

# Kvalitetsaspekter ved innføring av ERTMS

Årsaker til forsinkelser

**Martin Øyn**

Project Management

Innlevert: juni 2017

Hovedveileder: Nils Olsson, MTP

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for maskinteknikk og produksjon





# Forord

Denne masteroppgaven er skrevet for Norges Teknisk-Naturvitenskaplige Universitet ved institutt for maskinteknikk og produksjon. Masteroppgaven tilhører emnet TPK4920 Prosjekt- og kvalitetsledelse, teller 30 studiepoeng og arbeidet ble utført i vårsemesteret 2017. Oppgaven har stort sett gått ut på å analysere forskjellige datasett som beskriver jernbanetrafikken på Østfoldbanen østre linje.

Jeg vil rette en stor tatt til Professor Nils Olsson for god veiledning og hjelp gjennom hele oppgaven. Jeg vil også takke Andreas Dypvik Landmark, Petter Arnesen, Kristine Tveit og Sven-Jöran Schrader for hjelpen med å få tak i relevante datasett til oppgaven. Takk rettes også til Robert Hoel Lund M.Sc. for god hjelp med språk og formuleringer samt trivelige kvelder med tv-serier og blåbærpai.

Til slutt vil jeg takke venner og medstudenter som har gjort mine fem år i Trondheim bedre enn jeg kunne ha håpet på.

---

Martin Øyn

Trondheim, 11. juni 2017



# Sammendrag

Formålet med denne oppgaven er å analysere jernbanetraffikkdata fra togstrekningen Østfoldbanen østre linje. Siden september 2015 har det nye signalsystemet ERTMS vært i drift på denne strekningen. Som den første i Norge er dette Bane NORs erfaringsstrekning for den storstilte oppgraderingen av dagens signalsystem. Bane NOR har et mål om at ERTMS skal være etablert på de fleste jernbanestrekningene i Norge innen 2030.

To spørsmålsstillinger blir undersøkt i denne oppgaven. Det første forskningsspørsmålet er: Hvilke faktorer påvirker forsinkelsene på Østfoldbanen østre linje, og hvordan påvirker de?

I samtale med avdelingen ansvarlig for ERTMS i Bane NOR ble det foreslått at man skulle se på sammenhengen mellom akseltellerfeil og togindivid. Det andre forskningsspørsmålet er: I hvor stor grad er feil med akseltellere knyttet opp mot togindivid?

Oppgaven vil konsentrere seg om strekningen Ski til Mysen, i tidsrommet fra august 2015 og til februar 2017.

Informasjonen ble innhentet gjennom litteraturstudier og informasjonssøk. Nettsider som Google Scholar, Oria og Science Direct ble brukt sammen med de norske databasene Jernbanebiblioteket og Jernbaneforskning. Disse akademiske søkemotorene er kjent for sin pålitelighet, så det er liten grunn til å betvile integriteten til den framlagte informasjonen.

For å utvide informasjonsinnhøytningen, ble populærvitenskapelige publikasjoner som Teknisk Ukeblad, Rail Engineer og International Rail Journal oppsøkt for å få tak i mer praktiske erfaringer. Disse artiklene går ikke i dybden som vitenskapelige studier, og henvender seg til personer som selv er i bransjen.

Datasettene som ble brukt i denne oppgaven inneholdt informasjon hvilke togindivid som betjente hvilke tognumre, detaljert beskrevne forsinkelser, planlagt ankomst og avgang, samt faktisk ankomst og avgang.

Datasettene er hentet direkte fra opphavet, og man kan derfor være sikker

på at de holder høy kvalitet. Både NSB og Bane NOR er ofte delaktige i studentoppgaver ved NTNU, særlig ved institutt for maskinteknikk og produksjon og ved institutt for bygg- og miljøteknikk.

Kombinasjonen av *doble togsett, snutid på Mysen og oppstart i ukjent posisjon* har forårsaket de forsinkelsene som enklest kan knyttes opp mot etableringen av ERTMS.

Forsinkelser som følge av feil på akseltellere er knyttet sterkere opp mot spesifikke steder enn togindivider. Flest forsinkelser knyttet til akseltellerfeil finner vi ved Mysen stasjon, og forsinkelsene følger den samme trenden som minutter forsinkelse totalt, fordelt på stasjon.

Den største utfordringen for Østfoldbanen østre linje ser ut til å være de mange innstillingene man fikk i løpet av de første årene med trafikkavvikling. Med en utdypende studie kan det avdekkes tiltak som unngår slike tilstander når ERTMS innføres på andre strekninger.

I videre studier hadde det vært interessant å sammenligne snutiden på Mysen stasjon med snutid på en annen men tilsvarende strekning. I tillegg kan man se på tognummer som både har vært betjent av enkle og doble togsett og se som det finnes en sammenheng.

# Abstract

The aim for this thesis is to analyse rail traffic data from the railway line *Østfoldbanen østre linje*. The new signal system ERTMS was used for the first time on this line in September 2015. As the only rail line in Norway, its Bane NOR's test track to plan the large-scale upgrade of the current signal system. Bane NOR's goal is that ERTMS will be installed on most railway lines in Norway by 2030.

Two research questions will be studied in this thesis. The first one: Which factors are influencing the delays on *Østfoldbanen østre linje*, and in what way?

In conversation with the responsible department in Bane NOR, it was suggested to look at the relationship between errors with axle counters and train individuals. The second research question: To what extent are errors connected to axle counters linked to train individuals?

This thesis will concentrate on the railway path between Ski and Myen, in the time frame between August 2015 and February 2017.

Information was collected through literature searches. Webpages like Google Scholar, Oria and Science Direct was used together with Norwegian databases like BIBSYS Brage and Jernbaneforskning. These academic search engines are known to be reliable, so there is little reason to doubt the integrity of the information presented.

To broaden out the gathering of information, popular science publications with a technical focus like *Teknisk Ukeblad*, *Rail Engineer* and *International Rail Journal* was approached to find more hands-on experiences with ERTMS. These articles are not as in-depth as scientific studies, since they are aimed at a wider audience of people in the rail industry.

The datasets used in this thesis contained information of what train individuals who operated which train routes, detailed description of delays, planned arrival and departure and actual arrival and departure.

The datasets are collected directly from the source, and thus are of good



quality. Both Bane NOR and NSB are often in collaboration with student thesis at NTNU, especially Department of Mechanical and Industrial Engineering and Department of Civil and Environmental Engineering.

The combination of *double trainsets, turnaround at Mysen* and *start up in unknown location* has caused delays with the clearest link to the deployment of ERTMS. Delays caused by errors on axle counters are more related to specific places than specific train individuals. Most delays caused by errors on axle counters is found at Mysen station, and follows the same trend as the total sum of minutes delayed.

The biggest challenge for *Østfoldbanen østre linje* seems to be the many canceled train during the first years of operational use. With a more elaborate study, measures can be found to cope with problem when ERTMS is deployed on other railway lines.

In further studies a comparison of the turnaround time on Mysen station with another terminal station would be interesting. Also, a study of train routes which was operated by both single and double trainsets could be worth the time.

# Innhold

Forord . . . . .	i
Sammendrag . . . . .	ii
Abstract . . . . .	v
Innholdsfortegnelse . . . . .	viii
Tabeller . . . . .	x
Figurer . . . . .	xii
Forkortelser . . . . .	xiii
<b>1 Innledning</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrunn . . . . .	1
1.2 Formål og problemstilling . . . . .	2
1.3 Avgrensninger . . . . .	2
1.3.1 Geografisk . . . . .	2
1.3.2 Tidsperiode . . . . .	2
1.4 Rapportens oppbygging . . . . .	4
<b>2 Teori</b>	<b>5</b>
2.1 ERTMS . . . . .	5
2.1.1 GSM-R . . . . .	5
2.1.2 ETCS . . . . .	6
2.1.3 Nivå 1 . . . . .	6
2.1.4 Nivå 2 . . . . .	7
2.1.5 Nivå 3 . . . . .	8
2.2 Materiell- og turneringsplanlegging . . . . .	9
2.2.1 Strategisk planlegging . . . . .	10
2.2.2 Taktisk planlegging . . . . .	10
2.2.3 Detaljplanlegging . . . . .	11
2.2.4 Operativ planlegging . . . . .	11

2.3	Statistikk . . . . .	11
<b>3</b>	<b>Metode</b>	<b>13</b>
3.1	Litteratursøk . . . . .	13
3.2	Kvantitative data . . . . .	13
3.2.1	Detaljerte forsinkelser ØØL . . . . .	14
3.2.2	Snutid ved Mysen stasjon . . . . .	14
3.2.3	Turneringsplan på ØØL . . . . .	14
3.2.4	Andre kilder . . . . .	14
3.3	Vurdering av kilder . . . . .	15
<b>4</b>	<b>Resultater</b>	<b>17</b>
4.1	Østfoldbanen østre linje . . . . .	17
4.2	Doble togsett . . . . .	24
4.3	Kjøreretning . . . . .	27
4.4	Oppstart i ukjent posisjon . . . . .	27
4.5	Snutid på Mysen stasjon . . . . .	29
4.6	Akseltellere . . . . .	32
4.7	Rushtid . . . . .	37
4.8	Innstillinger . . . . .	41
4.9	Togindivid . . . . .	44
<b>5</b>	<b>Diskusjon</b>	<b>51</b>
5.1	Doble togsett og oppstart i ukjent posisjon . . . . .	52
5.2	Snutid på Mysen stasjon . . . . .	52
5.2.1	Ukjent posisjon . . . . .	53
5.3	Akseltellere . . . . .	53
<b>6</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>55</b>
6.1	Anbefalinger . . . . .	55
6.2	Forslag til videre arbeid . . . . .	56
<b>7</b>	<b>Bibliografi</b>	<b>57</b>

# Tabeller

4.1	Kategorier i datasettet med forsinkelser . . . . .	21
4.2	Antall ganger doble togsett har kjørt i 2016, fordelt på tognummer	24
4.3	Forsinkelser fordelt på kjøreretning . . . . .	27
4.4	Minutter forsinkelse forårsaket av akseltellere og totalt, fordelt på stasjon . . . . .	36
4.5	Minutter forsinkelse forårsaket av akseltellere og totalt, fordelt på togindivid . . . . .	37
4.6	Egenskaper ved datasettene i Tabell 4.5 og Tabell 4.4 . . . . .	37
4.7	Rushtid datasett . . . . .	41
4.8	Antall innstillinger siden juni 2016. *Tilgjengelig datasett ble avsluttet i midten av februar . . . . .	42
4.9	Oversikt over kjøringer og forsinkelser fordelt på togindivid. I hver kolonne er de tre rutene med høyest verdi markert . . . . .	45
4.10	Oversikt over fordelingen av minutter forsinkelse per tognummer og togindivid. De 10% høyeste verdiene er markert i rødt . . . . .	46
4.11	Minutter forsinkelse fordelt på togindivid og forsinkelseskategori. De 20% høyeste verdiene er markert i rødt . . . . .	47
4.12	Antall forsinkelser fordelt på togindivid og forsinkelseskategori. De 20% høyeste verdiene er markert i rødt . . . . .	47
4.13	Minutter forsinkelse per kjørte 1000km, fordelt på togindivid og forsinkelseskategori. De 20% høyeste verdiene er markert i rødt . . . . .	48
4.14	Antall forsinkelser per kjørte 1000km fordelt på togindivid og forsinkelseskategori. De 20% høyeste verdiene er markert i rødt . . . . .	48
4.15	Minutter forsinkelse per kjørte 1000km, fordelt på togindivid og togstasjon. De 20% høyeste verdiene er markert i rødt . . . . .	49
4.16	Minutter forsinkelse per kjørte 1000km, fordelt på togindivid og måned. De 20% høyeste verdiene er markert i rødt . . . . .	49

4.17	Minutter forsinkelse forårsaket av akseltellere per kjørte 1000km, fordelt på togindivid og stasjon. De 20% høyeste verdiene er markert i rødt . . . . .	50
5.1	Korrelasjonskoeffisient mellom ulike kategorier . . . . .	51
5.2	Sammenheng mellom forsinkelser på grunn av oppstart i ukjent posisjon og doble togsett . . . . .	52

# Figurer

2.1	ERTMS på nivå 1 (BaneNOR, 2012) . . . . .	7
2.2	ERTMS på nivå 2 (BaneNOR, 2012) . . . . .	8
2.3	ERTMS på nivå 3 (BaneNOR, 2012) . . . . .	8
2.4	Bevegelig blokkstrekning (NetworkRail, 2017) . . . . .	9
2.5	En forenklet illustrasjon over planprosessen hos et togselskap (Olsson and Veiseth, 2011) . . . . .	10
2.6	Illustrasjon på forskjellige verdier av $r$ . . . . .	12
4.1	Grafisk fremstilling av alle persontog mellom Ski og Mysen (BaneNOR, 2017a) . . . . .	18
4.2	Utsnitt av toggraf som viser strekningen mellom Mysen og Askim	19
4.3	Skisse for varmekart (Olsson et al., 2015) . . . . .	19
4.4	Varmekart over punktlighetsdata fra strekningen Ski-Mysen i uke 15, 2016 . . . . .	20
4.5	Alle forsinkelser på strekningen Ski-Mysen i perioden uke 1, 2016 til uke 6, 2017 . . . . .	22
4.6	Alle forsinkelser på strekningen Ski-Mysen i perioden januar 2016 til februar 2017 . . . . .	23
4.7	Distribusjon av alle forsinkelser på strekningen Ski-Mysen i perioden uke 1, 2016 til uke 6, 2017 . . . . .	24
4.8	Avgangene der doble togsett brukes . . . . .	25
4.9	Antall kjøring med doble togsett og antall togindivid . . . . .	25
4.10	Forholdet mellom antall doble togsett og minutter forsinkelse, begge per uke . . . . .	26
4.11	Antall minutter forsinkelse som følge av oppstart i ukjent posisjon og sum av alle forsinkelser på sekundæraksen, begge fordelt på ukenummer . . . . .	28

4.12	Antall minutter forsinkelse fra kategorien NSB og sum av alle forsinkelser på sekundæraksen, begge fordelt på ukenummer . . .	28
4.13	Antall minutter forsinkelse som følge av oppstart i ukjent posisjon, fordelt på tognummer . . . . .	29
4.14	Forsinkelser ved snu på Mysen stasjon, onsdag 13. april 2016 . .	30
4.15	Antall avganger fordelt over planlagt og faktisk tidsbruk ved snu på Mysen . . . . .	31
4.16	Antall forsinkelser ved snu på Mysen stasjon fordelt over lengde på forsinkelsen . . . . .	31
4.17	Minutter forsinkelse ved snu på Mysen. . . . .	32
4.18	Akselteller systemdefinisjon (BaneNOR, 2016) . . . . .	33
4.19	Antall minutter forsinkelse som følge av akseltellere og minutter forsinkelse totalt, fordelt på stasjon . . . . .	33
4.20	Antall forsinkelser forårsaket av akseltellere fordelt over timer i døgnet . . . . .	34
4.21	Antall forsinkelser fordelt over timer i døgnet . . . . .	35
4.22	Antall forsinkelser forårsaket av akseltellere fordelt på tognummer	35
4.23	Antall forsinkelser forårsaket av akseltellere fordelt på måned . .	36
4.24	Fordelingen av punktlighet og antall passasjerer over døgnet på strekningen Asker-Oslo S (Olsson et al., 2015) . . . . .	38
4.25	Varmekart over punktligheten ved avgang fra Ski mot Mysen uke 12 til uke 18, 2016 . . . . .	39
4.26	Antall togpasseringer ved Spydeberg stasjon fordelt over time på døgnet . . . . .	39
4.27	Antall forsinkelser og sum minutter forsinkelse fordelt over time på døgnet, på en vanlig hverdag på ØØL . . . . .	40
4.28	Antall forsinkelse i morgen- og ettermiddagsrush fordelt over varighet på forsinkelsen . . . . .	41
4.29	Andel tog i rute, forsinket og innstilt på strekningen Ski-Mysen 2011-2017. *Datasettet for 2017 går til og med 23. mai . . . . .	43
4.30	Andel tog i rute, forsinket og innstilt på strekningen Ski-Mysen, januar-mai 2011-2017 . . . . .	43
4.31	Illustrasjon togtypen FLIRT (Schrader, 2017b) . . . . .	44

# Forkortelser

ATP	Automatic Train Protection.
DMI	Driver Machine Interface.
ERTMS	European Rail Traffic Management System.
ETCS	European Train Control System.
GSM-R	Global System for Mobile communications – Railway.
NSB	Norske Statsbaner.
RBC	Radio Block Centre.
ØØL	Østfoldbanen østre linje.





