Eksempler på kjente operasjonelle mål kan være ledetider, omstillingstider, verdiskapende tid, leveringsservice m.m. Alle de operasjonelle målene som her er nevnt er basert på målinger av tid. Taiichi Ohno (Ohno, 1988) skriver i sin bok om Toyota Production System at det han fokuserer på er å redusere tidsbruken fra råvaren er utvunnet til oppgjøret for det ferdige produktet er kommet til Toyota fra kunden. I løpet av denne tidslinjen er fokuset på å eliminere sløsing for å bedre prestasjonene til Toyota som organisasjon. Dette er et av mange eksempler på at tid er en prestasjonsindikator som er utbredt.

En prestasjonsindikator i verdikjeder som omfatter transportleddet er leveringsservice. Begrepet leveringsservice inneholder et stort antall elementer hvor noen viktige elementer er leveringssikkerhet, lagertilgjengelighet, leveringsfleksibilitet og leveringstid. Leveringstid vil ikke kun dreie seg om når på døgnet leveringen kan foretas, men også om leveringen skjer til avtalt tid. Økende internetthandel genererer et økt behov for transport. Viktigheten av at transportleddet i verdikjeden er pålitelig og leveringspresisjonen er tilfredsstillende tiltar. Leveringspresisjon påpekes som en viktig faktor av Davis – Sramek et al. (Davis-Sramek B, Mentzer J. T, & Stank T. P, 2008) for å opparbeide et godt lojalitetsforhold mellom detaljister og kunder. Levering til avtalt tid vil i denne oppgaven være analog med punktlighet. Punktlighet kan med dette også omtales som en del av kvaliteten ved transporten.

Kvalitet kan defineres som “egnethet for bruk” og en egenskap kvalitet har er at kvalitet er motsatt proporsjonal med variasjon. Kvalitetsforbedring vil da bli å redusere variasjonen til produkter og prosesser (Montgomery, 2009). Kvalitet er en integrert egenskap i produkter og tjenester. Bevisstheten rundt kvalitetsens viktighet er endret over tid, og i dag er konkurransen i markedene hard og produkter som ikke tilfredsstillt kundenes kvalitetskrav blir ikke etterspurt og taper i konkurransen med produkter og tjenester som tilfredsstillt kundenes forventninger. Dette gjelder også innen transportsektoren. Variasjon kan beskrives i statistiske termer, og statistiske metoder vil være et egnet verktøy i arbeidet med kvalitetsforbedring (Montgomery, 2009). Slik punktlighet i jernbanetransport blir målt og rapportert i dag, fremstår jernbanetransport som en prosess med stor

variasjon (se Figur 2-2). Det bør undersøkes om statistiske metoder kan være egnet til å redusere variasjonen i punktligheten for transport på jernbane. Et eksempel på bruk av SPK fra transportsektoren i Norge er metoden som Kvaavik presenterte for NSB i 2005 (Kvaavik, 2004).

Statistisk analyse av kvalitetsnivå oppsto ved Bell Telephone Laboratories når Walter A. Shewhart i 1924 utviklet konseptene for statistiske kontroll diagram, også kjent som Shewart kontroll diagram (Montgomery, 2009). Metoden er kalt faktabasert styring og baserer seg på XmR diagrammet fra SPK. SPK har en rekke verktøy og for å kunne velge egnet verktøy har Montgomery utviklet en guide for valg av verktøy (se Figur 3-6) fra verktøykassen til SPK.

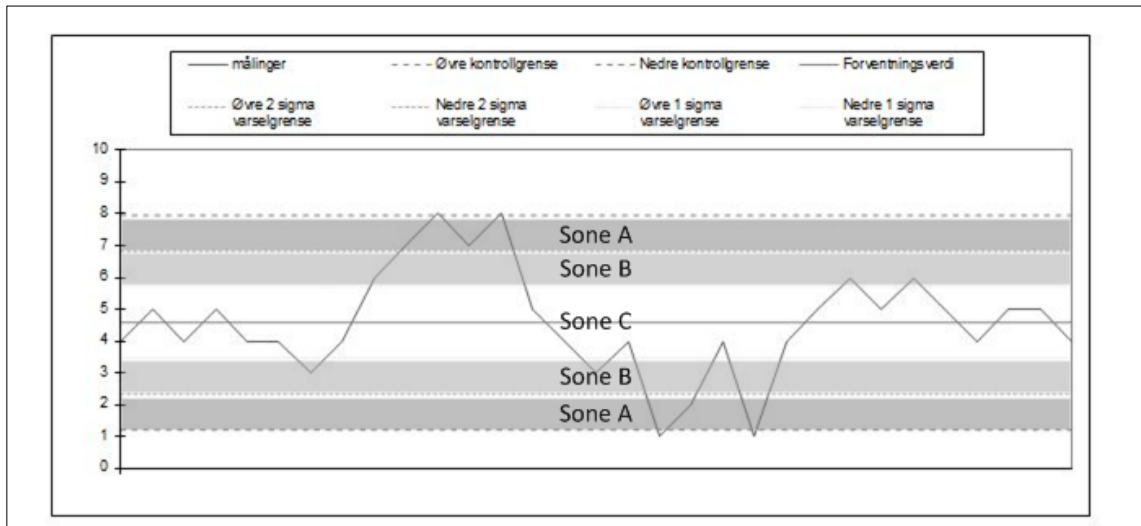


Figur 3-6 Guide to univariate process monitoring and control (Montgomery, 2009)

Det første man må avklare ved valg av verktøy fra SPK er om datasettet med målinger blir utsatt for påvirkning fra omgivelsene slik at det forekommer korrelasjon. Er det muligheter for korrelasjon blir spørsmålet om variabelen som måles er justerbar eller ikke. Valg av verktøy i fra SPK “verktøy kassen” ved ytre påvirkning på måledataene avgjøres hvilken teknikk fra SPK som anbefales. Hvis det derimot ikke er påvirkning fra omgivelsene på måledataene vil man måtte avgjøre om måledataene beskriver variabler eller attributter. I de tilfellene man har variabler vil utvalgsstørrelsen på variablene avgjøre valg av verktøy. Ved kontinuerlig overvåkning av en prosess vil det bli fortløpende målinger, og utvalgsstørrelsen på måleseriene vil være lik en. Det neste forholdet som avgjør valg av egnet verktøy fra SPK er hvor stor variasjon som eksisterer i den målte prosessen. Er det en stabil prosess med små sprang i yteevne anbefaler Montgomery (2009) Cumulative Sum (CUSUM) som verktøy. Er derimot den overvåkede prosessen mindre stabil og har større variasjon i yteevne anbefales XmR der x står for den enkelte målingen, M betyr gjennomsnitt og R står for varians. I Figur 3-6 er de aktuelle verktøyene i denne oppgavebesvarelsen uthevet.

Konstruksjon av XmR diagram begynner med å fastsette forventningsverdien μ . For å etablere μ anbefaler Montgomery å foreta minimum 20 målinger og beregne gjennomsnittet av disse målingene (se Figur 3-7). For å etablere kontrollgrensene (øvre og nedre kontrollgrense) som visualiserer kontrollspennet for prosessen i XmR diagrammet tar vi $\mu \pm 3\sigma$. Hvis vi antar at måledataene er normalfordelt vil 99,73 % av målingene havne innenfor kontrollspennet. I tillegg er det vanlig å etablere varselgrenser på $\mu \pm 2\sigma$ og $\mu \pm \sigma$. Som estimator for standardavviket σ brukes

gjennomsnittet av variasjonsbredden (R) delt på en konstant (d_2) som er avhengig av utvalgsstørrelsen. Estimator for standardavviket blir da $\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$ (Montgomery, 2009). Denne estimatoren er en etablert objektiv estimator for standardavviket i statistikken. Ved sekvensielle enkeltmålinger av en prosess er det i statistikken etablert at utvalgsstørrelsen er lik 2. Ved avlesing i tabell i appendix VI i læreboken til Montgomery finner vi at d_2 blir 1,128. Eksempel på Shewhart kontrolldiagram er vist i Figur 3-7:



Figur 3-7 Eksempel på Shewhart kontrolldiagram (Montgomery, 2009)

Soner i kontrolldiagrammet: Sone A er i følge Montgomery områdene mellom 2σ varselgrenser og 3σ kontrollgrenser (øvre og nedre). Sone B er områdene mellom 1σ varselgrenser og 2σ varselgrenser (øvre og nedre) og sone C er området mellom øvre og nedre 1σ varselgrenser. For å tolke kontrolldiagram er det etablert et sett på ti regler (se Tabell 3-3). Ved bruk av reglene vil man ved tolkning av kontrolldiagrammene kunne analysere hvordan prosessen som overvåkes presterer.

Tolkningsregler	
1	En eller flere målinger er utenfor kontrollgrensene.
2	To av tre påfølgende målinger er utenfor 2σ varselgrense men innenfor 3σ kontrollgrenser (sone A).
3	Fire av fem påfølgende målinger er utenfor 1σ varselgrense (utenfor sone C).
4	En serie av åtte sammenhengende målinger er på samme side av forventningsverdien.
5	Seks påfølgende målinger øker eller minker i verdi.
6	Femten påfølgende målinger er i sone C (kan være både over og under forventningsverdien)
7	Fjorten påfølgende målinger veksler opp og ned.
8	Åtte påfølgende målinger på begge sider av forventningsverdien, men ingen i sone C.
9	Et uvanlig (eller systematisk) mønster i målingene.
10	En eller flere målinger er nær varsel (eller kontroll) grensen.

Tabell 3-3 Tolkningsregler for kontrolldiagram (Montgomery, 2009)

De fire første tolkningsreglene er også kjent som "Western Electric rules". Montgomery sier at et alternativ til CUSUM for å detektere små sprang i prestasjonene til den overvåkede prosessen der variablene har en utvalgsstørrelse lik 1 (se Figur 3-6) er å kombinere XmR kontrolldiagrammet med tolkningsreglene.

Det to typer feil som kan opptre ved bruk av kontrolldiagram og tolkningsregler. Type I feil opptrer når det ikke blir indikert feil når feil faktisk har forekommet, og type II feil er når prosessen er under kontroll, men tolkning av kontrolldiagrammet ved hjelp av tolkningsreglene indikerer at prosessen har endret seg. Sannsynligheten for at type I og type II feil oppstår kan beregnes ved hypotesetesting (Montgomery, 2009).

I artikkelen "Statistical Process Control and Condition-Based Maintenance: A Meaningful Relationship through Data Sharing" (Panagiotidou S & Tagaras G, 2010) har forfatterne utviklet en generell matematisk modell for en felles optimering av kontroll diagram fra SPK og frekvens for tilstandsbasert vedlikehold i produksjonsprosesser. Forfatterne konkluderer med at det vil være både økonomiske gevinster ved å få et riktigere nivå på vedlikeholdet, og muligheter for en økt kvalitet på produksjonsprosessen til en rimeligere penge ved å gjennomføre tilstandsbasert vedlikehold initiert av hvordan produksjonsprosessen presterer.

I denne oppgaven vil det undersøkes om teknikker fra SPK kan brukes for å etablere et effektivt system for prestasjonsmåling slik at man kan bli i stand til å prioritere vedlikeholdet også ut i fra påvirkningen tilstanden på infrastrukturen har på punktligheten til togtrafikken. Lykkes man med å redusere variasjonen i forbrukt tid for kjøring av tog ved en mer nyansert prioritering av vedlikehold vil punktligheten kunne oppleves som mer forutsigbar.

I artikkelen " A framework for managing maintenance using performance measurement systems" (Kutucuoglu K Y, Hamali J, Irani Z, & Sharp J M, 2001) anbefaler forfatterne at prestasjonsmåling bør være i stand til å adressere forskjellige nivå på prestasjonsmålinger, fra oppfølging av den enkelte prestasjonsindikatoren til oppfølging på aggregert nivå, som for eksempel overall equipment effectiveness (OEE). Prestasjonsmåling bør videre gi et balansert bilde av systemet som blir fulgt opp ved at bruken av flere prestasjonsindikatorer synliggjør flere dimensjoner av det målte systemet. Prestasjonsmålingene må også muliggjøre oppfølgingen av måloppnåelse og støtte vedtatte strategi. For at implementeringen og bruken av prestasjonsmåling skal bli levedyktig understreker forfatterne at involvering av de ansatte er kritisk. Hvis de ansatte ikke blir involvert i utformingen og etableringen av systemet for prestasjonsmåling, vil man risikere at eierskapet til systemet for prestasjonsmåling og de forbedringsområdene som avdekkes ikke blir etablert fra organisasjonens medlemmer. Et balansert system for prestasjonsmåling bør videre inneholde både objektive og subjektive mål. I tillegg må målesystemet sette fokus på tverrfunksjonelle utfordringer, i den verdiskapende prosessen, på tvers av funksjonsgrenser i organisasjonen. Forfatterne kategoriserer videre prestasjonsmålinger av vedlikehold inn i fem kategorier for å gi et balansert bilde av vedlikeholdet: a) overvåkning av ytelse relatert til tekniske anlegg, b) overvåkning av ytelse knyttet til oppgaver, c) overvåkning av forhold som øyeblikkelig påvirker leverings servicen til kunden og d) prestasjonsmåling av læring og vekst.

Basert på prinsippene for et effektivt system for prestasjonsmåling og de presenterte kategoriene for betraktning av ytelsene til vedlikeholdet presenterer forfatterne, etter deres syn, nøkkelegenskapene som et prestasjonsbasert målesystem for å overvåke vedlikeholdet bør inneholde oppsummert i Tabell 3-4.

Nummer	Nøkkelegenskap
1	Prestasjonsindikatorerne som utvikles må tilpasses slik at indikatorerne har sammenheng med de strategiske målene til organisasjonen.
2	Prestasjonsindikatorerne må oversette de strategiske målene til det nivået i hierarkiet de skal benyttes.
3	Prestasjonsmålesystemet må gi et balansert syn på vedlikehold
4	Systemet må integrere objektive og subjektive målinger.
5	Prestasjonsmålesystemet må evne og involvere organisasjonens medlemmer
6	Prestasjonsmålesystemet må ivareta helheten ved å være tverrfunksjonelt

Tabell 3-4 Nøkkelegenskaper til et prestasjonsbasert målesystem (Kutucuoglu K Y et al., 2001)

I jernbaneproduksjon vil et prestasjonsbasert målesystem for å måle effektiviteten til vedlikehold kunne baseres på målinger av medgått kjøretid. Disse målingene vil være målinger med en høyere oppløsning enn dagens punktlighetsrapportering viser. Ved en overvåkning av kjøretiden vil også mulighetene til å evaluere effekten av gjennomførte vedlikeholdsaktiviteter bedres.

4. Studiedesign og metode

Dette kapitlet beskriver først studiedesign og prosessen gjennom studien. Deretter følger en mer detaljert gjennomgang av de ulike metodene som er brukt i de forskjellige aktivitetene for å svare ut oppgaven.

To av flere mulige måter å kategorisere studiedesign eller forskningsmetode er:

- Kvantitativ og kvalitativ (Johannessen A, Tufte P. A., & L, 2010)
- Forklarende og utforskende (Holmström, Ketokivi, & Hameri, 2009)

Kvantitative metoder beskrives ofte for å forklare problemstillinger eller fenomener. Kvantitative metoder er preget av formaliserte og strukturerte analyser av måledata som er kvantifiserbare. For å analysere objektet eller forholdet som undersøkes er ofte statistikk eller matematiske verktøy benyttet.

Kvalitative metoder benyttes ofte for å etablere en mer inngående og nyansert kunnskap om objektet som undersøkes. Data til bruk i kvalitative metoder blir ofte samlet ved hjelp av spørreundersøkelser og dataene vil ikke være direkte kvantifiserbare.

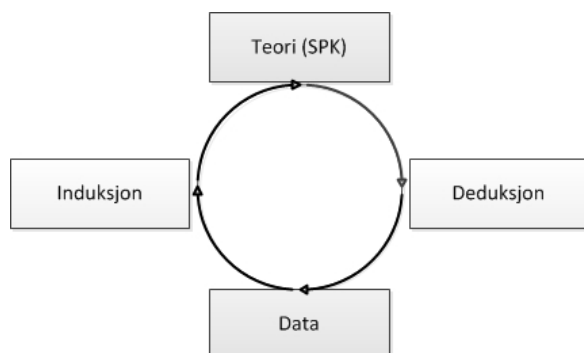
Forklarende metode eller tradisjonell forskningsmetode kan beskrives ved at forskningen tar utgangspunkt i anerkjent akademisk teori. Forskeren leter etter områder i teorien som har mangler, hvor forskeren kan bidra med å utvikle ny teori ved å definere eller konstruere en teoretisk problemstilling. Ved å løse den konstruerte problemstillingen ved bruk av det nyutviklede bidraget til teorien, sannsynliggjør forskeren sitt bidrag til teoriutviklingen. I matematikken blir ofte teoremer etablert ved denne forskningsmetoden.

Utforskendemetode (fritt oversatt fra design science) kan beskrives ved at et løsningsforslag for et kjent og veldefinert problem blir utviklet av forskeren. Det overordnede målet til forskeren er å utvikle en dypere forståelse for problemstillingen som undersøkes. Løsningsforslaget som blir utviklet for å løse problemstillingen tar utgangspunkt i anerkjent teori for så å bli testet med innsamlede data som beskriver problemstillingen. Uttestingen av løsningsforslaget gjøres gjerne i en eller flere case, alternativt som en iterativ utviklingsprosess ved hjelp av deduksjon og induksjon for å vise validiteten til løsningsforslaget (Hevner, March, Park, & Ram, 2004; Holmström et al., 2009; van Aken & Romme, 2009)

En casestudie er i hovedsak en enkelt undersøkelse av en bestemt type fenomen. En casestudie er en egnet metode om forskeren ønsker å undersøke et objekt eller forhold inngående for å etablere en mer nyansert kunnskap om det som undersøkes ved å stille spørsmål med "hvordan" og "hvorfor" (Yin R. K., 2003). Hvor relevant casen er, blir avgjort av om casen er vesentlig for objektet eller forholdet som studeres. Validiteten til casen bestemmes ut i fra hvor godt man er i stand til å måle objektet eller forholdet som undersøkes. Casen kan påstås å være reliabel hvis andre forskere gjennomfører tilsvarende case, ved bruk av samme premisser, og kommer til tilsvarende resultater.

Ved deduksjon (se Figur 4-1) trekkes en logisk slutning fra det generelle (teori) til det spesielle (data). I oppgaven skjer dette når kontrollidiagram fra SPK blir testet med forskjellige sammenstillinger av tidsmålinger (data). Ved induksjon trekker man en logisk slutning fra det spesielle til det generelle (fra praksis til teori). I oppgaven skjer induksjon ved å sannsynliggjøre at den utviklede modellen for

prioritering av vedlikehold kan benyttes på alle jernbanestrekninger i Norge hvor det er etablert fjernstyring og det antas at modellen også er anvendbar med høyoppløselige GPS data hentet fra GPS systemer montert på lokomotivene.



Figur 4-1 Induksjon og deduksjon

Arbeidet med oppgaven er illustrert i Figur 4-2. Spørsmålene som er stilt i oppgaveteksten er nummerert fra 1 til 5 under overskriften “Oppgave” i Figur 4-2. Aktivitetene som er gjennomført for å svare ut spørsmålene i oppgaveteksten er indeksert fra A til E og er illustrert under overskriften “Studiedesign” i Figur 4-2.

Studiedesign (valgt metode er Design Science)		Oppgave
Utforming av løsning (fase 1)	Målsetting Utarbeide et foreløpig løsningsforslag	1 Gi en oversikt over relevant teori og best-practice på områdene «punktlighet i jernbane», prestasjonsmåling i verdikjeder» og «vedliksholdsstyring».
	Aktiviteter: A) Identifisering av interessante mål, situasjoner og mulige løsninger B) Søke etter kunnskap og informasjon C) Vurdere mulige løsninger og utarbeide foreløpig løsningsforslag.	2 Beskrive dagens modell for prioritering av vedlikehold på infrastruktur
Utvikling av løsning (fase 2)	Målsetting Utvikling av løsningsforslaget for oppgaveløsning, løse problemstilling	3 Utvikle forslag til ny modell for konsekvensstyring i prioritering av vedlikehold på infrastruktur
	Aktiviteter: D) Evaluering av løsningsforslag <i>Deduksjon</i> - bekreftelse på at metode fungerer som forutsatt. <i>Induksjon</i> – sammenligne resultat ved bruk av metode med anbefalinger fra teori og korrigerer uønskede konsekvenser. (iterativ prosess for tilpassing av metode) E) uttesting av metode	4 Prøve ut modell på en case hos Jernbaneverket
	F) Veien videre	5 Skissere et veikart for å oppnå et punktighetsnivå som tilfredsstillende godstransportørens behov

Figur 4-2 Illustrasjon av studiedesign og metode

For å oppnå målene (1 til 5 under overskriften oppgave i Figur 4-2) som var satt for denne oppgaven ble det brukt flere metoder. Den første fasen (punkt A og B under overskrift studiedesign i Figur 4-2) ble kvalitative metoder benyttet for å svare ut mål 1 og 2 i oppgaven. Metoden i punkt A og B besto av dokument- og litteraturstudier samt semistrukturerte intervju. Spesielt ble punktlighetsstatistikk fra Jernbaneverket, prosessbeskrivelser og prosedyrer om vedlikeholdsprosessen fra Jernbaneverkets styringssystem undersøkt. I tillegg ble det ført semistrukturerte intervju med sentrale funksjoner som arbeider med prioriteringen og utførelsen av det daglige vedlikeholdet for å øke kunnskapen om hvordan prioritering av vedlikehold i praksis gjennomføres i Jernbaneverket.

Litteraturstudiene hadde til hensikt å etablere en forståelse for problemstillingen (punkt C under overskrift studiedesign i Figur 4-2). Arbeidet med mål 1 og 2 i oppgaven avdekket et behov for å endre praksis for prioritering av vedlikehold. Mål 3 i oppgaven ble brutt ned til forskningsspørsmålene:

- a) "Hvordan kan måling og rapportering av variasjon i kjøretid på små delstrekninger (blokkstrekninger) styrke beslutningsgrunnlaget for prioritering av vedlikehold på jernbaneinfrastruktur?"
- b) "Er statistisk prosesskontroll (SPK) et egnet verktøy for overvåkning av medgått kjøretid?"
- c) "Er SPK egnet til å avdekke forbedringsområder i Jernbaneverkets infrastruktur for å kunne bidra til en bedring av punktligheten?"

Forskningsspørsmål a) ble adressert ved å konstruere XmR-diagrammer for ulike representasjoner av kjøretiden på blokkstrekningen Stjørdal og Skatval fra perioden 1. mai til 31. oktober 2011. Data om kjøretid ble filtrert iterativt på ulike måter og plottet i XmR-diagram. Diagrammene ble vurdert i forhold til egnethet for å kunne brukes som beslutningsgrunnlag for prioritering av vedlikehold og om diagrammene var egnet til å avdekke endringer i kjøretid og variasjon i prosessen for å kjøre tog. I den iterative utviklingen av datafiltreringen for og plotting av XmR diagrammet ble det brukt en deduktiv- induktiv tilnærming for å tilpasse XmR diagrammet til å detektere endringer i målt kjøretid mellom stasjonene.

For å undersøke forskningsspørsmål b) ble det gjennomført tester av hvorvidt SPK-verktøyet XmR-diagram var i stand til å fange opp endringer i medgått kjøretid som skyldes endringer i infrastrukturen. Forskningsspørsmål b) handler om prosessen for kjøring av tog er stabil nok til at reelle endringer i kjøretid raskt kan fanges opp. Først ble det testet om XmR-diagram var egnet for å detekterte endringer i medgått kjøretid som følge av en faktisk fjerning av en saktekjøring. Deretter ble sensitiviteten til XmR-diagrammet testet ved å manipulere data om kjøritid for å simulere små endringer. Sensitivitetsanalysen ble gjennomført etter modell fra Seim, Andersen & Sandberg (2006).

Forskningsspørsmål c) dreier seg om hvordan kontrolldiagrammet kan settes i en større sammenheng og danne grunnlag for en modell for konsekvensstyring i prioritering av vedlikehold på infrastruktur. Det ble i oppgaven tatt utgangspunkt i vedlikeholdsprosessen samt tilhørende prosedyrer beskrevet i Jernbaneverkets styringssystem for å etablere en ny modell for prioritering av vedlikehold basert på kunnskap som bruken av teknikker fra SPK på data som omhandlet målinger av kjøretid for togtrafikken etablerte.

Mål 4 i oppgaven var å prøve ut den utarbeidede modellen for prioritering av vedlikehold. I studien ble modellen simulert utprøvd på historiske data for en saktekjøring mellom Stjørdal og Skatval.

Spesielt ble det testet om en økning eller reduksjon av kjøretiden for tog ble fanget opp av XmR-diagrammer.

Mål 5 ble adressert ved å generalisere bruken av data om kjøretid i modellen for prioritering av vedlikehold til bruk i øvrig punktlighetsarbeid i jernbanedrift.

I følge Dalland (Dalland O, 2000) er det to krav som stilles til data. Det ene kravet er hvilken relevans (validitet) dataene har for problemstillingen og det andre kravet er hvor pålitelig (relabilitet) dataene er innsamlet. I denne oppgaven er dataene klokkeslettregistreringer som er knyttet til bestemte tognummer. Klokkeslettene blir automatisk registrert av fjernstyringsanleggene på de enkelte stasjonene slik at hver enkelt registrering av klokkeslett blir knyttet til faste punkt i infrastrukturen. Registreringene av passeringstidspunktene blir videre automatisk knyttet til bestemte tog ved hjelp av nummerering av togene som passerer registreringspunktene. Et tognummer er unikt for hvert døgn og forteller om hvilken type tog det er (godstog eller persontog), hvilket togprodukt toget tilhører (for eksempel regiontog eller lokaltog) og identifiserer også hvilken strekning toget skal kjøre. Ved at innsamlingen av data gjøres automatisk er relabiliteten ivaretatt. Dataene som er benyttet i denne besvarelsen består av tidsmålinger for medgått kjøretid mellom stasjoner og dataene vil være valide for problemstillingen.

Til utviklingen av modellen ble strekningen mellom stasjonene Stjørdal og Skatval benyttet. Strekningen var et bekvemmelighetsutvalg og ga fordeler som egen inngående kunnskap om trafikken og kjøremønster samt geografisk nær tilgang til personer med detaljert innsikt om området. Samtidig opplevde Jernbaneverket i perioden rett før studien klager på at saktekjøringen på strekningen var svært ødeleggende for punktligheten på Nordlandsbanen. Strekningen var også typisk for norske blokkstrekninger både med hensyn på topografi og lengde.

Selv om strekningen som er brukt i studien er valgt for å maksimere sannsynligheten for generaliserbarhet til andre strekninger er ikke slik generaliserbarhet testet. Slik testing bør gjøres før en eventuell implementering av modellen.

5. Utvikling av modell for prioritering av vedlikehold

Et sentralt mål i denne studien har vært å utvikle forslag til en ny modell for prioritering av vedlikehold på infrastruktur som synligjør infrastrukturtilstandens faktiske effekt på togtrafikk og punktlighet. Dagens regime for punktlighetsoppfølging i Jernbaneverket er for overordnet til å påvise slike sammenhenger. Den nye modellen for prioritering av vedlikehold på infrastruktur må beskrive både hvordan punktlighet kan følges opp slik at det kan supplere beslutningsgrunnlaget for prioritering av vedlikehold og beskrive hvordan dette utvidede beslutningsgrunnlaget kan brukes i prosessene for vedlikeholdsstyring. Dette kapittelet beskriver utviklingen av en modell for prioritering og evaluering av vedlikehold på jernbaneinfrastruktur hvor oppfølging av punktlighet er en integrert del av vedlikeholdsstyringen. Modellen ble utviklet gjennom å undersøke forskningsspørsmålene definert i kapittel 1.2.

5.1. Måling og rapportering av variasjon i kjøretid på blokkstrekninger

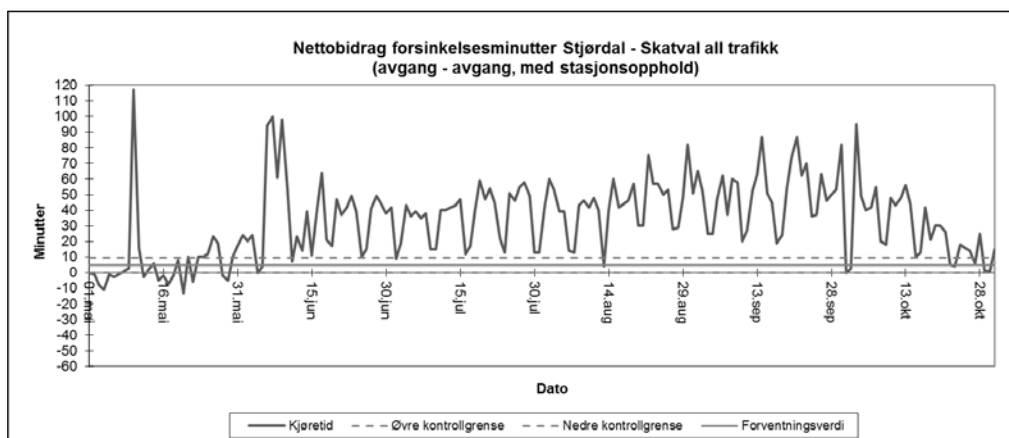
Forskningsspørsmål a) i denne studien var "Kan måling og rapportering av variasjon i kjøretid på små delstrekninger (blokkstrekninger) styrke beslutningsgrunnlaget for prioritering av vedlikehold på jernbaneinfrastruktur, og hvordan bør eventuelt variasjon i kjøretid måles og rapporteres?"

Som beskrevet i kapittel 4 ble forskningsspørsmål a) adressert ved å iterativt konstruere XmR-diagrammer for ulike representasjoner av kjøretiden på blokkstrekningen Stjørdal og Skatval fra perioden 1. mai til 31. oktober 2011. Hvert XmR diagram ble vurdert i forhold til egnethet for å brukes som beslutningsgrunnlag for prioritering av vedlikehold. Spesielt ble det lagt vekt på om diagrammene var egnede til å avdekke endringer i kjøretid. Dette delkapittelet gjennomgår de utprøvede variantene av XmR diagram og fordeler og ulemper med hvert enkelt diagram. I den iterative utviklingen av XmR diagrammet ble det behov for å fokusere tidsintervallet måledataene representerte og for hvert diagram angis derfor tidsintervall.

Antall forsinkelsesminutter i forhold til ruteplan, all togtrafikk per døgn

Inklusjonskriterier:

- All togtrafikk avgang Skatval - avgang Stjørdal (trafikk sørover)
- All togtrafikk avgang Stjørdal- avgang Skatval (trafikk nordover)
- Beregninger er basert på måledata fra 1. mai til 31. oktober 2011



Figur 5-1 kontrolldiagram 1, alle tog med minutter avvik i forhold til ruteplan

Vurdering av Figur 5-1:

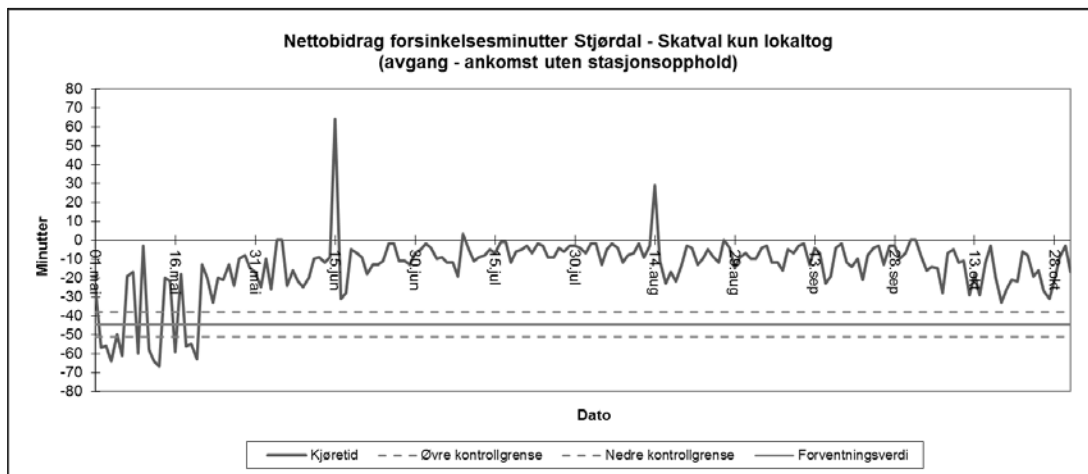
All togtrafikk inkludert stasjonsoppholdet på Skatval er med på nordgående trafikk fordi det savnes muligheter for å hente måledata på ankomst for godstog og fjerntrafikk NSB på Skatval. Det samme gjelder for sørgående gods og langdistanse persontog trafikk på Stjørdal. Resultatet er at måledataene blir "forurenset" av følgeforsinkelser på grunn av stasjonsopphold og togfremføringsprosessen fremstår som ustabil. Syklisiteten i representasjonen av kjøretiden er spesielt ødeleggende for ønsket bruk av diagrammet. Beregninger for øvre og nedre kontrollgrenser, range og forventningsverdi for Figur 5-1 finnes i vedlegg 10.6. Vi ser videre i Figur 5-1 at kjøretiden som er illustrert ligger langt utenfor øvre kontrollgrense etter 31. mai. Kontrollskjemaet virker ikke etter hensikten, og for å komme videre må datagrunnlaget for konstruksjon av Figur 5-1 gjennomgås.

Antall forsinkelsesminutter i forhold til ruteplan per døgn, kun lokaltog

Inklusjonskriterier:

- Lokaltog på strekningen Skatval - Stjørdal
- Beregninger er basert på måledata fra 1. mai til 31. oktober 2011

Ved å bruke kun lokaltogene på strekningen som måleindikator var det mulig å fjerne stasjonsoppholdene (strekningen mellom signal A2 og signal B1 i Figur 2-4). Kontrollskjemaet i Figur 5-2 er konstruert på samme måte som kontrollskjemaet i Figur 5-1.



Figur 5-2 kontrolldiagram 2, kun lokaltog minutter avvik i forhold til ruteplan

Vurdering av Figur 5-2

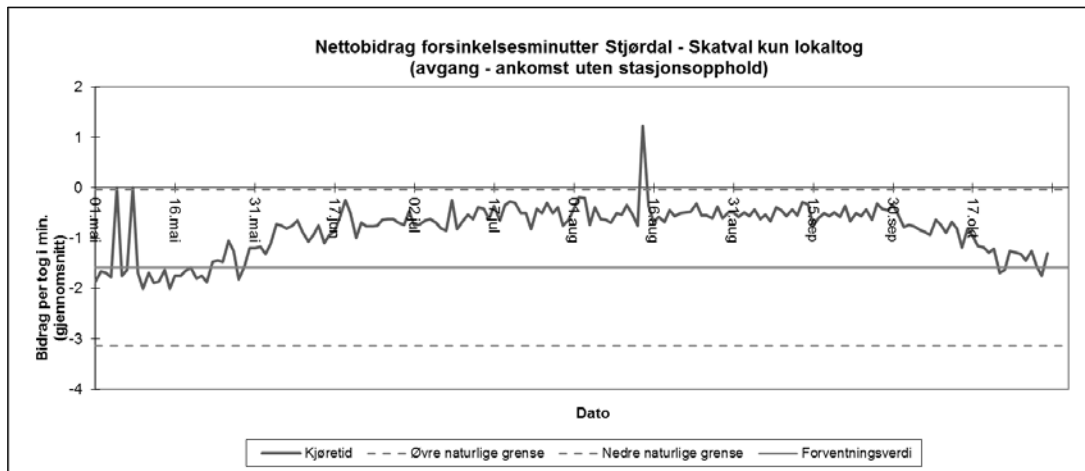
Figur 5.2 viser en mer stabil prosess enn den i Figur 5.1, men fremdeles er det betydelig variasjon. Spesielt er det sykliske "topper" og "bunner". Dette er et resultat av at grafen ikke er korrigert for antall tog som kjøres på de forskjellige ukedagene. Ved at det kjøres færre tog i helgene og på bevegelige helligdager bør grafen justeres for denne endringen i produksjonsvolum.

Beregninger for øvre og nedre kontrollgrenser, range og forventningsverdi for Figur 5-2 finnes i vedlegg 10.7.

Gjennomsnittlig antall forsinkelsesminutter per tog per døgn, kun lokaltog,

Inklusjonskriterier:

- Lokaltog på strekningen Skatval – Stjørdal
- Beregninger er basert på måledata fra 1. mai til 31. oktober 2011



Figur 5-3 kontrolldiagram 3, kun lokaltog minutter avvik i forhold til ruteplan, gjennomsnitt

Vurdering av Figur 5-3:

I Figur 5-3 ser vi at de fleste målingene for kjøretid ligger under øvre kontrollgrense. Dette gjør at kontrolldiagrammet begynner å gi signal ved større avvik (se utslag 15. august). Vi ser videre i Figur 5-3 at vi forventer at hvert enkelt lokaltog skal klare å kjøre inn litt mindre enn 2 minutter på strekningen mellom Stjørdal og Skatval i forhold til planlagt kjøretid. Vi ser også at vi får signal 5. mai og 8. mai, selv om at lokaltogene gjennomsnittlig var på plan disse dagene. Dette er positivt for kontrolldiagrammet, fordi det i praksis ikke vil oppleves som noe avvik så lenge togproduksjonen følger planen, mens det i realiteten er noe som har skjedd slik at muligheten til å kjøre inn tid, som vanligvis er på denne strekningen, blir brukt opp disse dagene. Dette bør undersøkes, men slik som oppfølging foregår i dag vil ikke forholdet avdekkes.

Vi ser også at vi har en jevn utvikling fra 10. mai til 18. juni der lokaltogene sakte, men sikkert taper tid i forhold til ruteplanen. Fra 18. juni til 30. september er kjøretiden til togtrafikken på strekningen stabil, mens etter 30. september er det en utvikling mot at togene gjennomsnittlig kjører inn mer og mer tid i forhold til planlagt tid i ruteplanen.

Mellom Stjørdal og Skatval var det i perioden etablert en saktekjøring på grunn av ustabil spor. Utviklingen av saktekjøringen 1. mai til 31. oktober er oppsummert i Tabell 5-1.

Endring fra uke nr.	Fra km.	Til km.	Hastighet nedsatt til	Estimert tidstap (mm:ss)
18 (2. mai)	35,300	35,340	60 km/h	00:45
22 (30. mai)	35,300	35,640	30 km/h	01:46
28 (11. juli)	35,300	35,810	30 km/h	02:01
40 (3. oktober)	33,990	35,810	30 km/h	02:53
42 (17. oktober)	33,990	34,860	40 km/h	02:05

Tabell 5-1 Saktekjøringer mellom Stjørdal og Skatval

Det ser ut til at togene begynner å kjøre inn mere tid i forhold til ruteplanen fra 30. september (Figur 5-3). Det kan ikke stemme når saktekjøringen med nedsatt hastighet til 30 km/h blir utvidet med 1110 meter fra 3. oktober. Kontrolldiagrammet er fremdeles ikke godt nok, og det er behov for å utvikle det videre.

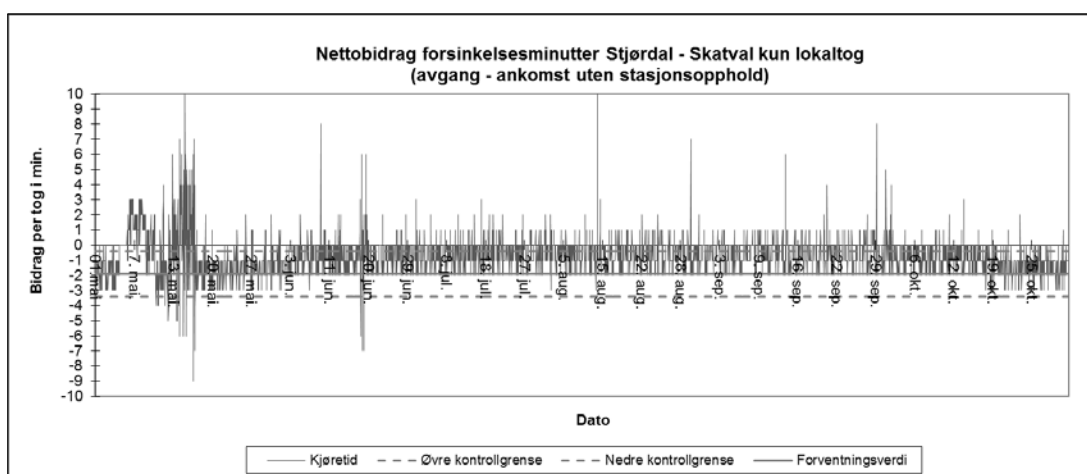
Kontrollskjemaet i Figur 5-3 er konstruert på samme måte som kontrollskjemaet i Figur 5-1. Beregninger for øvre og nedre kontrollgrense, range og forventningsverdi for Figur 5-3 finnes i vedlegg 10.8.

Antall forsinkelsesminutter, tog for tog, kun lokaltog.

Inklusjonskriterier:

- Lokaltog på strekningen Skatval – Stjørdal
- Beregninger er basert på måledata fra 1. mai til 31. oktober 2011

Et alternativ til å bruke gjennomsnittet over døgnet for hvert enkelt tog, vil være å bruke de faktiske målingene for hvert enkelt tog. Ved å gjøre bruke de faktiske målingene for hvert enkelt tog risikerer vi ikke at signal på enkelt tog blir kamuflert av gjennomsnittsberegningen.



Figur 5-4 kontrolldiagram 4, kun lokaltog minutter avvik i forhold til ruteplan, enkelt tog

Vurdering av Figur 5-4:

Vi ser her at vi får langt flere signal og ved bruk av hvert enkelt tog sine målinger. Det antas at kontrolldiagrammet vil bli mer egnet til oppfølgingen av punktligheten underveis ved å bruke de enkelte tog sine registreringer. Hvis vi studerer Figur 5-4 ser vi at det var et skifte i prosessen 3. juni. I følge reglene for bruk av kontrolldiagram (Montgomery, 2009) skal da forventningsverdi og kontrollgrenser beregnes på nytt fordi det er endringer i prosessen.

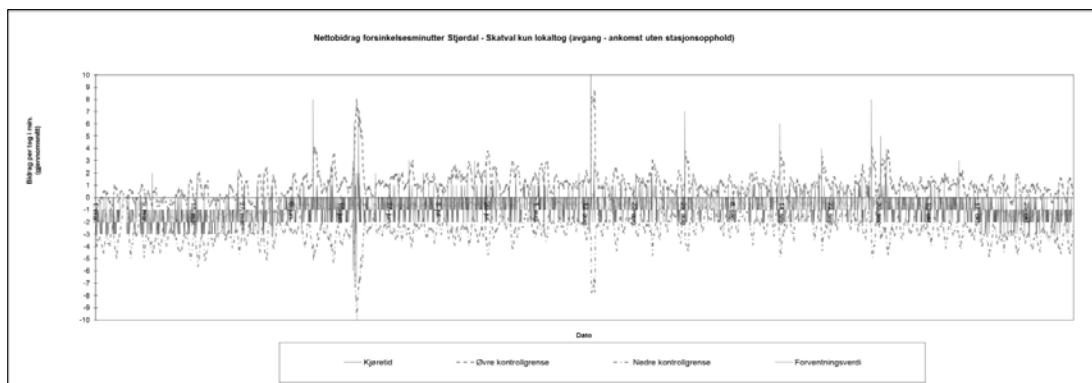
Kontrolldiagrammet i Figur 5-4 er konstruert på samme måte som kontrolldiagrammet i Figur 5-1. Beregninger for øvre og nedre kontrollgrenser, range og forventningsverdi for Figur 5-4 finnes i vedlegg 10.9.

Hvor lenge er forventningsverdi og kontrollgrenser gyldige?

Inklusjonskriterier:

- Lokaltog på strekningen Skatval – Stjørdal
- Beregninger er basert på måledata fra 1. mai til 31. oktober 2011

En utfordring er hvor lenge er kontrollgrensene og forventningsverdien gyldige? Dette kan løses ved å la størrelsen på forventningsverdien og kontrollgrensene for en vilkårlig måling basere seg på de foregående 20 målingene for å måle prestasjonen til tog nummer 21. Ved å beregne forventningsverdi og kontrollgrenser løpende vil det ikke være behov for å vurdere om det har skjedd en endring av prosessen som genererer behov for nye beregninger av kontrollgrenser og forventningsverdi.



Figur 5-5 kontrolldiagram 5, lokaltog med “glidende” forventningsverdi, begge retninger.

Vurdering av Figur 5-5:

En løpende beregning av forventningsverdi, kontroll- og varselgrenser vil det lette implementeringen og vedlikeholdet av kontrolldiagrammet. Oppdateringen av kontrolldiagrammet kan automatiseres ved at datafangsten blir systematisert og presentert i Jernbaneverkets dataverktøy TIOS. Beregningene av forventningsverdi og kontrollgrenser gjøres etter de samme formlene som beskrevet i kapittel 3.3. Vi ser i vedlegg 10.10 at forventningsverdi og kontrollgrenser endres over tid. Dette resulterer i at vi i Figur 5-5 får færre signaler enn i Figur 5-4. Det er grunn til å anta at antallet signaler i Figur 5-4 er for mange og at disse utslagene er type II feil.

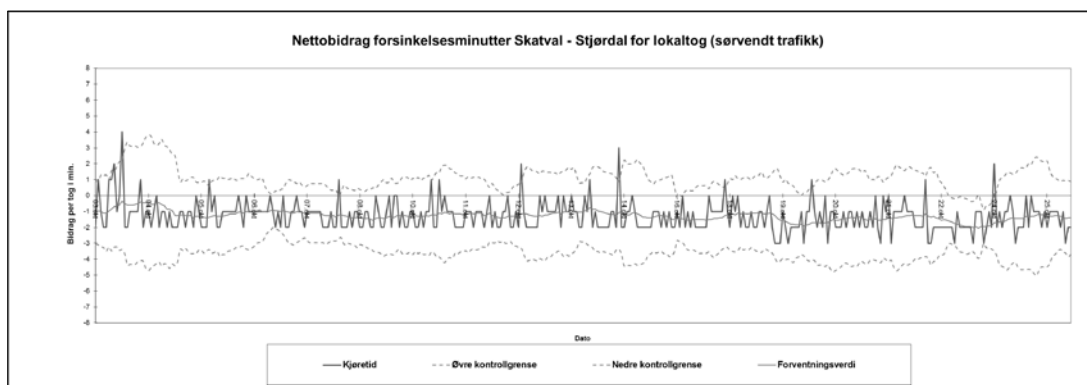
Et eksempel på beregninger for øvre og nedre kontrollgrenser, range og forventningsverdi for Figur 5-5 finnes i vedlegg 10.10. Her er kun beregninger for 1. og 2. mai med som et eksempel da det er 4991 målinger og 29946 beregninger som er gjort for hele perioden.

Kontrolldiagram delt opp i kjøreretning

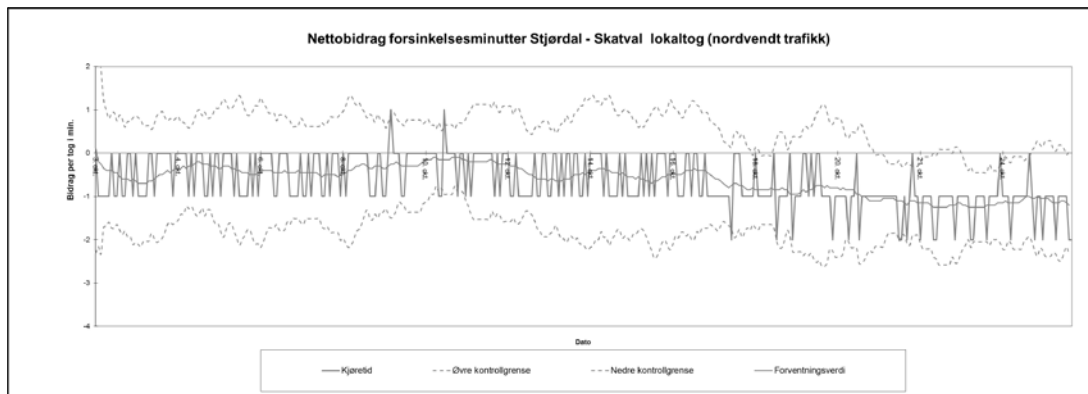
Inklusjonskriterier:

- Lokaltog på strekningen Skatval – Stjørdal
- Beregninger er basert på måledata fra oktober måned i 2011

En ytterligere utfordring er at en hastighetsbegrensning som er opprettet på en strekning mellom to stasjoner kan påvirke kjøretiden til togene ulikt. Hvis det for eksempel er høydeforskjell på strekningen mellom stasjonene vil hastighetsbegrensningen påvirke trafikken som får hastighetsbegrensningen i fall ulikt i forhold til trafikken som får hastighetsbegrensningen i stigning (avhengig av hvilken retning toget fremføres på strekningen). Dette resulterer i at de forskjellige kjøreretningene må betraktes som egne prosesser. I tillegg er det forskjeller i akselerasjonsegenskaper og retardasjons egenskaper til de forskjellige topproduktene. Likeledes vil det være forskjell mellom de forskjellige togselskapene i og med at de kan kjøre lignende produkt (eksempelvis godstog) med forskjellige materielltyper. Konsekvensen av disse forholdene er at det må etableres kontrolldiagram for hvert enkelt togselskap (NSB, CargoNet og CargoLink), som igjen deles opp i hvert enkelt togprodukt (for eksempel NSB regiontog og NSB lokaltog), og videre må det etableres et kontrollskjema for hver retning som overvåkes. Et ytterligere argument for at kontrolldiagrammene må deles inn i kjøreretning er at det i ruteplanen kan være forskjell på planlagt tid mellom to stasjoner avhengig av retningen togene kjører. Det er videre lite hensiktsmessig å presentere kontrolldiagrammet med et så langt tidsintervall som syv måneder (se Figur 5-5). For å bedre lesbarheten til kontrolldiagrammet vil et kortere tidsintervall bli presentert og samtidig vil det etableres et kontrolldiagram for hver retning. For perioden 1. mai til 31. oktober var det endringer i omfanget av saktekjøringen på strekningen i mai, juli og oktober. For den videre tilpassing av kontrolldiagrammet vil data fra oktober måned 2011 benyttes. Forventningsverdien og kontrollgrensene er gyldige fra 1. oktober fordi det er kun “zoomet” inn på en del av måleserien der beregningene av forventningsverdi og kontrollgrenser ble startet 1. mai.



Figur 5-6 kontrolldiagram 6, lokaltog med “glidende” forventningsverdi, sørover okt.



Figur 5-7 kontrolldiagram 7, lokaltog med "glidende" forventningsverdi, nordover okt.

Vurdering av Figur 5-6 og 5-7:

Lesbarheten til kontrolldiagrammet blir bedre ved å presentere et kortere tidsintervall (se Figur 5-6 og Figur 5-7). Variasjonen til kontrollgrensene og forventningsverdien blir også mindre når vi deler opp kontrolldiagrammet i hver kjøreretning, men i og med at datagrunnlaget presenteres med hele minutter er det fremdeles stor variasjon på verdiene til målingene og prosessen fremstår fremdeles med stor variasjon (rundt 4 minutter mellom øvre og nedre kontrollgrense for en kjøretid på seks minutter). Hvis vi sammenligner prosessgrenser og forventningsverdi for de siste togene som kjører i hver sin retning den 5. oktober, bør verdiene for disse være ulike (se vedlegg 10.11 og 10.12).

Tog 454 den 5. oktober 2011 (se vedlegg 10.11), som kjører fra Skatval mot Stjørdal har en forventet kjøretid på -1,05 minutt i forhold til ruteplan (7 min.). Avstanden mellom øvre kontrollgrense og nedre kontrollgrense er på 4,26 minutter.

Tog 457 den 5. oktober 2011 (se vedlegg 10.12), som kjører fra Stjørdal mot Skatval har en forventningsverdi på -0,40 minutt i forventet kjøretid i forhold til ruteplan (6 min.). Avstanden mellom øvre kontrollgrense og nedre kontrollgrense er på 3,46 minutter.

Hvis en sammenligner tog for tog i de forskjellige datagrunnlagene i vedlegg 10.11 og 10.12, ser vi at det er forskjell på verdiene i forhold til kjøreretning. Ut i fra disse funnene vil det være fornuftig å betrakte hver kjøreretning som egne prosesser.

Et eksempel på beregninger for øvre og nedre kontrollgrenser, range og forventningsverdi for Figur 5-6 og Figur 5-7 finnes i vedlegg 10.11 og 10.12. Her er kun beregninger for 3. til og med 5. oktober med som et eksempel.

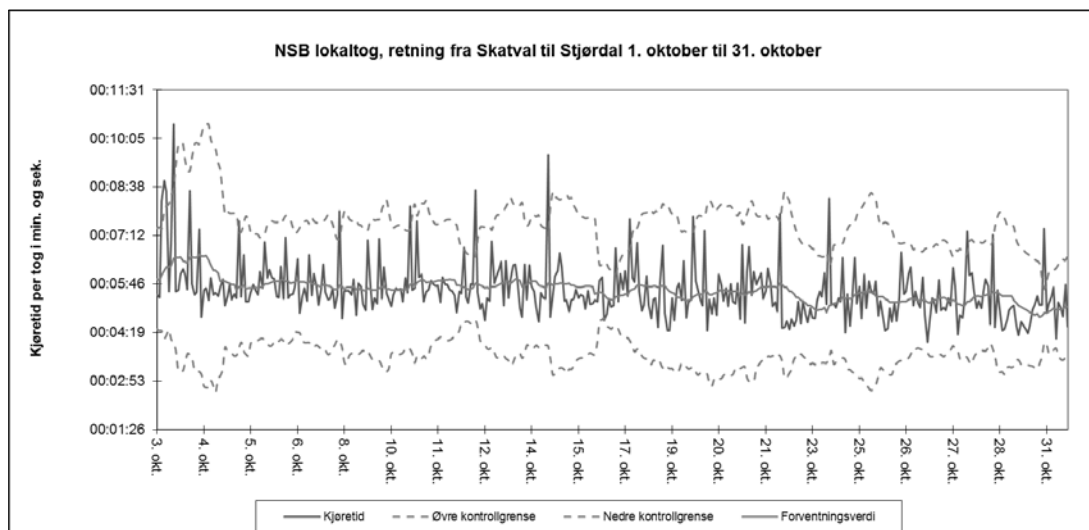
Kontrolldiagram basert på klokkeslettregistreringer

Inklusjonskriterier:

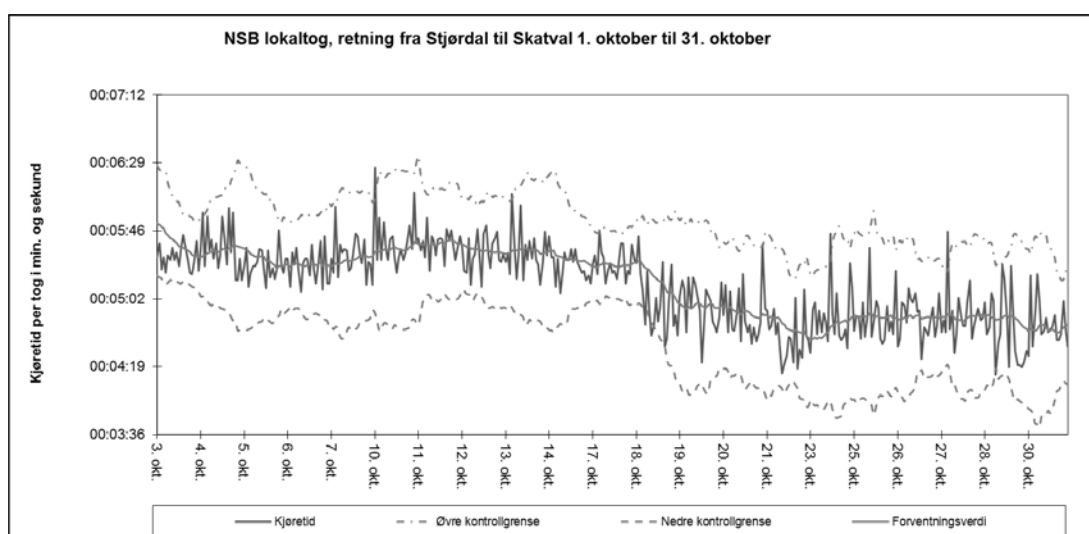
- Lokaltog på strekningen Skatval – Stjørdal
- Beregninger er basert på måledata fra oktober måned i 2011

Dataene som samles inn er målinger som viser avvik i minutter i forhold til ruteplan noe som gjør at det presenterte måleresultatet pendler mellom hele minutter (se for eksempel Figur 5-7). Resultatet blir at kjøringen av tog fremstår som veldig ustabil. En løsning for å redusere variasjonen kan være å benytte rådataene til punktlighetsmålingene. Rådataene er klokkeslettet som registreres når toget ankommer den målte strekningen og når toget forlater den målte strekningen. Disse dataene finnes i TIOS databasen. I TIOS blir de registrerte klokkeslettene sammenlignet med de planlagte

klokkeslettene i ruteplanen for toget, og det er dette avviket (i minutter) som ligger til grunn for kontrollskjemaene så langt. En utfordring knyttet til denne måten å bruke data på er at man ser bort i fra sekundene. Ved at målingene blir presentert i hele minutter forventes det at kjøringen av tog blir fremstilt som en prosess med større variasjon enn det som faktisk er tilfelle. Det er videre ingen garantier for at ruteplanen er riktig konstruert. Ved å bruke klokkeslettene som er registrert for passering av målepunktene som datagrunnlag, kan man frigjøre seg fra problemstillingen rundt hvorvidt ruteplanen er korrekt konstruert.



Figur 5-8 kontrolldiagram 8, klokkeslett registreringer enkelt-tog, sørover fra 1. til 31. okt.



Figur 5-9 kontrolldiagram 9, klokkeslett registreringer enkelt tog, nordover fra 1. til 31. okt.

Vurdering av Figur 5-8 og 5-9:

Den planlagte kjøretiden i ruteplanen for kjøring mellom Skatval og Stjørdal for NSB lokaltog er 07:00 (mm:ss). Kjøretiden fra Stjørdal til Skatval er beregnet til å ta 06:00. Hvis vi sammenligner Figur 5-8 med Figur 5-9 ser vi at forventningsverdien i Figur 5-8 pendler rundt 05:46 (mm:ss). I Figur 5-9 ligger forventningsverdien på tilsvarende frem til den 18. oktober. Etter 18. oktober er det en signifikant bedring av kjøretiden for togene som kjører fra Stjørdal til Skatval (Figur 5-9). Hvis vi ser i Tabell 5-1 ser vi at saktekjøringen på strekningen ble redusert i omfang den 17. oktober. I Figur 5-8 får vi ikke noe entydig utslag, men det kan skyldes at det er faste kryssinger på Stjørdal stasjon.

Hvis vi sammenligner Figur 5-8 og Figur 5-9 med Figur 5-6 og Figur 5-7 ser vi at vi får en tidsverdi for forventet kjøretid som er positiv, samt at avstanden mellom øvre og nedre kontrollgrense er vesentlig redusert. Kjøringen av tog fremstår som mer stabil prosess ved å måle medgått tid ved hjelp av klokkeslettregistreringene i TIOS.

Et eksempel på beregninger for øvre og nedre kontrollgrenser, range og forventningsverdi for Figur 5-8 og Figur 5-9 finnes i vedlegg 10.13 og 10.14. Her er kun beregninger for 3. til og med 5. oktober med som et eksempel.

Etter vurdering av samtlige kontrolldiagrammer vist i Kapittel 5.1 er konklusjonen at måling og rapportering av variasjon i kjøretid bør filtrere og skille på:

- Togselskap
- Togprodukt
- Skille på kjøreretning
- Sekundoppløsning i tidsregistreringer
- Plotte hvert enkelt tog
- Beregne gjennomsnitt og kontrollgrenser løpende (f.eks. basert på de 20 siste togene)

Ved å gjøre disse filtreringene vil målingene av medgått kjøretid være stabile nok til at endringer i trafikken vil gi identifiserbare endringer i variasjon av kjøretid. Dette gir grunnlag for å styrke beslutningsgrunnlaget for prioritering av vedlikehold på jernbaneinfrastruktur.

5.2. Statistisk prosesskontroll for overvåkning av medgått kjøretid

Forskningsspørsmål b) i denne studien var “Er statistisk prosesskontroll (SPK) et egnet verktøy for overvåkning av medgått kjøretid?” Mer spesifikt er dette et spørsmål om man med SPK klarer å fange opp endringer i medgått kjøretid som skyldes endringer i infrastrukturen. Spørsmålet handler således både om hvordan kontrolldiagrammene bør konstrueres for å detektere faktiske endringer effektivt og om prosessen er stabil nok til at reelle endringer raskt kan fanges opp. I dette delkapittelet gjennomgås først valg av kontrolldiagram for målt kjøretid. Deretter testes sensitivitet av diagrammet ved å prøve ut om diagrammet kan påvise endringer i medgått kjøretid som følge av faktiske endringer i infrastrukturen. Til slutt undersøkes det hvor små endringer i prosessen som kan fanges opp ved å simuleres mindre endringer i kjøretid.

Valg av kontrolldiagram for medgått kjøretid

Figur 3-6 viser en guide for utvelgelse av egnet verktøy fra SPK. Valg av type diagram baseres på karakteristika ved måledataene. Første spørsmål er om dataene er utsatt for autokorrelasjon. Når det enkelte toget begynner å kjøre på en blokkstrekning er det ingen andre tog på denne og faktorer som øvrig trafikk tetthet vil ikke påvirke kjøretid. Det antas derfor at det ikke vil være autokorrelasjon for medgått kjøretid for et og et tog på en isolert blokkstrekning. Neste spørsmål er om dataene er variabler eller attributter. Måledata om kjøretid betegnes som en variabel. Det påfølgende spørsmål som må avklares gjelder antall målinger i hvert datapunkt. For medgått kjøretid måles et og et tog ($n=1$). Siste spørsmål angår størrelsen på variasjon i prosessen.

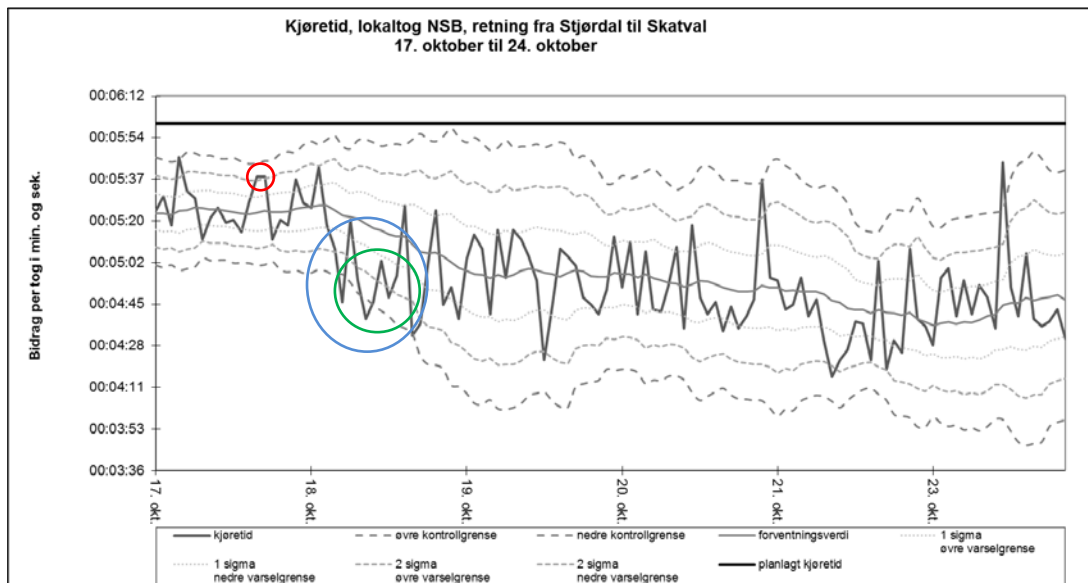
Endringer i medgått kjøretid kan være betydelig. Eksempelvis kan glatte skinner, store snøfall og lange saktekjøringer gi stor endring i kjøretid. I følge

Figur 3-6 vil derfor XmR kontrolldiagram være best egnet til å følge opp medgått kjøretid. For tolkning av XmR diagram er det i oppgaven brukt regel 1 til 8 i Tabell 3-3. Ved en eventuell implementering av SPK i Jernbaneverket må valg av tolkningsregler tilpasses jernbanedrift.