# Kapittel 1

## Innledning

### 1.1 Bakgrunn

Innføringen av ERTMS i Norge er et stort og omfattende prosjekt, med et foreløpig kostnadsestimat på 23.4 milliarder norske kroner. Prosjektet ble besluttet av regjeringen i 2012 og er planlagt ferdigstilt i 2030. Arbeidet er viktig da store deler av signalanlegget på dagens jernbane er svært gammelt og er krevende å vedlikeholde. I 2016 var signalfeil den nest største årsaken til forsinkelser på den norske jernbanen, og stod for omtrent 16% av alle forsinkelser.

Allerede i 2013 startet de første testkjøringene med ERTMS på Østfoldbanen østre linje, mellom stasjonene Rakkestad og Sarpsborg. To år senere, i september 2015, åpnet hele strekningen fra Ski til Sarpsborg for kommersiell togtrafikk med ERTMS. Her har det vært en del innkjøringsproblemer, for eksempel har doble togsett slitt med oppstart i ukjent posisjon ved snu på Mysen stasjon.

I prosjektoppgaven fra forrige semester lå hovedvekten på å evaluere Jernbaneverkets fem effektmål for innføringen av ERTMS i Norge. Målene omhandlet tema som sikkerhet, kapasitet, oppetid, kostnadseffektivitet og interoperabilitet. Oppgaven var et rent litteraturstudie, som drøftet tema rundt disse målene.

Masteroppgaven er rettet mot analyse av data som omhandler ERTMS, på erfaringsstrekningen Østfoldbanen østre linje.

## 1.2 Formål og problemstilling

Formålet med oppgaven var å se på Norges første strekning med signalsystemet ERTMS, og analysere ulike data for å evaluere hvordan togtrafikken har blitt påvirket. Her har flere forskjellige årsaker og kategorier blitt undersøkt, med hensyn på hvilken innvirkning de har hatt.

To spørsmålsstillinger blir undersøkt i denne oppgaven. Det første forskningsspørsmålet er: Hvilke faktorer påvirker forsinkelsene på Østfoldbanen østre linje, og hvordan påvirker de?

I samtale med ERTMS-ansvarlig avdeling i Bane NOR ble det foreslått at man skulle se på sammenhengen mellom akseltellerfeil og togindivid. Deres antagelse var at feilene er sterkere knyttet til spesifikke steder enn til spesifikke togindivid. De var interessert i å få testet denne antagelsen, for å muligens avdekke et problem med et spesifikt togindivid ved nærmere granskning.

Det andre forskningsspørsmålet er: I hvor stor grad er feil med akseltellere knyttet opp mot togindivid?

## 1.3 Avgrensninger

### 1.3.1 Geografisk

ERTMS er installert på Østfoldbanen østre linje, på strekningen fra Ski til Sarpsborg. Persontog til Sarpsborg går derimot ikke på denne strekningen, men derimot langs Østfoldbanen vestre linje om Moss og Fredrikstad. Siste stasjon som betjenes av persontog på ØØL i dag er Rakkestad, som har fire avganger og tre ankomster hver dag.

Stasjonene Skotbu og Knapstad er ikke representert i de tilgjengelige datasettene for denne oppgaven. Stasjonen Kolbotn er derimot inkludert, selv om den ikke har innført ERTMS. Det skal nok ikke påvirke resultatet i noe grad, da kun én av 1100 forsinkelser i datasettet er knyttet til denne stasjonen.

I praksis vil dette si at oppgaven vil konsentrere seg om strekningen Ski til Mysen, men inkluderer også helt til Rakkestad siden denne informasjonen er tilgjengelig.

### 1.3.2 Tidsperiode

Denne oppgaven baserer sine analyser på tre datasett:

- Detaljerte forsinkelser på ØØL, januar 2016 til februar 2017

- Snutid ved Mysen stasjon, august 2015 til februar 2017
- Turneringsplan på ØØL, desember 2015 til februar 2017

Gjennom oppgaven brukes det data helt fra august 2015 og til februar 2017. Men siden ikke alle datasettene inkluderer hele denne perioden, konsentrerer mange av analysene seg om året 2016.

## 1.4 Rapportens oppbygging

Denne masteroppgaven spenner seks kapitler, og inneholder:

- Kapittel 1 gir en introduksjon til oppgaven, gjennom bakgrunn, formål og avgrensninger
- Kapittel 2 gir et teoretisk grunnlag til ERTMS, materiellplanlegging og turneringsplanlegging
- Kapittel 3 beskriver hvilke metoder som er brukt til informasjonsinnhenting
- Kapittel 4 presenterer resultatene fra de tilgjengelige datasettene
- Kapittel 5 diskuterer og sammenligner resultatene
- Kapittel 6 gir konklusjon og anbefalinger

# Kapittel 2

## Teori

### 2.1 ERTMS

ERTMS står for European Rail Traffic Management System og ble påbegynt av Europakommisjonen allerede på nittitallet. Målet for utviklingen av systemet var å gjøre jernbanetrafikken i Europa mer konkurransedyktig, ved å forenkle togs kryssing av landegrenser gjennom et standardisert signalsystem (Abril et al., 2008). Per dags dato har over 30 europeiske nasjoner og 20 utenfor Europa enten planlagte eller ferdigstilte strekninger med ERTMS (EuropeanCommission, 2017)

ERTMS består av flere mindre systemer, og de to viktigste er togkontrollsystemet ETCS og det lukkede mobilnettets GSM-R.

#### 2.1.1 GSM-R

GSM-R er en forkortelse for Global System for Mobile Communications - Railway, og er et mobilnett kun til bruk for jernbanen. Sambandssystemet er en vedtatt standard i hele Europa, og utbyggingen var ferdigstilt i Norge i 2006 (Slette, 2009).

Nettet har i dag full dekning på den norske jernbanen, et krav om 98.985% oppetid, og overvåkes kontinuerlig fra Marienborg i Trondheim (BaneNOR, 2014).

Mobilnettets er basert på den allerede eksisterende kommersielle standarden GSM, slik at man ikke trengte å bruke unødvendig med tid og penger på å utvikle et helt nytt system (Sniady and Soler, 2012). Noen endringer måtte

likevel gjøres, som å håndtere høye hastigheter og muligheten til å ringe opp alle togførere i et gitt område samtidig (Kastell et al., 2006).

Med overgangen til ERTMS er det satt i gang forberedelser for å ta i bruk pakke­data over GSM-R, med standarden GPRS. I telebransjen var denne standarden i kommersiell bruk allerede i 2001, og tillater overføringshastigheter på omtrent 40 kbit/s. Valmot (2016) hevder at dette likevel vil være en kraftig kapasitetsøkning, som vil være tilstrekkelig for bruken på den norske jernbanen.

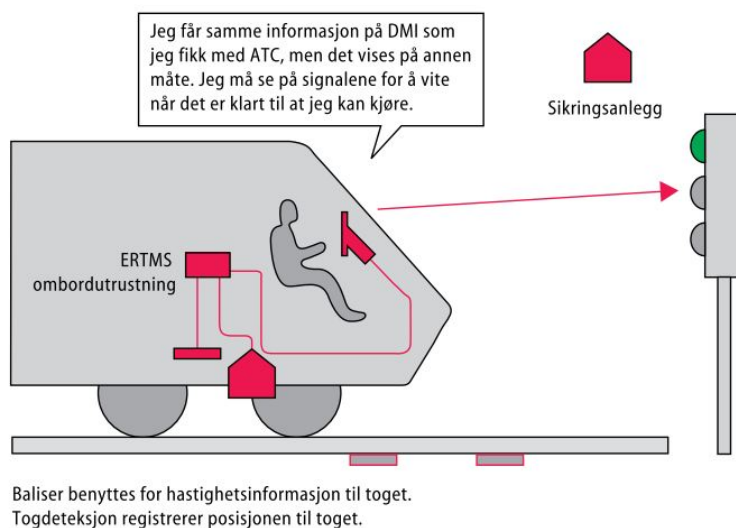
### 2.1.2 ETCS

European Train Control System (ETCS) er delsystemet av ERTMS som står for trafikkstyringen, signalene og utrustning ombord i togene. Dette systemet håndterer all kommunikasjon mellom togleder, RBC, togfører og komponenter i sporet via GSM-R.

### 2.1.3 Nivå 1

ERTMS nivå 1 er laget for å legges til på en eksisterende linje som allerede har togdeteksjon og lyssignal, og ligner på det systemet som brukes i Norge i dag (BaneNOR, 2012). Slik Figur 2.1 viser benyttes baliser for hastighetsinformasjon til toget, og kommunikasjonen mellom tog og balise er standardisert gjennom eurobaliser. ERTMS-ombord-utrustningen mottar data fra balisen og beregner bremsekurve og maksimal hastighet, som vises sammen med annen strekningsinformasjon direkte i DMI (Driver Machine Interface), togets kjørepånel (Myhre, 2015).

Siden overføringen mellom tog og balise ikke er kontinuerlig men heller punktbasert, må toget fysisk kjøre over balisen for å få fornyet kjøretillatelsen (Midya and Thottappillil, 2008). Dette kan være en ulempe da lokføreren kan bli tvungen til å bremse ned toget av ATP (Automatic Train Protection), selv om lyssignalet vil skifte til grønt idet toget kommer nærmere. Ved å plassere flere baliser på vei inn mot et lyssignal, vil man ha mer oppdatert informasjon og kunne unngå mange situasjoner av denne typen (Midya and Thottappillil, 2008; Abed, 2010).



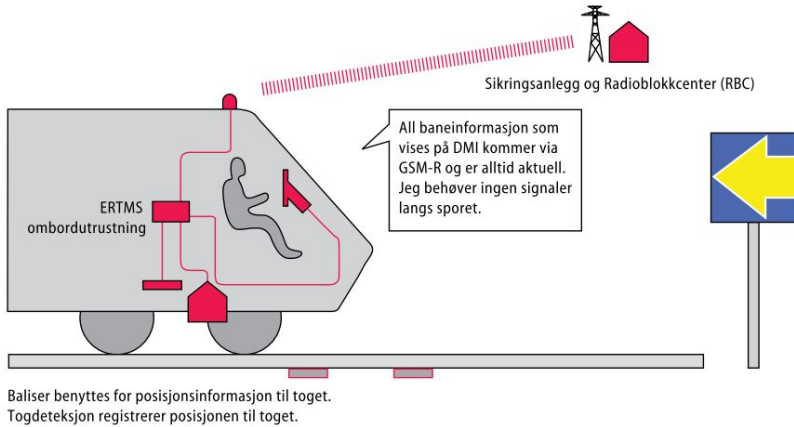
Figur 2.1: ERTMS på nivå 1 (BaneNOR, 2012)

### 2.1.4 Nivå 2

Den største forbedringen med ERTMS nivå 2 er at lokføreren nå får informasjon om hastighet og kjøretillatelse via digitale radiosignaler sendt over GSM-R (Global System for Mobile communications - Railway) rett i togets førerpanel (Myhre, 2015). Informasjonen kommer nå kontinuerlig, og er ikke lenger punktbasert som på nivå 1. Togdeteksjon brukes nå kun til geografisk referanse og til å si om en strekning er uten belegg (BaneNOR, 2012). Slik Figur 2.2 viser er lyssignalet nå byttet ut med et statisk signalskilt. Kjøretillatelsen får toget via RBC (Radioblokkcenter), som igjen henter data fra sikringsanlegget (Bloomfield, 2006).

Både Norge og de fleste andre land som har startet implementering av ERTMS har valgt nivå 2 (EuropeanCommission, 2017). Årsaken ligger nok i det at nivå 1 gir for få fordeler sammenlignet med de systemene man har i dag og at nivå 3 fremdeles er på teststadiet.

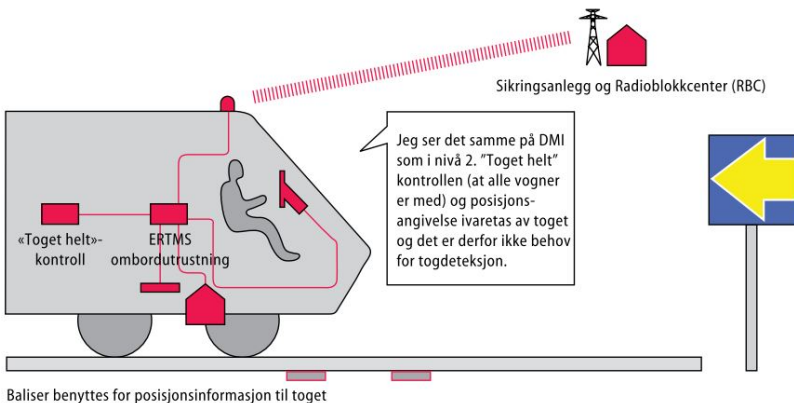




Figur 2.2: ERTMS på nivå 2 (BaneNOR, 2012)

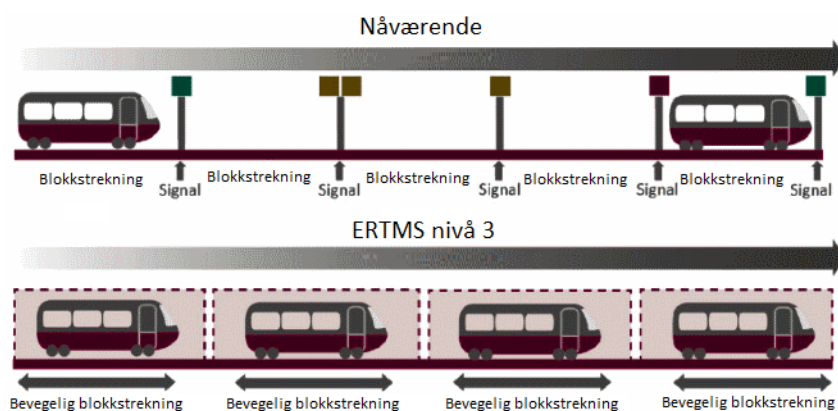
### 2.1.5 Nivå 3

Nivå 3 fungerer på samme måte som nivå to, bortsett fra en viktig forskjell. Her brukes ingen form for togdeteksjon, som akseltellere eller sporfelt (Myhre, 2015). Det betyr at toget må ha et system ombord som kontrollerer at *toget er helt*, slik Figur 2.3 viser.



Figur 2.3: ERTMS på nivå 3 (BaneNOR, 2012)

Uten akseltellere og sporfelt har man tatt steget opp til en såkalt bevegelig blokkstrekning, illustrert i Figur 2.4. Dette innebærer at blokkstrekningen ikke lenger definerer et gitt geografisk område, men heller en buffersone rundt toget. Med dette systemet på plass kan man la togene kjøre med kortere mellomrom, hvor de også følger hverandres fartsendringer slik biler med *cruise control* gjør. Dermed har man også muligheten til å øke kapasiteten på allerede overfylte jernbanestrekninger.