XmR-diagram for deteksjon av endringer i medgått kjøretid

Inklusjonskriterier:

- Lokaltog på strekningen Skatval – Stjørdal
- Kjøreretning fra Skatval mot Stjørdal
- Beregninger er basert på måledata for perioden 17. til 23. oktober 2011



Figur 5-10 kontrolldiagram 10, forslag til kontrolldiagram med varselgrenser

Tolkningsreglene i Tabell 3-3 vil bli benyttet for å tolke kontrolldiagram i Figur 5-10. I den valgte uken er det dokumentert to "signal" på at prosessen har bedret seg ved tolkning av kontrolldiagrammet (se vedlegg 10.16).

Samtlige "signaler" i diagrammet er oppsummert i Tabell 5-2. Effekten av reduksjonen av saktekjøringen 17. oktober ble fanget opp ved bruk av kontrolldiagrammet. Videre har forventet kjøretid gått fra 05:46 (mm:ss) til 04:47 i perioden (se vedlegg 10.15).

Strekning (fra – til)	Periode (fra dato til dato)	Togprodukt	Regel nummer:	Antall signal
Stjørdal – Skatval	2011.10.17 2011.10.24	Lokaltog i Trøndelag	1	6
Stjørdal – Skatval	2011.10.17 2011.10.24	Lokaltog i Trøndelag	2 (rød sirkel)	1
Stjørdal – Skatval	2011.10.17 2011.10.24	Lokaltog i Trøndelag	3 (grønn sirkel)	1
Stjørdal – Skatval	2011.10.17 2011.10.24	Lokaltog i Trøndelag	4 (blå sirkel)	1

Tabell 5-2 tolkning av Figur 5-10 oppsummert

Datagrunnlaget til Figur 5-10 finnes i vedlegg 10.15.

Oppsummert viser eksempelet over at kontrolldiagrammet er egnet til å fange opp effekten av fjerning en saktekjøring på en blokkstrekning.

Konsekvensmatrise

Endring i forventet kjøretid kan skyldes flere forhold (se Figur 3-4). Når det gjelder hastighetsnedsettelse kan man anta at endringer i forventet kjøretid på en strekning fra en uke til den neste uken kan tilskrives den oppståtte saktekjøringen. For å synliggjøre konsekvensene av saktekjøringen og dermed få et sammenlignbart grunnlag for prioritering må vi vekte endringen i forventningsverdi i forhold til hvor mange tog i hvert enkelt togprodukt som trafikkerer strekningen (se Tabell 5-3). Man teller hvor mange tog som kjører over strekningen fra hvert togprodukt i en uke. Antall tog per uke i hvert enkelt togprodukt multipliseres med endringen i forventningsverdi for gjeldende togprodukt, og vi får endringen i forventet kjøretid mellom Stjørdal og Skatval for hvert togprodukt og kjøreretning for en uke.

Togprodukt	μ før endring i hastighet (t:mm:ss)	μ etter endring i hastighet (t:mm:ss)	$\Delta \mu$ (t:mm:ss)	Antall tog per uke	$\Delta \mu$ per uke (t:mm:ss)
Lokaltog sørover	0:05:23	0:04:47	0:00:36	98	0:58:48

Tabell 5-3 konsekvensmatrise

Resultatene fra konsekvensmatrisen kan multipliseres med utarbeidede enhetskostnader for forsinkelser. Enhetskostnadene er utarbeidet i PUSAM prosjektet av Transportøkonomisk institutt (Halse & Killi, 2012). Med denne måten å betrakte effekten av saktekjøringer kan man også estimere den potensielle samfunnsnyttan ved fjerning av årsakene til saktekjøringene. En forenklet kost/ nytte vurdering kan gjennomføres på denne måten. Fram til nå er samfunnsnyttan estimert kun for større vedlikeholdsoppgaver ved bruk av PriFO (se kapittel 2.1) i Jernbaneverket. Ved å kombinere konsekvensmatrisen med de utarbeidede enhetskostnadene for forsinkelser vil modellen kunne nysansere punktlighetsleddet i kostnadsfunksjonen PriFO.

Konsekvensmatrisen vil videre kunne bidra som en ny prestasjonsindikator som indikerer hvor godt de tekniske anleggene presterer ut i fra påvirkningen tilstanden til de enkelte anleggene har på underveispunktligheten. Konsekvensmatrisen vil da kunne bidra til å balansere mål for produksjon og mål for vedlikehold (Muchiri P et al., 2011). Hvis konsekvensmatrisen i tillegg kombineres med rutiner for tilstandsbasert vedlikehold, vil løsningen ligne den matematiske modellen til Panagiotidou og Tagaras som kombinerer sannsynligheten for svikt i tekniske anlegg med overvåking av prestasjonsevnen til de tekniske anleggene ved hjelp av SPK (Panagiotidou S & Tagaras G, 2010).

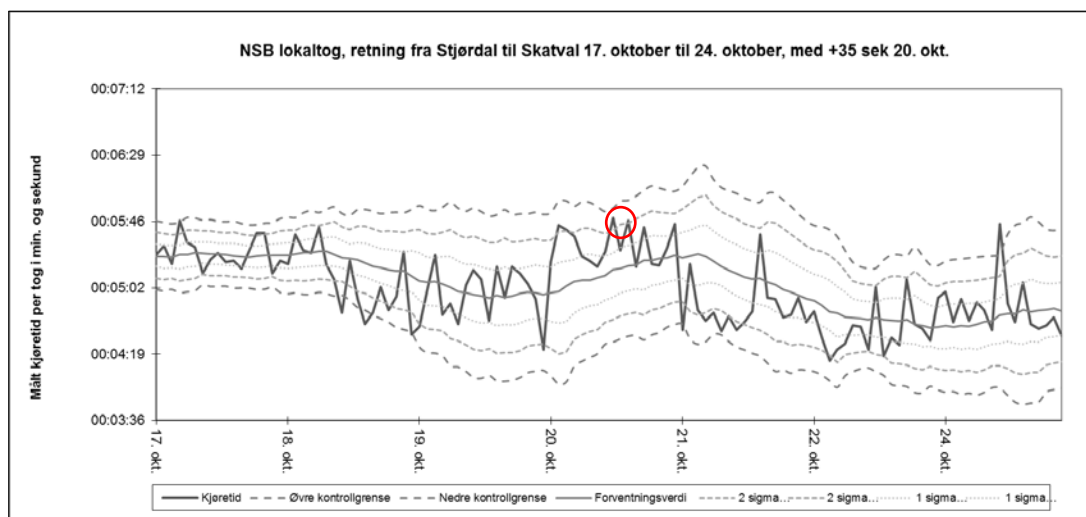
Sensitivitetsanalyse

Inklusjonskriterier:

- Lokaltog på strekningen Skatval – Stjørdal
- Kjøreretning fra Skatval mot Stjørdal
- Beregninger er basert på måledata for perioden 17. til 23. oktober 2011

For å vise sensitiviteten i kontrolldiagrammet ble måledataene for 20. oktober i Figur 5-10 manipulert. Den minste tiden som ble brukt mellom Stjørdal og Skatval 20. oktober var 04:41 (mm:ss) og det toget som brukte lengst tid brukte 05:13. Forventningsverdien varierte mellom 04:56 og 04:59.

Når det legges til 35 sekunder til kjøretiden 20. oktober, for å simulere en forverring av prosessen for kjøring av tog, får vi utslag på togene 423 og 425 (Tabell 5-4) etter tolkningsregel nummer 2 ved tolkning av kontrolldiagram i Figur 5-11 (markert med rød sirkel).



Figur 5-11 Sensitivitetsanalyse + 35 sek. 20. oktober

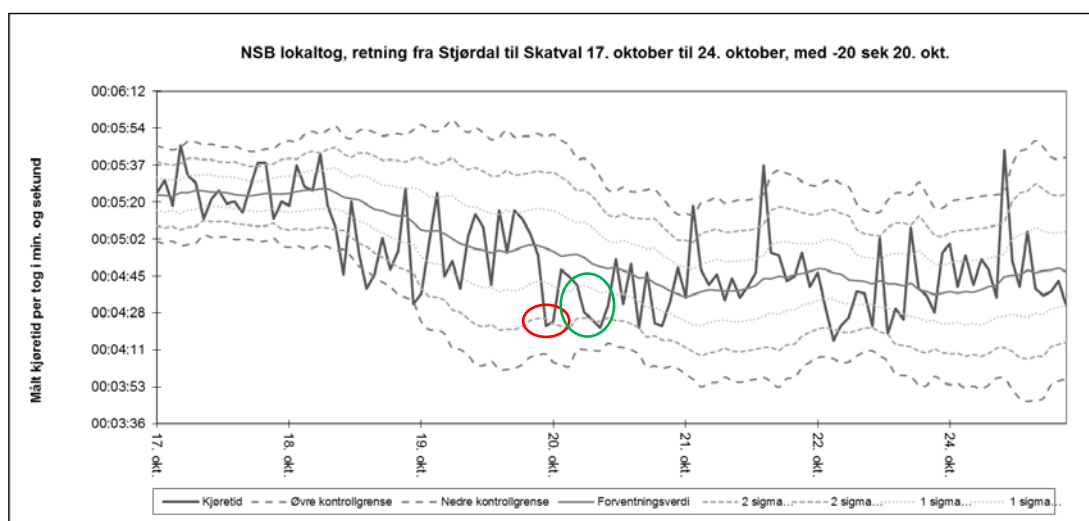
Utslaget på tolkningsregel 2, to av tre påfølgende målinger er utenfor 2σ varselgrenser men innenfor 3σ kontrollgrenser, er oppsummert i Tabell 5-4.

Tog nummer	Øvre 2σ varselgrense	Øvre 3σ kontrollgrense	Målt kjøretid + 35 sek.
423	05:39	05:59	05:43
425	05:39	05:59	05:40

Tabell 5-4 Sensitivitetsanalyse +35 sek. signal etter tolkningsregel 2

Ut i fra utslaget etter tolkningsregel 2 er det dokumentert en forverring av kjøretiden.

Det er også ønskelig å undersøke hvor store utslag som må til i måleserien for at vi skal kunne avdekke en bedring av kjøretiden mellom Stjørdal og Skatval (se Figur 5-12).



Figur 5-12 Sensitivitetsanalyse - 20 sek. 20. oktober

Om vi trekker fra 20 sekunder fra de faktiske tidsmålingene for 20. oktober blir det utslag på tog 431 og tog 433 (Tabell 5-5) etter tolkningsregel 2 (markert med rød sirkel i Figur 5-12).

Tog nummer	Nedre 2σ varselgrense	Nedre 3σ kontrollgrense	Målt kjøretid - 20 sek.
431	04:25	04:11	04:25
433	04:24	04:10	04:21

Tabell 5-5 Sensitivitetsanalyse – 20 sek. signal etter tolkningsregel 2

Det ble også utslag på måleserien i sensitivitetsanalysen etter tolkningsregel nummer 3 (Tabell 5-6), fire av fem påfølgende målinger er utenfor 1σ varselgrense (markert med grønn sirkel i Figur 5-12).

Tog nummer	Nedre 1σ varselgrense	Målt kjøretid - 20 sek.
429	04:41	04:28
431	04:39	04:25
433	04:37	04:21
435	04:38	04:31

Tabell 5-6 Sensitivitetsanalyse -20 sek. signal etter tolkningsregel 3

Ut i fra utslaget etter tolkningsregel 2 og 3 (Tabell 3-3) er det dokumentert en bedring av kjøretiden.

Som vi ser av sensitivitetsanalysen er det en relativt liten endring i målt kjøretid som skal til for at vi raskt skal klare å dokumentere endring i kjøretid.

Ved bruk av XmR diagram på jernbanedrift som demonstrert over, er SPK et egnet verktøy for å overvåke medgått kjøretid. Diagrammet i kombinasjon med tolkningsreglene fanget opp relativt små endringer i kjøretid som skyldes endringer i infrastrukturen. Ved hjelp av konsekvensmatrisen kan man også oppsummere effekten av endringen i kjøretid.

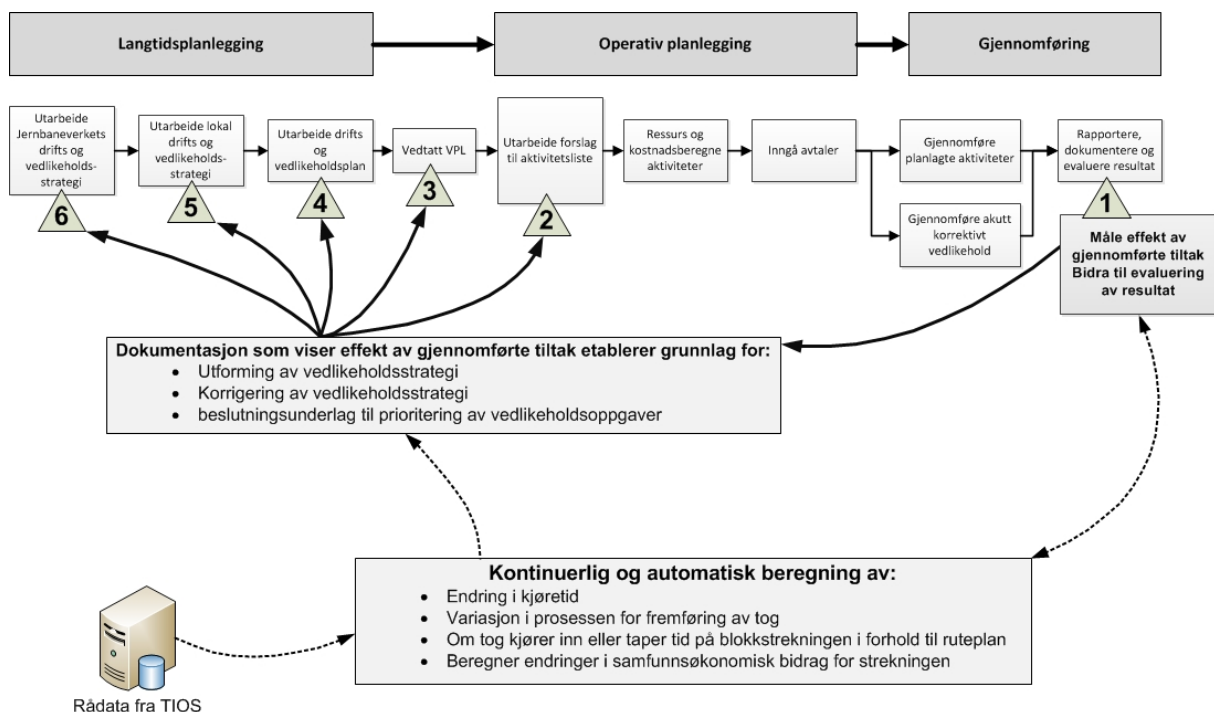
Forhold som må ivaretas ved en implementering av kontrolldiagrammet.

Om kontrolldiagrammet skal implementeres er det flere forhold som bør ivaretas. Kontrolldiagrammet er ikke testet på stasjoner og stasjonsopphold. Ved overvåking av stasjonsopphold antas det at det vil kunne forekomme korrelasjon mellom forskjellige togprodukt og kjøreretning på grunn av kryssinger mellom tog som kjøres i hver sin kjøreretning. Dette gjelder på strekninger med enkeltsporet drift. Ved bruk av kontrolldiagrammet på dobbeltspor vil ikke denne korrelasjonen inntreffe, men køkjøring vil da kunne resultere i korrelasjon. Sensitiviteten til tolkningen av kontrolldiagrammet bør også justeres slik at linjeledere ikke blir "druknet" i signaler. I ruteplanen bør også planlagt tid for kjøring mellom stasjonene og tid til opphold på stasjonene separeres.

5.3. Ny modell for konsekvensstyring i prioritering av vedlikehold

Forskningsspørsmål c) i denne studien var "Hvordan kan SPK bidra til å avdekke forbedringsområder i Jernbaneverkets infrastruktur slik at en bedring av punktligheten oppnås?" Dette spørsmålet dreier seg om hvordan kontrolldiagrammet kan settes i en større sammenheng og danne grunnlag for en modell for konsekvensstyring i prioritering av vedlikehold på infrastruktur.

Kapittel 2.1 beskriver Jernbaneverkets modell for vedlikeholdsstyring. En viktig aktivitet i dagens modell for vedlikeholdsstyring er vurderinger som skal gjøres av ledere i Trafikkdivisjonen i forhold til prioriteringen av vedlikeholdet. Med dagens regime for punktlighetsrapportering er ikke lederne i Trafikkdivisjonen satt i stand til å kunne bidra med nyanserte tilbakemeldinger til linjeledere i Banedivisjonen som utarbeider forslag til prioritering av vedlikeholdsaktiviteter. Kontrolldiagrammer som det vist i Figur 5-10 samt konsekvensmatrisen (Tabell 5-3) vil kunne bidra til å realisere Trafikkdivisjonens rolle i vedlikeholdsstyringen. Figur 5-13 viser en mulig fremtidig modell for hvordan SPK og konsekvensmatrisen kan brukes for prioritering av vedlikehold.



Figur 5-13 Modell for prioritering av vedlikeholdsaktiviteter i vedlikeholdsprosessen til Jernbaneverket

Den øverste delen Figur 5-13 viser Jernbaneverkets vedlikeholdsprosess. Bidraget fra studien er illustrert med seks trekantede bokser samt boksene under disse:

- *Bidrag fra studien ved trekant 1:*

Konsekvensene for togtrafikken av gjennomførte vedlikeholdsaktiviteter måles samt kontinuerlig og automatisk overvåking av endringer i kjøretid i den nye modellen. I tillegg måles og beregnes effektene av endringene. Dette vil si at effekten av vedlikehold kan i tillegg til dagens vurderingskriterier vurderes opp i mot påvirkningen på jernbanedriften ved å overvåke endringer i medgått kjøretid

- *Bidrag fra studien ved trekant 2:*
Den nye modellen etablerer supplerende beslutningsunderlag til delprosessen “utarbeidelse av aktivitetslister” i den daglige driften. Ved at endringer i medgått kjøretid detekteres og effektene av endringene beregnes vil styringen av det daglige vedlikeholdet også baseres på infrastrukturens påvirkning på kjøretid som et tillegg til dagens regime for prioritering av vedlikeholdet.
- *Bidrag fra studien ved trekant 3-6:*
Den nye modellen etablerer supplerende beslutningsunderlag til delprosessen “Virksomhetsplanlegging i Jernbaneverkets Banedivisjon” “utarbeide 10-års drifts og vedlikeholdsplan”, “Utarbeide lokal drifts og vedlikeholdsstrategi” og “Utarbeide Jernbaneverkets drifts og vedlikeholdsstrategi”. Etter å ha brukt den nye modellen over tid vil erfaringer om hvordan de ulike tekniske anleggene påvirker medgått kjøretid etableres. Disse erfaringene vil være et nyttig tillegg til dagens beslutningsunderlag for å utarbeide årlige virksomhetsplaner.

Som vist i modellen i Figur 5-13 kan SPK brukes for å detektere endringer i kjøretid og beskrive variasjon i prosessen for fremføring av tog. Sammen med statistikk for om tog kjører inn eller taper tid på den enkelte blokkstrekning i forhold til ruteplan samt beregninger av samfunnsøkonomisk konsekvens av endringer i kjøretid, vil SPK kunne tydeliggjøre forbedringspotensialer i infrastrukturen. Modellen i 5-13 vil således kunne styrke kunnskapsgrunnlaget for prioritering av vedlikehold i infrastrukturen.

Ved å aggregere de beregnede forventningsverdiene for hver enkelt blokkstrekning og stasjon vil modellen for prioritering av vedlikehold ha sammenheng med de strategiske målene til Jernbaneverket hvilket er viktig for prestasjonsmålingssystemer (Kutucuoglu K Y et al., 2001). Hvis det utarbeides en ruteplan som egner seg til oppfølging av underveispunktlighet vil modellen også kunne oversette de strategiske målene for punktighet til de enkelte nivået i hierarkiet ved at de faktiske kjøretidene blir sammenlignet med de planlagte kjøretidene. Bruk av modellen vil videre muliggjøre en mer nyansert prioritering av vedlikeholdet. Hvis konsekvensmatrisen integreres i de etablerte prosessene for vedlikeholdsstyring (se Figur 2-1) vil Jernbaneverket kunne videreutvikle prestasjonsmålesystemet sitt slik at både subjektive og objektive målinger blir integrert. I de tilfeller hvor årsak til funksjonssvikt i tekniske anlegg ikke er kjent, kan man initiere et PIMS prosjekt. På denne måten vil ansatte i Jernbaneverket bli involvert i arbeidet med å bedre underveispunktligheten. I og med at konstruksjonen av kontrolldiagram i modellen baserer seg på medgått tid til kjøring over blokkstrekninger og stasjoner vil også helheten og tverrfunksjonaliteten som er en nøkkelegenskap til prestasjonsbasert målesystem bli ivaretatt (Kutucuoglu K Y et al., 2001).

Om modellen for prioritering av vedlikehold blir implementert i Jernbaneverkets prestasjonsmålesystem vil den kunne bidra til videreutviklingen av Jernbaneverkets strategi for vedlikehold. Når erfaringene er opparbeidet over noe tid vil spørsmålene som er listet opp i Tabell 3-2 kunne besvares og danne grunnlaget for korrigerende og utvikling av strategien for vedlikehold. Utviklingen av strategien vil da basere seg på målte verdier fra hvordan vedlikeholdet påvirker underveispunktligheten. Ved bruk av modellen vil Jernbaneverket få en mer nyansert balansering av korrektivt og forebyggende vedlikehold i tråd med Wilson sine anbefalinger (se Figur 3-1).

Den utviklede modellen for konsekvensstyring i prioriteringen av vedlikehold vil kunne bidra til at ledere fra Trafikkdivisjonen i Jernbaneverket kan komme med anbefalinger som er adekvate for prioriteringen av vedlikeholdsaktiviteter. Modellen muliggjør også at linjeledere som har ansvar for prioritering av vedlikehold på infrastrukturen får et mer nyansert beslutningsunderlag enn det beslutningsunderlaget som er tilgjengelig i dag.

6. Utprøving av modell for prioritering av vedlikehold i en case

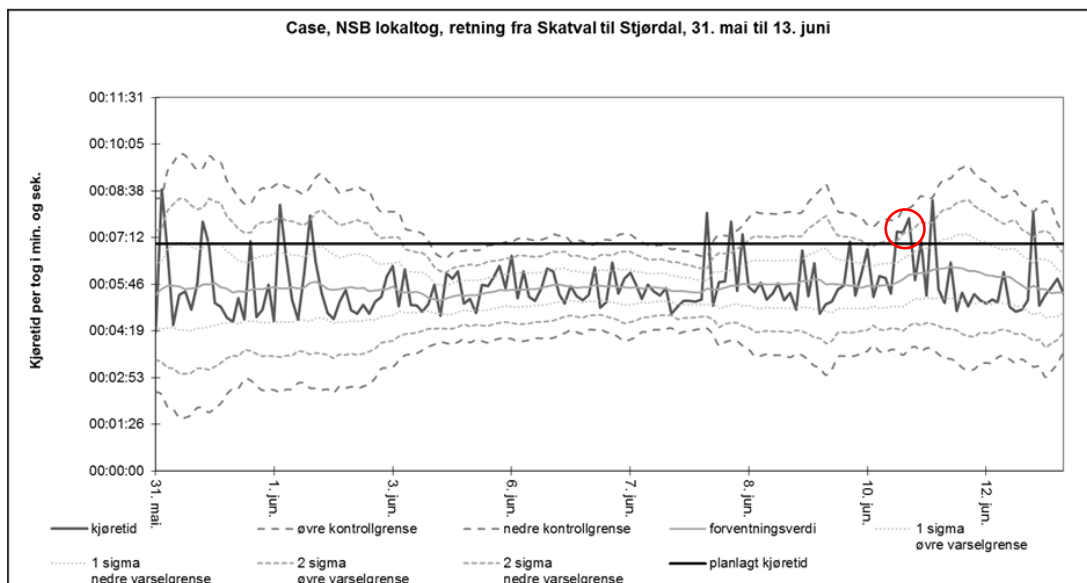
I Kapittel 5 presenteres en mulig fremtidig modell for konsekvensstyring av prioritering av vedlikehold av infrastruktur i Jernbaneverket. Modellen spenner fra strategisk 10-årsplanlegging til operativ gjennomføring av vedlikehold i det daglige. Kapittel 6 oppsummerer en simulert utprøving av modellen på historiske data for en saktekjøring mellom Stjørdal og Skatval.

Utprøvingen ble basert på data fra perioden 31. mai til 13. juni 2011. Strekningen var trafikkert av tre togprodukt: godstog CargoNet, regiontog NSB og lokaltog NSB. Ved å følge modellen beskrevet i kapittel 5 måtte det etableres seks kontrolldiagram: To diagram for NSB lokaltog, to for NSB langdistansetog og to diagram for CargoNet sine godstog. Utprøvingen av modellen fokuserte på om bruk av kontrolldiagrammet kombinert med tolkningsreglene viste konsekvensene av saktekjøringen på strekingen. Saktekjøringen ble utvidet, både i strekning og ved reduksjon av hastighet, fra og med 30. mai. En slik (relativ liten) endring i infrastrukturen har til nå vært utfordrende å dokumentere effekten av. Hvis kontrolldiagrammet skal kunne nyttes må kontrolldiagrammet kunne dokumentere effekten av saktekjøringen.

6.1. NSB lokaltog

Vurdering av Figur 6-1 case NSB lokaltog sørover

Vi ser i Figur 6-1 at det i perioden mellom 31. mai til og med 13. juni var det 16 lokaltog av 154 som brukte lengre tid mellom Skatval og Stjørdal enn den kjøretiden det var planlagt med. Kjøretiden i ruteplanen er beregnet til 07:00 (mm:ss). Forventningsverdien for kjøretiden i starten av perioden var på 05:25 (mm:ss), og i slutten av perioden var forventningsverdien steget til 05:40. Den høyeste forventningsverdien i den målte perioden var på 06:18. Det estimerte tidstapet for strekningen på grunn av hastighetsbegrensningen var på 01:46 i denne perioden. Vi ser også at forventningsverdien på kjøretiden aldri kommer i nærheten av planlagt kjøretid, og med bakgrunn i dette kan man konkludere med at den planlagte kjøretiden er romslig og det er god gjenstillingsevne for lokaltogene mellom Skatval og Stjørdal.



Figur 6-1 case NSB lokaltog sørover

Den lengste tiden et lokaltog brukte mellom Skatval og Stjørdal i den målte perioden var 08:41, og den korteste tiden var på 04:18. Det kan være flere forklaringer til hvorfor kjøretiden varierer slik. De direkte årsakene som kan ligge til grunn er oppsummert i Figur 3-4. En av årsakene (se Figur 3-3) som kan forklare denne variasjonen i kjøretid er at det på Stjørdal stasjon er faste kryssinger mellom nordgående og sørgående lokaltog og de faste kryssingene kan påvirke kjøretiden. Er toget forsinket på vei mot kryssingsstasjonen vil lokomotivføreren prøve å ta inn tid og kjøre toget aktivt, men om toget ligger før ruten vil naturlig nok lokomotivføreren kjøre mindre aktivt.

Ved bruk av tolkningsreglene (se Tabell 3-3) på Figur 6-1 får vi fem signal (se vedlegg 10.17). Tre signal etter tolkningsregel 1 og utslag i følge tolkningsregel 2 og 6.

Strekning (fra – til)	Periode (fra dato til dato)	Togprodukt	Regel nummer:	Antall signal
Skatval-Stjørdal	2011.05.31 2011.06.13	NSB lokaltog i Trøndelag	1	3
Skatval-Stjørdal	2011.05.31 2011.06.13	NSB lokaltog i Trøndelag	2 (rød sirkel)	1

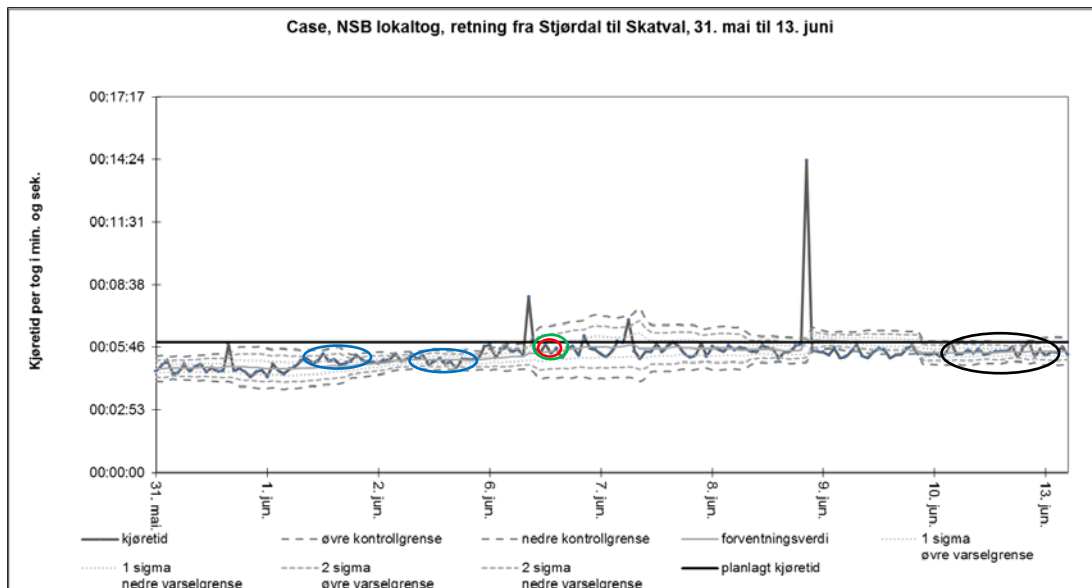
Tabell 6-1 tolkning av Figur 6-1 oppsummert

Ut i fra utslagene på tolkningsregel 2 og 6 (se vedlegg 10.17) kan man konkludere med at kjøretiden mellom Skatval og Stjørdal har økt. Reduksjonen av prestasjonsevnen dokumenteres med endringen i forventningsverdi. Det forventes at NSB lokaltog i Trøndelag bruker 15 sekunder mer på strekningen fra Skatval til Stjørdal etter at hastighetsbegrensningen ble innført. Dette er 00:46 (mm:ss) mindre enn økningen i det estimerte tidstapet.

Tolkning av Figur 6-2 case NSB lokaltog nordover

Vi ser i Figur 6-2 at det i perioden mellom 31. mai til og med 13. juni var det 6 lokaltog av 165 som brukte lengre tid mellom Stjørdal og Skatval enn den kjøretiden det var planlagt med. Kjøretiden i ruteplanen er beregnet til 06:00 (mm:ss). Den lengste tiden et lokaltog brukte mellom Stjørdal og Skatval i den målte perioden var 14:20 og den korteste tiden var på 04:25. Forventningsverdien for kjøretiden i starten av perioden var på 04:47 og i slutten av perioden var forventningsverdien steget til 05:35. Den høyeste forventningsverdien i den målte perioden var på 06:06. Det estimerte tidstapet for strekningen på grunn av hastighetsbegrensningen var på 01:46 i denne perioden.

Vi ser videre at forventningsverdien på kjøretiden kommer i nærheten av planlagt kjøretid (05:45 i slutten av perioden), og med bakgrunn i dette kan man trekke slutningen at den planlagte kjøretiden er god, men at gjenstillingsevnen for lokaltogene som kjører mellom Stjørdal og Skatval er dårligere enn for lokaltogene som kjører motsatt vei.



Figur 6-2 case NSB lokaltog nordover

I kontrolldiagrammet ser vi en topp på grafen for målt kjøretid den 9. juni. I TIOS er det ved årsaksregistreringer gitt opplysninger om at det var feil på en sporveksel på Hommelvik stasjon (noen stasjoner sør for den målte strekningen). Toget måtte stå og vente på tillatelse til å få kjøre inn på Skatval stasjon på grunn av følgeforsinkelser forårsaket av denne feilen. Utslaget denne feilen på sporvekselen på Hommelvik gir i kontrolldiagrammet er en typisk type II feil. Denne målingen gjør videre at forventningsverdi, kontroll og varselgrenser øker i verdi. Først når det er foretatt målinger for de neste 20 togene er forventningsverdien, kontrollgrensene og varselgrensene normalisert igjen.

Vi ser i kontrolldiagrammet at grensene er normalisert allerede den 10. juni. Ved bruk av tolkningsreglene på kontrolldiagrammet (Figur 6-2) får vi ti signal (se vedlegg 10.18). Fem signal etter tolkningsregel 1, to signal i følge tolkningsregel 2, to signal ifølge tolkningsregel 4 og et utslag etter tolkningsregel 8.

Strekning (fra – til)	Periode (fra dato til dato)	Togprodukt	Regel nummer:	Antall signal
Stjørdal - Skatval	2011.05.31 2011.06.13	NSB lokaltog i Trøndelag	1	5
Stjørdal - Skatval	2011.05.31 2011.06.13	NSB lokaltog i Trøndelag	2 (rød sirkel)	1
Stjørdal - Skatval	2011.05.31 2011.06.13	NSB lokaltog i Trøndelag	3 (grønn sirkel)	1
Stjørdal - Skatval	2011.05.31 2011.06.13	NSB lokaltog i Trøndelag	4 (blå sirkler)	2
Stjørdal - Skatval	2011.05.31 2011.06.13	NSB lokaltog i Trøndelag	8 (svart sirkel)	1

Tabell 6-2 Tolkning av Figur 6-2 oppsummert

Feilen på sporvekselen på Hommelvik stasjon skjedde 9. juni. Utslagen på reglene 2, 3 og 4 påvirkes ikke av måleresultatet for tog 437 den 9. juni, fordi disse utslagene kom før feilen på sporvekselen

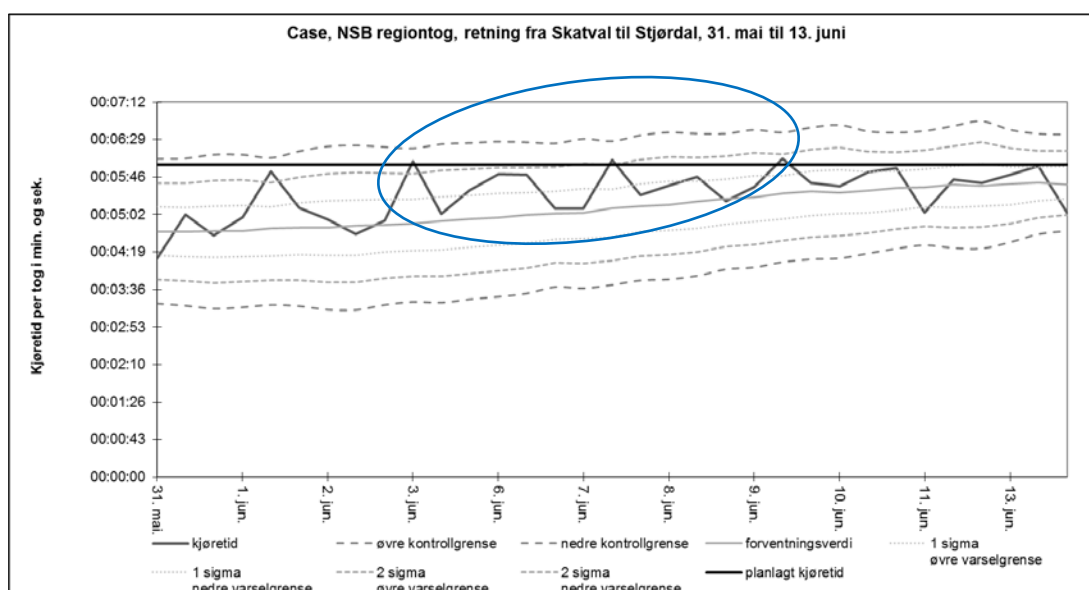
skjedde. Den tilsynelatende bedringen av prosessen etter 9. juni som utslaget etter regel 8 (se vedlegg 10.18) gir er feilaktig (type II feil).

Ut i fra utslagene på tolkningsregel 2, 3 og 4 (se vedlegg 10.18) kan det konkluderes med kjøringen av lokaltog fra Stjørdal til Skatval har økt kjøretiden. Reduksjonen av prestasjonsevnen til strekningen dokumenteres med endringen i forventningsverdi. Det forventes at NSB lokaltog i Trøndelag bruker 48 sekunder mer på strekningen fra Stjørdal til Skatval etter at saktekjøringen ble innført. Dette er likevel 00:13 (mm:ss) mindre enn økningen i det estimerte merforbruket av tid.

6.2. NSB regiontog

Tolkning av Figur 6-3 case NSB regiontog sørover fra Skatval til Stjørdal

Vi ser i Figur 6-3 at det i perioden mellom 31. mai til og med 13. juni var det 3 regiontog av 33 som brukte lengre tid mellom Skatval og Stjørdal enn den kjøretiden det var planlagt med. Kjøretiden i ruteplanen er beregnet til 06:00 (mm:ss). Den lengste tiden et regiontog brukte mellom Skatval og Stjørdal i den målte perioden var 06:07 og den korteste tiden var på 04:12. Forventningsverdien for kjøretiden i starten av perioden var på 04:42 og i slutten av perioden var forventningsverdien steget til 05:37. Den høyeste forventningsverdien i den målte perioden var på 05:39. Det estimerte tidstapet for strekningen på grunn av saktekjøringen var på 01:46 i denne perioden. Vi ser også at forventningsverdien på kjøretiden kommer i nærheten av planlagt kjøretid (05:37 i slutten av perioden), og med dette som argumentasjon kan det konkluderes med at den planlagte kjøretiden er romslig.



Figur 6-3 case NSB regiontog sørover

Ved bruk av tolkningsreglene på kontrolldiagrammet i Figur 6-3 får vi et signal etter bruk av tolkningsregel 4 (se vedlegg 10.19).

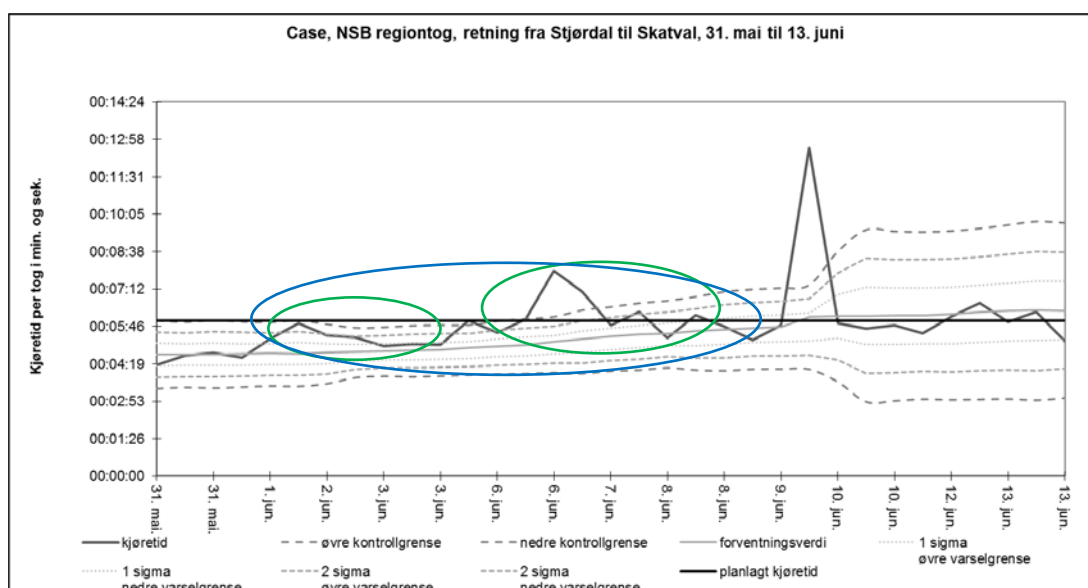
Strekning (fra – til)	Periode (fra dato til dato)	Togprodukt	Regel nummer:	Antall signal
Skatval - Stjørdal	2011.05.31 2011.06.13	NSB regiontog Nordlandsbanen	4 (blå sirkel)	1

Tabell 6-3 tolkning av Figur 6-3 oppsummert

Ut i fra utslaget på tolkningsregel 4 kan vi fastslå at prosessen for kjøring av regiontog fra Skatval til Stjørdal har fått en reduksjon i prestasjonsevnen. Økningen i kjøretid dokumenteres med endringen i forventningsverdi og signalet etter bruk av tolkningsregel 4. Det forventes at NSB regiontog Nordlandsbanen bruker 00:55 (mm:ss) mer på fremføringen mellom Skatval og Stjørdal etter at saktekjøringen ble innført. Dette er likevel 00:06 (mm:ss) mindre enn økningen i det estimerte merforbruket av tid.

Tolkning av Figur 6-4 case NSB regiontog nordover fra Stjørdal til Skatval

Vi ser i Figur 6-4 at det i perioden mellom 31. mai til og med 13. juni var det 9 regiontog av 33 som brukte lengre tid mellom Stjørdal og Skatval enn den kjøretiden det var planlagt med. Kjøretiden i ruteplanen er beregnet til 06:00 (mm:ss). Den lengste tiden et regiontog brukte mellom Stjørdal og Skatval i den målte perioden var 12:38 og den korteste tiden var på 04:16. Forventningsverdien for kjøretiden i starten av perioden var på 04:40 og i slutten av perioden var forventningsverdien steget til 06:22. Den høyeste forventningsverdien i den målte perioden var på 06:23. Det estimerte tidstapet for strekningen på grunn av saktekjøringen var på 01:46 i denne perioden. Vi ser at forventningsverdien for kjøretiden overstiger planlagt kjøretid (06:22 i slutten av perioden), og med bakgrunn i dette kan man konkludere med at den planlagte kjøretiden er mindre romslig enn for de tidligere nevnte togslagene.



Figur 6-4 case NSB regiontog nordover

Også blant disse togene fikk feilen på sporvekselen på Hommelvik stasjon konsekvenser og utløser en type II feil. Ved bruk av tolkningsreglene på kontrollidiagram i Figur 6-4 får vi åtte signal (se vedlegg 10.20). Fire signal etter tolkningsregel 1, et signal ved bruk av tolkningsregel 2, to signal i følge tolkningsregel 3 og et signal ved tolkningsregel 4.

Strekning (fra – til)	Periode (fra dato til dato)	Togprodukt	Regel nummer:	Antall signal
Stjørdal - Skatval	2011.05.31 2011.06.13	NSB regiontog Nordlandsbanen	1	4
Stjørdal - Skatval	2011.05.31 2011.06.13	NSB regiontog Nordlandsbanen	3	2
Stjørdal - Skatval	2011.05.31 2011.06.13	NSB regiontog Nordlandsbanen	4	1

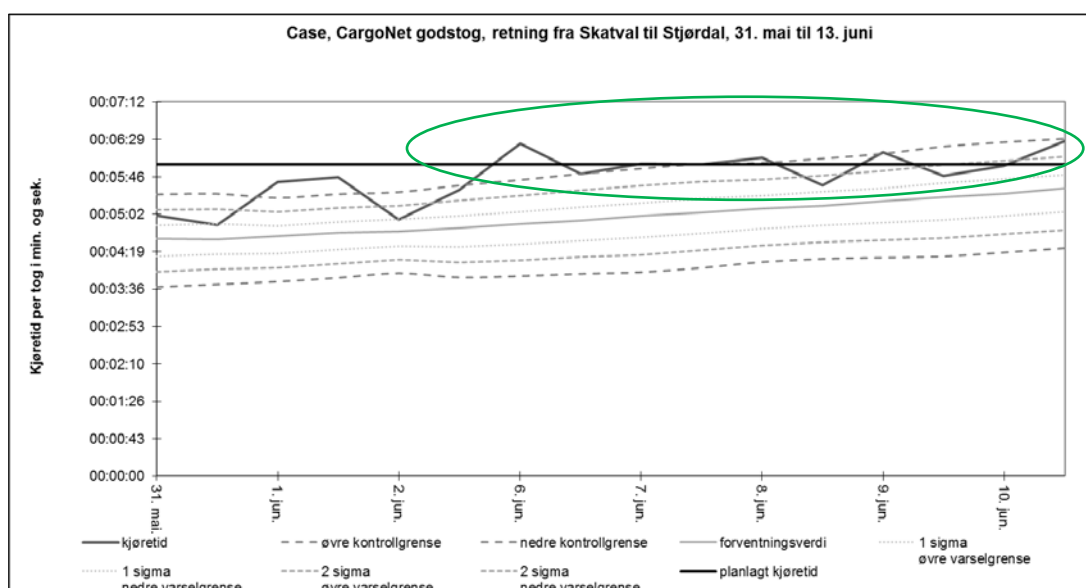
Tabell 6-4 Tolkning av Figur 6-4 oppsummert

Ut i fra utslaget på tolkningsreglene 2, 3 og 4 viser vi at prosessen for fremføring av regiontog fra Stjørdal til Skatval har fått en reduksjon i prestasjonsevnen. Reduksjonen av prestasjonsevnen dokumenteres med endringen i forventningsverdi og signalene etter bruk av tolkningsreglene. Det forventes at NSB regiontog Nordlandsbanen bruker 01:21 (mm:ss) mer på fremføringen mellom Stjørdal og Skatval etter at saktekjøringen ble innført. Dette er 00:20 (mm:ss) mer enn økningen i det estimerte merforbruket av tid som sportilgangsadministrator har beregnet.

6.3. CargoNet godstog

Tolkning av Figur 6-5 case CargoNet godstog sørover fra Skatval til Stjørdal

Vi ser i Figur 6-5 at det i perioden mellom 31. mai til og med 13. juni var det 5 godstog av 16 som brukte lengre tid mellom Skatval og Stjørdal enn den kjøretiden det var planlagt med. Kjøretiden i ruteplanen er beregnet til 06:00 (mm:ss). Den lengste tiden et godstog brukte mellom Skatval og Stjørdal i den målte perioden var 06:27 og den korteste tiden var på 04:50. Forventningsverdien for kjøretiden i starten av perioden var på 04:34 og i slutten av perioden var forventningsverdien steget til 05:32. Den høyeste forventningsverdien i den målte perioden var på 05:32. Det estimerte tidstapet for strekningen på grunn av saktekjøringen var på 01:46 i denne perioden. Vi ser at forventningsverdien for kjøretiden er mindre enn planlagt kjøretid, og med bakgrunn i dette kan det fastslås at den planlagte kjøretiden er romslig for godstogene mellom Skatval og Stjørdal.



Figur 6-5 case CargoNet godstog sørover

Vi ser i Figur 6-5 at svikten på sporvekselen på Hommelvik den 9. juni ikke ga noe utslag på målingene for godstogene fra Skatval til Stjørdal.

Ved bruk av tolkningsreglene på kontrollidiagram i Figur 6-5 får vi åtte signal (se vedlegg 10.21). Seks signal etter tolkningsregel 1, et signal etter tolkningsregel 3 og et signal ved bruk av tolkningsregel 4.

Strekning (fra – til)	Periode (fra dato til dato)	Togprodukt	Regel nummer:	Antall signal
Skatval - Stjørdal	2011.05.31 2011.06.13	CargoNet godstog Nordlandsbanen	1	6
Skatval - Stjørdal	2011.05.31 2011.06.13	CargoNet godstog Nordlandsbanen	3 (grønn sirkel)	1
Skatval - Stjørdal	2011.05.31 2011.06.13	CargoNet godstog Nordlandsbanen	4 (alle målinger)	1

Tabell 6-5 Tolkning av Figur 6-5 oppsummert

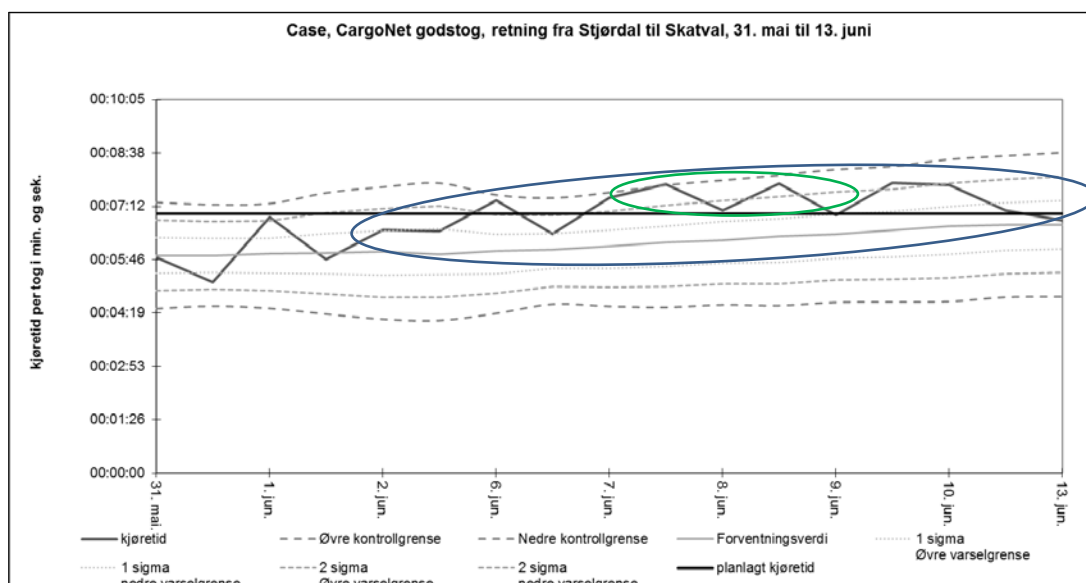
Samtlige målinger for måleserien lå over forventningsverdien i perioden. Dette ga utslag etter tolkningsregel nummer fire.

Ut i fra utslaget på tolkningsreglene 3 og 4 kan det konkluderes med at kjøring av CargoNet godstog fra Skatval til Stjørdal har fått en økning i kjøretiden. Reduksjonen av prestasjonsevnen dokumenteres med endringen i forventningsverdi og signalene etter bruk av tolkningsreglene. Det forventes at togene bruker 00:58 (mm:ss) mer på fremføringen mellom Skatval og Stjørdal etter at saktekjøringen ble innført. Dette er 00:03 (mm:ss) mindre enn økningen i det estimerte merforbruket av tid.

Tolkning av Figur 6-6 case CargoNet godstog nordover fra Stjørdal til Skatval

Vi ser i Figur 6-6 at det i perioden mellom 31. mai til og med 13. juni var det 8 godstog av 17 som brukte lengre tid mellom Stjørdal og Skatval enn den kjøretiden det var planlagt med. Kjøretiden i ruteplanen er beregnet til 07:00 (mm:ss). Den lengste tiden et godstog brukte mellom Stjørdal og Skatval i den målte perioden var 07:50 og den korteste tiden var på 05:09. Forventningsverdien for kjøretiden i starten av perioden var på 05:53 og i slutten av perioden var forventningsverdien steget til 06:42. Den høyeste forventningsverdien i den målte perioden var på 06:42. Det estimerte tidstapet for strekningen på grunn av saktekjøringen var på 01:46 i denne perioden. Vi ser at forventningsverdien for kjøretiden kommer i nærheten av planlagt kjøretid (06:42 i slutten av perioden), og med bakgrunn i dette viser vi at den planlagte kjøretiden er god, men at gjensettingsevnen for godstogene mellom Stjørdal og Skatval er dårligere enn for godstogene som kjører motsatt vei.

I og med at det er en stigning på 65,9 meter fra Stjørdal til Skatval er det kompensert med en lengere planlagt kjøretid (+ 1 minutt), men til tross for tillegget i planlagt kjøretid er gjensettingsevnen dårligere enn for godstogene som kjører sørover (se Figur 6-5 og Figur 6-6).



Figur 6-6 case CargoNet godstog nordover

Ved bruk av tolkningsreglene på kontrolldiagrammet i Figur 6-6 får vi tre signal (se vedlegg 10.22). Et signal etter tolkningsregel 1, et signal etter tolkningsregel 3 og et signal etter tolkningsregel 4.

Strekning (fra – til)	Periode (fra dato til dato)	Togprodukt	Regel nummer:	Antall signal
Stjørdal - Skatval	2011.05.31 2011.06.13	CargoNet godstog Nordlandsbanen	1	1
Stjørdal - Skatval	2011.05.31 2011.06.13	CargoNet godstog Nordlandsbanen	3 (grønn sirkel)	1
Stjørdal - Skatval	2011.05.31 2011.06.13	CargoNet godstog Nordlandsbanen	4 (blå sirkel)	1

Tabell 6-6 Tolkning av Figur 6-6 oppsummert

Ut i fra utslaget på tolkningsreglene 3 og 4 kan det konkluderes med at prosessen for fremføring av godstog fra Stjørdal til Skatval har fått en reduksjon i prestasjonsevnen. Reduksjonen av prestasjonsevnen dokumenteres med endringen i forventningsverdi og signalene etter bruk av tolkningsreglene. Det forventes at CargoNet godstog Nordlandsbanen bruker 00:49 (mm:ss) mer på kjøringen mellom Stjørdal og Skatval etter at saktekjøringen ble utvidet. Dette er likevel 00:12 (mm:ss) mindre enn økningen i det estimerte merforbruket av tid.

6.4. Oppsummering av case

Konsekvensene av saktekjøringen mellom Stjørdal og Skatval for togtrafikken er oppsummert i konsekvensmatrisen (Tabell 6-7).

Togprodukt	μ før endring i hastighet (t:mm:ss)	μ etter endring i hastighet (t:mm:ss)	$\Delta \mu$ (t:mm:ss)	Antall tog per uke	$\Delta \mu$ per uke (t:mm:ss)
Lokaltog sørover	0:05:25	0:05:40	0:00:15	98	0:24:30
Lokaltog nordover	0:04:47	0:05:35	0:00:48	98	1:18:24
Regiontog sørover	0:04:42	0:05:37	0:00:55	18	0:16:30
Regiontog nordover	0:04:40	0:06:22	0:01:42	18	0:30:36
Godstog sørover	0:04:34	0:05:32	0:00:58	10	0:09:40
Godstog noroer	0:05:53	0:06:42	0:00:49	10	0:08:10

Tabell 6-7 Konsekvensmatrise case

Utprøvingen av den nye modellen for vedlikeholdsstyring ble basert på data fra perioden 31. mai til 13. juni 2011. Strekningen var trafikkert av tre togprodukt og det ble etablert seks kontrolldiagram (motsvarer seks linjer i konsekvensmatrisen). I casen dokumenterte kontrolldiagrammet effekten av saktekjøringen (oppsummert i konsekvensmatrisen) som ble utvidet på strekningen ved at målingene av kjøretid ga utslag etter aksepterte tolkningsregler for kontrolldiagram. For casen som er gjennomgått i Kapittel 6 ville SPK i kombinasjon med den reviderte modellen for vedlikeholdsstyring muliggjort en ny konsekvensstyring i prioritering av vedlikehold på infrastruktur som i større grad forholder seg til infrastrukturens påvirkning på punktlighet.

7. Veikart for å oppnå et ønsket punktlighetsnivå for godstransportkjøpere

Kapittel 5 og 6 gjennomgår en mulig fremtidig modell for konsekvensstyring av prioritering av vedlikehold av infrastruktur i Jernbaneverket. Infrastrukturens tilstand er viktig for realisert punktlighetsnivå, og implementering av modellen vil kunne bedre punktlighetsnivået. Samtidig er det mange andre faktorer som også kan skape forsinkelser (se Figur 3-4). For å realisere et ønsket punktlighetsnivå for godstransportkjøpere må en arbeide med alle disse faktorene. Kapittel 7 beskriver et veikart for å oppnå et punktlighetsnivå som tilfredsstillende godstransportørens behov.

Tradisjonelt har man betraktet punktlighet ut i fra hvert enkelt tog (Kvaavik, 2004) eller ruteplan (Goverde & Meng, 2012). Ved at punktlighet i jernbane er sammensatt og kjøretiden blir påvirket av mange forskjellige faktorer, bør man måle prestasjonene til togtrafikk ut i fra et helhetlig systemperspektiv.

Ved å benytte kontrolldiagram på målt kjøretid og den tilhørende konsekvensmatrisen, vil en ikke kun få varsel som omhandler vedlikehold av infrastrukturen. Kontrolldiagrammet og konsekvensmatrisen vil gi varsler ved endring av forbrukt tid mellom to målepunkter uansett hva som forårsaker endringen. Om kontrolldiagrammet og konsekvensmatrisen blir implementert i Jernbaneverket for alle stasjoner og alle blokkstrekninger der det er fjernstyring av togtrafikken, får man mulighet til å kunne se sammenhengen mellom underveispunktligghet og punktlighet til endestasjon. Hvis en benytter kontrolldiagrammet og konsekvensmatrisen til å avdekke forbedringspotensialer vil en også på en bedre og mer nyansert måte kunne vite noe om hvor en må sette fokus for å bedre punktlighetsnivået til endestasjonen for de enkelte togene. For å få til dette må rapporteringen som utføres i dag utvides med resultatene som kontrolldiagrammet og konsekvensmatrisen viser.

Et neste skritt på veien mot et ønsket punktlighetsnivå er å bestemme hvordan kontrolldiagrammer og konsekvensmatriser skal initiere aktiviteter for å bedre punktligheten. Når et kontrolldiagram gir signal om en økning i kjøretid må signalet utløse forbedringsaktiviteter. Aksjonen som et slikt signal utløser vil avhenge av om rotårsaken til signalet er kjent. Er det en kjent årsak kan konsekvenser for kjøringen av tog på grunn av feilen rapporteres til den linjelederen som har ansvaret for å utbedre feilen (se punkt 4 "overlevering" i PIMS² i Figur 7-1). Hvis rotårsaken derimot ikke er kjent og det er tydelig at problemstillingen er sammensatt vil et PIMS prosjekt kunne initieres. For problemstillinger som ligger mellom disse ytterpunktene kan enkeltpersoner i linjen få oppgaven med å kartlegge årsaks-virkningsforhold og skissere mulige løsninger.

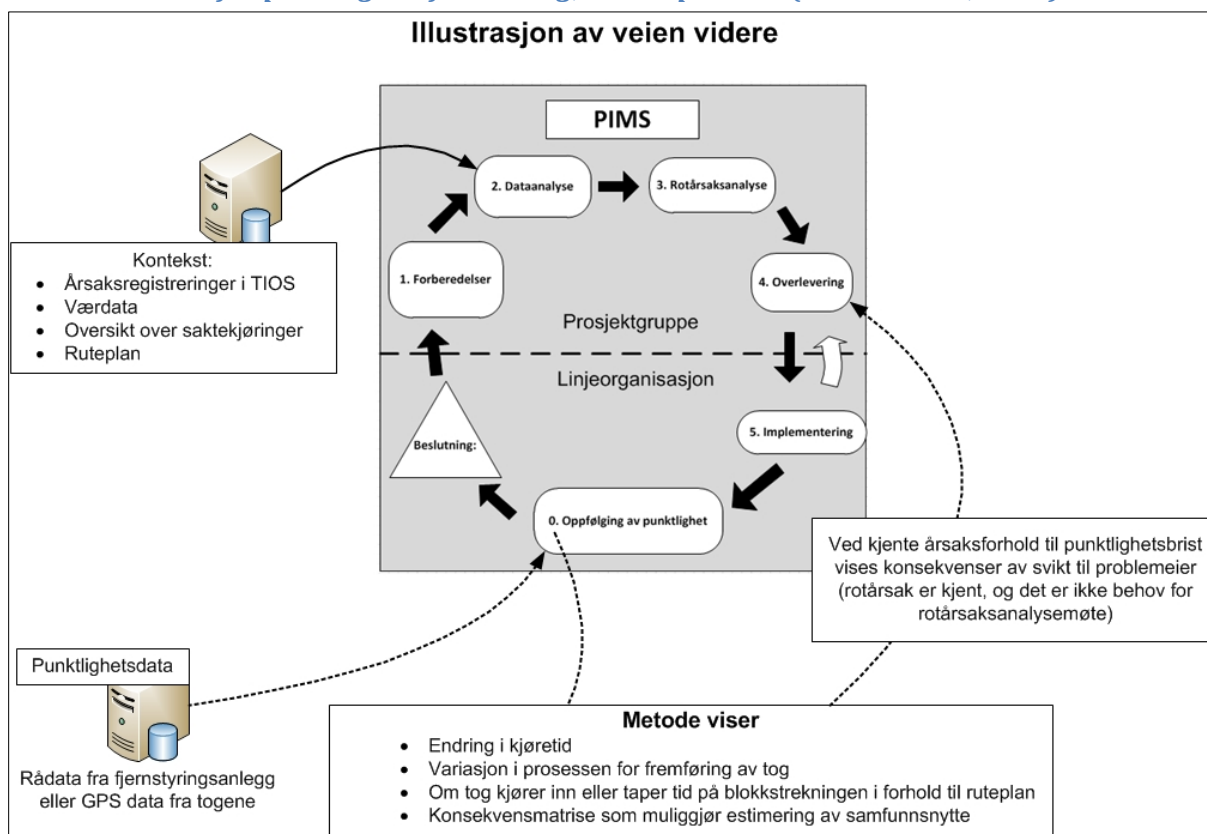
For at SPK og konsekvensmatriser skal kunne utløse forbedringsaktiviteter er det nødvendig å klargjøre ansvaret og myndighetene for de som skal følge opp den daglige punktligheten. Den nye modellen for punktlighetsforbedring i kombinasjon med endrede rutiner for punktlighetsarbeid vil i bruk svare ut trinn 0 - 2 i PIMS metodikken. De endrede rutineene bør inneholde prosedyrer som beskriver når et PIMS prosjekt skal initieres basert på signaler ved bruk av kontrolldiagram (trinn 0 oppfølging av punktlighet i PIMS). Forankringen (trinn 1 i PIMS) kan etableres i rutinen og likeledes hvordan PIMS prosjektet skal organiseres. En hovedaktivitet i trinn 1 i PIMS metodikken er

² Punctuality Improvement Method System (PIMS) (Veiseth et al., 2011)

avgrensning. Frem til nå har denne aktiviteten vært utfordrende, men forventningene til modellen er at avgrensningen blir automatisert. Avgrensningen vil naturlig nok bli til det toget, den stasjonen eller den blokkstrekningen som har generert signalet etter tolkningsreglene. Ved at modellen forhåpentligvis i fremtiden er automatisert, vil deler av dataanalysen være utført gjennom kontrolldiagrammet (se Figur 5-10) og konsekvensmatrisen (se Tabell 5-3). I tillegg til disse automatiske dataanalysene kan for eksempel årsaksregistreringer i TIOS, værdata og ruteplan blant annet etablere kontekst for trinn 3 som er rotårsakanalysen i PIMS prosjektene.

Trinn 3 - 5 i PIMS prosjektet vil utføres som i dag, men i trinn 0 Oppfølging av punktlighet i PIMS vil kontrolldiagram og konsekvensmatrise kunne evaluere effekten av implementerte tiltak. I dag er det utfordrende å redegjøre for effekten av gjennomførte tiltak. Figur 7-1 viser hvordan kontrolldiagram og konsekvensmatrisen kan bidra i Jernbaneverkets modell for punktlighetsforbedring dersom disse implementeres i IT-verktøy.