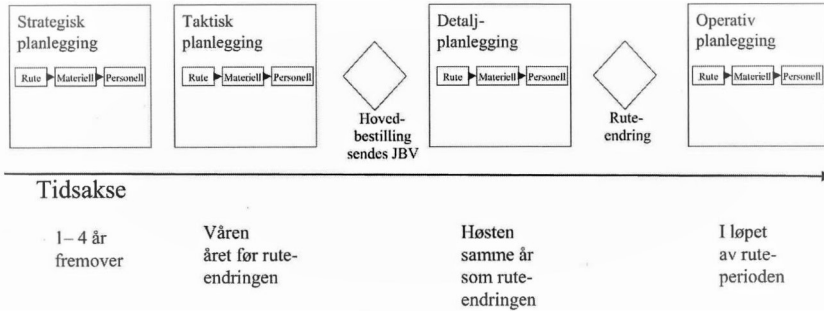


Figur 2.4: Bevegelig blokkstrekning (NetworkRail, 2017)

Med nivå 3 får man færre komponenter i sporet, noe som senker både installasjons- og vedlikeholdskostnadene, og som kan øke intensivenene for å implementere ERTMS på dette nivået i framtiden (Briginshaw, 2012).

## 2.2 Materiell- og turneringsplanlegging

Planleggingen av togtrafikk kan deles opp i fire faser, som vist i Figur 2.5. I alle fasene jobber man med de samme tre funksjonelle trinnene: rute, materiell og personell (Olsson and Veiseth, 2011).



Figur 2.5: En forenklet illustrasjon over planprosessen hos et togselskap (Olsson and Veiseth, 2011)

## 2.2.1 Strategisk planlegging

Den strategiske planleggingen kan foregå flere år i forveien og tar utgangspunkt i overordnede økonomiske tall og strategiske mål (Olsson and Veiseth, 2011).

I denne fasen estimerer man totalt materiellbehov, togstørrelse, vedlikeholdsrutiner, hensetting av togmateriell og behov for reservemateriell (Schrader, 2017b).

Noen av målene for planleggingen er å identifisere behovet for investeringer i infrastruktur og etablere grunnlaget for estimering av materiellbehov (Schrader, 2017c).

## 2.2.2 Taktisk planlegging

I den taktiske fasen blir planene for ruter, materiell og personell ferdigstilt, og for togselskapene danner dette grunnlaget for deres rutebestilling hos Bane NOR (Olsson and Veiseth, 2011).

I løpet av den taktiske planleggingen fastsetter man nøyaktige verdier for kjøretider, oppholdstider, kryssningsmarginer og togfølgetider (Schrader, 2017c).

I den detaljerte turneringsplanen som utarbeides i denne fasen er materielltype for alle togkjøringer i ruteplanen bestemt, men ikke for hvilke materiellindivider (Schrader, 2017b).

### 2.2.3 Detaljplanlegging

Detaljplanleggingen skjer med en tidshorisont på en til tre måneder, og resulterer i en detaljert plan som brukes av det operative personalet (Olsson and Veiseth, 2011).

I løpet av dette arbeidet tar man hensyn til ferieperioder, høytidsperioder og planlagte arbeider som kan påvirke graden av instillinger og doble togsett (Schrader, 2017c).

### 2.2.4 Operativ planlegging

Den operative planleggingen finner sted etter at gjeldende ruteplan er satt i drift, og sørger for kontinuerlig kvalitetssikring og håndtering av avvikssituasjoner (Olsson and Veiseth, 2011).

I denne fasen blir det bestemt hvilket materiellindivid som skal kjøre de ulike togkjøringene, og man fastsetter bruken av arbeidsmaskiner og ekstratog (Schrader, 2017b,c). Dette gjøres gjennom å detaljere de taktiske planene til et operativt nivå (Aschehoug and Fodstad, 2001).

## 2.3 Statistikk

I oppgaven blir mange datasett presentert og vurdert. For å kunne si hvor spredt et sett med data er, benyttes standardavvik.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_n)^2} \quad (2.1)$$

I Formel 2.1 betegner  $x_i$  elementene i datasettet mens  $\bar{x}$  er gjennomsnittet. Standardavviket beskriver det forventede avviket fra gjennomsnittet, slik at et lavt standardavvik tilsier liten spredning i datasettet.

$$c_v = \frac{\sigma}{\mu} \quad (2.2)$$

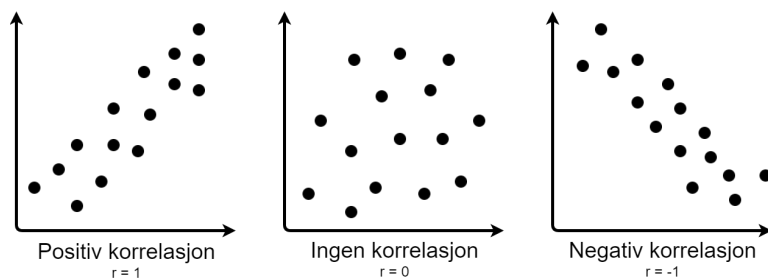
Skal man sammenligne spredningen i to datasett med stor differanse i gjennomsnitt bruker man *variasjonskoeffisienten*, definert i Formel 2.2.

For å se på sammenhengen mellom forskjellige datasett brukes *Pearsons produkt-moment korrelasjonskoeffisient*, ofte kun betegnet som  $r$ .

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2.3)$$

I Formel 2.3 betegner  $x_i$  og  $y_i$  elementene i to datasett mens  $\bar{x}$  og  $\bar{y}$  er gjennomsnittet av de respektive datasettene. Beregning av korrelasjon mellom to datasett forutsetter at settene inneholder likt antall elementer.

Denne formelen finnes som innebygd funksjon i Excel,  $CORREL(Array1, Array2)$ , der kun de to datasettene kreves som inndata.



Figur 2.6: Illustrasjon på forskjellige verdier av  $r$

Eksempler på datasett med ulike verdier av  $r$  vises i Figur 2.6.

# Kapittel 3

## Metode

### 3.1 Litteratursøk

Det ble gjennomført flere litteratursøk for å samle relevant informasjon til denne oppgaven. Det ble benyttet søkemotorer som Google Scholar, Oria og Science Direct. I tillegg ble SINTEFs database Jernbaneforskning og Bane NORs Jernbanebibliotek benyttet for å finne relevante artikler og oppgaver som omhandler den norske jernbanen.

Veileder Professor Nils Olsson har også tilgjengeliggjort tidligere studentoppgaver og relevante forelesningsnotater.

For å utvide informasjonsinnhengen, ble populærvitenskapelige publikasjoner som Teknisk Ukeblad, Rail Engineer og International Rail Journal oppsøkt for å få tak i mer praktiske erfaringer. Disse artiklene går ikke i dybden som vitenskapelige studier, og henvender seg til personer som selv er i bransjen.

### 3.2 Kvantitative data

Denne oppgaven baserer seg i stor grad på kvantitative data. Tre datasett som omhandler togtrafikken på Østfoldbanen østre linje ble gjort tilgjengelig, og disse ble sammenstilt på ulike måter. Datagrunnlaget kommer direkte fra kilden, i disse tilfellene NSB og Bane NOR.

### 3.2.1 Detaljerte forsinkelser ØØL

Dette datasettet stammer fra Bane NOR og ble gjort tilgjengelig via Kristine Tveit (Bane NOR) og Petter Arnesen (SINTEF). Det inneholder detaljerte beskrivelser om alle forsinkelser på ØØL i tidsrommet januar 2016 til februar 2017. Datasettet inneholder også informasjon som dato og tidspunkt, tognummer, kategorier over forsinkelser, stasjon, lengde på forsinkelse samt diverse kommentarer og beskrivelser.

Dette datasettet er utgangspunktet for de fleste analysene. I mange diagrammer sammenlignes minutter forsinkelse og antall forsinkelser mellom forskjellige undergrupperinger eller kategorier.

### 3.2.2 Snutid ved Mysen stasjon

Dette datasettet er blitt gjort tilgjengelig via Andreas Dypvik Landmark (SINTEF). Det beskriver ankomst og avgang fra Mysen stasjon i tidsrommet august 2015 til februar 2017. Datasettet inneholder informasjon som dato, tognummer og tidspunkt for planlagt ankomst og avgang, samt faktisk ankomst og avgang.

Med hjelp av dette datasettet ble det mulig å få et detaljert bilde over snutidene på Mysen. Fra datasettet ble det funnet ut hvor lang snutiden var, om den førte til en forsinkelse og om den var kortere enn den planlagte snutiden.

### 3.2.3 Turneringsplan på ØØL

Dette datasettet stammer fra NSB og ble gjort tilgjengelig via Sven-Jöran Schraeder (NSB). Datasettet beskriver hvilke tognummer som ble betjent av hvilke togindivid i perioden desember 2015 til februar 2017. I tillegg er det informasjon om hvor mange kilometer hver av togkjøringene innehar.

Dette datasettet ble kombinert med datasettet med detaljerte forsinkelser, slik at man endte opp med blant annet minutter forsinkelse, togindivid og kilometer kjørt i samme tabell. Dette ga mange muligheter til å føre statistikk for spesielt de forskjellige togindividene.

### 3.2.4 Andre kilder

Bane NORs egen nettside *Mitt tog* ble brukt til å finne andel tog som var i rute, forsinket og innstilt.

Varmekartverktøyet fra SINTEF-prosjektet PRESIS ble brukt til å generere varmekart som viser andel tog i rute fordelt på enten time på døgnet eller stasjon.

Prosjektet hadde blant annet mål som å utvikle metoder for å synliggjøre ulike effekter i togtrafikken og kartlegge sammenhenger mellom flere faktorer.

### 3.3 Vurdering av kilder

Søkemotorene som er blitt brukt i litteratursøket for denne oppgaven er velkjente og flittig brukt innen akademia. Det samme gjelder for Jernbaneforskning og Jernbanebiblioteket, dog de er spisset inn mot entfagfelt.

Datasettene er som tidligere nevnt hentet direkte fra opphavet, og man kan derfor være sikker på at de holder høy kvalitet. Både NSB og Bane NOR er ofte delaktige i studentoppgaver, særlig ved institutt for maskinteknikk og produksjon og ved institutt for bygg- og miljøteknikk.





# Kapittel 4

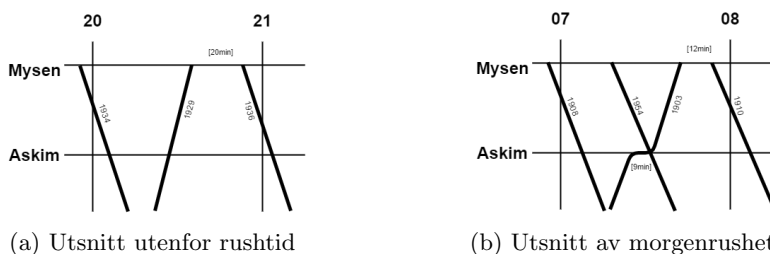
## Resultater

### 4.1 Østfoldbanen østre linje

Østfoldbanen østre linje (ØØL) ble valgt som pilotstrekning for ERTMS på grunn av dens beskjedne trafikkvolum og relative nærhet til Oslo. I Figur 4.1 vises en grafisk fremstilling av persontogene som trafikkerer mellom Ski og Mysen på en vanlig hverdag. Av de totalt 43 togkjøringene har 19 redusert tilbud i helgene (BaneNOR, 2017a).

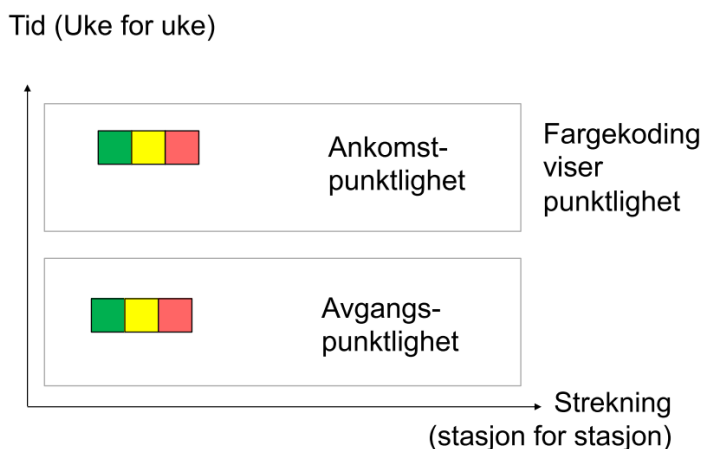
I Figur 4.2 er det to forstørrede utsnitt fra toggrafene. Figur 4.2a viser at utenfor rushtiden er det 20 minutter fra en togkjøring ankommer Mysen til en annen togkjøring forlater stasjonen i retning Askim. I morgenrushet er denne tiden redusert til 12 minutter, som vist i Figur 4.2b.





Figur 4.2: Utsnitt av toggraf som viser strekningen mellom Mysen og Askim

Ved hjelp av SINTEFs verktøy fra deres prosjekt PRESIS, er det blitt generert varmekart som viser punktlighet fremstilt med fargekoding som forklart i Figur 4.3.

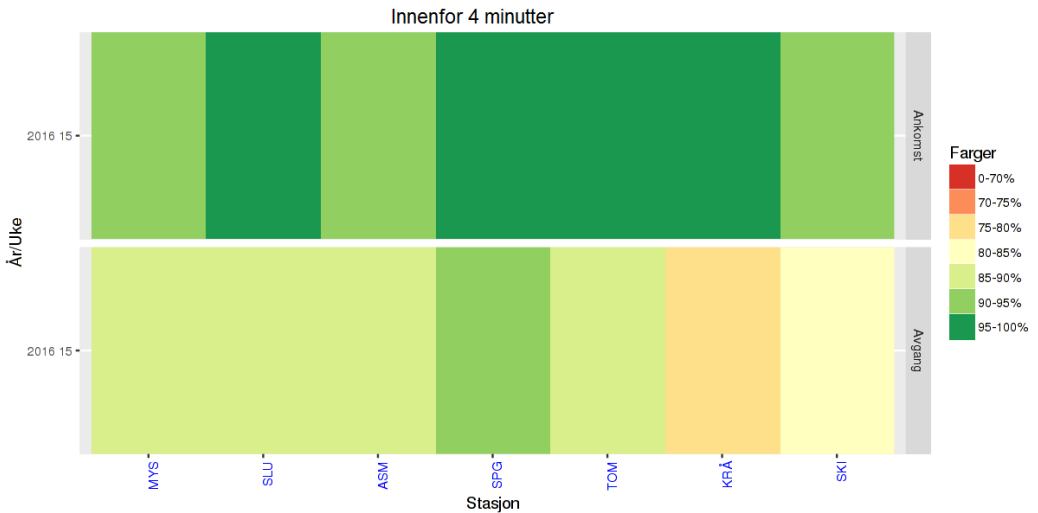


Figur 4.3: Skisse for varmekart (Olsson et al., 2015)

Det ble generert et varmekart, Figur 4.4, for alle passasjertog på strekningen mellom Skien og Mysen. Varmekartet viser data fra uke 15 2016, som inkluderer dagen fremstilt i Figur 4.14.

Av Figuren kan vi se at 90 til 95% av togene ankommer Mysen innenfor marginen på fire minutter, mens 85 til 90% forlater stasjonen innefor samme margin.

Denne lille forskjellen finner man igjen om man ser på en større tidsperiode. I halvåret mellom september 2015 og mars 2016 lå ankomstpunktligheten fremdeles mellom 90 til 95%, mens avgangspunktligheten var mellom 88 til 93% på Mysen stasjon.