Revidert modell for punktlighetsforbedring, basert på PIMS (Veiseth et al, 2011):



Figur 7-1 Illustrasjon av veien videre, revidert modell for punktlighetsforbedring

Veien mot et ønsket punktlighetsnivå for godstransport krever en mer stabil og forutsigbar framføringstid for alle tog på den enkelte blokkstrekning og forutsigbare stasjonsopphold. SPK og konsekvensmatrisen kan bidra til en økt innsikt og forståelse for hvor togene taper eller tjener inn tid i forhold til ruteplanen, hvor det er stor og liten variasjon i framføringstid, samt endringer i framføringstid i forhold til hva som er vanlig tidsbruk for togene på den enkelte blokkstrekningen. Ved å bruke slik innsikt systematisk for å fjerne rotårsakene til variasjon og punktlighetssvikt vil man på sikt kunne oppnå et tilfredsstillende punktlighetsnivå. Dette forutsetter at nødvendige ressurser blir tilgjengeliggjort for fjerning av slike rotårsaker.

8. Konklusjon

Hovedmålet i denne oppgaven har vært å utvikle en ny modell for prioritering av vedlikehold som baserer seg på kunnskap om hvordan punktlighet kan måles og følges opp slik at dette gir et faktabasert beslutningsunderlag for prioritering av vedlikehold. Resultatene i studien har demonstrert at kjøretiden mellom to stasjoner var et tilstrekkelig detaljert mål for å gi innsikt i og kontroll på prosessen dersom man samtidig skiller på kjøreretning og togprodukt. Slike tidsdata er allerede tilgjengelige da de samles automatisk gjennom signalanleggene ved alle stasjoner som har fjernstyring.

Studien har også demonstrert at statistisk prosesskontroll og spesielt XmR-diagrammer kan brukes for å detektere selv små endringer i kjøretid mellom etterfølgende stasjoner. Diagrammene bidrar til en økt innsikt i og forståelse for hvor togene taper eller tjener inn tid i forhold til ruteplanen, og i forhold til hva som er vanlig tidsbruk for togene på den enkelte blokkstrekningen. Sensitivitetsanalysen viste at selv endringer på 20-35 sekunder for en strekning med planlagt kjøretid på 6 minutter ble detektert med tolkningsreglene for kontrolldiagrammer. Som supplement til kontrolldiagrammene er det i oppgaven skissert en konsekvensmatrise som viser endring i målt kjøretid. Endringen i målt kjøretid kan videre brukes til å vise endringen i samfunnsøkonomisk nytteverdi, og konsekvensmatrisen kan brukes for å prioritere mellom mulige tiltak.

Oppgaven munner ut i et forslag til fremtidig modell for konsekvensstyring i prioritering av vedlikehold. Modellen tar utgangspunkt i dagens prosess for vedlikeholdsstyring samt tilhørende prosedyrer i Jernbaneverket. Modellen viser også hvordan trafikkdata kan brukes for å måle effekten av gjennomførte vedlikeholdstiltak på togtrafikken samt synliggjøre behov for ytterligere tiltak på både lang og kort sikt.

Den nye modellen ble simulert utprøvd på historiske data for en saktekjøring mellom Stjørdal og Skatval. Kontrolldiagram for kjøretid ga utslag etter tolkningsregler for XmR-diagram. For casen ville SPK i kombinasjon med den reviderte modellen for vedlikeholdsstyring muliggjort en ny konsekvensstyring i prioritering av vedlikehold på infrastruktur som i større grad forholder seg til infrastrukturens påvirkning på punktlighet.

Oppgaven skisserer også en mulig vei mot å realisere et ønsket punktlighetsnivå i godstrafikken. Ved systematisk bruk av en revidert modell for punktlighetsforbedring som skisseres i oppgaven vil et ønsket punktlighetsnivå for godstransport (og persontog) kunne oppnås på sikt.

De viktigste bidragene fra studien har vært å isolere togkjøring som en prosess ved bruk av tidsregistreringer, påvise at statistisk prosesskontroll er egnet til oppfølging av togkjøring som prosess, en revisjon av Jernbaneverkets modell for vedlikeholdsstyring og en videreutvikling av PIMS-metodikken. Videre forskning bør prøve ut generaliserbarheten av modellen generelt og bruken av SPK spesielt for både blokkstrekninger og stasjoner i Norge og internasjonalt. En bør også tilpasse modellen for bruk av GPS-data hvilket kan gi en mer finkornet og fleksibel måling av togtrafikken.

Epilog

Når denne konklusjonen skrives, utvikler forskerne i PUSAM-prosjektet et IT-verktøy som blant annet automatiserer konstruksjon av kontrolldiagrammene. Det er tydelig at slik automatisering er praktisk gjennomførbart og at dette gir nye store muligheter i arbeidet for å realisere et ønsket punktlighetsnivå i togtrafikken.

9. Referanser

- Aftenposten. (2011). Passasjerene vender ryggen til NSB Retrieved 2012.08.08, from <http://www.aftenposten.no/nyheter/iriks/Passasjerene-vender-ryggen-til-NSB-5315921.html>
- Behn Robert D. (2003). Why Measure Performance? Different Purposes Require Different Measures. *Public Administration Review*, 63(5), 20. doi: 10.1111/1540-6210.00322
- Cargo Net AS. (2012). Årsberetning 2011 Retrieved 2012.07.25, from <http://www.cargonet.no/no/Om-oss/Nyheter/Arsrapport-2011/>
- Commission-of-the-European-communities. (2001). European transport policy for 2010: time to decide Retrieved 2012.08.08, from http://ec.europa.eu/transport/strategies/doc/2001_white_paper/lb_com_2001_0370_en.pdf
- Dalland O. (2000). *Metode og oppgaveskriving for studenter*: Gyldendal Norsk Forlag AS, postboks 6730 St. Olavs plass, 0130 Oslo.
- Davis-Sramek B, Mentzer J. T, & Stank T. P. (2008). Creating consumer durable retailer customer loyalty through order fulfillment service operations. *Journal of Operations Management*, 26(6), 16. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jom.2007.07.001>
- Goverde, R. M. P., & Meng, L. (2012). Advanced monitoring and management information of railway operations. *Journal of Rail Transport Planning & Management*, 1(2), 69-79. doi: 10.1016/j.jrtpm.2012.05.001
- GRANSTRÖM R. (2005). *Maintenance for Improved Punctuality - A Study of Condition Monitoring Technology for the Swedish Railway Sector*. Licentiate thesis, Luleå University of Technology, Internet 2012.02.03. Retrieved from <http://epubl.luth.se/1402-1757/2005/88/LTU-LIC-0588-SE.pdf>
- Guler, H. (2012). A Decision Support System for Railway Track Maintenance and Renewal Management. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 0(ja), 162. doi: doi:10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000221
- Gunasekaran A, Patel B, & McGaughey R E. (2004). A framework for supply chain performance measurement. *International Journal of Production Economics*, 87(3), 14. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2003.08.003>
- Halse, A. H., & Killi, M. (2012). Verdsetting av tid og pålitelighet for godstransport på jernbane - Analyse og resultater av en SP-undersøkelse, 2012.08.06, from <https://www.toi.no/getfile.php/Publikasjoner/T%D8I%20rapporter/2012/1189-2012/sam-1189-2012.pdf>
- Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., & Ram, S. (2004). Design science in information systems research. *MIS Q.*, 28(1), 75-105.
- Holmström, J., Ketokivi, M., & Hameri, A.-P. (2009). Bridging Practice and Theory: A Design Science Approach. *Decision Sciences*, 40(1), 65-87. doi: 10.1111/j.1540-5915.2008.00221.x
- Jernbanegruppa. (2011). Hovudutfordringar for norsk jernbane Retrieved 2012.08.08, from http://www.regjeringen.no/Upload/SD/Vedlegg/Jernbane/hoering_jernbanegrupperapport_2011/Rapport_Jernbanegruppa.pdf
- Jernbaneverket. (2012). Årsrapport 2011 Retrieved 2012.08.02, from <http://www.jernbaneverket.no/PageFiles/18952/%c3%85rsrapport%20-%202011%20JBV%201.0.pdf>
- Jernbaneverket, Avinor, Kystverket, & Statens-vegvesen. (2012). Forslag til nasjonal transportplan 2014 - 2023. Internet.
- Johannessen A, Tuft P. A., & L, C. (2010). *Introduksjon til samfunnsvitenskapelig metode* (Vol. 4): Abstrakt forlag, Oslo - Norge.
- Kutucuoglu K Y, Hamali J, Irani Z, & Sharp J M. (2001). A framework for managing maintenance using performance measurement systems. [Research paper]. *International Journal of Operations & Production Management*, 21(1/2), 173-195. doi: 10.1108/01443570110358521
- Kvaavik, B. (2004). *Forbedringsarbeid bruksanvisning*. NSB Drift Norge.

- Montgomery, D. C. (2009). *Introduction to statistical quality control 6th edition*: John Wiley & son, Inc. NJ - USA.
- Muchiri P, Pintelon L, Gelders L, & Martin M. (2011). Development of maintenance function performance measurement framework and indicators. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 7. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.04.039>
- Noortwijk J. M., & Frangopol D. M. (2004). Two probabilistic life-cycle maintenance models for deteriorating civil infrastructures. *Probabilistic Engineering Mechanics*, 19(4), 14. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.probengmech.2004.03.002>
- NSB AS. (2012). Årsrapport 2011 NSB konsernet Retrieved 2012.03.27, from <http://www.nsb.no/getfile.php/www.nsb.no/nsb.no/PDF/%C3%85rsrapporter/NSB%20Konsern%20%C3%A5rsrapport%202011.pdf>
- Office-for-Official-Publications-of-the-European-Communities. (2008). TOWARDS AN INTEGRATED EUROPEAN RAILWAY AREA Retrieved 2012.08.08, from http://ec.europa.eu/transport/publications/doc/modern_rail_en.pdf
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System* (P. Press, Trans.): CRC press.
- Olsson N, Økland A, Veiseth M, & Stokland Ø. (2010). Driftsstabilitet på Jernbaneverkets nett- årsaksanalyser 2005 – 2010, Punktlighets og regularitetsutviklingen, granskning av årsaker: SINTEF Teknologi og samfunn.
- Panagiotidou S, & Tagaras G. (2010). Statistical Process Control and Condition-Based Maintenance: A Meaningful Relationship through Data Sharing. *PRODUCTION AND OPERATIONS MANAGEMENT*, 19(2), 15. doi: 10.1111/j.1937-5956.2009.01073.x
- Rackwitz, R., & Joanni, A. (2009). Risk acceptance and maintenance optimization of aging civil engineering infrastructures. *Structural Safety*, 31(3), 251-259. doi: 10.1016/j.strusafe.2008.07.001
- Seim, A., Andersen, B., & Sandberg, W. S. (2006). Statistical Process Control as a Tool for Monitoring Nonoperative Time. *Anesthesiology*, 105(2), 370-380.
- Stortinget. (2009). Instruks for Jernbaneverket Retrieved 2012.08.08, from <http://www.regjeringen.no/upload/SD/Vedlegg/etatsinstrukser/instruks-jernbaneverket-12062009.pdf>
- van Aken, J. E., & Romme, G. (2009). Reinventing the future: adding design science to the repertoire of organization and management studies. *Organization Management Journal*, 6(1), 5-12. doi: 10.1057/omj.2009.1
- Veiseth M. (2009). *Forbedring av punktlighet i jernbanedrift- utvikling av punktlighetsprosessen*. philosophiae doctor, Norges teknisk- naturvitenskapelige universitet. (2009:113)
- Veiseth, M., Hegglund, P. M., Wien, I., Olsson, N. O. E., & Stokland, Ø. (2011). Development of a punctuality improvement method. [Conceptual paper]. *The TQM Journal*, 23(3), 268 - 283. doi: 10.1108/17542731111124334
- Wilson A. (1999). *Asset maintenance management - A guide to developing strategy and improving performance*: Conference communication UK.
- Yin R. K. (2003). *Case study research- Design and methods*: SAGE publications, CA - USA.
- Økland A, & Ekambaram A. (2010). Beregning av punktlighet og pålitelighet for godstransport på jernbane - PUSAM teorigrunnlag: SINTEF Teknologi og samfunn, Teknologiledelse.

10. Vedlegg

Innholdsfortegnelse, vedlegg

10.1.	Prosjektplan	62
10.2.	Fremdriftsrapportering.....	74
10.3.	Prosessbeskrivelse, planlagte vedlikeholds-aktiviteter	76
10.4.	Prosessbeskrivelse, akutt korrektivt vedlikehold	77
10.5.	Prosessbeskrivelse: rapportere, dokumentere og evaluere gjennomført vedlikehold	78
10.6.	Datagrunnlag og beregninger til figur 5-1 kontrolldiagram 1.....	79
10.7.	Datagrunnlag og beregninger til figur 5-2 kontrolldiagram 2.....	79
10.8.	Datagrunnlag og beregninger Figur 5-3 kontrolldiagram 3	80
10.9.	Datagrunnlag og beregninger til Figur 5-4 kontrolldiagram 4	80
10.10.	Datagrunnlag og beregninger til Figur 5-5 kontrolldiagram 5	81
10.11.	Datagrunnlag og beregninger til Figur 5-6 kontrolldiagram 6	82
10.12.	Datagrunnlag og beregninger til Figur 5-7 kontrolldiagram 7	83
10.13.	Datagrunnlag og beregninger til Figur 5-8 kontrolldiagram 8	84
10.14.	Datagrunnlag og beregninger til Figur 5-9 kontrolldiagram 9	85
10.15.	Datagrunnlag og beregninger til Figur 5-10 kontrolldiagram 10	86
10.16.	Tolkning av Figur 5-10 kontrolldiagram 10	89
10.17.	Tolkning av Figur 6-1 case NSB lokaltog sørover	91
10.18.	Tolkning av Figur 6-2 case NSB lokaltog nordover.....	92
10.19.	Tolkning av Figur 6-3 case NSB regiontog sørover	95
10.20.	Tolkning av Figur 6-4 case NSB regiontog nordover	96
10.21.	Tolkning av Figur 6-5 case CargoNet godstog sørover	98
10.22.	Tolkning av Figur 6-6 case CargoNet godstog nordover	99
10.23.	Punktlighet Dovrebanen 2005 til 2011	101

Tabell liste, vedlegg

Tabell 11-1 Datagrunnlag og beregninger til figur 5-1	79
Tabell 11-2 Datagrunnlag og beregninger til figur 5-2	79
Tabell 11-3 Datagrunnlag og beregninger til figur 5-3	80
Tabell 11-4 Datagrunnlag og beregninger til Figur 5-4	80
Tabell 11-5 Datagrunnlag og beregninger til Figur 5-5, 1. og 2. mai	81
Tabell 11-6 Datagrunnlag og beregninger til Figur 5-6	82
Tabell 11-7 Datagrunnlag og beregninger til Figur 5-7	83
Tabell 11-8 Datagrunnlag og beregninger til Figur 5-8	84
Tabell 11-9 Datagrunnlag og beregninger til Figur 5-9	85
Tabell 11-10 Tolkning av Figur 5-10, kontrolldiagram 10 med regel 1.....	89
Tabell 11-11 Tolkning av Figur 5-10, kontrolldiagram 10 med regel 2.....	89
Tabell 11-12 Tolkning av Figur 5-10, kontrolldiagram 10 med regel 3.....	90
Tabell 11-14 Tolkning av Figur 5-10, kontrolldiagram 10 med regel 4.....	90
Tabell 11-15 Tolkning av Figur 6-1 case NSB lokaltog sørover med regel 1.....	91
Tabell 11-16 Tolkning av Figur 6-1 case NSB lokaltog sørover med regel 2.....	91
Tabell 11-18 tolkning av Figur 6-2 case NSB lokaltog nordover med regel 1.....	92
Tabell 11-19 tolkning av Figur 6-2 case NSB lokaltog nordover med regel 2.....	92
Tabell 11-20 tolkning av Figur 6-2 case NSB lokaltog nordover med regel 3.....	93
Tabell 11-21 tolkning av Figur 6-2 case NSB lokaltog nordover med regel 4.....	93
Tabell 11-22 tolkning av Figur 6-2 case NSB lokaltog nordover med regel 4.....	94
Tabell 11-23 tolkning av Figur 6-2 case NSB lokaltog nordover med regel 8.....	94
Tabell 11-24 Tolkning av Figur 6-3 case NSB regiontog sørover med regel 4.....	95
Tabell 11-25 Tolkning av Figur 6-4 case NSB regiontog nordover med regel 1.....	96
Tabell 11-27 Tolkning av Figur 6-4 case NSB regiontog nordover med regel 3.....	96
Tabell 11-28 Tolkning av Figur 6-4 case NSB regiontog nordover med regel 3.....	97
Tabell 11-29 Tolkning av Figur 6-4 case NSB regiontog nordover med regel 4.....	97
Tabell 11-30 Tolkning av Figur 6-5 case CargoNet godstog sørover med regel 1.....	98
Tabell 11-31 Tolkning av Figur 6-5 case CargoNet godstog sørover med regel 3.....	98
Tabell 11-32 Tolkning av Figur 6-5 case CargoNet godstog sørover med regel 4.....	99
Tabell 11-33 Tolkning Figur 6-6 case CargoNet godstog nordover med regel 1.....	99
Tabell 11-34 Tolkning av Figur 6-6 case CargoNet godstog nordover med regel 3.....	100
Tabell 11-35 Tolkning av Figur 6-6 case CargoNet godstog nordover med regel 4.....	100
Tabell 11-36 Punktlighet godstog Dovrebanen 2005 - 2011.....	101
Tabell 11-37 Punktlighet persontog Dovrebanen 2005 - 2011.....	101

Prosjektplan

Masteroppgave: Vedlikeholds-prioriteringer i
jernbaneinfrastruktur

Per Magnus Heggland

2011 -2012

Innholdsfortegnelse

1 Innledning.....	64
2 Bakgrunn for oppgaven.....	64
3 Oppgave.....	66
3.1 Definisjon av oppgaven, mål og delmål	66
3.2 Avgrensninger av oppgaven	66
4 Metode	67
4.1 Litteraturstudie.....	67
4.2 Kvantitativ analyse av punktlighetsdata.....	68
4.3 Kartlegging av dagens korrektive vedlikehold.....	68
4.4 Utvikling, uttesting og evaluering av metodikk for prioritering av korrektivt vedlikehold	68
4.5 Diskusjon av resultater og erfaringer opp i mot litteratur	68
5 Litteratur.....	69
6 Innholdsoversikt for masteroppgaven	70
7 Case beskrivelse	71
8 Fremdriftsplan	72
9 Veiledning.....	73
10 Referanser	73

1 Innledning

Denne forstudierapporten inngår som forarbeid til masteroppgaven som skal utarbeides fra september 2011 til september 2012. Oppgaven gjennomføres av student Per Magnus Heggland. Oppgaven er gitt ved Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet (NTNU), fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi, Institutt for Produksjon- og Kvalitetsteknikk (IPK).

Veiledere for oppgaven er Heidi Dreyer ved IPK, NTNU (hovedveileder), Carl C. Røstad (biveileder) og Andreas Seim (biveileder) ved SINTEF Teknologi og Samfunn.

Formålet med forstudierapporten er å definere, fokusere og lage en plan for gjennomføring av masteroppgaven "Fremtidens konsekvensstyring i prioritering av vedlikehold av jernbaneinfrastruktur".

Følgende mål ligger til grunn for forstudierapporten:

- Gi en beskrivelse av masteroppgaven
- Gi en beskrivelse av planlagt arbeidsmetodikk og strukturering av oppgaven
- Gi en tidsbestemt framdriftsplan for arbeidet med masteroppgaven

Dato for uttak av masteroppgaven: 1. september 2011.

Innleveringsdato for masteroppgaven: senest 1. september 2012

2 Bakgrunn for oppgaven

Godstransport på jernbane er en deregulert næring i Norge. Det vil si at i praksis kan alle som har godkjenning fra Jernbanetilsynet for å drive med transport på det norske jernbanenettet har anledning til å be om å få benytte jernbanenettet. Det er i dag flere jernbaneforetak som utfører godstransport på det norske jernbanenettet der Malmtrafikk AS (MTAS) på Ofotbanen og CargoNet er de største aktørene. Godstransport på det norske jernbanenettet er i hovedsak tredelt. Vi har bulktransport (typisk malmtransporten fra malmgruvene i Kiruna til utskipningshavna i Narvik), systemtog (for eksempel transport av flybensin til Gardermoen) og stykkgoods i containere (fra samlastere som Bring og Schenker). Det er i hovedsak transporten av containere som er utsatt for konkurranse fra biltransport.

Prestasjonsnivået til godstransport på jernbanen i Norge er synkende med en negativ punktlighetsutvikling (Olsson m.fl. 2010). Den dårlige punktligheten resulterer i at leveringsservicen fra samlasterne (Bring, Schenker m. fl.) til transportkjøpere (vareeiere) blir for dårlig. Man risikerer at godstransport flyttes fra bane til veg, fordi transport på veg fremstår som mer forutsigbar. Denne utviklingen er i strid med uttalte mål, både fra politikere, miljøbevegelse og jernbanesektoren selv (Jernbaneverkets godsstrategi, 2007).

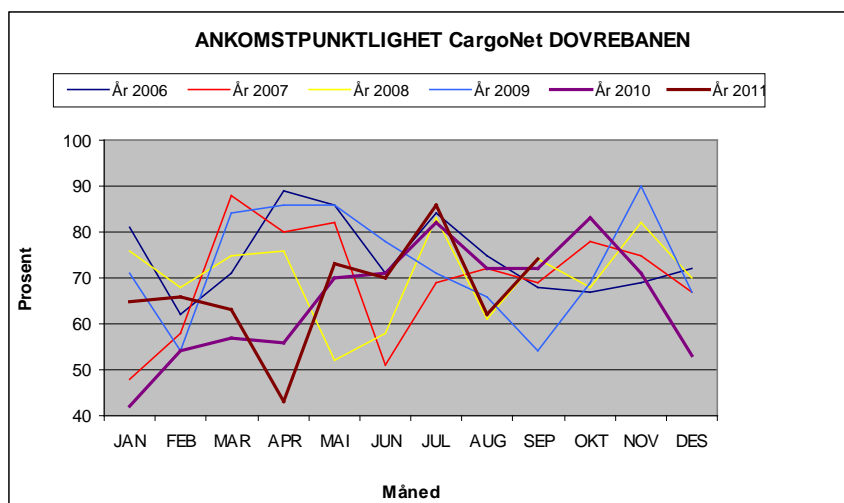
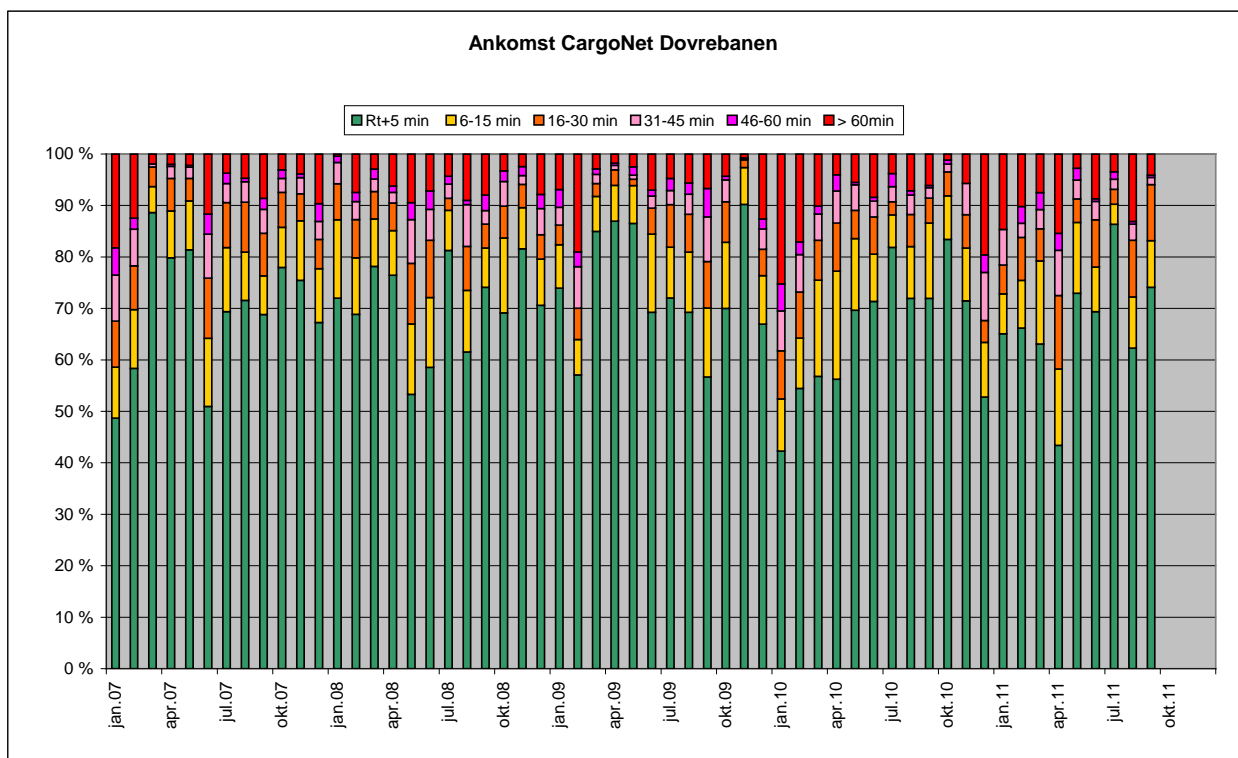
En konsekvens av usikkerhet rundt framføringstiden for godstransport på jernbane, er at vareeiere etablerer større lager. Lagerhold forsøker vareeiere å unngå, fordi volumet av varer i arbeid er en viktig kostnadsdriver. Hvis jernbanetransport fremstår som mer pålitelig, vil jernbanesektoren ha større mulighet til å nå sine mål om å få en større andel av transportarbeidet over på jernbane.

T. Ohno (1988) skrev i sin bok om Toyota Production System at det han fokuserer på er å redusere tidsbruken fra råvaren er utvunnet til oppgjøret for varen er kommet til Toyota fra kunden. I løpet av denne tidslinjen er fokuset på å eliminere sløsing. Når det er nevnt, har nok Toyota først etablert stabile produksjonsprosesser før de fokuserer på eliminering av sløsing. I forhold til godstransport på jernbane i Norge kan det hevdes at man ikke har en stabil prosess (Veiseth, 2009). Dette kan innebære at jernbane-sektoren må levere punktlighet, som avtalt, før sektoren fokuserer på å

reduere fremføringstiden.

Etter min erfaring er en av hovedutfordringene i jernbanesektoren at konsekvensene av manglende punktlighet for vareeiere ikke vektlegges tilstrekkelig i prioriterings- og planleggingsprosesser. I min oppgave har jeg en målsetting om å tydeliggjøre sammenhengen mellom tilstand på infrastruktur og prestasjonsnivå til godstransport på jernbane (andel tog i rute til endestasjon oppgitt i %). Andel tog i rute til endestasjon kan sidestilles med prestasjonsindikatoren leveringsservice til kunde fra fagfeltet logistikkledelse.

I sin årsberetning for 2010 skriver CargoNet at kvalitet og punktlighet har vært en stor utfordring for selskapet også i 2010. De kritiserer også leveransene fra Jernbaneverket ved at de sier: "leveransen av transporttjenester på en infrastruktur som har betydelige mangler er krevende". Som et eksempel viser jeg to grafiske fremstillinger av prestasjonsnivået til CargoNet sine containertog mellom Alnabru og Trondheim (ankomstpunktlighet målt på Alnabru og i Trondheim).



Kilde: Jernbaneverket, punktlighetsleder trafikkområde nord, 28.11.2011

Tradisjonelt har punktlighetsforbedring og utarbeidelse av tiltak for å bedre punktligheten vært preget av "skippertak-metoden". Når det har gått dårlig med et togprodukt eller en banestrekning i en periode, har man satt sammen en arbeidsgruppe. Arbeidsgruppen har fått som oppgave å utarbeide forbedringsforslag som skal bedre punktligheten. Forbedringsarbeidet har vært lite systematisk, lite faktabasert og ikke kontinuerlig (Veiseth, 2009).

Strukturen på arbeidet har nå blitt forbedret gjennom utviklingen og implementeringen av en metodikk kalt Punctuality Improvement Method System (PIMS) (Veiseth m. fl. 2011). PIMS ble utviklet i forskningsprosjektet "Performance Measurement in Railway Operations" (Olsson m. fl. 2008). Det er likevel ikke etablert et klart bilde av konsekvensene som forsinkelser og punktlighetsbrist gir i jernbanesektoren. I oppgavebesvarelsen vil dette fokuseres, og det søkes svar på spørsmålet:

"Hvordan kan punktlighet bli en forutsetning i jernbaneproduksjon, og ikke kun et resultat?"

Nytteverdien av arbeidet vil være at man på en bedre måte tar hensyn til punktlighet i prioritering av vedlikehold på infrastrukturen til Jernbaneverket.

3 Oppgave

Hovedmålet med oppgaven er å utarbeide en ny metodikk for prioritering av korrektivt vedlikehold på Jernbaneverkets infrastruktur. Et effektmål er at tilstanden (sett ut i fra prestasjonsnivået) på infrastrukturen bedres. Infrastrukturen vil videre nærme seg den kapasiteten som ruteplanen forutsetter for å få til en punktlig trafikkavvikling. Det er ikke alltid samsvar mellom den forutsatte infrastrukturkapasiteten, som ruteplanen legger til grunn, og den faktiske infrastrukturkapasiteten som tilbys.

3.1 Definisjon av oppgaven, mål og delmål

Med utgangspunkt i masteroppgavens tittel "Vedlikeholds-prioriteringer i jernbaneinfrastruktur", settes følgende mål for oppgaven:

- Analysere punktlighetsutviklingen og diskutere hvordan økende feilfrekvens i infrastrukturen påvirker punktlighet
- Kartlegge og beskrive hvordan vedlikehold prioriteres i Jernbaneverket i dag
- Utvikle en ny modell for styring av vedlikehold
- Teste den nye modellen i et case hos Jernbaneverket innenfor et avgrenset budsjettområde (banesjefområde)

Resultatene og analysene fra arbeidet skal sammenfattes og presenteres i en helhetlig masteroppgave etter betingelser satt fra Institutt for Produksjon- og Kvalitetsteknikk.

3.2 Avgrensninger av oppgaven

Utvikling av den nye metodikken vil ta utgangspunkt i relevant litteratur fra områdene prestasjonsmåling, styring av vedlikehold og punktlighet i jernbane.

I Jernbaneverket estimeres samfunnsnyttene av større infrastrukturprosjekt ved hjelp av samfunnsøkonomiske analyser. Disse prosjektene har Utbyggingsdivisjonen ansvaret for. Mindre vedlikeholdsprosjekter med en kostnadsramme over 5 000' bruker en forenklet analyse for samfunnsnytte ved å minimalisere en kostnadsfunksjon som har fått navnet PRIFO (PRIoritering av FOrebyggende vedlikehold, utviklet med bakgrunn i LCC betraktninger).

Jeg ønsker å vurdere mulighetene for å prioritere akutt vedlikeholdsbehov etter tilsvarende kost/ nytte optimalisering. I dag må vedlikeholdsprosjektene ha en kostnadsramme på minst 5 000' før en ser det regningsvarende å benytte PRIFO. Fokuset i min oppgave vil være å undersøke om det er mulig å benytte målte verdier for underveispunktlighet, som viser prestasjonsnivået til infrastrukturen, for å prioritere rekkefølgen på utførelsen av akutt vedlikehold.

4 Metode

Overordnet vil jeg følge "oppskriften" Bjørn Andersen presenterte 24. august på skrivekurset/ oppstartseminaret for erfaringsbasert MOL. Metoden for gjennomføring av masteroppgaven jeg ønsker å benytte kan grovt oppsummeres ved gjennomføring av syv steg:

1. Problemforståelse (vise og redegjøre for erfaringer rundt prioriteringer ut fra punktlighet, punktlighetsutvikling vise konsekvenser på prestasjonsnivå) og argumentere behov for utvikling av ny metode, eller videreutvikle eksisterende metode, for prioritering av vedlikehold
2. Samle data om punktlighet
3. Data analyse av punktlighetsdata
4. Konseptutvikling (eller videreutvikling av et allerede etablert konsept for prioritering av vedlikehold)
5. Detaljutforming av løsningsprinsipp for ny metode for prioritering av vedlikehold
6. Testing av forslag til metode i et case
7. Evaluering av forslag til metode

Grovt sett vil jeg med dette utøve normativ forskning som forhåpentligvis resulterer i et nytt rammeverk for prioritering av korrektivt vedlikehold.

Masteroppgaven er videre planlagt i å bestå av følgende elementer:

- Litteraturstudie
- Kvantitativ analyse av punktlighetsdata
- Kartlegging av dagens korrektive vedlikehold
- Utvikling, uttesting og evaluering av metodikk for prioritering av korrektivt vedlikehold
- Diskusjon av resultater og erfaringer opp i mot litteratur

4.1 Litteraturstudie

Litteraturstudiet vil gjennomføres ved å søke etter relevant litteratur innen fagområdene prestasjonsmåling i verdikjeder, styring av vedlikehold og hvordan det arbeides med punktlighetsforbedring på jernbane i Norge. Søket etter litteratur vil gjennomføres ved å konferere med veiledere, ressurspersoner i PUSAM prosjektet, ansatte i Jernbaneverket og søk i databaser for publiserte artikler og relevant litteratur. I tillegg til å benytte NTNU sitt bibliotek vil jeg søke relevant litteratur i Jernbaneverkets bibliotek.

I litteraturen om temaet prestasjonsmåling i verdikjeder er det meningen at jeg skal se om det finnes teknikker og verktøy fra fagområdet logistikkledelse for å vurdere om teknikkene og verktøyene er

anvendbare (eventuelt med tilpasninger) for å bedre prestasjonene i jernbaneproduksjon med hensyn til punktlighet.

Temaet styring av vedlikehold har jeg behov for å etablere kunnskap om, slik at jeg kan mene noe om godheten av Jernbaneverkets måte å styre og prioritere vedlikehold. Jeg vil i tillegg til å søke etter relevant litteratur i akademia, foreta et litteratursøk internt i Jernbaneverket slik at jeg kan sammenligne hvordan Jernbaneverket styrer og prioriterer vedlikeholdet mot de anbefalinger litteraturen gir.

For å finne litteratur om temaet punktlighet i jernbane vil jeg ta utgangspunkt i den seneste tids forskning i Norge på temaet. Erfaringsmessig er det en utfordring å finne åpen relevant litteratur rundt punktlighet i jernbane. Årsaken er at mye av utviklingsarbeidet skjer i de enkelte lands forvaltninger og ikke er lett tilgjengelig.

4.2 Kvantitativ analyse av punktlighetsdata

Datagrunnlaget for de kvantitative analysene som må gjennomføres vil hentes fra Jernbaneverkets punktlighetsdatabase som er knyttet til "Tog Informasjon og Oppfølgings System" (TIOS).

Jeg vil analysere punktlighetsdata for å undersøke effekten av oppståtte restriksjoner i bruken av infrastrukturen. Jeg har en ide om at statistisk prosesskontroll og utarbeiding av XmR diagram vil kunne bidra. Analyse metode vil være gjenstand for revisjon og tilpassing underveis i forskningsløpet.

4.3 Kartlegging av dagens korrektive vedlikehold

Kartlegging av dagens korrektive vedlikehold er planlagt utført ved en gjennomgang av beskrivelser i Jernbaneverkets styringssystem. Funn og sammenhenger som er avdekket er tenkt kvalitetssikret ved intervjuer av sentrale roller beskrevet i Jernbaneverkets styringssystem

4.4 Utvikling, uttesting og evaluering av metodikk for prioritering av korrektivt vedlikehold

Utvikling, uttesting og evaluering av metodikk for prioritering av korrektivt vedlikehold vil gjennomføres med bakgrunn i de funn som er gjort i litteraturstudiet, den kvantitative analysen av punktlighetsdata og kartlegging av dagens korrektive vedlikehold beskrevet tidligere i dette metodekapittelet.

Utvikling av skisse til metodikk basert på teori og erfaring vil gjennomføres i samråd med veiledere og sentrale funksjoner i Jernbaneverket. Årsaken til valgt fremgangsmåte er at den utviklede metodikken må være teoretisk forankret samtidig som den bør være praktisk anvendbar. For å kvalitetssikre at den utviklede metodikken er anvendbar vil jeg gjennomføre et case for uttesting.

4.5 Diskusjon av resultater og erfaringer opp i mot litteratur

Diskusjon av resultater og erfaringer, opp i mot litteratur vil utføres etter retningslinjer og krav gitt av NTNU, Institutt for Produksjon- og Kvalitetsteknikk.

5 Litteratur

Dette er en foreløpig oversikt over litteratur som er tenkt brukt. Det vil bli en mer utfyllende litteraturliste når aktiviteten med litteratursøk er gjennomført. Litteratursøk vil bli utført ved NTNU og Jernbaneverkets bibliotek og internett for å finne relevante artikler som hører under prestasjonsmåling i verdikjeder, styring av vedlikehold og punktlighet i jernbane

5.1 Prestasjonsmåling (i verdikjeder)

- Ohno, T. (1988) Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production, Productivity INC.
- Bicheno J. and Holweg M. (2008) The Lean toolbox, PICSIE books
- Busi, M doktoravhandling, 2007
- Søk etter relevante bøker og artikler i artikkeldatabaser på bibliotek og internett

5.2 Styring av vedlikehold

- Kutucuoglu, K Y. Hamali, J. Irani, Z. Sharp, J M. Kutucuoglu, K Y. (2001) A framework for managing maintenance using performance measurement systems, (pp. 173 – 195) International Journal of Operations and Production Management, volume 21.
- Wireman, T. (2005) Developing performance indicators for managing maintenance, Industrial press Inc.
- Vatn, J. Materiale presentert ved Prom@in konferanse
- Søk etter relevante bøker og artikler i artikkeldatabaser på bibliotek og internett

5.3 Punktlighet i jernbane

- Veiseth, M (2009) Forbedring av punktlighet i jernbanedrift- utvikling av punktlighetsprosessen, doktoravhandling ved NTNU 2009:113
- Veiseth, M. Heggland, P. M. Wien, I. Olsson, N.O.E. og Stokland, Ø. (2011) Development of a punctuality improvement method, (pp. 268 - 283), The TQM journal, volume 23 issue 3, 2011.
- "State of the art" litteratur innhentet i PUSAM prosjektet
- Olsson, N. Veiseth, M. Stokland, Ø. (2008) SINTEF Teknologi og samfunn, PeMRO sluttrapport oppsummering av forskningsprosjektet Performance Measurements in Railway Operations (PeMRO).
- Olsson, N. Økland, A. Veiseth, M. og Stokland, Ø. (2010) Driftsstabilitet på Jernbaneverkets nett- årsaksanalyser 2005 – 2010, Punktlighets og regularitetsutviklingen, granskning av årsaker. SINTEF Teknologi og samfunn.
- Jernbaneverkets strategi (2007), Godstransport på bane, utgitt av Jernbaneverket
- Kvaavik, B. (2004) Forbedringsarbeid Bruksanvisning- V 2.0, For NSB Drift, Norge
- Søk etter relevante bøker og artikler i artikkeldatabaser på bibliotek og internett

6 Innholdsoversikt for masteroppgaven

Under følger en foreløpig innholdsoversikt for masteroppgaven. Innholdsoversikten vil kunne endre seg noe i løpet av arbeidet med oppgaven, men utgjør et utgangspunkt for det videre arbeidet.

Forord:

- I. Sammendrag
- II. Innholdsfortegnelse
- III. Tabelliste
- IV. Figurliste
- V. Oppgavetekst

1.0 Innledning

- 1.1. Bakgrunn for oppgaven
- 1.2. Mål
- 1.3. Tolkning av oppgavetekst og begrensninger i tema
- 1.4. Disposisjon av masteroppgaven (gjerne med figur for å illustrere oppgaven)

2.0 Metodebeskrivelse

- 2.1. Generelt om forskning og analyse og valgt metodedesign for denne oppgaven
- 2.2 Metode og oppgaveskriving
- 2.2. Valgt metode for oppgaven

3.0 Teoretisk grunnlag

- 3.1 Introduksjon/generelt
- 3.2 Prestasjonsmåling i verdikjeder
- 3.3 Prestasjonsmåling av godstransport på jernbane (punktlighet)
- 3.4 Prioritering av vedlikehold
- 3.5 Prioritering av vedlikehold av jernbaneinfrastruktur
- 3.6 Oppsummering

4.0 Dagens modell for prioritering av korrektivt vedlikehold på infrastrukturen

- 4.1 Modell for prioritering av korrektivt vedlikehold (beskrevet i Jernbaneverkets styringssystem)
- 4.2 Intervju med sentrale personer som prioriterer korrektivt vedlikehold i Jernbaneverket
- 4.3 Oppsummering

5.0 Utarbeiding og testing av forslag til ny modell for konsekvensstyring i prioritering av korrektivt vedlikehold på infrastruktur

- 5.1 Utvikling av modell
- 5.2 Beskrivelse av case
- 5.3 Uttesting av forslag til ny modell i et case

6.0 Diskusjon av resultater og funn

- 6.1 Innledning
- 6.2 Evaluering og drøfting av forslag til ny modell mot relevant teori
- 6.3 Oppsummering

7.0 Konklusjon

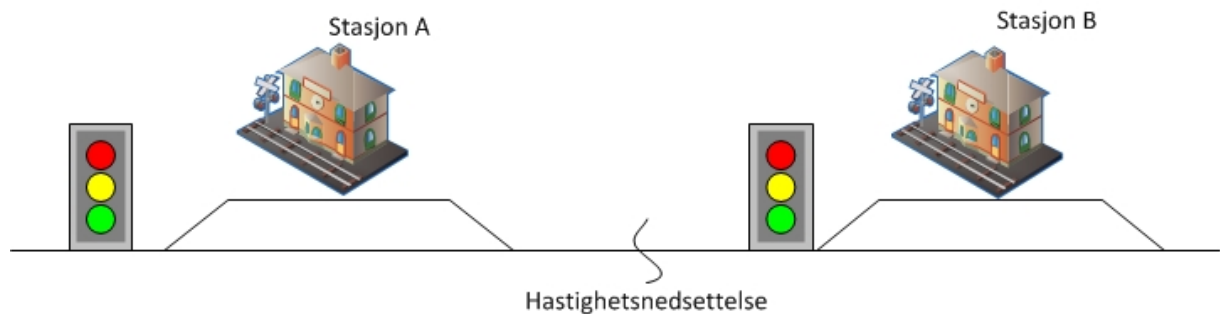
- 7.1 Konklusjon
- 7.2 Måloppnåelse (kritikk av eget arbeid)
- 7.3 Veien videre for å kunne oppnå et punktlighetsnivå som er akseptabelt for godstransportører

8.0 Referanser

9.0 Vedlegg: 9.1 ordliste

7 Case beskrivelse

Illustrasjon av case



Hver uke presenteres hastighetsnedsettelse i en excel bok fra sportilgangskordinator i banesjefens stab. I denne excel boken blir størrelsen på forsinkelsene som hastighetsnedsettelsen medfører også estimert. Utfordringen med denne estimeringen er at medgått tid for retardasjon og akselerasjon er beregnet ut i fra togmateriell med gode retardasjon- og akselerasjonsegenskaper.

Resultatet av beregningene blir videre gjort gjeldende for alle togslag (godstog, persontog m.m.)

Disse hastighetsnedsettelsene er ikke planlagt i ruteplanen som togtrafikken avvikles etter.

Resultatet blir at infrastrukturen fremstår med en mindre kapasitet enn det ruteplanen har lagt til grunn.

Jeg vil bruke Jernbaneverkets punktlighetsdatabase (TIOS) for å måle hvilket tap av tid disse hastighetsnedsettelsene medfører. Registrering av underveispunktighet foretas fra 1. januar 2012 ved passering av innkjørsignal før stasjonene (illustrert som trafikklys i figur) og det er automatisk datafangst der det er etablert fjernstyring av togtrafikken.

Analyse av forsinkelsene vil jeg gjøre ved å sammenligne tidsbruken etter at en hastighetsnedsettelse er etablert, med tidsbruken det er planlagt med i ruteplanen for togtrafikken. Ved å sammenligne effekten av de forskjellige hastighetsnedsettelsene i et budsjettområde (banesjefområde eller banestrekning) med hensyn til generert tidstap (og ikke kun et unøyaktig estimat), vil banesjefene kunne bruke tidstapet som kriterie for prioritering av rekkefølgen de oppståtte saktekjøringene skal fjernes. Da vil prioriteringen av korrektivt vedlikehold ikke avgjøres alene ved vurdering av sikkerhet, økonomisk-budsjett og komfort, men også ved vurdering av punktlighet.

8 Fremdriftsplan

Fremdriftsplan for masteroppgave

ID	Aktivitet/navn	Start	Slutt	Varighet	Gantt chart timeline											
					sep 2011	okt 2011	nov 2011	des 2011	jan 2012	feb 2012	mar 2012	apr 2012	mai 2012	jun 2012	jul 2012	aug 2012
1	Planlegging	01.09.2011	14.10.2011	6.4u	[Gantt bar from 01.09.2011 to 14.10.2011]											
2	Literaturstudie	05.09.2011	23.12.2011	16u	[Gantt bar from 05.09.2011 to 23.12.2011]											
3	Skriving av oppgave	03.10.2011	22.06.2012	38u	[Gantt bar from 03.10.2011 to 22.06.2012]											
4	Kartlegging av korrektiv vedlikehold	03.10.2011	21.11.2011	7.2u	[Gantt bar from 03.10.2011 to 21.11.2011]											
5	Kvantitativ analyse av punktlighetsdata	25.11.2011	23.12.2011	4.2u	[Gantt bar from 25.11.2011 to 23.12.2011]											
6	Utklring, uttøsing og evaluering Av ny metode/k	02.01.2012	30.03.2012	13u	[Gantt bar from 02.01.2012 to 30.03.2012]											
7	Diskusjon	02.04.2012	22.06.2012	12u	[Gantt bar from 02.04.2012 to 22.06.2012]											
8	Ferie	25.05.2012	20.07.2012	4u	[Gantt bar from 25.05.2012 to 20.07.2012]											
9	Ferdigstillelse	23.07.2012	31.08.2012	6u	[Gantt bar from 23.07.2012 to 31.08.2012]											

9 Veiledning

Veiledning av hovedveileder vil foregå pr. mail og fysiske møter. Før møtene skal alltid siste versjon av oppgavebesvarelsen sendes pr. mail, og konkrete spørsmål stilles i mailen.

Mine forventninger til hovedveileder er først og fremst rådgiving for å tilfredsstille de formelle krav i akademia. Vurderinger i forhold til verdikjedebetraktninger er også ønskelig.

De spørsmål som er knyttet til vedlikeholds-styring og øvrig faglig innhold søkes løst ved bidrag fra biveiledere. I praksis vil dette gjøres gjennom PUSAM prosjektet.

10 Referanser

CargoNet årsberetning 2010, hentet fra internett 28. oktober 2011.

http://cargonet.no/Global/dokumenter/dok%20ny%20web/%c3%85rsrapporter/%c3%85rsberetning%202010_CargoNet.pdf

Jernbaneverkets strategi (2007), Godstransport på bane, utgitt av Jernbaneverket

Ohno, T. (1988) Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production, Productivity INC.

Olsson, N. Veiseth, M. Stokland, Ø. (2008) SINTEF Teknologi og samfunn, PeMRO sluttrapport oppsummering av forskningsprosjektet Performance Measurements in Railway Operations (PeMRO).

Olsson, N. Økland, A. Veiseth, M. og Stokland, Ø. (2010) Driftsstabilitet på Jernbaneverkets nett-årsaksanalyser 2005 – 2010, Punktlighets og regularitetsutviklingen, granskning av årsaker. SINTEF Teknologi og samfunn.

Veiseth, M. (2009) Forbedring av punktlighet i jernbanedrift- utvikling av punktlighetsprosessen, doktoravhandling ved NTNU 2009:113

Veiseth, M. Heggland, P. M. Wien, I. Olsson, N.O.E. Stokland, Ø. (2011) Development of a punctuality improvement method, (pp. 268 - 283), The TQM journal, volume 23, issue 3, 2011.

10.2. Fremdriftsrapportering

Milepæler i masteroppgave:	Nummer	Frist uke
Planlegging	1	41/ 2011
Litteraturstudie (og søk)	2	52/ 2011
Skriving av oppgave	3	25/ 2012
Kartlegging av korrektivt vedlikehold	4	46/ 2011
Analyse av punktlighetsdata	5	52/ 2011
Utvikling, uttesting og evaluering av ny metodikk	6	13/ 2012
Diskusjon	7	25/ 2012
Ferie	8	29/ 2012
Ferdigstillelse (korrekturlesing, trykking og innlevering)	9	35/ 2012
Sum masteroppgave		1078,50

Aktivitet	timer	Milepæl
Informasjonsinnhenting fra styringssystemet	4,00	
Litteratursøk/ forberedelser	22,50	
Forberedelser	2,00	
Sum august	28,50	
September		
Uke 35, litteratur gjennomgang	22,50	
Uke 37 styringssystem (prio av vedl), forstudierapport og litteraturlesing	22,50	
Uke 38 forstudierapport	15,00	
Uke 39 forstudierapport	22,50	
Sum september	82,50	
Oktober		
Uke 40, forstudierapport ferdig	15,00	1
Uke 41, styringssystem (kartlegging av vedlikeholdsprioritering i JBV)	15,00	
Uke 43 styringssystem PRIFO (kartlegging av vedlikeholdsprioritering i JBV)	22,50	
Sum oktober	52,50	
November		
Uke 44 PRIFO, littteratur og teori (kartlegging av vedlikeholdsprioritering i JBV)	22,50	
UKE 45, PRIFO vedlikeholdsstrategi, prestasjons målesystem (kartlegging av vedlikeholdsprioritering i JBV)	22,50	
Uke 46, RAMS, PRIFO (kartlegging av vedlikeholdsprioritering i litteratur)	22,50	4
Uke 47, caseforberedelser (metode), vurdering av tilgjengelige data	15,00	
uke 48 caseforberedelser (metode), vurdering av tilgjengelige data	15,00	
Sum november	97,50	
Desember		
Uke 48 caseforberedelser, vurdering av tilgjengelige data, metode	7,50	
UKE 49: litteratur studier, skriving på oppgave, forberedelser til case	15,00	
Uke 50: litteratur studier, forberedelser case, skriving på oppgave	22,50	
Uke 51 litteratur studier beskrivelse av case, vurdering av data til case	15,00	2,5
Sum desember	60,00	

Aktivitet	timer	Milepæl
uke 1 utvikling av ny metodikk (datafangst, alternative data)	22,50	
uke 2 utvikling av ny metodikk (datafangst, alternative data)	7,50	
uke 3 utvikling av ny metodikk	15,00	
uke 4 utvikling av ny metodikk	30,00	
Sum januar	75,00	
Februar		
uke 5 testing av ny metodikk i forhold til bruk av ny infrastruktur (Gevingåsen tunnel)	15,00	
uke 6 testing av ny metodikk i forhold til saktekjøringer (strekningen Skatval - Stjørdal)	22,50	
uke 7 testing av ny metodikk i forhold til saktekjøringer (strekningen Skatval - Stjørdal)	30,00	
Uke 8 Case Skatval - Stjørdal (godstog)	22,50	
Uke 9 case Skatval - Stjørdal (godstog)	7,50	
Sum februar	97,50	
Mars		
Uke 9 Utvikling, uttesting og evaluering av ny metodikk	7,50	
Uke 10 Utvikling, uttesting og evaluering av ny metodikk	22,50	
Uke 11 Utvikling, uttesting og evaluering av ny metodikk	15,00	
Uke 12 Utvikling, uttesting og evaluering av ny metodikk	15,00	
Uke 13 Utvikling, uttesting og evaluering av ny metodikk	7,50	6
Sum mars	67,50	
April		
Uke 14 påske		
Uke 15 diskusjon	22,50	
Uke 16 diskusjon	22,50	
Uke 17 diskusjon	22,50	
Sum april	67,50	
Mai		
Uke 18 Diskusjon	15,00	
Uke 19 Diskusjon, sammenstilling	15,00	
Uke 20 Diskusjon, sammenstilling	15,00	
Uke 21 Diskusjon, sammenstilling	22,50	
Uke 22 Diskusjon, sammenstilling	22,50	
Sum mai	90,00	
Juni		
Uke 23 litteratursøk	37,50	
Uke 24 Diskusjon	30,00	
Uke 25 Diskusjon	22,50	3, 7
Uke 26 Ferie	0,00	
Sum juni	90,00	

Juli		Milepæl
Uke 27 Ferie	0,00	
Uke 28 Ferie	0,00	
Uke 29 Ferie	0,00	8
Uke 30 Kilder og referanser	37,50	
Sum juli	37,50	
August		
Uke 31 Kilder og referanser	15,00	
Uke 32 Kilder og referanser, layout	22,50	
Uke 33 Kilder og referanser, layout	22,50	
Uke 34 Veiledning, restrukturering av oppgave	30,00	
Uke 35 Layout, vedlegg og sammeenskriving	22,50	9 (utsatt til uke 40)
Sum august	112,50	
September		
Uke 36 Metode, sammendrag og korrektur	30,00	
Uke 37 Metode, veiledning, korrektur og sammenstilling	37,50	
Uke 38 Metode, veiledning, korrektur og sammenstilling	22,50	
Uke 39	30,00	9
Sum september	120,00	

10.3. Prosessbeskrivelse, planlagte vedlikeholds-aktiviteter

Prosedyre for å gjennomføre planlagte aktiviteter							
	Detaljert gjennomføringsplan	Aktiviteter utført	Teknisk tilstand infrastruktur godkjent	Aktiviteter utført og sluttført	Ferdigberøring utført	Infrastruktur med/uten restriksjoner Klar	Bekreft infrastruktur med/uten restriksjoner Klar
Planlegger infrastrukturendring	1 Skal være ansvarlig for å detaljplanlegge aktiviteter			13 Bør informeres om at planlagte aktiviteter er sluttført og dokumentert			
Sportilgangs-kordinator	2 Skal konsulteres av planlegger infrastrukturendring i arbeidet med å detaljplanlegge aktiviteter						
Fagansvarlig	3 Skal konsulteres av planlegger infrastrukturendring i arbeidet med å detaljplanlegge aktiviteter		10 Skal konsulteres ved behov		15 Skal ivareta eller av infrastruktur sine interesser ved ferdigberøring		
Utfører infrastrukturendring	4 Skal konsulteres av planlegger infrastrukturendring i arbeidet med å detaljplanlegge aktiviteter	6 Skal være ansvarlig for å utføre planlagte aktiviteter	8 Skal være ansvarlig for kontroll og dokumentasjon av utførte aktiviteter	11 Skal være ansvarlig for at planlagte aktiviteter blir sluttført og dokumentert iht avtale/ kontrakt	14 Skal være ansvarlig for at ferdigberøring blir gjennomført	16 Skal ivareta ansvarlig for å melde infrastruktur klar	18 Skal motta bekreftelse fra driftsovervåker på at infrastruktur er klar
Kontrollør infrastrukturendring	5 Skal informeres om arbeidet med å detaljplanlegge aktiviteter		9 Skal kontrollere og dokumentere utførte aktiviteter	12 Skal sluttføre og dokumentere planlagte aktiviteter			
Driftsovervåker		7 Skal konsulteres av utfører infrastrukturendring for å få sportilgang				17 Skal motta melding om at infrastruktur er klar	19 Skal være ansvarlig for å bekrefte at infrastruktur er klar

kilde: JBV styringsystem

10.4. Prosessbeskrivelse, akutt korrektivt vedlikehold

Gjennomføre akutt korrektivt vedlikehold					
Uttrykning nødvendig/ ikke nødvendig	Feil utbedret/ midlertidig utbedret	Teknisk tilstand Infrastruktur godkjent	Infrastruktur med/ uten restriksjoner klar	Infrastruktur bekreftet klar	
<p>Driftsovervåker (eks. Togleder)</p> <p>1 Motta melding, loggfør og vurder behov for utrykning</p>	<p>2 Konsulteres for vurdering av behov for utrykning</p>	<p>3 Være ansvarlig for å vurdere feil på stedet og beslutte om utbedring av feil skal utbedres umiddelbart eller om utbedring av feil kan utsettes, samt hvilke midlertidige tiltak som eventuelt skal gjennomføres. Er ansvarlig for gjennomføring av besluttede tiltak</p>	<p>4 Skal informeres om rapporterte feil og gjennomførte tiltak</p>	<p>5 Være ansvarlig for kontroll og dokumentasjon av utførte aktiviteter</p>	<p>6 Kontrollere og dokumentere utførte aktiviteter</p>
<p>Kontrollør infrastrukturdrift</p>	<p>7 Være ansvarlig for å melde infrastruktur klar</p>	<p>8 Mottar melding om at infrastruktur er klar</p>	<p>9 Være ansvarlig for å bekrefte at infrastruktur er klar</p>	<p>10 Motta bekreftelse fra Driftsovervåker på at infrastruktur er klar</p>	

kilde: JBV styringssystem

10.5. Prosessbeskrivelse: rapportere, dokumentere og evaluere gjennomført vedlikehold

Prosedyre for å dokumentere, rapportere og evaluere resultat			
Innhente dokumentasjon for drift og vedlikeholdsaktiviteter	Rapport produsert (Sammenstille rapporter)	Resultat fra evaluering til videre bearbeiding og rapporter evaluert og arkivert	Forbedrings tiltak for utførelse registrert og forbedrings tiltak på infrastruktur registrert
Planlegger infrastrukturforvaltning	5 Skal være ansvarlig for å sammenstille rapporter.	7 Skal gjennomføre evaluering av gjennomførte drift- og vedlikeholdsaktiviteter.	13 Skal utarbeide og registrere forslag til tiltak, både forbedrings tiltak for utførelse og forbedrings tiltak i infrastrukturen
Rådgiver infrastrukturforvaltning	6 Bør informeres når rapporter er sammenstilt	8 Skal konsulteres/delta i evalueringen av gjennomførte drift- og vedlikeholdsaktiviteter.	14 Skal konsulteres/delta i utarbeidelsen og registreringen av forslag til tiltak, både forbedrings tiltak for utførelse og forbedrings tiltak i infrastrukturen
Utfører infrastrukturdrift	3 Skal oversende dokumentasjon på utførte drift- og vedlikeholdsaktiviteter til rådgiver drift og vedlikehold	9 Skal konsulteres/delta i evalueringen av gjennomførte drift- og vedlikeholdsaktiviteter.	15 Skal konsulteres/delta i utarbeidelsen og registreringen av forslag til tiltak, både forbedrings tiltak for utførelse og forbedrings tiltak i infrastrukturen
Planlegger infrastrukturdrift	4 Skal oversende dokumentasjon på utførte drift- og vedlikeholdsaktiviteter til rådgiver drift og vedlikehold	10 Skal konsulteres/delta i evalueringen av gjennomførte drift- og vedlikeholdsaktiviteter.	16 Skal konsulteres/delta i utarbeidelsen og registreringen av forslag til tiltak, både forbedrings tiltak for utførelse og forbedrings tiltak i infrastrukturen
Sportilgangs-kordinator		11 Skal konsulteres/delta ved behov i evalueringen av gjennomførte drift- og vedlikeholdsaktiviteter.	17 Skal konsulteres/delta ved behov i utarbeidelsen og registreringen av forslag til tiltak, både forbedrings tiltak for utførelse og forbedrings tiltak i infrastrukturen
Driftsovervåker		12 Skal konsulteres/delta ved behov i evalueringen av gjennomførte drift- og vedlikeholdsaktiviteter.	18 Skal konsulteres/delta ved behov i utarbeidelsen og registreringen av forslag til tiltak, både forbedrings tiltak for utførelse og forbedrings tiltak i infrastrukturen

kilde: JBV styringssystem

10.6. Datagrunnlag og beregninger til figur 5-1 kontrolldiagram 1

Dato	Min. avvik i forhold til plan	R (variasjonsbredde)	Øvre kontrollgrense	Nedre kontrollgrense	Forventningsverdi
01.mai	0	0	9,5524	0,0476	4,80
02.mai	-1	1	9,5524	0,0476	4,80
03.mai	-8	7	9,5524	0,0476	4,80
04.mai	-11	3	9,5524	0,0476	4,80
05.mai	-1	10	9,5524	0,0476	4,80
06.mai	-3	2	9,5524	0,0476	4,80
07.mai	-1	2	9,5524	0,0476	4,80
08.mai	1	2	9,5524	0,0476	4,80
09.mai	3	2	9,5524	0,0476	4,80
10.mai	117	114	9,5524	0,0476	4,80
11.mai	16	101	9,5524	0,0476	4,80
12.mai	-3	19	9,5524	0,0476	4,80
13.mai	2	5	9,5524	0,0476	4,80
14.mai	6	4	9,5524	0,0476	4,80
15.mai	-5	11	9,5524	0,0476	4,80
16.mai	-2	3	9,5524	0,0476	4,80
17.mai	-7	5	9,5524	0,0476	4,80
18.mai	-2	5	9,5524	0,0476	4,80
19.mai	8	10	9,5524	0,0476	4,80
20.mai	-13	21	9,5524	0,0476	4,80

Tabell 11-1 Datagrunnlag og beregninger til figur 5-1

Kolonnen forsinkelsesminutter i Tabell 10-1 er avviket i minutter i forhold til ruteplan for all togtrafikk som har trafikkert den målte strekningen per døgn. Variasjonsbredden (range, R) er absoluttverdien på avstanden mellom måleresultatet på to påfølgende målinger.