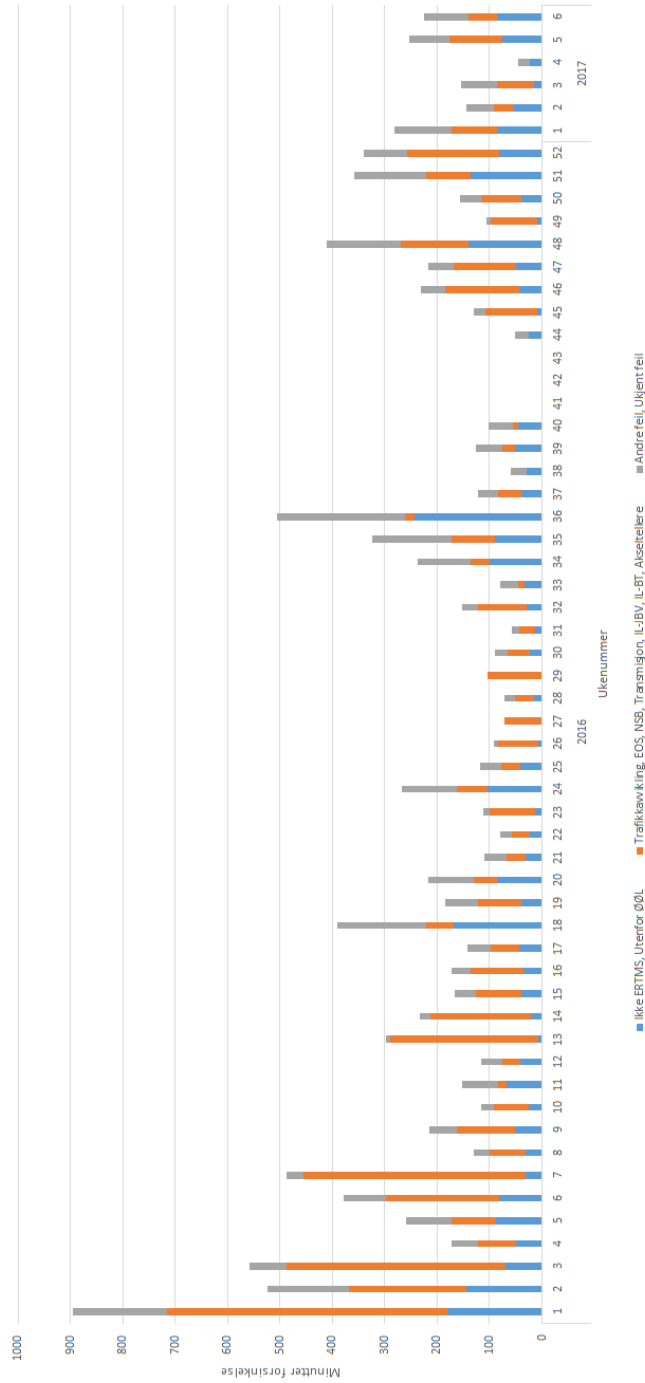


Figur 4.4: Varmekart over punktighetsdata fra strekningen Ski-Mysen i uke 15, 2016

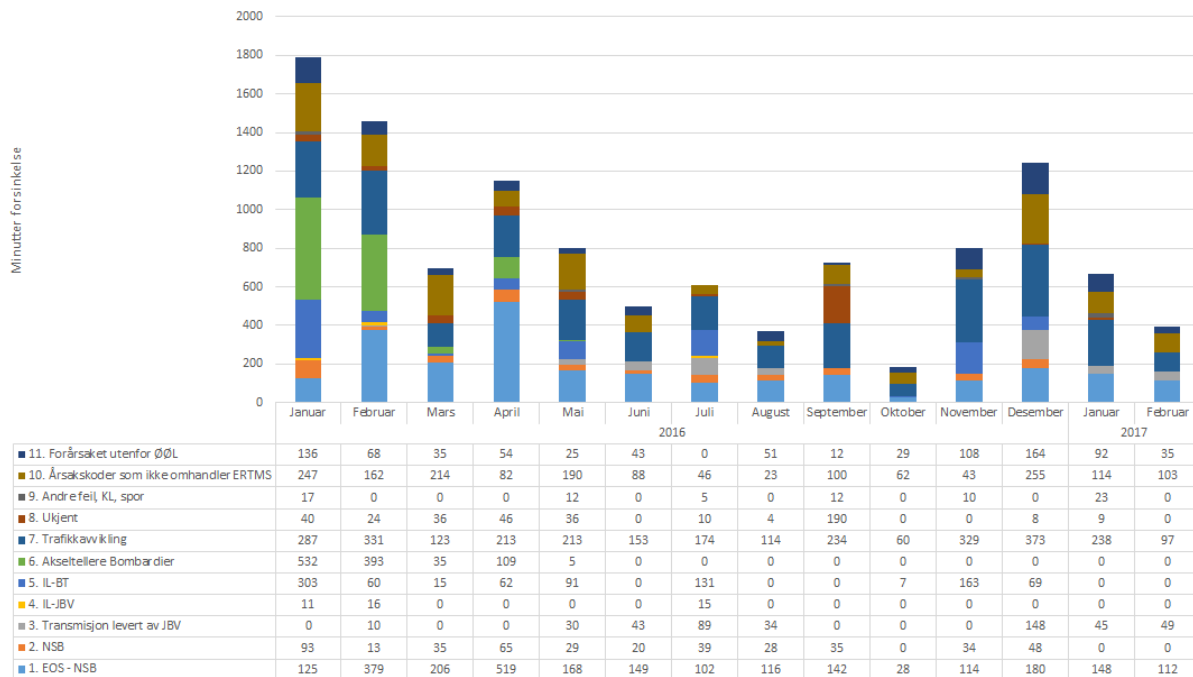
Punktighetsdataen er kategorisert etter hva som forårsaket forsinkelsene, se oversikt og forklaring i Tabell 4.1. De fleste kategoriene kan knyttes til ERTMS, med unntak av *Ukjent*, *Andre feil*, *Årsakskoder som ikke omhandler ERTMS* og *Forårsaket utenfor ØØL*. Kategorien *Trafikkavvikling* kan stamme fra ERTMS da den betegner kødannelser som følge av en forsinkelse fra en annen togkjøring, en såkalt sekundær forsinkelse. Figur 4.5 er en oversikt over alle forsinkelsene på Strekningen Ski til Mysen i perioden uke 1 2016 til uke 6 2017. For å bedre kunne se forsinkelser knyttet til problemer med ERTMS er de ulike kategoriene fordelt på tre grupper. Første gruppe inneholder *Årsakskoder som ikke omhandler ERTMS* og *Forårsaket utenfor ØØL*, andre gruppe inneholder *Ukjent* og *Andre feil*, mens de resterende kategoriene er samlet i den tredje gruppen.

Tabell 4.1: Kategorier i datasettet med forsinkelser

<b>Kategori</b>	<b>Forklaring</b>
EOS - NSB	Energioppfølgingssystem - NSB
NSB	Feil på kjøretøy, manglende prosedyrer, feiltasting. Manglende opplæring. Misforståelser. Ulike feil på ERTMS On-board System
Transmisjon levert av JBV	Feil på GSM-R, omfatter alle typer feil med transmisjon i JBV anlegg
IL-JBV	Interlocking: Bues 2000, NSI63, Alstom MET drivmaskiner
IL-BT	Interlocking / European Train Control System. Omfatter også transmisjon levert av Bombardier. Prosedyrer som ikke blir fulgt, manglende prosedyrer, feiltasting.
Akseltellere Bombardier	Feil med akseltellere, for eksempel tellefeil.
Trafikkavvikling	Betegner kødannelser som følge av en forsinkelse fra en annen kategori
Ukjent	Det er ikke kjent hva som er feil
Andre feil, KL, spor	Det er kjent hva som er feil, men det passer ikke inn i noen av de andre kategoriene.
Årsakskoder som ikke omhandler ERTMS	Forsinkelser som stammer fra faktorer utenfor ERTMS
Forårsaket utenfor ØØL	Forsinkelser som er forårsaket utenfor Østfoldbanen østre linje



Figur 4.5: Alle forsinkelser på strekningen Ski-Mysen i perioden uke 1, 2016 til uke 6, 2017

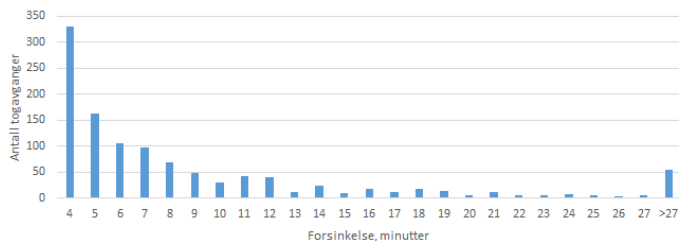


Figur 4.6: Alle forsinkelser på strekningen Ski-Mysen i perioden januar 2016 til februar 2017

Figur 4.6 inneholder en mer detaljert oversikt over kategorier av forsinkelser fordelt på måned, inkludert datagrunnlaget for diagrammet. Kategorien *Trafikkavvikling* ser ut til å være den kategorien som er stabil gjennom hele perioden. Andre kategorier har perioder der de er den største årsaken til forsinkelser.

I Figur 4.7 kan man se distribusjonen av forsinkelser, sortert etter størrelse på forsinkelsen målt i minutter. Forsinkelsene i størrelsen fra 4 til 27 minutter utgjør 96% av forsinkelsene og 75% av forsinkelsesminuttene i datasettet. Det er totalt 1133 forsinkede tog i datasettet, som tilsammen var forsinket i 11510 minutter. Gjennomsnittet kommer på 10.16 minutter, og standardavviket ligger på 13.80. Den største forsinkelsen var på 243 minutter og kom som følge av problemer med fjernstyringen av togene.





Figur 4.7: Distribusjon av alle forsinkelser på strekningen Ski-Mysen i perioden uke 1, 2016 til uke 6, 2017

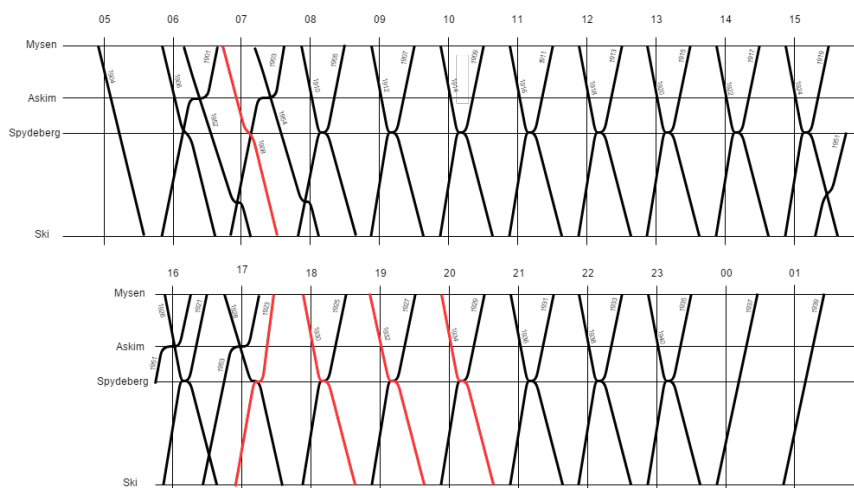
På den norske jernbanen defineres et tog som forsinket først når det er mer enn 239 sekunder etter ruteplanen. Dette er grunnen til at den korteste forsinkelsen i Figur 4.7 er nettopp fire minutter.

## 4.2 Doble togsett

Flere av avgangene på ØØL kjøres med doble togsett, antall fordelt på tognummer vises i Tabell 4.2. Når en kjøres med dobbelt togsett vil det si at to togindivid blir koblet sammen og kjører under samme tognummer. Tognumrene nevnt i tabellen har kjørt med doble togsett i perioder, mens kategorien *Andre* er sannsynligvis kjøring som har blitt satt inn som følge av forsinkelse eller innstilte tog.

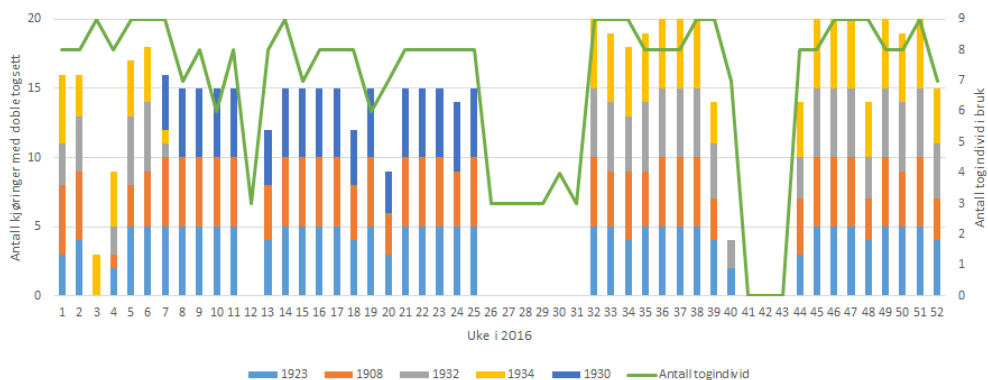
Tabell 4.2: Antall ganger doble togsett har kjørt i 2016, fordelt på tognummer

Tognummer	1923	1908	1934	1932	1930	Andre
Antall	186	178	104	100	85	15



Figur 4.8: Avgangene der doble togsett brukes

Avgangene med flest avganger med doble togsett er markert i Figur 4.8. En avgang er i morgenrushet, mens de fire andre er på ettermiddagen og kvelden. Det kan tenkes at de to siste kjøringene med doble togsett er mer av hensyn til turneringsplanen og hvor togsettene skal hensettes på natten enn av hensyn til antall reisende.

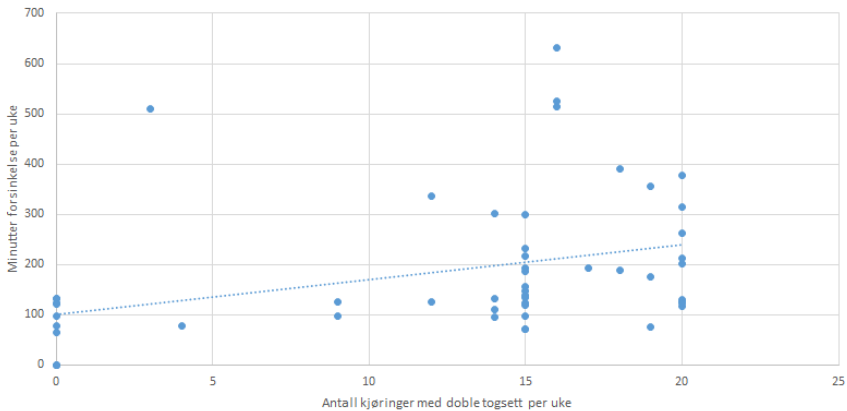


Figur 4.9: Antall kjøring med doble togsett og antall togindivid

Fordelingen mellom hvilke tognummer som kjøres med doble togsett vises sammen med antall togindivider i bruk per uke i Figur 4.9. Her kan man se at det har blitt vekslet mellom å kjøre med 1932, 1934 og 1930, mens 1923 og 1908 har vært mer konstant. De tre største avvikene i antall togindivider kan forklares fra sesongvariasjoner. I uke 12 var det påske, uke 26 til 31 var det sommerrute og uke 40 til 43 ble strekningen rammet av streiken blant lokførerne.

Ved hjelp av Persons produkt-moment, kan man se på sammenhengen mellom antall togindivider og antall kjøring med doble togsett per uke. Man får da en korrelasjonskoeffisient på  $r = 0.843$  som tilsier at det er en sterk sammenheng mellom de to datasettene.

Tilsvarende sammenheng kan man se mellom antall togindivider og totalt antall kjøring per uke. Korrelasjonskoeffisienten ligger her på  $r = 0.856$ , noe som tilsier en sterk sammenheng mellom disse datasettene også.