10.7. Datagrunnlag og beregninger til figur 5-2 kontrolldiagram 2

Dato	Min. avvik i forhold til plan	R (variasjonsbredde)	Øvre kontrollgrense	Nedre kontrollgrense	Forventningsverdi
01.mai	-24	0	-38,1246	-51,1754	-44,65
02.mai	-57	33	-38,1246	-51,1754	-44,65
03.mai	-56	1	-38,1246	-51,1754	-44,65
04.mai	-64	8	-38,1246	-51,1754	-44,65
05.mai	-50	14	-38,1246	-51,1754	-44,65
06.mai	-61	11	-38,1246	-51,1754	-44,65
07.mai	-19	42	-38,1246	-51,1754	-44,65
08.mai	-17	2	-38,1246	-51,1754	-44,65
09.mai	-60	43	-38,1246	-51,1754	-44,65
10.mai	-3	57	-38,1246	-51,1754	-44,65
11.mai	-58	55	-38,1246	-51,1754	-44,65
12.mai	-64	6	-38,1246	-51,1754	-44,65
13.mai	-67	3	-38,1246	-51,1754	-44,65
14.mai	-20	47	-38,1246	-51,1754	-44,65
15.mai	-22	2	-38,1246	-51,1754	-44,65
16.mai	-59	37	-38,1246	-51,1754	-44,65
17.mai	-18	41	-38,1246	-51,1754	-44,65
18.mai	-56	38	-38,1246	-51,1754	-44,65
19.mai	-55	1	-38,1246	-51,1754	-44,65
20.mai	-63	8	-38,1246	-51,1754	-44,65

Tabell 11-2 Datagrunnlag og beregninger til figur 5-2

10.8. Datagrunnlag og beregninger Figur 5-3 kontrolldiagram 3

Dato	Min. awik i forhold til plan	R (variasjonsbredde)	Øvre prosessgrense	Nedre prosessgrense	Forventningsverdi
01.mai	-1,8750	0,0000	-0,0351	-3,1330	-1,58
02.mai	-1,6667	0,2083	-0,0351	-3,1330	-1,58
03.mai	-1,6944	0,0278	-0,0351	-3,1330	-1,58
04.mai	-1,7778	0,0833	-0,0351	-3,1330	-1,58
05.mai	0,0000	1,7778	-0,0351	-3,1330	-1,58
06.mai	-1,7500	1,7500	-0,0351	-3,1330	-1,58
07.mai	-1,6250	0,1250	-0,0351	-3,1330	-1,58
08.mai	0,0000	1,6250	-0,0351	-3,1330	-1,58
09.mai	-1,6944	1,6944	-0,0351	-3,1330	-1,58
10.mai	-2,0000	0,3056	-0,0351	-3,1330	-1,58
11.mai	-1,6944	0,3056	-0,0351	-3,1330	-1,58
12.mai	-1,8889	0,1944	-0,0351	-3,1330	-1,58
13.mai	-1,8611	0,0278	-0,0351	-3,1330	-1,58
14.mai	-1,6250	0,2361	-0,0351	-3,1330	-1,58
15.mai	-2,0000	0,3750	-0,0351	-3,1330	-1,58
16.mai	-1,7500	0,2500	-0,0351	-3,1330	-1,58
17.mai	-1,7500	0,0000	-0,0351	-3,1330	-1,58
18.mai	-1,6389	0,1111	-0,0351	-3,1330	-1,58
19.mai	-1,5833	0,0556	-0,0351	-3,1330	-1,58
20.mai	-1,8056	0,2222	-0,0351	-3,1330	-1,58

Tabell 11-3 Datagrunnlag og beregninger til figur 5-3

10.9. Datagrunnlag og beregninger til Figur 5-4 kontrolldiagram 4

Dato	Tog nummer	Min. awik i forhold til plan	R (variasjonsbredde)	Øvre kontrollgrense	Nedre kontrollgrense	Forventningsverdi
01.mai	426	-2	0	-0,40	-3,40	-1,90
01.mai	430	-2	0	-0,40	-3,40	-1,90
01.mai	434	-3	1	-0,40	-3,40	-1,90
01.mai	438	-2	1	-0,40	-3,40	-1,90
01.mai	442	-3	1	-0,40	-3,40	-1,90
01.mai	446	-3	0	-0,40	-3,40	-1,90
01.mai	450	-2	1	-0,40	-3,40	-1,90
01.mai	454	-2	0	-0,40	-3,40	-1,90
01.mai	429	-1	1	-0,40	-3,40	-1,90
01.mai	433	-1	0	-0,40	-3,40	-1,90
01.mai	437	-2	1	-0,40	-3,40	-1,90
01.mai	441	-1	1	-0,40	-3,40	-1,90
01.mai	445	-2	1	-0,40	-3,40	-1,90
01.mai	449	-1	1	-0,40	-3,40	-1,90
01.mai	453	-1	0	-0,40	-3,40	-1,90
01.mai	457	-2	1	-0,40	-3,40	-1,90
02.mai	1760	-2	0	-0,40	-3,40	-1,90
02.mai	422	-2	0	-0,40	-3,40	-1,90
02.mai	424	-2	0	-0,40	-3,40	-1,90
02.mai	426	-2	0	-0,40	-3,40	-1,90

Tabell 11-4 Datagrunnlag og beregninger til Figur 5-4

10.10. Datagrunnlag og beregninger til Figur 5-5 kontrolldiagram 5

Dato 2011	Tognummer	Min. awik i forhold til plan	R (variasjonsbredde)	Øvre kontrollgrense	Nedre kontrollgrense	Gjennomsnitt av R	Forventningsverdi□
01.mai	426	-2	0			0,00	-2,00
01.mai	430	-2	0	-2,00	-2,00	0,00	-2,00
01.mai	434	-3	1	-2,00	-2,00	0,33	-2,33
01.mai	438	-2	1	-1,45	-3,22	0,50	-2,25
01.mai	442	-3	1	-0,92	-3,58	0,60	-2,40
01.mai	446	-3	0	-0,80	-4,00	0,50	-2,50
01.mai	450	-2	1	-1,17	-3,83	0,57	-2,43
01.mai	454	-2	0	-0,91	-3,95	0,50	-2,38
01.mai	429	-1	1	-1,05	-3,70	0,56	-2,22
01.mai	433	-1	0	-0,74	-3,70	0,50	-2,10
01.mai	437	-2	1	-0,77	-3,43	0,55	-2,09
01.mai	441	-1	1	-0,64	-3,54	0,58	-2,00
01.mai	445	-2	1	-0,45	-3,55	0,62	-2,00
01.mai	449	-1	1	-0,36	-3,64	0,64	-1,93
01.mai	453	-1	0	-0,22	-3,64	0,60	-1,87
01.mai	457	-2	1	-0,27	-3,46	0,63	-1,88
02.mai	1760	-2	0	-0,21	-3,54	0,59	-1,88
02.mai	422	-2	0	-0,32	-3,45	0,56	-1,89
02.mai	424	-2	0	-0,41	-3,37	0,53	-1,89
02.mai	426	-2	0	-0,49	-3,29	0,50	-1,90
02.mai	428	-3	1	-0,57	-3,23	0,55	-1,95
02.mai	430	-3	0	-0,49	-3,41	0,55	-2,00
02.mai	432	-2	1	-0,54	-3,46	0,55	-1,95
02.mai	434	0	2	-0,49	-3,41	0,60	-1,85
02.mai	436	-2	2	-0,25	-3,45	0,65	-1,80
02.mai	438	-2	0	-0,07	-3,53	0,65	-1,75
02.mai	440	-3	1	-0,02	-3,48	0,65	-1,80
02.mai	442	-2	1	-0,07	-3,53	0,70	-1,80
02.mai	444	-3	1	0,06	-3,66	0,70	-1,90
02.mai	446	-3	0	-0,04	-3,76	0,70	-2,00
02.mai	448	-2	1	-0,14	-3,86	0,70	-2,00
02.mai	450	-3	1	-0,14	-3,86	0,70	-2,10
02.mai	452	-1	2	-0,24	-3,96	0,75	-2,05
02.mai	454	-3	2	-0,06	-4,04	0,80	-2,15
02.mai	1763	-1	2	-0,02	-4,28	0,90	-2,15
02.mai	421	-2	1	0,24	-4,54	0,90	-2,15
02.mai	423	-2	0	0,24	-4,54	0,90	-2,15
02.mai	425	-1	1	0,24	-4,54	0,95	-2,10
02.mai	427	-1	0	0,43	-4,63	0,95	-2,05
02.mai	429	-1	0	0,48	-4,58	0,95	-2,00
02.mai	431	-1	0	0,53	-4,53	0,90	-1,90
02.mai	433	-1	0	0,49	-4,29	0,90	-1,80
02.mai	435	-1	0	0,59	-4,19	0,85	-1,75
02.mai	437	0	1	0,51	-4,01	0,80	-1,75
02.mai	439	-2	2	0,38	-3,88	0,80	-1,75
02.mai	441	-1	1	0,38	-3,88	0,85	-1,70
02.mai	443	-1	0	0,56	-3,96	0,80	-1,60
02.mai	445	-1	0	0,53	-3,73	0,75	-1,55
02.mai	447	-1	0	0,44	-3,54	0,70	-1,45
02.mai	449	-1	0	0,41	-3,31	0,70	-1,35
02.mai	453	-1	0	0,51	-3,21	0,65	-1,30
02.mai	457	-1	0	0,43	-3,03	0,60	-1,20

Tabell 11-5 Datagrunnlag og beregninger til Figur 5-5, 1. og 2. mai

10.11. Datagrunnlag og beregninger til Figur 5-6 kontrolldiagram 6

Dato 2011	Tog nummer	Min. avvik i forhold til plan	R (variasjonsbredde)	Øvre kontrollgrense	Nedre kontrollgrense	Gjennomsnitt av R	Forventningsverdi□
03.okt	1760	-2	1	0,94	-3,04	0,75	-1,10
03.okt	1762	1	3	0,89	-3,09	0,85	-0,95
03.okt	422	-1	2	1,31	-3,21	0,85	-1,00
03.okt	424	-2	1	1,26	-3,26	0,90	-1,10
03.okt	426	-2	0	1,29	-3,49	0,80	-1,10
03.okt	428	1	3	1,03	-3,23	0,95	-0,95
03.okt	430	1	0	1,58	-3,48	0,90	-0,85
03.okt	432	2	1	1,54	-3,24	0,95	-0,70
03.okt	434	-1	3	1,83	-3,23	1,05	-0,65
03.okt	436	0	1	2,14	-3,44	1,05	-0,60
03.okt	438	4	4	2,19	-3,39	1,25	-0,35
03.okt	440	-2	6	2,97	-3,67	1,45	-0,50
03.okt	442	-2	0	3,36	-4,36	1,40	-0,60
03.okt	444	-1	1	3,12	-4,32	1,40	-0,60
03.okt	446	-1	0	3,12	-4,32	1,40	-0,60
03.okt	448	-1	0	3,12	-4,32	1,35	-0,55
03.okt	450	-1	0	3,04	-4,14	1,35	-0,50
03.okt	452	1	2	3,09	-4,09	1,40	-0,40
03.okt	454	-2	3	3,32	-4,12	1,55	-0,45
04.okt	1760	-1	1	3,67	-4,57	1,60	-0,45
04.okt	422	-1	0	3,81	-4,71	1,55	-0,40
04.okt	424	-2	1	3,72	-4,52	1,45	-0,55
04.okt	426	-1	1	3,31	-4,41	1,40	-0,55
04.okt	428	0	1	3,17	-4,27	1,40	-0,45
04.okt	430	-2	2	3,27	-4,17	1,50	-0,45
04.okt	432	-1	1	3,54	-4,44	1,40	-0,55
04.okt	434	-1	0	3,17	-4,27	1,40	-0,65
04.okt	436	-2	1	3,07	-4,37	1,40	-0,85
04.okt	438	-1	1	2,87	-4,57	1,30	-0,85
04.okt	440	-2	1	2,61	-4,31	1,30	-0,95
04.okt	442	-2	0	2,51	-4,41	1,10	-1,25
04.okt	444	-2	0	1,68	-4,18	0,80	-1,25
04.okt	446	-1	1	0,88	-3,38	0,85	-1,20
04.okt	448	-1	0	1,06	-3,46	0,80	-1,20
04.okt	450	-2	1	0,93	-3,33	0,85	-1,25
04.okt	452	-1	1	1,01	-3,51	0,90	-1,25
04.okt	454	-1	0	1,14	-3,64	0,90	-1,25
05.okt	1760	-2	1	1,14	-3,64	0,85	-1,40
05.okt	1762	0	2	0,86	-3,66	0,80	-1,30
05.okt	422	-1	1	0,83	-3,43	0,80	-1,30
05.okt	424	-2	1	0,83	-3,43	0,85	-1,35
05.okt	426	-2	0	0,91	-3,61	0,80	-1,35
05.okt	428	-2	0	0,78	-3,48	0,75	-1,40
05.okt	430	1	3	0,59	-3,39	0,85	-1,35
05.okt	432	-1	2	0,91	-3,61	0,85	-1,30
05.okt	434	0	1	0,96	-3,56	0,85	-1,25
05.okt	436	-2	2	1,01	-3,51	0,95	-1,30
05.okt	438	-2	0	1,23	-3,83	0,90	-1,30
05.okt	440	-1	1	1,09	-3,69	0,90	-1,30
05.okt	442	-1	0	1,09	-3,69	0,85	-1,25
05.okt	444	-1	0	1,01	-3,51	0,85	-1,20
05.okt	446	-1	0	1,06	-3,46	0,85	-1,15
05.okt	448	-1	0	1,11	-3,41	0,80	-1,15
05.okt	450	-1	0	0,98	-3,28	0,80	-1,15
05.okt	452	0	1	0,98	-3,28	0,80	-1,05
05.okt	454	-1	1	1,08	-3,18	0,80	-1,05

Tabell 11-6 Datagrunnlag og beregninger til Figur 5-6

10.12. Datagrunnlag og beregninger til Figur 5-7 kontrolldiagram 7

Dato 2011	Tog nummer	Min. avvik i forhold til plan	R (variasjonsbredde)	Øvre kontrollgrense	Nedre kontrollgrense	Gjennomsnitt av R	Forventningsverdi
03.okt	1763	0	1	2,88	-2,18	1,00	0,35
03.okt	421	-1	1	3,01	-2,31	0,85	0,10
03.okt	423	-1	0	2,36	-2,16	0,80	-0,20
03.okt	425	-1	0	1,93	-2,33	0,55	-0,25
03.okt	427	-1	0	1,21	-1,71	0,50	-0,35
03.okt	429	-1	0	0,98	-1,68	0,45	-0,40
03.okt	431	0	1	0,80	-1,60	0,50	-0,40
03.okt	433	-1	1	0,93	-1,73	0,50	-0,40
03.okt	435	-1	0	0,93	-1,73	0,45	-0,45
03.okt	437	0	1	0,75	-1,65	0,50	-0,45
03.okt	439	-1	1	0,88	-1,78	0,50	-0,55
03.okt	441	-1	0	0,78	-1,88	0,45	-0,60
03.okt	443	0	1	0,60	-1,80	0,50	-0,60
03.okt	445	0	0	0,73	-1,93	0,50	-0,60
03.okt	447	-1	1	0,73	-1,93	0,55	-0,65
03.okt	449	0	1	0,81	-2,11	0,55	-0,60
03.okt	453	-1	1	0,86	-2,06	0,55	-0,65
03.okt	457	-1	0	0,81	-2,11	0,55	-0,70
04.okt	1761	-1	0	0,76	-2,16	0,50	-0,70
04.okt	1763	-1	0	0,63	-2,03	0,50	-0,70
04.okt	421	0	1	0,63	-2,03	0,50	-0,70
04.okt	423	0	0	0,63	-2,03	0,45	-0,65
04.okt	425	-1	1	0,55	-1,85	0,50	-0,65
04.okt	427	0	1	0,68	-1,98	0,55	-0,60
04.okt	429	0	0	0,86	-2,06	0,55	-0,55
04.okt	431	0	0	0,91	-2,01	0,55	-0,50
04.okt	433	0	0	0,96	-1,96	0,50	-0,50
04.okt	435	0	0	0,83	-1,83	0,45	-0,45
04.okt	437	0	0	0,75	-1,65	0,45	-0,40
04.okt	439	-1	1	0,80	-1,60	0,45	-0,45
04.okt	441	0	1	0,75	-1,65	0,45	-0,40
04.okt	443	0	0	0,80	-1,60	0,45	-0,35
04.okt	445	0	0	0,85	-1,55	0,40	-0,35
04.okt	447	0	0	0,71	-1,41	0,40	-0,35
04.okt	449	0	0	0,71	-1,41	0,35	-0,30
04.okt	453	-1	1	0,63	-1,23	0,35	-0,35
04.okt	457	0	1	0,58	-1,28	0,35	-0,30
05.okt	1761	-1	1	0,63	-1,23	0,40	-0,30
05.okt	1763	0	1	0,76	-1,36	0,45	-0,25
05.okt	421	0	0	0,95	-1,45	0,45	-0,20
05.okt	423	0	0	1,00	-1,40	0,40	-0,20
05.okt	425	-1	1	0,86	-1,26	0,45	-0,25
05.okt	427	-1	0	0,95	-1,45	0,40	-0,25
05.okt	429	0	1	0,81	-1,31	0,40	-0,25
05.okt	431	-1	1	0,81	-1,31	0,45	-0,30
05.okt	433	0	1	0,90	-1,50	0,50	-0,30
05.okt	435	0	0	1,03	-1,63	0,50	-0,30
05.okt	437	-1	1	1,03	-1,63	0,55	-0,35
05.okt	439	0	1	1,11	-1,81	0,60	-0,35
05.okt	441	0	0	1,25	-1,95	0,55	-0,30
05.okt	443	0	0	1,16	-1,76	0,50	-0,30
05.okt	445	0	0	1,03	-1,63	0,50	-0,30
05.okt	447	-1	1	1,03	-1,63	0,55	-0,35
05.okt	449	0	1	1,11	-1,81	0,60	-0,35
05.okt	453	-1	1	1,25	-1,95	0,65	-0,40
05.okt	457	-1	0	1,33	-2,13	0,60	-0,40

Tabell 11-7 Datagrunnlag og beregninger til Figur 5-7

10.13. Datagrunnlag og beregninger til Figur 5-8 kontrolldiagram 8

Dato 2011	Tognummer	Målt kjøretid	R (variasjonsbredde)	Øvre kontrollgrense	Nedre kontrollgrense	Gjennomsnitt av R	Forventningsverdi
3. okt.	430	00:08:49	00:00:35	00:07:53	00:04:09	00:00:43	00:06:10
3. okt.	432	00:08:30	00:00:19	00:08:05	00:04:15	00:00:42	00:06:16
3. okt.	434	00:05:32	00:02:58	00:08:08	00:04:24	00:00:48	00:06:15
3. okt.	436	00:06:56	00:01:24	00:08:24	00:04:07	00:00:51	00:06:18
3. okt.	438	00:10:30	00:03:34	00:08:35	00:04:02	00:01:02	00:06:32
3. okt.	440	00:05:33	00:04:57	00:09:17	00:03:47	00:01:15	00:06:32
3. okt.	442	00:05:35	00:00:02	00:09:52	00:03:12	00:01:15	00:06:32
3. okt.	444	00:06:02	00:00:27	00:09:51	00:03:13	00:01:16	00:06:33
3. okt.	446	00:06:12	00:00:10	00:09:56	00:03:11	00:01:07	00:06:26
3. okt.	448	00:06:01	00:00:11	00:09:25	00:03:27	00:01:01	00:06:25
3. okt.	450	00:05:36	00:00:25	00:09:08	00:03:42	00:01:02	00:06:23
3. okt.	452	00:08:32	00:02:56	00:09:07	00:03:39	00:01:08	00:06:33
3. okt.	454	00:05:46	00:02:46	00:09:34	00:03:32	00:01:16	00:06:34
4. okt.	422	00:05:26	00:00:20	00:09:55	00:03:12	00:01:17	00:06:33
4. okt.	424	00:05:31	00:00:05	00:09:57	00:03:10	00:01:16	00:06:32
4. okt.	428	00:07:23	00:01:52	00:09:55	00:03:10	00:01:21	00:06:38
4. okt.	430	00:04:47	00:02:36	00:10:13	00:03:04	00:01:27	00:06:35
4. okt.	432	00:05:35	00:00:48	00:10:27	00:02:44	00:01:28	00:06:36
4. okt.	434	00:05:38	00:00:03	00:10:30	00:02:41	00:01:28	00:06:36
4. okt.	436	00:05:17	00:00:21	00:10:30	00:02:42	00:01:20	00:06:28
4. okt.	438	00:05:57	00:00:40	00:10:02	00:02:54	00:01:21	00:06:19
4. okt.	440	00:05:26	00:00:31	00:09:54	00:02:44	00:01:21	00:06:10
4. okt.	442	00:05:30	00:00:04	00:09:46	00:02:34	00:01:13	00:06:10
4. okt.	444	00:05:24	00:00:06	00:09:23	00:02:57	00:01:09	00:06:05
4. okt.	446	00:05:40	00:00:16	00:09:08	00:03:02	00:00:59	00:05:51
4. okt.	448	00:05:54	00:00:14	00:08:27	00:03:14	00:00:45	00:05:52
4. okt.	450	00:05:07	00:00:47	00:07:50	00:03:53	00:00:47	00:05:50
4. okt.	452	00:05:24	00:00:17	00:07:55	00:03:45	00:00:46	00:05:48
4. okt.	454	00:05:45	00:00:21	00:07:52	00:03:45	00:00:47	00:05:47
5. okt.	422	00:05:18	00:00:27	00:07:52	00:03:42	00:00:48	00:05:45
5. okt.	424	00:05:28	00:00:10	00:07:52	00:03:38	00:00:47	00:05:44
5. okt.	428	00:05:21	00:00:07	00:07:49	00:03:39	00:00:39	00:05:35
5. okt.	430	00:07:37	00:02:16	00:07:17	00:03:52	00:00:37	00:05:40
5. okt.	432	00:05:23	00:02:14	00:07:19	00:04:02	00:00:43	00:05:40
5. okt.	434	00:06:38	00:01:15	00:07:34	00:03:47	00:00:46	00:05:44
5. okt.	436	00:05:15	00:01:23	00:07:47	00:03:41	00:00:45	00:05:37
5. okt.	438	00:05:14	00:00:01	00:07:36	00:03:38	00:00:37	00:05:39
5. okt.	440	00:05:30	00:00:16	00:07:17	00:04:00	00:00:35	00:05:38
5. okt.	442	00:05:45	00:00:15	00:07:13	00:04:04	00:00:36	00:05:39
5. okt.	444	00:05:36	00:00:09	00:07:15	00:04:03	00:00:35	00:05:40
5. okt.	446	00:05:27	00:00:09	00:07:14	00:04:05	00:00:34	00:05:38
5. okt.	448	00:06:07	00:00:40	00:07:08	00:04:08	00:00:34	00:05:40
5. okt.	450	00:05:39	00:00:28	00:07:12	00:04:09	00:00:36	00:05:41
5. okt.	452	00:07:00	00:01:21	00:07:15	00:04:06	00:00:39	00:05:45
5. okt.	454	00:05:57	00:01:03	00:07:30	00:04:01	00:00:42	00:05:46

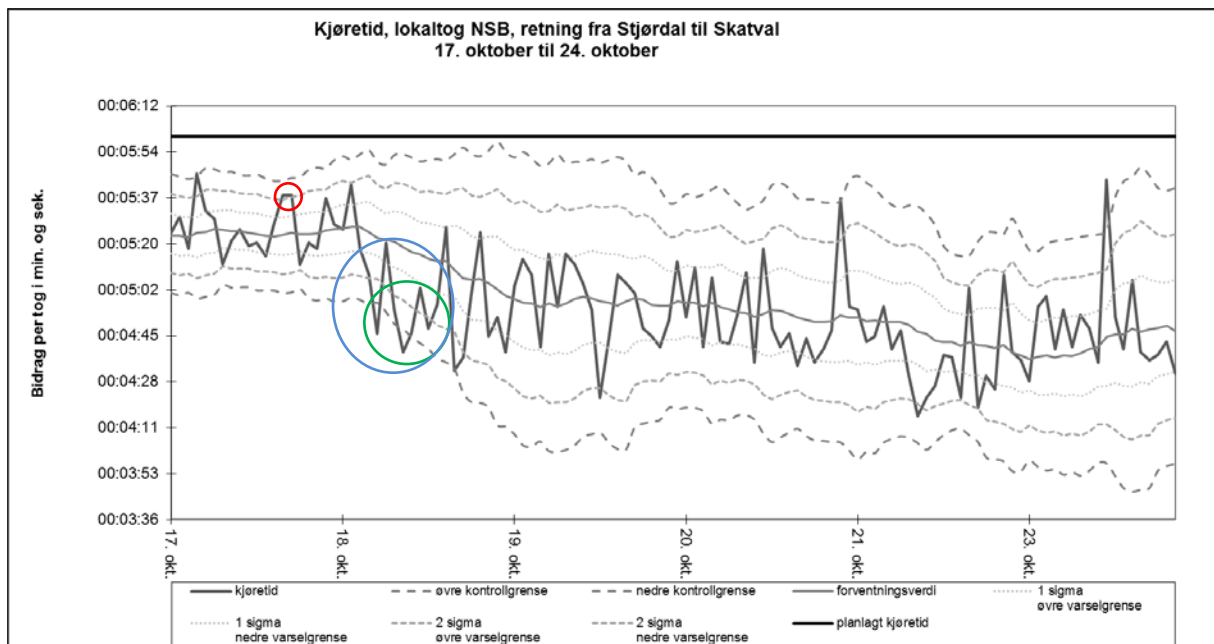
Tabell 11-8 Datagrunnlag og beregninger til Figur 5-8

10.14. Datagrunnlag og beregninger til Figur 5-9 kontrolldiagram 9

Dato 2011	Tognummer	Målt kjøretid	R (variasjonsbredde)	Øvre kontrollgrense	Nedre kontrollgrense	Gjennomsnitt av R	Forventningsverdi
3. okt.	421	00:05:29	00:00:12	00:06:27	00:05:17	00:00:13	00:05:50
3. okt.	423	00:05:38	00:00:09	00:06:25	00:05:16	00:00:13	00:05:49
3. okt.	425	00:05:21	00:00:17	00:06:24	00:05:15	00:00:13	00:05:48
3. okt.	427	00:05:29	00:00:08	00:06:24	00:05:12	00:00:13	00:05:47
3. okt.	429	00:05:19	00:00:10	00:06:23	00:05:12	00:00:12	00:05:44
3. okt.	431	00:05:30	00:00:11	00:06:15	00:05:13	00:00:11	00:05:43
3. okt.	433	00:05:27	00:00:03	00:06:12	00:05:14	00:00:10	00:05:41
3. okt.	435	00:05:35	00:00:08	00:06:08	00:05:14	00:00:10	00:05:40
3. okt.	437	00:05:27	00:00:08	00:06:06	00:05:15	00:00:10	00:05:39
3. okt.	439	00:05:32	00:00:05	00:06:04	00:05:14	00:00:10	00:05:38
3. okt.	441	00:05:23	00:00:09	00:06:04	00:05:13	00:00:09	00:05:35
3. okt.	443	00:05:35	00:00:12	00:05:59	00:05:12	00:00:08	00:05:35
3. okt.	445	00:05:43	00:00:08	00:05:56	00:05:14	00:00:08	00:05:35
3. okt.	447	00:05:36	00:00:07	00:05:57	00:05:13	00:00:08	00:05:34
3. okt.	449	00:05:27	00:00:09	00:05:56	00:05:12	00:00:08	00:05:33
3. okt.	453	00:05:19	00:00:08	00:05:55	00:05:11	00:00:08	00:05:32
3. okt.	457	00:05:18	00:00:01	00:05:54	00:05:10	00:00:08	00:05:31
4. okt.	421	00:05:25	00:00:07	00:05:52	00:05:10	00:00:08	00:05:30
4. okt.	423	00:05:39	00:00:14	00:05:51	00:05:08	00:00:08	00:05:30
4. okt.	425	00:05:20	00:00:19	00:05:52	00:05:07	00:00:09	00:05:29
4. okt.	427	00:05:34	00:00:14	00:05:53	00:05:04	00:00:09	00:05:29
4. okt.	429	00:05:57	00:00:23	00:05:54	00:05:04	00:00:10	00:05:30
4. okt.	431	00:05:23	00:00:34	00:05:57	00:05:03	00:00:11	00:05:30
4. okt.	433	00:05:55	00:00:32	00:05:59	00:05:01	00:00:12	00:05:31
4. okt.	435	00:05:33	00:00:22	00:06:03	00:04:59	00:00:13	00:05:32
4. okt.	437	00:05:40	00:00:07	00:06:06	00:04:58	00:00:12	00:05:32
4. okt.	439	00:05:28	00:00:12	00:06:06	00:04:59	00:00:13	00:05:32
4. okt.	441	00:05:38	00:00:10	00:06:07	00:04:58	00:00:13	00:05:33
4. okt.	443	00:05:22	00:00:16	00:06:07	00:04:58	00:00:13	00:05:32
4. okt.	445	00:05:30	00:00:08	00:06:08	00:04:57	00:00:14	00:05:32
4. okt.	447	00:05:55	00:00:25	00:06:08	00:04:56	00:00:14	00:05:34
4. okt.	449	00:05:38	00:00:17	00:06:12	00:04:56	00:00:15	00:05:34
4. okt.	453	00:05:24	00:00:14	00:06:13	00:04:55	00:00:15	00:05:33
4. okt.	457	00:06:00	00:00:36	00:06:13	00:04:53	00:00:16	00:05:34
5. okt.	421	00:05:32	00:00:28	00:06:18	00:04:51	00:00:17	00:05:35
5. okt.	423	00:05:57	00:00:25	00:06:21	00:04:48	00:00:18	00:05:36
5. okt.	425	00:05:14	00:00:43	00:06:25	00:04:48	00:00:20	00:05:36
5. okt.	427	00:05:14	00:00:00	00:06:30	00:04:42	00:00:20	00:05:36
5. okt.	429	00:05:28	00:00:14	00:06:29	00:04:43	00:00:20	00:05:35
5. okt.	431	00:05:14	00:00:14	00:06:28	00:04:42	00:00:20	00:05:35
5. okt.	433	00:05:24	00:00:10	00:06:27	00:04:42	00:00:20	00:05:34
5. okt.	435	00:05:35	00:00:11	00:06:26	00:04:42	00:00:19	00:05:33
5. okt.	437	00:05:10	00:00:25	00:06:23	00:04:43	00:00:18	00:05:33
5. okt.	439	00:05:19	00:00:09	00:06:22	00:04:43	00:00:17	00:05:31
5. okt.	441	00:05:23	00:00:04	00:06:17	00:04:45	00:00:16	00:05:30
5. okt.	443	00:05:23	00:00:00	00:06:14	00:04:47	00:00:16	00:05:29
5. okt.	445	00:05:26	00:00:03	00:06:12	00:04:47	00:00:16	00:05:29
5. okt.	447	00:05:34	00:00:08	00:06:11	00:04:48	00:00:16	00:05:29
5. okt.	449	00:05:33	00:00:01	00:06:10	00:04:48	00:00:15	00:05:30
5. okt.	453	00:05:20	00:00:13	00:06:09	00:04:50	00:00:15	00:05:29
5. okt.	457	00:05:09	00:00:11	00:06:09	00:04:49	00:00:14	00:05:27

Tabell 11-9 Datagrunnlag og beregninger til Figur 5-9

10.16. Tolkning av Figur 5-10 kontrolldiagram 10



Figur 5-10 kontrolldiagram 10, forslag til kontrolldiagram med varselgrenser

Regel 1: En eller flere målinger er utenfor øvre kontrollgrense eller nedre kontrollgrense.

Dato	Tog nummer	Medgått tid	Verdi på kontrollgrense	Øvre eller nedre kontrollgrense?
17/10	427	05:46	05:45	Øvre kontrollgrense
18/10	435	04:46	04:58	Nedre kontrollgrense
18/10	441	04:39	04:48	Nedre kontrollgrense
18/10	457	04:32	04:33	Nedre kontrollgrense
21/10	441	05:37	05:36	Øvre kontrollgrense
24/10	437	05:44	05:25	Øvre kontrollgrense

Tabell 11-10 Tolkning av Figur 5-10, kontrolldiagram 10 med regel 1

Regel 2: To av tre påfølgende målinger ligger utenfor 2 σ varselgrense men innenfor 3 σ kontrollgrense (markert med rød sirkel i Figur 5-10).

Dato	Tog nummer	Medgått tid	Øvre 2 σ varselgrense	Øvre 3 σ kontrollgrense
17/10	447	05:38	05:36	05:44
17/10	449	05:38	05:37	05:45

Tabell 11-11 Tolkning av Figur 5-10, kontrolldiagram 10 med regel 2

Regel 3: Fire av fem påfølgende målinger er utenfor 1σ varselgrense
 Kommentar: Siste måling før "signalet" og første måling etter "signalet" er tatt med for å dokumentere gyldigheten av "signalet" som regelen har utløst.

(markert med grønn sirkel i Figur 5-10)

Dato	Tog nummer	Medgått tid	Nedre 1σ varselgrense
18/10	437	05:20	05:13
18/10	439	04:55	05:11
18/10	441	04:39	05:10
18/10	443	04:46	05:07
18/10	445	05:03	05:05
18/10	447	04:48	05:04
18/10	449	04:57	05:02
18/10	453	05:26	05:01

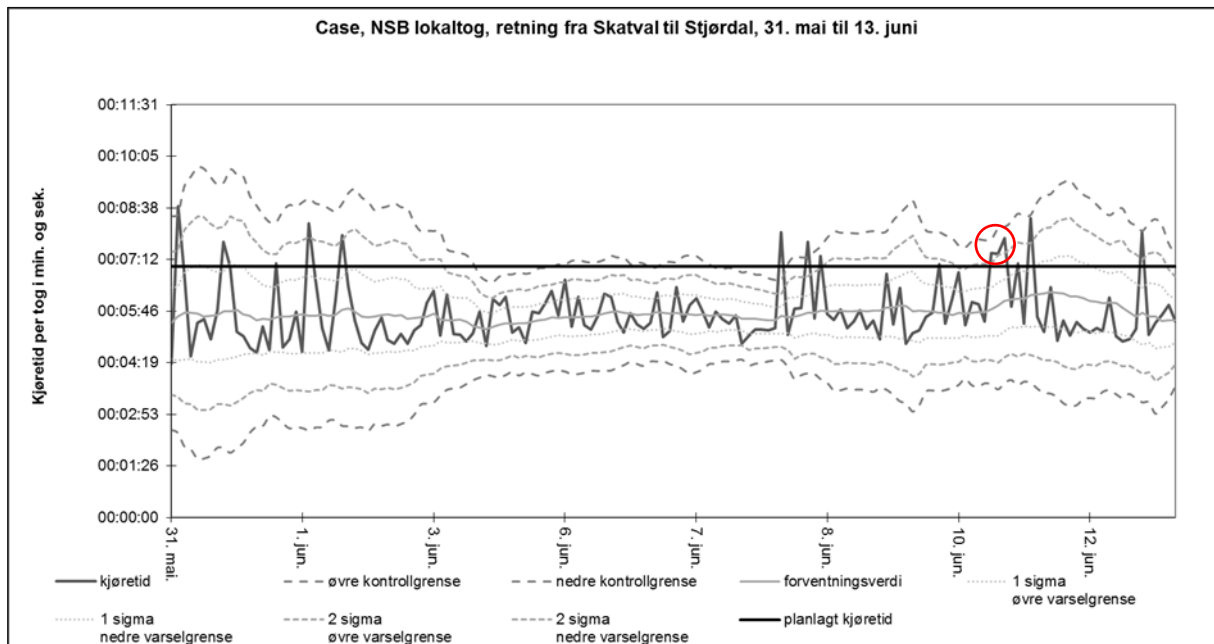
Tabell 11-12 Tolkning av Figur 5-10, kontrolldiagram 10 med regel 3

Regel 4: En serie av åtte sammenhengende målinger er på samme siden av forventningsverdien
 (markert med blå sirkel i Figur 5-10)

Dato	Tog nummer	Medgått tid	μ
18/10	431	05:18	05:26
18/10	433	05:08	05:24
18/10	435	04:46	05:22
18/10	437	05:20	05:21
18/10	439	04:55	05:21
18/10	441	04:39	05:18
18/10	443	04:46	05:17
18/10	445	05:03	05:16
18/10	447	04:48	05:14
18/10	449	04:57	05:13

Tabell 11-13 Tolkning av Figur 5-10, kontrolldiagram 10 med regel 4

10.17. Tolkning av Figur 6-1 case NSB lokaltog sørover



Figur 6-1 case NSB lokaltog sørover

Tolkningsregel 1: En eller flere målinger ligger utenfor kontrollgrensene

Dato 2011	Tognummer	kjøretid	øvre kontrollgrense
31. mai.	424	00:08:41	00:08:28
8. jun.	436	00:07:57	00:06:38
8. jun.	444	00:07:41	00:07:16

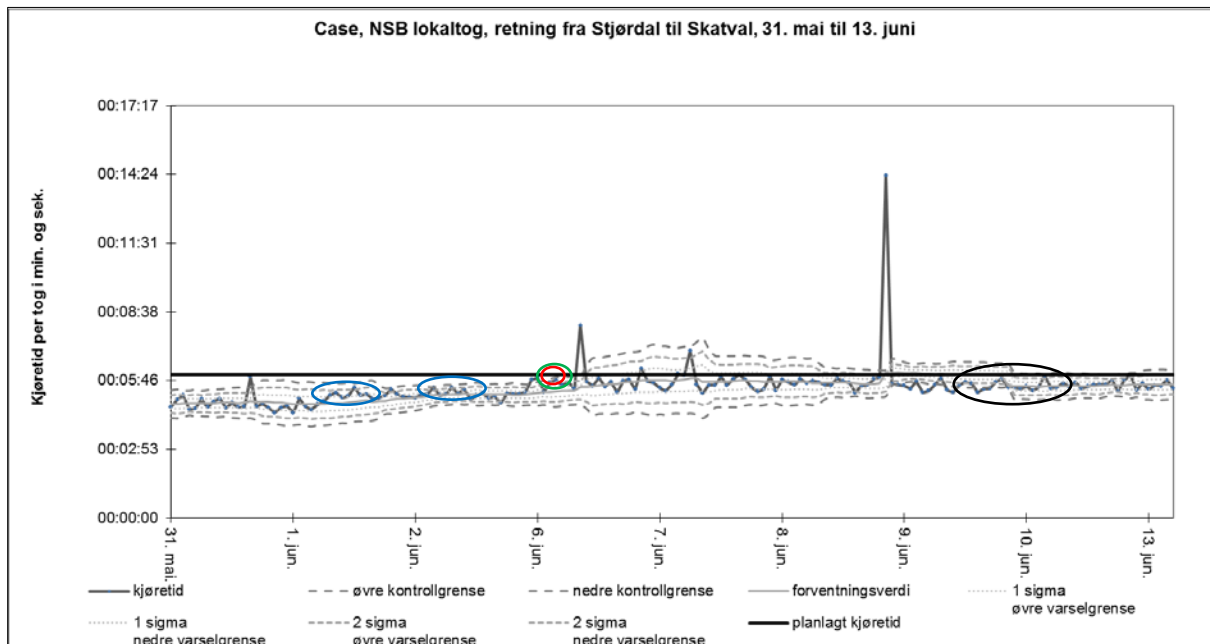
Tabell 11-14 Tolkning av Figur 6-1 case NSB lokaltog sørover med regel 1

Tolkningsregel 2: To av tre påfølgende målinger er utenfor 2 σ varselgrenser men innenfor 3 σ kontrollgrenser (markert med rød sirkel i Figur 6-1).

Dato 2011	Tognummer	kjøretid	øvre kontrollgrense	2 sigma øvre varselgrense
10. jun.	440	00:07:23	00:07:46	00:07:06
10. jun.	442	00:07:22	00:08:04	00:07:19
10. jun.	444	00:07:48	00:08:06	00:07:23

Tabell 11-15 Tolkning av Figur 6-1 case NSB lokaltog sørover med regel 2

10.18. Tolkning av Figur 6-2 case NSB lokaltog nordover



Figur 6-2 case NSB lokaltog nordover

Tolkningsregel 1: En eller flere målinger ligger utenfor kontrollgrensene.

Dato 2011	Tognummer	kjøretid	øvre kontrollgrense
31. mai.	447	00:05:55	00:05:28
6. jun.	421	00:05:48	00:05:37
6. jun.	423	00:05:53	00:05:43
6. jun.	437	00:08:05	00:05:56
9. jun.	437	00:14:20	00:06:12

Tabell 11-16 tolkning av Figur 6-2 case NSB lokaltog nordover med regel 1

Tolkningsregel 2: To av tre påfølgende målinger er utenfor 2 σ varselgrenser men innenfor 3 σ kontrollgrenser (markert med rød sirkel i Figur 6-2).

Dato 2011	Tognummer	kjøretid	øvre kontrollgrense	2 sigma øvre varselgrense
6. jun.	427	00:05:40	00:05:50	00:05:38
6. jun.	429	00:05:47	00:05:54	00:05:42

Tabell 11-17 tolkning av Figur 6-2 case NSB lokaltog nordover med regel 2

Tolkningsregel 3: Fire av fem påfølgende målinger er utenfor 1σ varselgrense (markert med grønn sirkel i Figur 6-2).

Dato 2011	Tognummer	kjøretid	1 sigma øvre varselgrense
6. jun.	427	00:05:40	00:05:27
6. jun.	429	00:05:47	00:05:29
6. jun.	431	00:05:35	00:05:30
6. jun.	433	00:05:41	00:05:31

Tabell 11-18 tolkning av Figur 6-2 case NSB lokaltog nordover med regel 3

Tolkningsregel 4: En serie av åtte sammenhengende målinger er på samme siden av forventningsverdien (markert med blå sirkel i Figur 6-2).

Dato 2011	Tognummer	kjøretid	forventningsverdi
1. jun.	437	00:04:54	00:04:46
1. jun.	439	00:05:09	00:04:48
1. jun.	441	00:05:15	00:04:49
1. jun.	443	00:05:03	00:04:49
1. jun.	445	00:05:07	00:04:50
1. jun.	447	00:05:28	00:04:52
1. jun.	449	00:05:09	00:04:54
1. jun.	453	00:05:11	00:04:55
1. jun.	457	00:04:59	00:04:53
2. jun.	429	00:05:02	00:04:54
2. jun.	433	00:05:08	00:04:55
2. jun.	437	00:05:23	00:04:57
2. jun.	441	00:05:11	00:04:59
2. jun.	445	00:05:05	00:05:01
2. jun.	449	00:05:04	00:05:02

Tabell 11-19 tolkning av Figur 6-2 case NSB lokaltog nordover med regel 4

Tolkningsregel 4 (2): En serie av åtte sammenhengende målinger er på samme siden av forventningsverdien (markert med blå sirkel i Figur 6-2).

Dato 2011	Tognummer	kjøretid	forventningsverdi
3. jun.	447	00:05:13	00:05:11
3. jun.	449	00:05:11	00:05:10
3. jun.	453	00:05:11	00:05:10
3. jun.	457	00:05:17	00:05:11
6. jun.	421	00:05:48	00:05:13
6. jun.	423	00:05:53	00:05:15
6. jun.	425	00:05:17	00:05:16
6. jun.	427	00:05:40	00:05:17
6. jun.	429	00:05:47	00:05:18
6. jun.	431	00:05:35	00:05:19
6. jun.	433	00:05:41	00:05:21
6. jun.	435	00:05:25	00:05:21
6. jun.	437	00:08:05	00:05:29
6. jun.	439	00:05:43	00:05:30
6. jun.	441	00:05:32	00:05:32
6. jun.	443	00:05:52	00:05:34

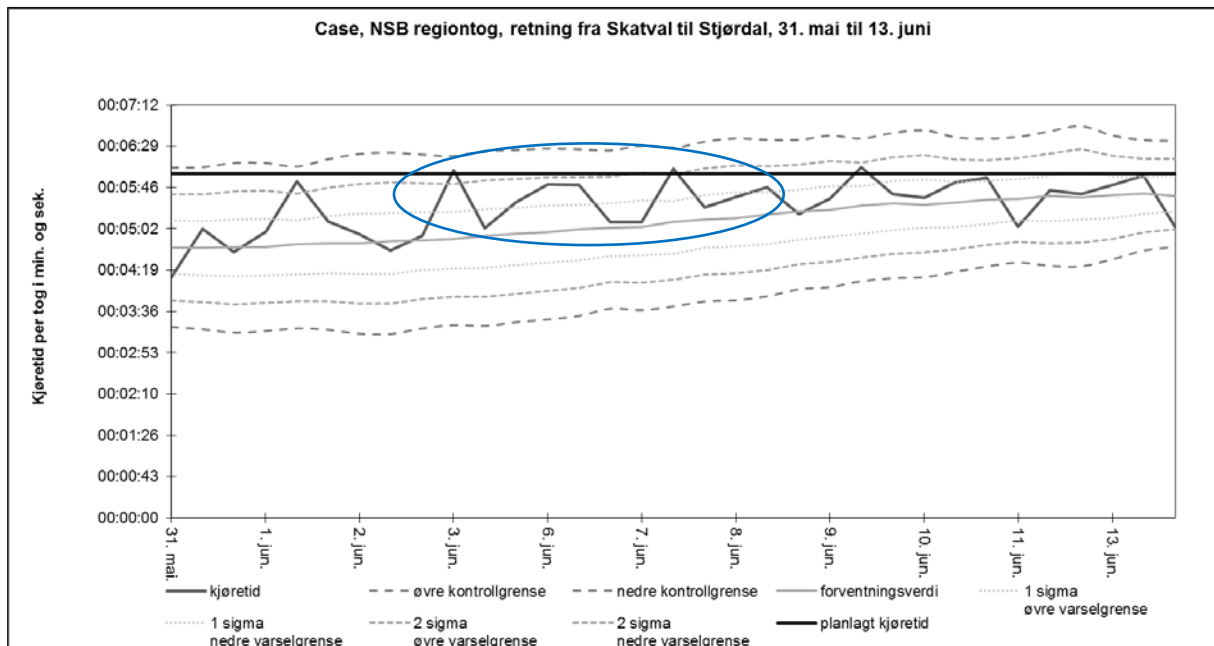
Tabell 11-20 tolkning av Figur 6-2 case NSB lokaltog nordover med regel 4

Tolkningsregel 8: Åtte påfølgende målinger på begge sider av forventningsverdien, men ingen målinger i området mellom $\pm 1\sigma$ (markert med svart sirkel i Figur 6-2).

Dato 2011	Tognummer	kjøretid	1 sigma øvre varselgrense	1 sigma nedre varselgrense
9. jun.	433	00:05:50	00:05:48	00:05:25
9. jun.	435	00:05:54	00:05:49	00:05:26
9. jun.	437	00:14:20	00:05:50	00:05:29
9. jun.	439	00:05:37	00:06:17	00:05:55
9. jun.	441	00:05:35	00:06:15	00:05:55
9. jun.	445	00:05:33	00:06:15	00:05:58
9. jun.	447	00:05:24	00:06:13	00:05:58
9. jun.	449	00:05:44	00:06:12	00:05:57
9. jun.	453	00:05:16	00:06:13	00:05:57
9. jun.	457	00:05:20	00:06:12	00:05:54
10. jun.	421	00:05:35	00:06:11	00:05:54
10. jun.	423	00:05:52	00:06:11	00:05:53
10. jun.	425	00:05:22	00:06:12	00:05:53
10. jun.	427	00:05:16	00:06:12	00:05:51
10. jun.	429	00:05:34	00:06:11	00:05:50
10. jun.	431	00:05:42	00:06:11	00:05:49
10. jun.	433	00:05:38	00:06:11	00:05:49
10. jun.	435	00:05:16	00:06:11	00:05:49
10. jun.	437	00:05:24	00:06:10	00:05:49
10. jun.	439	00:05:25	00:06:10	00:05:49
10. jun.	441	00:05:43	00:06:09	00:05:49

Tabell 11-21 tolkning av Figur 6-2 case NSB lokaltog nordover med regel 8

10.19. Tolkning av Figur 6-3 case NSB regiontog sørover



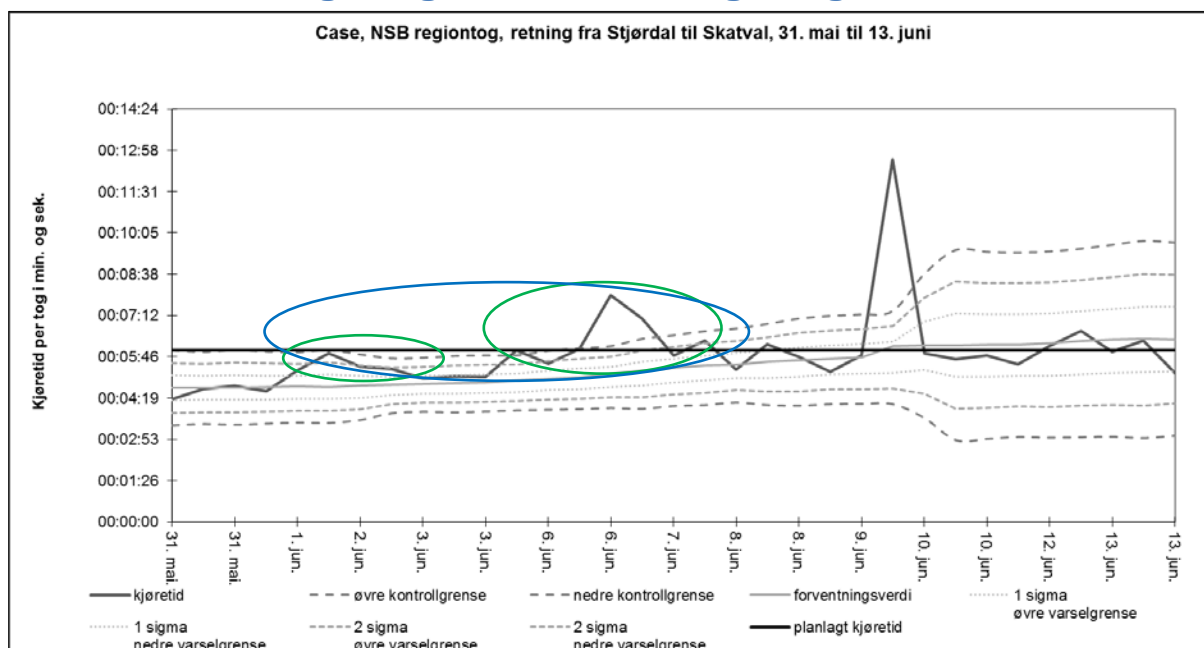
Figur 6-3 case NSB regiontog sørover

Tolkningsregel 4: En serie av åtte sammenhengende målinger er på samme side av forventningsverdien (markert med blå sirkel i Figur 6-3).

Dato 2011	Tognummer	kjøretid	forventningsverdi
3. jun.	472	00:04:55	00:04:50
3. jun.	476	00:06:04	00:04:52
3. jun.	478	00:05:03	00:04:55
5. jun.	476	00:05:30	00:04:57
6. jun.	472	00:05:49	00:04:59
6. jun.	476	00:05:48	00:05:02
6. jun.	478	00:05:09	00:05:03
7. jun.	472	00:05:09	00:05:04
7. jun.	476	00:06:05	00:05:10
7. jun.	478	00:05:25	00:05:12
8. jun.	472	00:05:36	00:05:14
8. jun.	476	00:05:46	00:05:17

Tabell 11-22 Tolkning av Figur 6-3 case NSB regiontog sørover med regel 4

10.20. Tolkning av Figur 6-4 case NSB regiontog nordover



Figur 6-4 case NSB regiontog nordover

Tolkningsregel 1: En eller flere målinger ligger utenfor kontrollgrensene.

Dato 2011	Tognummer	kjøretid	øvre kontrollgrense
5. jun.	475	00:06:00	00:05:49
6. jun.	477	00:07:54	00:06:08
7. jun.	471	00:07:06	00:06:23
9. jun.	477	00:12:38	00:07:22

Tabell 11-23 Tolkning av Figur 6-4 case NSB regiontog nordover med regel 1

Tolkningsregel 3: Fire av fem påfølgende målinger er utenfor $\pm 1 \sigma$ varselgrenser (markert med grønn sirkel i Figur 6-4):

Dato 2011	Tognummer	kjøretid	1 sigma øvre varselgrense
1. jun.	475	00:05:17	00:05:06
1. jun.	477	00:05:53	00:05:09
2. jun.	471	00:05:25	00:05:05
2. jun.	477	00:05:21	00:05:04

Tabell 11-24 Tolkning av Figur 6-4 case NSB regiontog nordover med regel 3

Tolkningsregel 3 (2): Fire av fem påfølgende målinger er utenfor $\pm 1 \sigma$ varselgrenser (markert med grønn sirkel i Figur 6-4):

Dato 2011	Tognummer	kjøretid	1 sigma øvre varselgrense
5. jun.	475	00:06:00	00:05:10
6. jun.	471	00:05:32	00:05:17
6. jun.	475	00:06:03	00:05:21
6. jun.	477	00:07:54	00:05:25
7. jun.	471	00:07:06	00:05:34
7. jun.	475	00:05:48	00:05:41
7. jun.	477	00:06:19	00:05:48

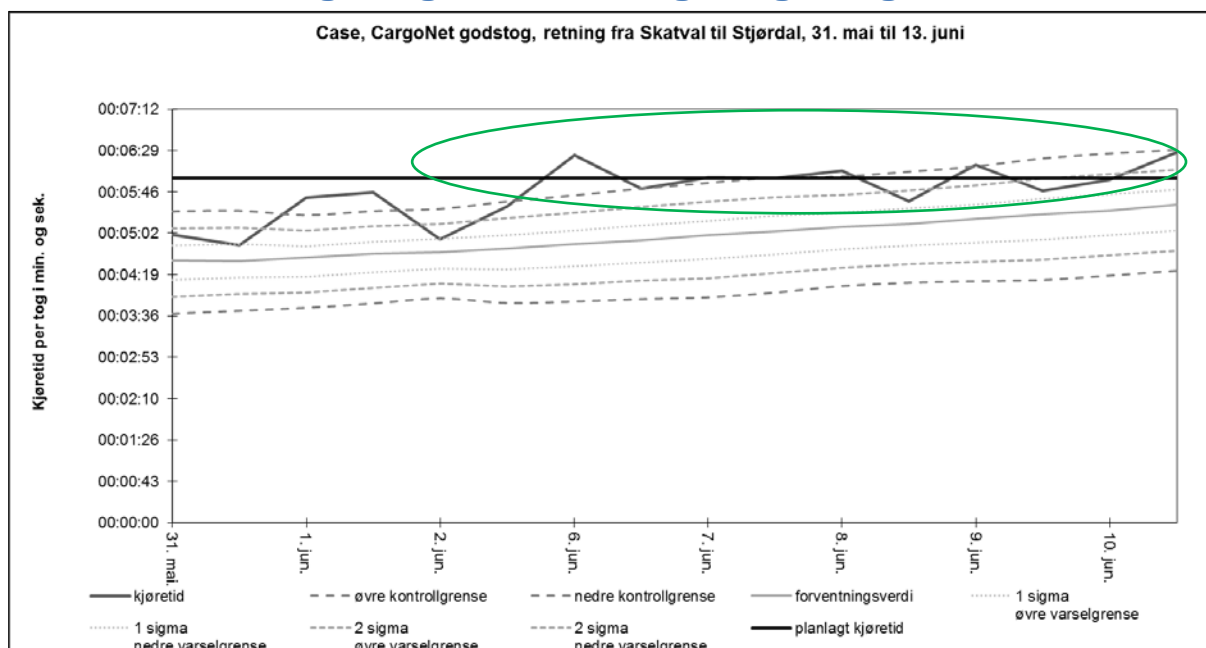
Tabell 11-25 Tolkning av Figur 6-4 case NSB regiontog nordover med regel 3

Tolkningsregel 4: En serie på åtte sammenhengende målinger er på samme side av forventningsverdien (markert med blå sirkel i Figur 6-4).

Dato 2011	Tognummer	kjøretid	forventningsverdi
1. jun.	475	00:05:17	00:04:43
1. jun.	477	00:05:53	00:04:42
2. jun.	471	00:05:25	00:04:45
2. jun.	477	00:05:21	00:04:47
3. jun.	471	00:05:01	00:04:48
3. jun.	475	00:05:05	00:04:50
3. jun.	477	00:05:04	00:04:51
5. jun.	475	00:06:00	00:04:56
6. jun.	471	00:05:32	00:05:00
6. jun.	475	00:06:03	00:05:03
6. jun.	477	00:07:54	00:05:10
7. jun.	471	00:07:06	00:05:17
7. jun.	475	00:05:48	00:05:22
7. jun.	477	00:06:19	00:05:27

Tabell 11-26 Tolkning av Figur 6-4 case NSB regiontog nordover med regel 4

10.21. Tolkning av Figur 6-5 case CargoNet godstog sørover



Figur 6-5 case CargoNet godstog sørover

Tolkningsregel 1: En eller flere målinger er utenfor kontrollgrensene:

Dato 2011	Tognummer	kjøretid	øvre kontrollgrense
1. jun.	5790	00:05:40	00:05:21
1. jun.	5792	00:05:45	00:05:26
6. jun.	5790	00:06:24	00:05:42
7. jun.	5790	00:06:01	00:05:55
8. jun.	5790	00:06:08	00:06:02
9. jun.	5790	00:06:14	00:06:12

Tabell 11-27 Tolkning av Figur 6-5 case CargoNet godstog sørover med regel 1

Tolkningsregel 3: Fire av fem målinger er utenfor $\pm 1 \sigma$ varselgrense (markert med grønn sirkel i Figur 6-5):

Dato 2011	Tognummer	kjøretid	1 sigma øvre varselgrense
3. jun.	5790	00:05:30	00:05:00
6. jun.	5790	00:06:24	00:05:05
6. jun.	5794	00:05:49	00:05:11
7. jun.	5790	00:06:01	00:05:15
7. jun.	5792	00:06:00	00:05:20
8. jun.	5790	00:06:08	00:05:24
8. jun.	5792	00:05:36	00:05:28
9. jun.	5790	00:06:14	00:05:32
9. jun.	5792	00:05:47	00:05:38
10. jun.	5790	00:05:58	00:05:43
10. jun.	5792	00:06:27	00:05:48

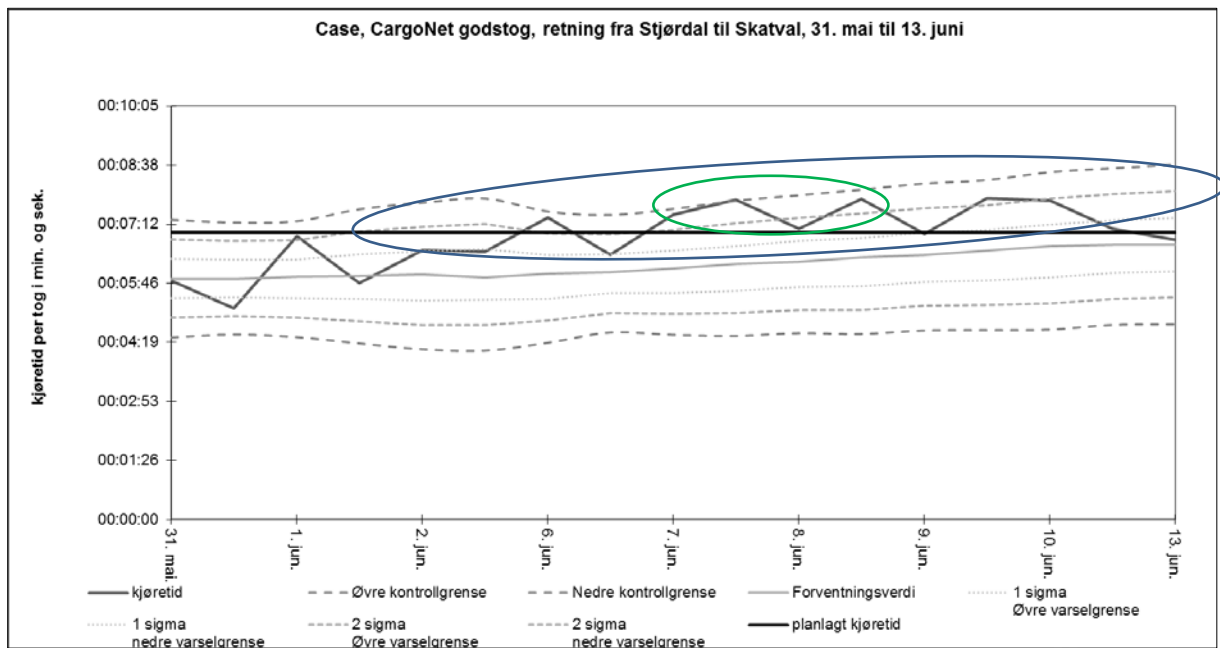
Tabell 11-28 Tolkning av Figur 6-5 case CargoNet godstog sørover med regel 3

Tolkingsregel 4: En serie av åtte sammenhengende målinger er på samme siden av forventningsverdien (i dette tilfellet samtlige målinger i måleserien).

Dato 2011	Tognummer	kjøretid	forventningsverdi
31. mai.	5790	00:05:01	00:04:34
31. mai.	5792	00:04:50	00:04:33
1. jun.	5790	00:05:40	00:04:37
1. jun.	5792	00:05:45	00:04:41
2. jun.	5792	00:04:56	00:04:43
3. jun.	5790	00:05:30	00:04:47
6. jun.	5790	00:06:24	00:04:51
6. jun.	5794	00:05:49	00:04:55
7. jun.	5790	00:06:01	00:05:00
7. jun.	5792	00:06:00	00:05:04
8. jun.	5790	00:06:08	00:05:09
8. jun.	5792	00:05:36	00:05:12
9. jun.	5790	00:06:14	00:05:17
9. jun.	5792	00:05:47	00:05:22
10. jun.	5790	00:05:58	00:05:26
10. jun.	5792	00:06:27	00:05:32

Tabell 11-29 Tolkning av Figur 6-5 case CargoNet godstog sørover med regel 4

10.22. Tolkning av Figur 6-6 case CargoNet godstog nordover



Figur 6-6 case CargoNet godstog nordover

Tolkingsregel 1: En eller flere målinger er utenfor kontrollgrensene.

Dato 2011	Tognummer	kjøretid	Øvre kontrollgrense
7. jun.	5793	00:07:48	00:07:46

Tabell 11-30 Tolkning Figur 6-6 case CargoNet godstog nordover med regel 1

Tolkningsregel 3: Fire av fem påfølgende målinger er utenfor $\pm 1 \sigma$ varselgrense (markert med grønn sirkel i Figur 6-6).

Dato 2011	Tognummer	kjøretid	1 sigma Øvre varselgrense
7. jun.	5791	00:07:26	00:06:33
7. jun.	5793	00:07:48	00:06:40
8. jun.	5791	00:07:06	00:06:47
8. jun.	5793	00:07:49	00:06:52

Tabell 11-31 Tolkning av Figur 6-6 case CargoNet godstog nordover med regel 3

Tolkningsregel 4: En serie av åtte sammenhengende målinger er på samme side av forventningsverdien (markert med blå sirkel i Figur 6-6).

Dato 2011	Tognummer	kjøretid	Forventningsverdi
2. jun.	5793	00:06:34	00:05:59
3. jun.	5791	00:06:32	00:05:55
6. jun.	5791	00:07:22	00:06:00
6. jun.	5795	00:06:27	00:06:02
7. jun.	5791	00:07:26	00:06:08
7. jun.	5793	00:07:48	00:06:13
8. jun.	5791	00:07:06	00:06:17
8. jun.	5793	00:07:49	00:06:24
9. jun.	5791	00:06:58	00:06:27
9. jun.	5793	00:07:50	00:06:33
10. jun.	5791	00:07:47	00:06:39
10. jun.	5793	00:07:05	00:06:42
13. jun.	5797	00:06:49	00:06:42

Tabell 11-32 Tolkning av Figur 6-6 case CargoNet godstog nordover med regel 4

10.23. Punktlighet Dovrebanen 2005 til 2011

Punktlighet i % for CargoNet Dovrebanen (godstog, stykkgoods)													
	Mål	jan	feb	mars	april	Mai	juni	juli	august	sept	okt	nov	des
2005	90	84	88	93	87	88	86	80	81	80	77	80	85
2006	90	81	62	71	89	86	71	84	75	68	67	69	72
2007	90	48	58	88	80	82	51	69	72	69	78	75	67
2008	90	76	68	75	76	52	58	83	61	74	68	82	70
2009	90	71	54	84	86	86	78	71	66	54	69	90	67
2010	90	42	54	57	56	70	71	82	72	72	83	71	53
2011	90	65	66	63	43	73	70	86	62	74	84	90	83

Tabell 11-33 Punktlighet godstog Dovrebanen 2005 - 2011

Punktlighet i % for NSB Dovrebanen (persontog)													
	Mål	jan	feb	mars	april	Mai	juni	juli	august	sept	okt	nov	des
2005	90	89	89	91	95	91	88	81	89	93	89	91	93
2006	90	92	84	91	93	97	84	72	78	83	83	87	82
2007	90	69	75	88	88	93	59	77	70	92	90	86	82
2008	90	85	92	86	90	56	63	78	71	80	83	91	82
2009	90	85	74	89	94	95	70	70	72	73	84	95	73
2010	90	70	68	73	63	69	59	81	81	81	88	92	76
2011	90	83	78	70	37	83	63	69	56	77	85	91	88

Tabell 11-34 Punktlighet persontog Dovrebanen 2005 - 2011

Data hentet fra Jernbaneverkets månedsrapportering, Punktlighetsseksjonen, 20012.08.02.