Figur 4.10: Forholdet mellom antall doble togsett og minutter forsinkelse, begge per uke

Spredningsplottet i Figur 4.10 viser sammenhengen mellom minutter forsinkelse per uke og antall kjøring med doble togsett per uke. Trendlinjen viser en svak økning i minutter forsinkelse med flere avganger med doble togsett.

## 4.3 Kjøreretning

I løpet av en hverdag kjøres det 22 tog mot Mysen og 21 tog mot Ski på ØØL. Men til tross for det kan man se i Tabell 4.3 at det var både flere forsinkelser og minutter forsinkelse. I tillegg har retningen Mysen til Ski høyere gjennomsnitt på forsinkelsene og en større andel av kjøringene er forsinket.

Tabell 4.3: Forsinkelser fordelt på kjøreretning

Kjøreretning	Antall forsinkelser	Minutter forsinkelse	Gjennomsnitt lengde på forsinkelse	Antall kjøringer totalt	Andel forsinkede kjøring
Ski-Mysen	488	4045	8.29	7312	6.67%
Mysen-Ski	621	5587	9.00	7570	8.20%

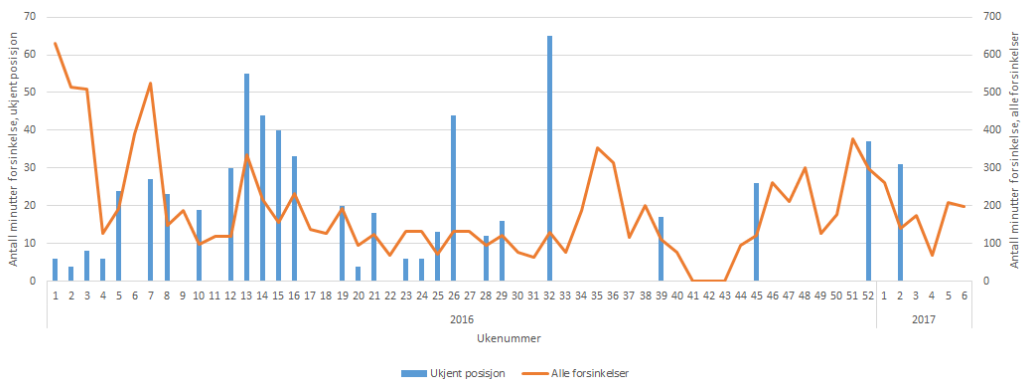
## 4.4 Oppstart i ukjent posisjon

Ikke lenge etter at ERTMS ble tatt i bruk fikk man problemer når doble togsett skulle snu på Mysen. Det bakre togsettet havner i ukjent posisjon, noe vil si at signalanlegget har mistet togets posisjon. Dette må da legges inn manuelt av lokomotivfører og togleder (Qvale and Garathun, 2015). Om man ser bort fra forsinkelser som følge av årsaker utenfor ØØL, årsaker som ikke omhandler ERTMS og trafikkavvikling, utgjør *oppstart i ukjent posisjon* 27% av de gjenværende forsinkelsene ved Mysen stasjon målt i minutter.

Ifølge den operative regelverksamlingen, BaneNOR (2017b), er det fire forskjellige måter et togsett kan havne i ukjent posisjon:

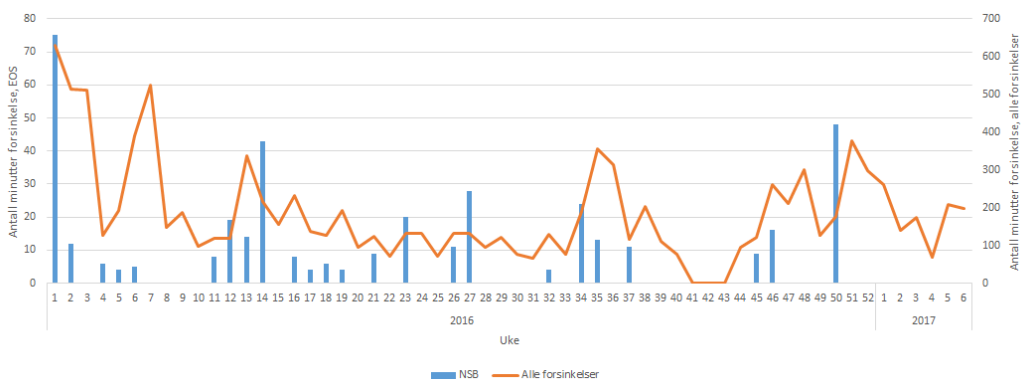
- Ved systemfeil i toget under kjøring, som medfører at det må tas omstart av ombordutrustningen
- Når togsettet får teknisk feil i øvrig utrustning og omstart av toget gjøres på en slik måte at det fører til omstart av ombordutrustningen
- Når togsettet har vært hensatt uten strøm og ombordutrustningen har vært avslått
- Når togsettet har vært hensatt mer enn 72 timer

I Figur 4.11 er både antall minutter forsinkelse som følge av oppstart i ukjent posisjon og totalt antall minutter forsinkelse fordelt over ukenummer.



Figur 4.11: Antall minutter forsinkelse som følge av oppstart i ukjent posisjon og sum av alle forsinkelser på sekundæraksen, begge fordelt på ukenummer

For å sammenligne de to datasettene ble det regnet ut Persons produktmoment korrelasjonskoeffisient:  $r = 0.072$ . Denne lave verdien tilsier at det ikke er noen sammenheng mellom datasettene.

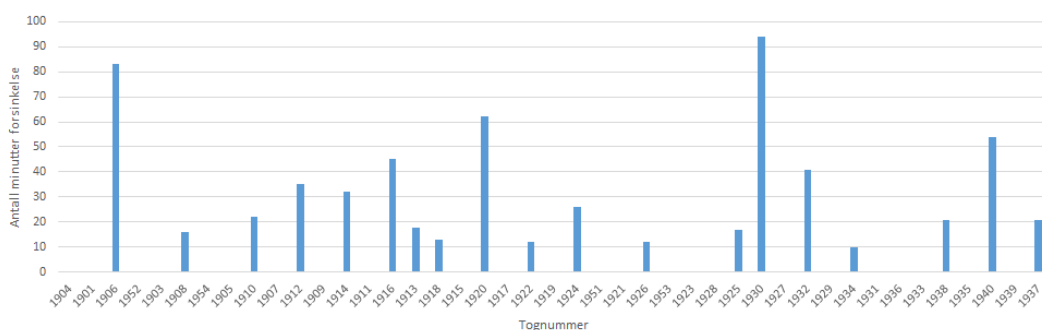


Figur 4.12: Antall minutter forsinkelse fra kategorien NSB og sum av alle forsinkelser på sekundæraksen, begge fordelt på ukenummer

Til sammenligning ble en annen kategori med forsinkelser satt opp på samme måte, se Figur 4.12. Kategorien NSB, som blant annet stammer fra feil på

kjøretøy og manglende prosedyrer, er i samme størrelsesorden som forsinkelsene knyttet til oppstart i ukjent posisjon både med tanke på antall hendelser og sum av minutter forsinkelse.

Korrelasjonskoeffisienten for disse to datasett ble:  $r = 0.360$ . Dette er fremdeles lavt og tyder på lite sammenheng mellom datasettene, men verdien er betydelig større enn den for forsinkelser som stammer fra oppstart i ukjent posisjon:  $r = 0.072$ . Her kan man dra en slutning om at feilene knyttet til oppstart i ukjent posisjon ikke følger trenden til summen av alle forsinkelsene i datasettet over ukenummer.

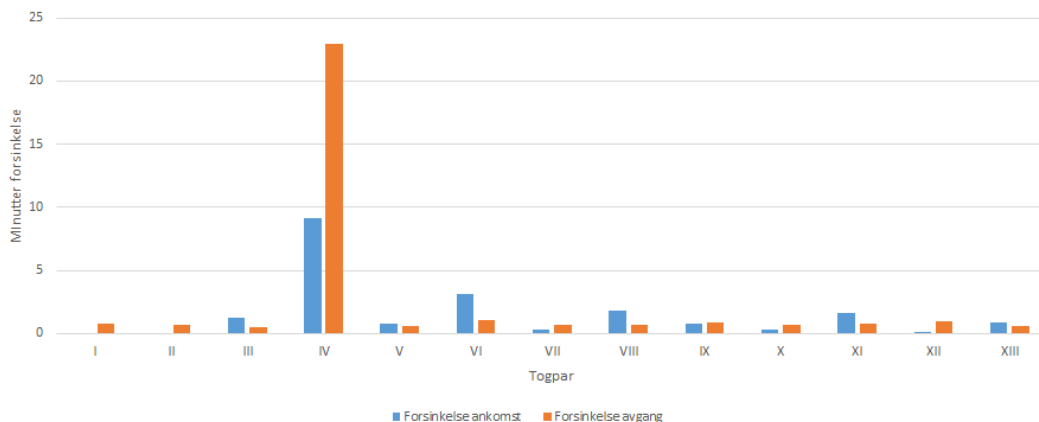


Figur 4.13: Antall minutter forsinkelse som følge av oppstart i ukjent posisjon, fordelt på tognummer

I Figur 4.13 ser man forsinkelser fra oppstart i ukjent posisjon fordelt over tognummer. I figuren står tognummer med partall for størsteparten av alle forsinkelsene. Dette er tog som går i retning Ski.

## 4.5 Snutid på Mysen stasjon

I Figur 4.14 fremstilles antall minutter forsinkelse ved snu av togsett ved Mysen stasjon den 13. april 2016. Turneringplanen legger ofte opp til at det er det toget som ankommer Mysen som også først skal returnere mot Ski.

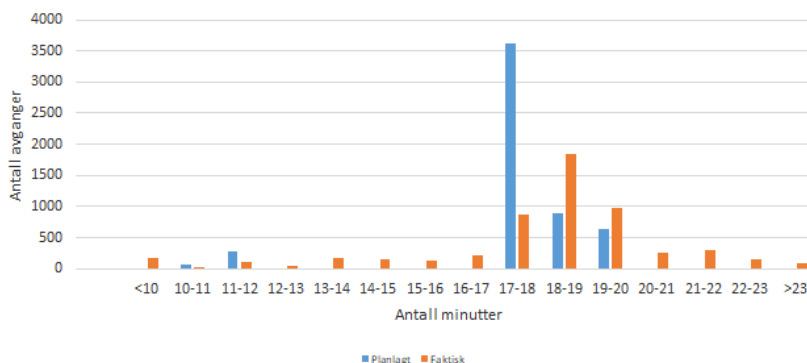


Figur 4.14: Forsinkelser ved snu på Mysen stasjon, onsdag 13. april 2016

Slik man kan se fra Figur 4.14 hadde togpar nummer IV en forsinket avgang fra Mysen på mer enn 20 minutter. Følgende beskrivelse ble registrert til hendelsen:

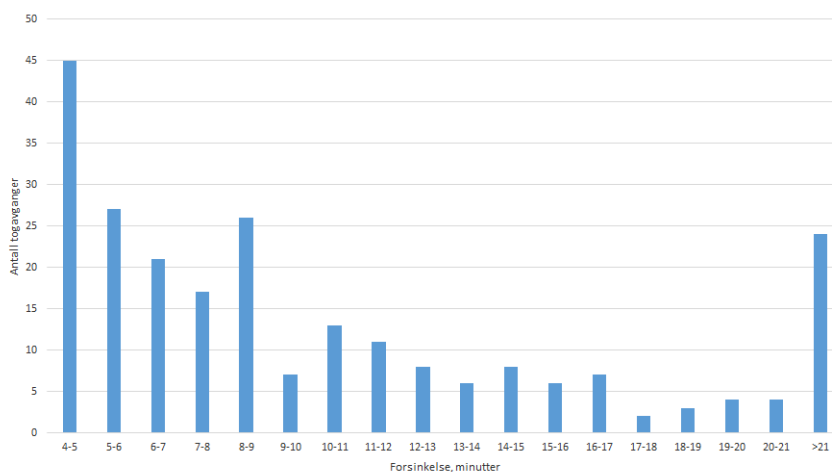
*Fører glemte å avregistrere tog "1" i RBC før han byttet ende, slik at togveien inn på Mysen ikke løste ut. Når han får gjort dette forsvinner MMA og togleder må løse ut togveien. Fører får så ikke lagt inn togdata for tog "2" og må restarte systemet. Får da oppstart i ukjent posisjon ved skilt 66, men bruker for lang tid og får trip. Får formular for videre kjøring, og da fungerer resten som normalt.*

Mye av årsaken til at problemene med togsett i ukjent posisjon oppstår er en programvarefeil i signalsystemet, og Bane NORs underleverandør hadde heller ikke mulighet til å rette opp feilen med det første (Qvale and Garathun, 2015).



Figur 4.15: Antall avganger fordelt over planlagt og faktisk tidsbruk ved snu på Mysen

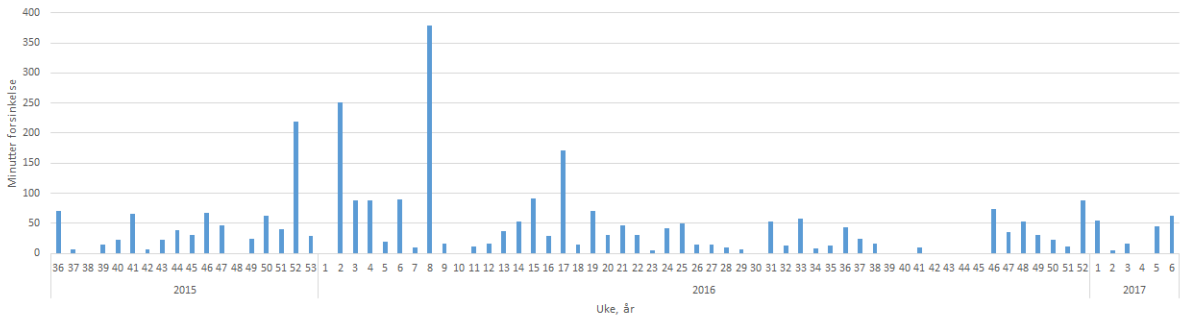
Som Figur 4.15 viser var det stor forskjell på planlagt og faktisk snutid. En del av de lavere verdiene for faktisk snutid kan stamme fra situasjoner der toget er svært forsinket ved ankomst og snur så fort som mulig.



Figur 4.16: Antall forsinkelser ved snu på Mysen stasjon fordelt over lengde på forsinkelsen



Figur 4.16 viser fordelinger av lengde på forsinkelsene ved snu på Mysen. Her ser man at det er en stor andel av forsinkelsene som faktisk er lengre enn 21 minutter.

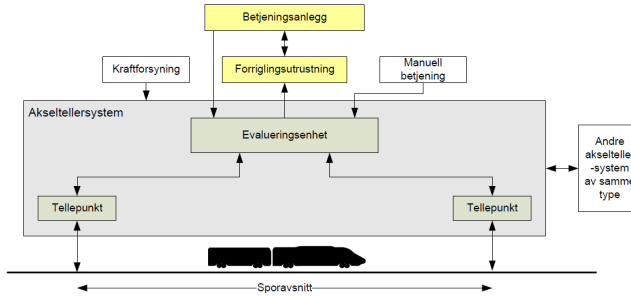


Figur 4.17: Minutter forsinkelse ved snu på Mysen.

I Figur 4.17 ser man forsinkelser ved snu på Mysen fordelt over uker. Nivået holder seg ganske stabilt, mens det er lenge siden det har vært veldig store forsinkelser. Ingen forsinkelser kortere enn fire minutter er blitt inkludert i datasettet til denne figuren, altså samme standard som Bane NOR. Man må huske at det var streik blant lokførerne som rammet ØØL i uke 41 til uke 45, slik at man ikke betrakter disse ukene som fri for forsinkelser.

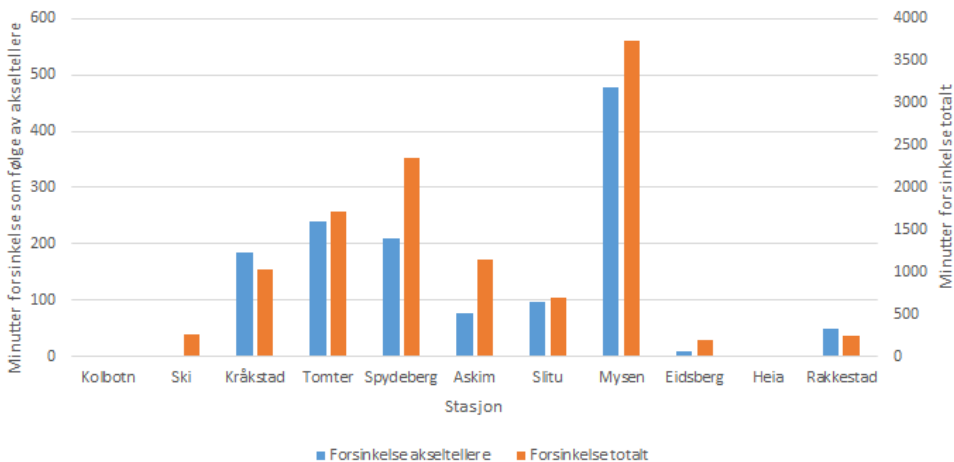
## 4.6 Akseltellere

Med overgangen til ERTMS følger også endring av togdeteksjonssystem fra sporfeltsystem til bruk av akseltellere. Slik Figur 4.18 viser, består akseltellersystemet av to tellepunkt som er koblet mot en evaluingsenhet. På hvert tellepunkt er det en induktiv elektromagnetisk spole som danner et magnetfelt, og som registrerer hvor mange togakslinger som bryter magnetfeltet. Evaluingsenheten sørger for at akslene registreres riktig, og hvis like mange akslinger har passert første og andre tellepunkt kan sporavsnittet markeres som tomt.



Figur 4.18: Akselteller systemdefinisjon (BaneNOR, 2016)

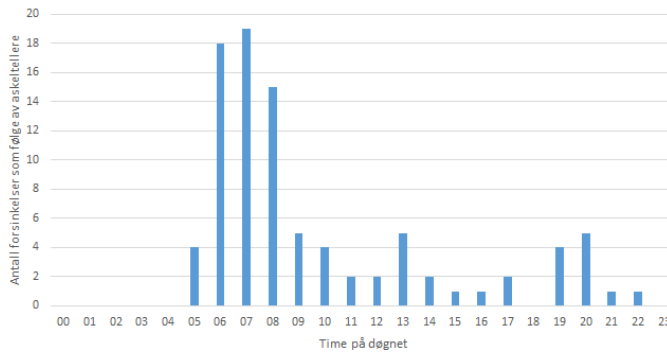
Dagens sporfeltsystem har mange komponenter som krever mye vedlikeholdsarbeid, i tillegg påvirkes det av mange feilkilder som sviller, sporveksel, trafikkstøv og kortslutninger (Garathun, 2014). Akseltellerne baserer seg på punktbasert deteksjon, og ikke kontinuerlig slik som sporfeltene. Dette er en fordel med tanke på feilsøking da punktbasert deteksjon begrenser det geografiske omfanget av hvor feilen kan befinne seg, i motsetning til kontinuerlig der feilen kan oppstå på hele sporavsnittet (Kallerud, 2016).



Figur 4.19: Antall minutter forsinkelse som følge av akseltellere og minutter forsinkelse totalt, fordelt på stasjon

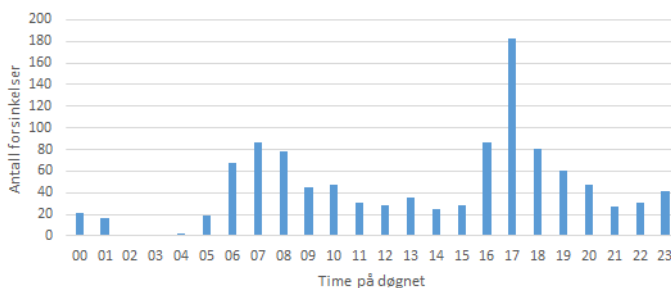
Figur 4.19 viser minutter forsinkelse som følge av akseltellere på primæraksen og minutter forsinket totalt på sekundæraksen, fordelt over stasjon. Visuelt kan man se at det er en sammenheng mellom disse to datasettene, noe korrelasjonskoeffisienten på  $r = 0.940$  også taler for.

I Figur 4.20 ser man fordelingen av forsinkelser forårsaket av akseltellere over timer i døgnet. Utifra diagrammet kan man se at hovedvekten av forsinkelsene skjer i tidsrommet 6-8. Gjennomsnittsforsinkelsen finner sted 9:46 mens medianen ligger mellom 8 og 9.



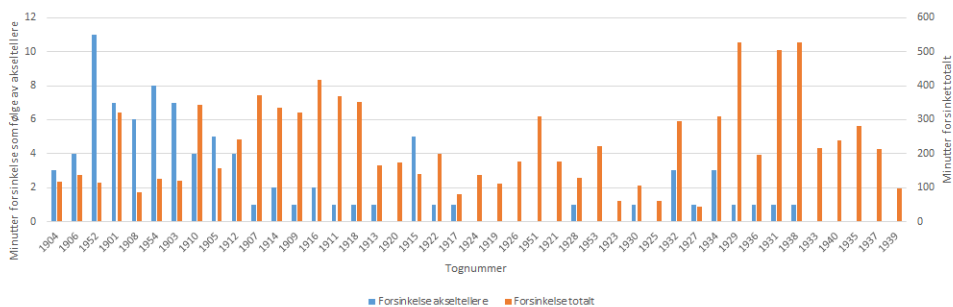
Figur 4.20: Antall forsinkelser forårsaket av akseltellere fordelt over timer i døgnet

Som en referanse til fordelingen av forsinkelser forårsaket av akseltellere, viser Figur 4.21 fordelingen over alle forsinkelser over timer i døgnet. Denne dataen har ikke samme hovedvekt tidlig på morgenen, men her er forsinkelsene mer jevnt fordelt med en topp rundt klokken 17:00. Gjennomsnittsforsinkelsen finner sted 13:36 mens medianen ligger mellom 16 og 17.



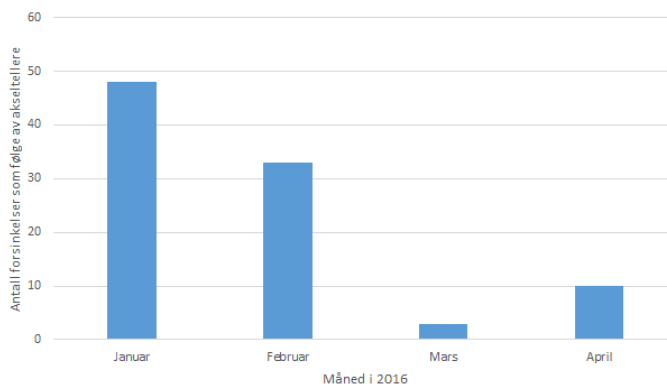
Figur 4.21: Antall forsinkelser fordelt over timer i døgnet

Det er det samme datagrunnlaget for forsinkelser forårsaket av akseltellere som benyttet tidligere som er grunnlaget for Figur 4.22, som her viser antall forsinkelser fordelt over tognummer. Den horisontale aksene gjengir rekkefølgen togene faktisk kjører i, dermed kan man se den samme trenden som i Figur 4.20: hovedvekt av forsinkelsene forårsaket av akseltellere oppstår tidlig på dagen.



Figur 4.22: Antall forsinkelser forårsaket av akseltellere fordelt på tognummer

Ut fra disse figurene kan det tyde på at forsinkelser forårsaket av akseltellere er overrepresentert rundt morgenrushet og underrepresentert ved ettermiddagsrushet.



Figur 4.23: Antall forsinkelser forårsaket av akseltellere fordelt på måned

Feil knyttet til akseltellere var konsentrert rundt første kvartal i 2016. Slik Figur 4.23 viser var det ingen forsinkelse forårsaket av akseltellere mellom april og slutten av datasettet i februar 2017.

Tabell 4.4: Minutter forsinkelse forårsaket av akseltellere og totalt, fordelt på stasjon

Togindivid	Minutter forsinkelse akselteller	Minutter forsinkelse totalt
<b>A</b>	61	1035
<b>B</b>	63	983
<b>C</b>	242	1336
<b>D</b>	96	1228
<b>E</b>	40	1270
<b>F</b>	139	1348
<b>G</b>	89	945
<b>H</b>	144	1566
<b>I</b>	200	1679

Tabell 4.5: Minutter forsinkelse forårsaket av akseltellere og totalt, fordelt på togindivid

Stasjon	Minutter forsinkelse akselteller	Minutter forsinkelse totalt
Kolbotn	0	4
Ski	0	282
Kråkstad	184	972
Tomter	145	1699
Spydeberg	198	1975
Askim	77	1152
Slitu	97	855
Mysen	316	3715
Eidsberg	9	350
Heia	0	34
Rakkestad	48	328

Tabell 4.5 og Tabell 4.4 viser sammenhengen mellom minutter forsinkelse som følge av akseltellere og henholdsvis minutter forsinkelse per togindivid og minutter forsinkelse per stasjon. Beregner man korrelasjonskoeffisient får man  $r = 0.661$  med fordeling mot togindivid og  $r = 0.940$  med fordeling mot stasjon.

Tabell 4.6: Egenskaper ved datasettene i Tabell 4.5 og Tabell 4.4

	Akselteller fordelt på stasjon	Akselteller fordelt på togindivid
Gjennomsnitt	97.64	119.33
Standardavvik	98.54	64.02
Variasjonskoeffisient	1.01	0.54

I Tabell 4.6 kan man se at variasjonskoeffisienten er større i datasettet som er fordelt på stasjon enn i datasettet som er fordelt på togindivid.

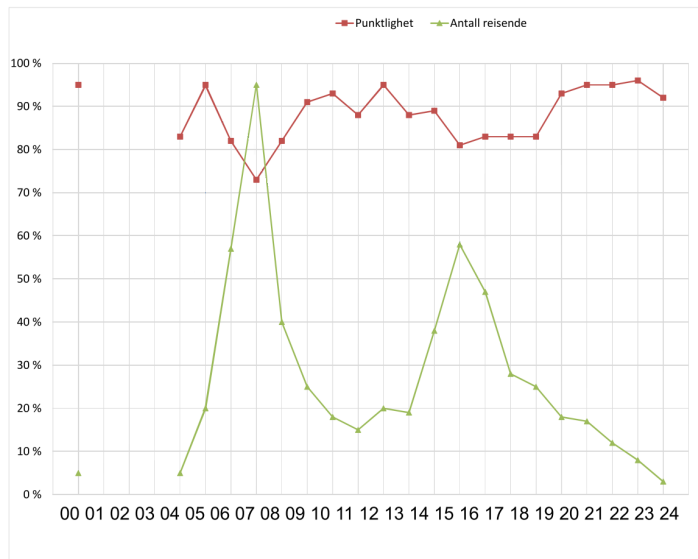
## 4.7 Rushtid

Rushtiden betegner de periodene på døgnet en strekning er mest brukt, ofte i forbindelse med pendlere på vei til og fra jobb. Med mange reisende og flere avganger er det krevende for de involverte å gjennomføre en presis togframføring.

Hvis et tog blir forsinket i rushtiden kan dette påvirke andre tog som igjen blir forsinket, en såkalt sekundær- eller følgeforsinkelse (Olsson and Haugland, 2004).

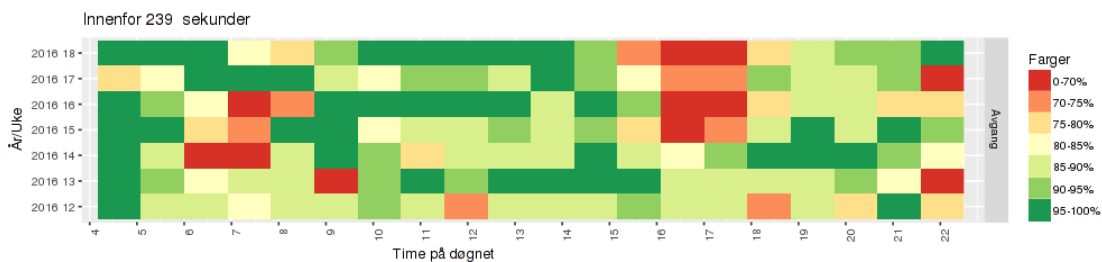
I Figur 4.24 kan man se forholdet mellom punktlighet og antall reisende indeksert, over timer i døgnet på strekningen Asker-Oslo S. Her ser man at morgenrushet har sitt toppunkt mellom 07 og 08, men toppen på ettermiddagen er lavere og befinner seg mellom 15 og 16. Årsaken til at fordelingen er spissere i morgenrushet kan være at de fleste starter arbeidsdagen rundt samme tidspunkt, mens reisen hjem fra jobb blir fordelt over et lengre tidsrom på grunn av overtid eller andre avtaler.

Punktligghet og antall reisende ser her ut til å ha et invers forhold, da punktligheten synker i det antall reisende stiger.



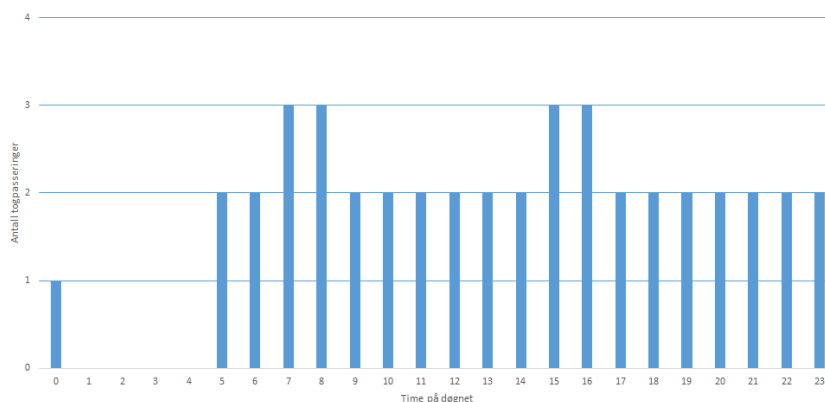
Figur 4.24: Fordelingen av punktlighet og antall passasjerer over døgnet på strekningen Asker-Oslo S (Olsson et al., 2015)

Østfoldbanen østre linje har også rushtidsperioder i løpet av døgnet. Varmekartet i Figur 4.25 viser punktlighet for avganger fra Mysen mot Ski. Varmekartet indikerer hvor stor andel av togkjøringene som var i rute, altså ikke forsinket med mer enn 239 sekunder, fordelt på time på døgnet over sju uker. Både rundt klokken 07 og 17 kan man se at punktligheten er lavere enn resten av dagen.



Figur 4.25: Varmekart over punktligheten ved avgang fra Ski mot Mysen uke 12 til uke 18, 2016

På en vanlig hverdag går det 43 togkjøringer for passasjerer på Østfoldbanen østre linje. Figur 4.26 viser når disse passerer Spydeberg stasjon, som ligger mellom Ski og Mysen. Her kan man se at rutetabellen er satt opp slik at det er flere avganger i rushtidene.

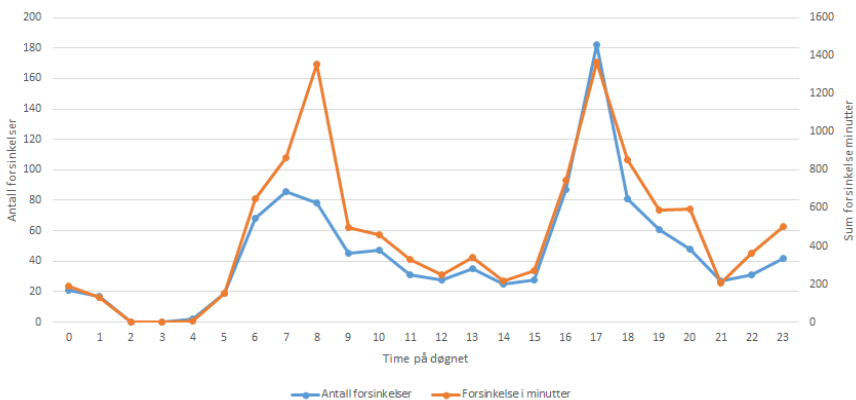


Figur 4.26: Antall togpasseringer ved Spydeberg stasjon fordelt over time på døgnet

Som nevnt tidligere gjør flere passasjerer og mange togkjøringer rushtiden spesielt utsatt for forsinkelser. Figur 4.27 viser antall forsinkelser på primæraksen, sum forsinkelse i minutter på sekundæraksen, begge fordelt over time på døgnet. Ut fra grafen kan man se at datasettene følger hverandre i stor grad. Regner man ut Persons produkt-moment korrelasjonskoeffisient får man ver-



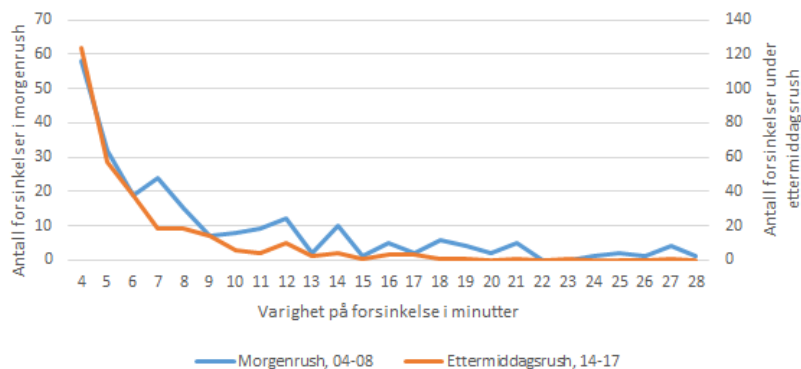
dien:  $r = 0.913$  noe som tilsier en sterk korrelasjon. Det indikerer at jo flere forsinkelser det er jo flere minutter forsinkelse oppstår, noe som høres intuitivt ut.



Figur 4.27: Antall forsinkelser og sum minutter forsinkelse fordelt over time på døgnet, på en vanlig hverdag på ØØL

Det største avviket mellom datasettene finner vi i morgenrushet. Her er det flere minutter forsinkelse per forsinket tog enn de andre dataene tilsier. I klartekst: forsinkelsene er lengre i morgenrushet enn i ettermiddagsrushet. Grunnen til dette kan kanskje forklares i Figur 4.24 der det ble vist at morgenrushet var mer konsentrert enn ettermiddagsrushet, på strekningen Asker-Oslo S.

Figur 4.28 viser fordelingen av lengde på forsinkelsene i henholdsvis morgen- og ettermiddagsrush relativt til hverandre. Her ser man at datasettene har samme andel forsinkelser mellom 4 og 6 minutter, men at morgenrushet har en større andel forsinkelser med lengre varighet.



Figur 4.28: Antall forsinkelse i morgen- og ettermiddagsrush fordelt over varighet på forsinkelsen

Påstanden om at forsinkelsene i morgenrushet som regel er lengre enn de i ettermiddagsrushet styrkes om man ser mer nøye på datasettene. I Tabell 4.7 kan man se at forsinkelsene i morgenrushet har høyere verdi for både gjennomsnitt og median, sammenlignet med ettermiddagsrushet. Tidspunktene for definisjon av periodene er valgt for å få tilnærmet like mange forsinkelser i både morgen- og ettermiddagsrushet.

Tabell 4.7: Rushtid datasett

	Morgen 04-08	Ettermiddag 14-17
<b>Antall forsinkelser</b>	253	322
<b>Sum minutter</b>	3023	2592
<b>Gjennomsnitt</b>	11.95	8.05
<b>Median</b>	7	5

## 4.8 Innstillinger

I en rapport fra 2015 kritiserte Riksrevisjonen det daværende Jernbaneverket for sin håndtering av innstilte tog i regularitetsstatistikken. Det ble pekt på det faktum at innstillinger av persontog som følge av planlagte vedlikeholdsarbeider ikke inkluderes i datasettet som brukes som grunnlag for samferdselsdepartementets mål for punktlighet, oppetid og regularitet (Riksrevisjonen, 2015). I

samme rapport kom det fram at innstillinger kan kategoriseres som planlagte selv etter at ruteplanen er satt, og dermed ikke inkluderes i regularitetsmålet. Her ble det stilt spørsmål om dette kan redusere Jernbaneløstets intensiver til å effektivt gjennomføre de planlagte arbeidene.

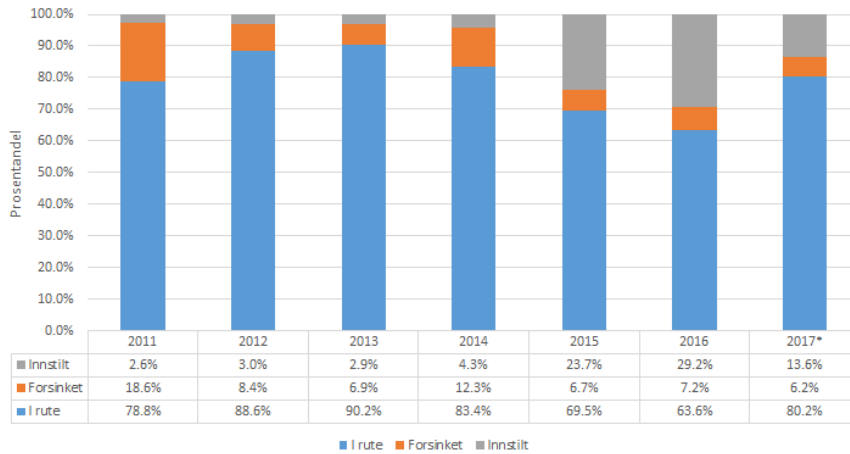
Etter at Østfoldbanen østre linje fikk installert ERTMS har strekningen vært preget av innstillinger og innkjøringsproblemer. I april skrev Bentzrød (2017) en artikkel der han påpekte at lokaltogstrekningen hadde i 2016 en punktlighet på 64 prosent og hver fjerde avgang var innstilt. Ser man på Figur 4.29 kan man se at hele 29.2% av alle avganger var innstilt, altså flere enn hver fjerde.

Ikke lenge etter publiserte Kjenne (2017) et innlegg på Bane NORs nettsider som svar på kritikken. Der skrev han blant annet at det har vært mellom to og fire ikke-planlagte innstilte tog per måned siden juni 2016. Datasettet som har vært tilgjengelig for denne masteroppgaven inkluderer også innstilte tog, og i Tabell 4.8 er antall innstilte tog per måned presentert. Tallene Kjenne (2017) refererer til stemmer ikke overens med det datasettet som var tilgjengelig for denne oppgaven. Det kan muligens forklares med forskjellige definisjoner av når et tog betegnes innstilt, som riksrevisjonen også var inne på.

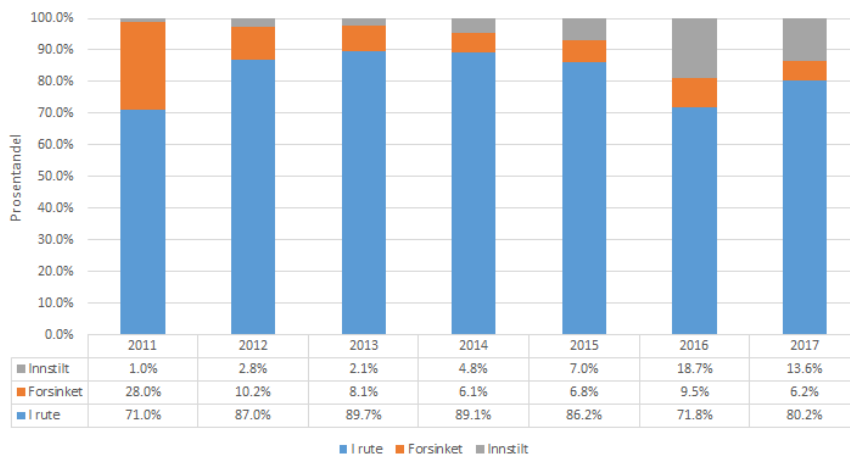
Tabell 4.8: Antall innstillinger siden juni 2016. \*Tilgjengelig datasett ble avsluttet i midten av februar

År	Måned	Antall
2016	Juni	18
	Juli	9
	August	8
	September	5
	Oktober	2
	November	7
	Desember	6
2017	Januar	0
	Februar	2*

Figur 4.29 viser andel togkjøringer som var henholdsvis innstilt, forsinket og i rute. ERTMS ble innført 31. august 2015 og man ser en tydelig økning i andel innstilte togkjøringer.



Figur 4.29: Andel tog i rute, forsinket og innstilt på strekningen Ski-Mysen 2011-2017. \*Datasettet for 2017 går til og med 23. mai



Figur 4.30: Andel tog i rute, forsinket og innstilt på strekningen Ski-Mysen, januar-mai 2011-2017

Siden vi kun har kommet til mai 2017 når denne oppgaven skrives, viser Figur 4.30 samme fordeling som Figur 4.29 før men kun månedene januar til mai. På denne måten tar man høyde for variasjoner gjennom året. Andelen innstilte tog så langt i 2017 er fremdeles høyt, men lavere enn i 2016.

## 4.9 Togindivid

ØØL betjenes av tilsammen ni togindivider, som rullerer på de 43 daglige togkjøringene. Videre i denne oppgaven vil de bli omtalt som togindivid A til I.



**Type 74/75:** 106 m, 218 tonn, 259 seter, 200 km/h

Figur 4.31: Illustrasjon togtypen FLIRT (Schrader, 2017b)

Alle er produsert av Stadler Rail og er best kjent under navnet FLIRT, se Figur 4.31. Denne typen er nå NSBs hovedsatsning, og 107 togsett er bestilt. NSB har også som mål å få en mer homogen togflåte, for å gjøre drift- og vedlikeholdsarbeid enklere (NSB, 2016). Togtypen er også svært populær utenfor Norge, og 1120 togsett er solgt til 16 forskjellige land (Bentzrød, 2015).

Togindividene som blir brukt på ØØL ble levert omtrent samtidig fra Stadler Rail, over en tidsperiode på et halvt år (NorskJernbaneklubb, 2017).

#### 4.9. TOGINDIVID

Tabell 4.9: Oversikt over kjøring og forsinkelser fordelt på togindivid. I hver kolonne er de tre rutene med høyest verdi markert

Tog-individ	Antall kjøring	Andel kjøring som var forsinket	SUM lengde kjøring [km]	Sum forsinkelse/Sum lengde [min./km]	AVG lengde kjøring [km]	Antall forsinkelser	Sum forsinkelser [min]	AVG forsinkelse [min]
A	1331	9.24%	87918	0.0118	66.05	123	1035	8.41
B	1391	9.20%	92168	0.0107	66.26	128	983	7.68
C	1554	9.52%	101079	0.0132	65.04	148	1336	9.03
D	1805	8.48%	115298	0.0107	63.88	153	1228	8.03
E	1774	7.72%	117562	0.0108	66.27	137	1270	9.27
F	1781	8.09%	114270	0.0118	64.16	144	1348	9.36
G	1228	9.93%	85344	0.0111	69.50	122	945	7.75
H	1511	11.18%	103492	0.0151	68.49	169	1566	9.27
I	1789	10.68%	114529	0.0147	64.02	191	1679	8.79

Tabell 4.10: Oversikt over fordelingen av minutter forsinkelse per tognummer og togindivid. De 10% høyeste verdiene er markert i rødt

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1904	0	4	0	4	22	33	30	8	19
1906	18	22	40	74	17	62	51	35	87
1952	31	18	0	11	8	46	0	25	22
1901	15	0	45	4	51	18	19	80	10
1908	40	88	50	73	87	10	44	96	77
1954	20	51	28	0	21	57	40	69	49
1903	18	0	79	25	14	8	59	61	57
1910	16	5	60	59	35	164	50	50	57
1905	57	22	115	0	17	62	0	45	50
1912	11	11	21	19	5	124	9	71	100
1907	20	17	36	0	14	50	13	0	15
1914	4	6	47	19	15	41	27	4	22
1909	12	15	20	41	0	8	6	37	0
1916	13	26	6	17	11	32	22	40	32
1911	6	11	16	7	20	0	12	0	8
1918	4	16	0	47	26	4	6	27	6
1913	0	0	22	13	9	0	0	4	86
1920	39	14	9	4	0	17	15	0	94
1915	19	11	6	23	18	57	9	6	27
1922	11	4	0	8	15	58	0	5	27
1917	4	13	4	12	0	10	0	6	13
1924	27	24	0	26	12	13	4	0	0
1919	0	10	19	0	0	7	14	0	12
1926	0	9	25	4	37	30	114	22	55
1951	0	0	0	0	8	0	4	33	0
1921	23	13	12	48	58	37	18	57	43
1928	100	24	103	41	119	45	28	57	38
1953	4	27	8	9	228	4	11	0	20
1923	94	112	98	118	107	76	100	140	109
1930	67	106	133	96	25	73	118	161	195
1925	22	9	25	31	0	5	7	78	39
1932	58	62	29	53	17	0	21	58	14
1927	16	32	77	56	48	39	0	4	13
1934	38	71	58	116	77	13	45	20	25
1929	13	7	22	0	21	15	6	24	10
1936	12	9	7	7	12	29	0	98	5
1931	28	6	11	13	0	13	4	8	4
1938	65	21	21	12	9	15	4	61	30
1933	29	0	4	33	4	4	0	4	19
1940	62	20	37	66	0	33	4	9	104
1935	6	12	4	17	0	8	20	36	11
1937	13	51	9	13	50	0	11	23	56
1939	0	4	30	9	33	28	0	4	19

Tabell 4.11: Minutter forsinkelse fordelt på togindivid og forsinkelseskategori. De 20% høyeste verdiene er markert i rødt

MINUTTER FORSINKELSE	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1. EOS - NSB	263	161	317	156	270	246	229	397	445
2. NSB	47	22	41	50	48	5	63	114	49
3. Transmisjon levert av JBV	85	24	64	32	34	53	29	18	109
4. IL-JBV	12	0	0	11	0	0	0	4	15
5. IL-BT	53	51	52	117	290	202	28	81	27
6. Akseltellere Bombardier	61	63	242	96	40	139	89	144	200
7. Trafikkavvikling	355	260	256	393	335	316	240	402	382
8. Ukjent	23	14	32	32	12	61	20	136	73
9. Andre feil, KL, spor	5	23	10	0	0	7	5	17	12
10. Årsakskoder som ikke omhandler ERTMS	106	242	250	213	139	223	147	163	246
11. Forårsaket utenfor ØØL	25	123	72	128	102	96	95	90	121

Tabell 4.12: Antall forsinkelser fordelt på togindivid og forsinkelseskategori. De 20% høyeste verdiene er markert i rødt

ANTALL FORSINKELSER	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1. EOS - NSB	26	18	26	19	24	25	22	31	38
2. NSB	6	4	5	5	6	1	5	8	8
3. Transmisjon levert av JBV	4	3	3	3	4	3	3	1	7
4. IL-JBV	1	0	0	1	0	0	0	1	3
5. IL-BT	4	4	4	6	6	8	3	8	3
6. Akseltellere Bombardier	9	5	14	10	6	14	12	12	12
7. Trafikkavvikling	48	42	48	60	53	50	41	62	65
8. Ukjent	3	2	4	4	2	4	3	9	4
9. Andre feil, KL, spor	1	1	2	0	0	1	1	2	1
10. Årsakskoder som ikke omhandler ERTMS	17	28	31	24	18	24	18	21	30
11. Forårsaket utenfor ØØL	4	21	11	21	18	14	14	14	20



Tabell 4.13: Minutter forsinkelse per kjørte 1000km, fordelt på togindivid og forsinkelseskategori. De 20% høyeste verdiene er markert i rødt

MINUTTER FORSINKELSE/ 1000 KM	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1. EOS - NSB	31.5	17.9	32.3	15.5	30.9	26.0	26.4	35.3	36.1
2. NSB	5.6	2.4	4.2	5.0	5.5	0.5	7.3	10.1	4.0
3. Transmisjon levert av JBV	10.2	2.7	6.5	3.2	3.9	5.6	3.3	1.6	8.8
4. IL-JBV	1.4	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.4	1.2
5. IL-BT	6.3	5.7	5.3	11.6	33.1	21.3	3.2	7.2	2.2
6. Akseltellere Bombardier	7.3	7.0	24.7	9.5	4.6	14.7	10.3	12.8	16.2
7. Trafikkavvikling	42.5	28.8	26.1	39.1	38.3	33.4	27.6	35.8	31.0
8. Ukjent	2.8	1.6	3.3	3.2	1.4	6.4	2.3	12.1	5.9
9. Andre feil, KL, spor	0.6	2.6	1.0	0.0	0.0	0.7	0.6	1.5	1.0
10. Årsakskoder som ikke omhandler ERTMS	12.7	26.8	25.5	21.2	15.9	23.6	16.9	14.5	20.0
11. Forårsaket utenfor ØØL	3.0	13.6	7.3	12.7	11.7	10.1	10.9	8.0	9.8

Tabell 4.14: Antall forsinkelser per kjørte 1000km fordelt på togindivid og forsinkelseskategori. De 20% høyeste verdiene er markert i rødt

ANTALL FORSINKELSER/ 1000 KM	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1. EOS - NSB	3.1	2.0	2.7	1.9	2.7	2.6	2.5	2.8	3.1
2. NSB	0.7	0.4	0.5	0.5	0.7	0.1	0.6	0.7	0.6
3. Transmisjon levert av JBV	0.5	0.3	0.3	0.3	0.5	0.3	0.3	0.1	0.6
4. IL-JBV	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2
5. IL-BT	0.5	0.4	0.4	0.6	0.7	0.8	0.3	0.7	0.2
6. Akseltellere Bombardier	1.1	0.6	1.4	1.0	0.7	1.5	1.4	1.1	1.0
7. Trafikkavvikling	5.7	4.7	4.9	6.0	6.1	5.3	4.7	5.5	5.3
8. Ukjent	0.4	0.2	0.4	0.4	0.2	0.4	0.3	0.8	0.3
9. Andre feil, KL, spor	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.1
10. Årsakskoder som ikke omhandler ERTMS	2.0	3.1	3.2	2.4	2.1	2.5	2.1	1.9	2.4
11. Forårsaket utenfor ØØL	0.5	2.3	1.1	2.1	2.1	1.5	1.6	1.2	1.6

Tabell 4.15: Minutter forsinkelse per kjørte 1000km, fordelt på togindivid og togstasjon. De 20% høyeste verdiene er markert i rødt

MINUTTER FORSINKELSE/1000 KM	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Kolbotn	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0
Ski	0.0	5.7	0.0	0.0	2.9	9.1	5.5	6.1	0.3
Kråkstad	9.7	11.6	13.2	8.7	17.6	10.6	5.3	15.7	7.5
Tomter	20.4	17.7	21.7	28.6	19.0	19.9	14.4	18.3	14.8
Spydeberg	21.6	20.5	26.2	20.3	21.7	30.6	17.4	21.4	22.6
Askim	19.2	8.3	11.0	7.8	10.9	14.8	9.8	19.5	15.3
Slitu	7.3	2.6	18.3	5.7	30.5	4.2	5.0	7.3	8.4
Mysen	34.7	33.4	37.7	44.5	34.6	40.9	43.3	45.4	59.2
Eidsberg	6.1	4.9	4.2	3.5	2.3	5.4	5.3	2.8	2.5
Heia	0.6	0.4	0.5	0.4	0.0	0.8	0.5	0.0	0.3
Rakkestad	4.4	3.9	3.5	2.6	5.7	6.1	2.4	2.7	3.0

Tabell 4.16: Minutter forsinkelse per kjørte 1000km, fordelt på togindivid og måned. De 20% høyeste verdiene er markert i rødt

MINUTTER FORSINKELSE/1000 KM	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Januar	22.4	27.5	19.4	25.3	38.3	31.4	23.4	30.9	32.3
Februar	25.6	14.2	35.3	11.7	23.1	27.9	23.0	18.2	14.3
Mars	3.6	0.0	6.2	18.9	9.0	7.1	3.3	10.5	10.1
April	15.0	10.1	9.4	5.6	12.6	8.2	15.2	18.4	21.0
Mai	4.5	6.0	20.6	7.1	2.6	2.6	10.0	15.0	10.6
Juni	0.8	8.1	10.7	4.9	10.9	6.9	4.3	1.8	3.7
Juli	10.7	3.8	8.3	11.0	5.9	11.8	0.0	0.0	10.4
August	3.0	3.7	6.8	5.7	1.4	3.1	1.2	2.8	8.5
September	13.5	5.7	1.7	5.9	17.1	4.6	5.5	12.3	8.5
Oktober	2.5	4.5	3.5	1.1	1.8	2.4	0.0	0.4	2.9
November	12.7	12.9	7.0	5.2	7.2	14.6	6.0	11.2	6.4
Desember	9.6	12.6	7.3	19.8	15.2	21.8	16.9	18.0	7.5

Tabell 4.17: Minutter forsinkelse forårsaket av akseltellere per kjørte 1000km, fordelt på togindivid og stasjon. De 20% høyeste verdiene er markert i rødt

MINUTTER FORSINKELSE AKSELTELLERE/1000 KM	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Kolbotn	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ski	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Kråkstad	0.5	1.7	3.9	0.0	1.7	3.1	6.8	1.1	0.0
Tomter	2.0	2.1	2.0	1.4	1.1	1.2	3.1	1.9	0.0
Spydeberg	4.9	2.8	0.0	0.8	0.5	1.1	7.3	2.8	0.5
Askim	0.4	0.0	0.4	2.4	0.5	0.0	0.4	1.2	2.2
Slitu	0.4	0.8	1.1	0.0	0.6	0.0	7.0	0.0	0.0
Mysen	5.0	1.5	3.6	11.2	3.0	1.6	0.0	2.6	1.4
Eidsberg	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6
Heia	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Rakkestad	1.5	0.9	1.9	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

I Tabell 4.10 kan man se at de høyeste verdiene ligger rundt morgen- og ettermiddagsrushet. Spesielt tognummer 1923 og 1930 har særlig mange minutter forsinkelse.

Fra Tabell 4.11 til Tabell 4.14 viser fire forskjellige måter å fremstille sammenhengen mellom togindivid og forsinkelseskategori. Av disse gikk man videre med oppsettet fra den siste tabellen.

Man foretrakk *minutter forsinkelse* over *antall forsinkelser* siden den fanger opp lengden på forsinkelsene. Datasettet er så stort at det skal en del til for at en unormalt lang forsinkelse skal forstyrre tabellen.

For å ta hensyn til hvor langt hvert togindivid hadde kjørt ble det også bestemt å ha *minutter forsinkelse per 1000 km*.

Tabell 4.15 og Tabell 4.16 viser trender per kategori, altså ikke på et bestemt togindivid.

Tabell 4.17 ser ut til å ha mindre tydelig trend på kategori.

# Kapittel 5

## Diskusjon

I Tabellen 5.1 er det en oversikt over korrelasjonskoeffisientene mellom ulike kategorier. Raden med *Forsinkelser, totalt* er den eneste som sammenlignes med antall togkjøringer per kategori. De resterende sammenlignes med minutter forsinkelse i de respektive kategoriene.

Tabell 5.1: Korrelasjonskoeffisient mellom ulike kategorier

	Time på døgnet	Uke	Stasjon	Tognummer	Togindivid
Forsinkelser, totalt	0.539	0.186	0.464	0.438	0.640
Forsinkelser, akseltellere	0.490	0.642	0.940	0.226	0.661
Forsinkelser, oppstart i ukjent posisjon	0.489	0.413	0.893	0.226	0.661
Forsinkelser, ankomst Mysen	0.740	0.324		0.774	0.653
Forsinkelser, avgang Mysen	0.657	0.243		0.576	0.747
Forsinkelser, doble togsett	0.741	0.545	0.932	0.815	0.353

## 5.1 Doble togsett og oppstart i ukjent posisjon

I løpet av den første måneden med ERTMS på ØØL ble det store problemer knyttet til vending av doble togsett på Mysen. Et av datasystemene oppfattet at det bakre togsettet var i ukjent posisjon, og krever dermed mange manuelle prosedyrer mellom togleder og togfører (BaneNOR, 2015). Dette førte til mange innstillinger og forsinkelser, eksempelvis hos tognummer 1923 og 1932 som ofte kjører doble togsett. Henholdsvis 77% og 73% av avgangene i den første måneden var innstilt.

Tabell 5.2: Sammenheng mellom forsinkelser på grunn av oppstart i ukjent posisjon og doble togsett

	Forsinkelser, alle	Forsinkelser, oppstart i ukjent posisjon	Forsinkelser, doble togsett	Forsinkelser, oppstart i ukjent posisjon med doble togsett
Antall	1143	83	163	19
Minutter	23204	1181	1123	173

Ser man på totalt antall minutter forsinkelse i Tabell 5.2, så utgjorde forsinkelser som følge av oppstart i ukjent posisjon en andel på 5.1%. For togkjøringer med doble togsett ligger andelen på 15.4%. Problemet med oppstart i ukjent posisjon ved snu på Mysen er da betydelig større med doble togsett.

Det tilgjengelige datasettet for detaljerte forsinkelser strekker seg kun tilbake til 01.01.2016, så det fanger ikke opp problemene den første måneden. Ved hjelp av Figur 4.11 kan man se at blir lengre mellom forsinkelser forårsaket av oppstart i ukjent posisjon mot slutten av 2016. Denne trenden styrkes med at både tognummer 1923 og 1932, som i september 2015 lå på 77% og 73%, ikke hadde noen innstillinger ett år senere, i september 2016.

## 5.2 Snutid på Mysen stasjon

Den korteste mulige snutiden for togindividene som opererer på ØØL er fem minutter for et enkelt togsett og syv for et dobbelt (Schrader, 2017a). Grunnen til at den planlagte snutiden er en god del større enn den minste mulige er fordi man legger inn en buffer slik at det skal være mulig å ta igjen eventuelle forsinkelser man måtte ha ved ankomst til Mysen.

I Tabell 4.3 ser man forsinkelser fordelt på kjøreretning, og togkjøringene i

retning Ski er oftere forsinket og har lengre forsinkelser enn i retning Mysen. Dette kan ha en sammenheng med det faktum at Mysen stasjon har en stor andel av alle forsinkelser, slik man kan se i Figur 4.19. Siden en god del av togkjøringene snur på Mysen stasjon blir mange forsinket. Dette kan være grunnen til at kjøringene i retning Ski er mer forsinket enn de i retning Mysen.

I Tabell 4.7 ser man at forsinkelsene er i gjennomsnitt lengre i rushet på morgenen enn det på ettermiddagen. Dette kan ha en sammenheng med kjøreretningen, da en større andel av togkjøringene på morgenen går mot Ski og en større andel på ettermiddagen går mot Mysen.

### 5.2.1 Ukjent posisjon

Figur 4.13 viser antall minutter forsinkelse som følge av oppstart i ukjent posisjon, fordelt på tognummer. De aller fleste av tognumrene som vises i denne figuren er partall, som altså kjører i retning Ski. Dette skyldes nok at de fleste forsinkelsene identifisert med feilkoden *oppstart i ukjent posisjon*, er knyttet opp mot avgang fra Mysen stasjon.

## 5.3 Akseltellere

Slik man kan se i Tabell 5.1 gir akseltellerfeil en korrelasjonskoeffisient på  $r = 0.661$  med fordeling mot togindivid og  $r = 0.940$  med fordeling mot stasjon. Det vil si at akseltellerfeil følger trenden blant minutter forsinkelse totalt fordelt på stasjoner bedre enn fordelingen på togindivider.

Figur 4.20 viser at forsinkelser som følge av feil med akseltellere har sin hovedvekt på morgenen. Det er i dette tidsrommet mange avganger fra Mysen stasjon, som også er den stasjonen med flest minutter forsinkelse som følge av akseltellerfeil.

Det relative forholdet mellom minutter forsinkelse fra akseltellerfeil og minutter forsinkelse totalt fordelt på stasjon vises i Figur 4.19. Her kan man se at forsinkelsene ikke er jevnt fordelt, men heller overrepresentert på Mysen og Spydeberg stasjon. Det faktum at feil på akseltellere følger samme trend som minutter forsinket totalt tyder på en sammenheng.

Egenskaper ved fordelingene av feil på akselteller fordelt på stasjon og togindivid vises i Tabell 4.6. Variasjonskoeffisienten er betydelig større i fordelingen på stasjon enn på togindivid. Dette indikerer at forsinkelsene knyttet til togindivid er jevnere fordelt.

Om man skal vurdere Tabell 4.15 og Tabell 4.17 kun ut ifra de markerte 20% høyeste verdiene, kan man ende opp med å tro at Tabell 4.15 har en fordeling med mindre spredning enn Tabell 4.17. Men det viser seg at datasettene har tilnærmet lik *variasjonskoeffisient*, fordelt på stasjon. Verdiene er 0.99 for fordelingen av akseltellerfeil og 1.00 for fordelingen med minutter forsinkelse totalt.

Ser man på fordelingen over togindividene, har forsinkelsene knyttet til akseltellere en *variasjonskoeffisient* på 0.48 som er betydelig større enn den for minutter forsinkelse totalt, som ligger på 0.10. Det vil si at det er større spredning i forsinkelsene knyttet til akseltellere enn det er for minutter forsinkelse totalt, om man ser på togindividene. Men på den andre siden er jo akseltellerfeil et delsett av minutter forsinkelse totalt, og det er ikke overraskende at et delsett har større spredning enn det settet det spenner ut fra.

Verdiene 0.99 og 0.48 stemmer overens med verdiene på *variasjonskoeffisient* i Tabell 5.1, noe som bygger opp under at forsinkelsene fra fordelingen med togindivid er jevnere og mindre spredt enn forsinkelsene fra fordelingen med stasjoner.

Togindivid G har flest minutter forsinkelse som følge av akseltellere per 1000 kjørte kilometer, men færrest minutter forsinkelse totalt per kjørte 1000 kilometer.

# Kapittel 6

## Konklusjon

Problemene med kombinasjonen av *doble togsett, snutid på Mysen og oppstart i ukjent posisjon* har forårsaket de forsinkelsene som enklest kan knyttes opp mot innføringen av ERTMS. Mysen utmerker seg i den forstand at den har klart flest minutter forsinkelse av alle stasjonene. Forsinkelsene ved snu av togsett på Mysen har holdt seg stabile gjennom hele perioden, og oppstart i ukjent posisjon har vært et gjentakende problem.

Forsinkelser som følge av feil på akseltellere er stort sett knyttet sterkere opp mot spesifikke steder enn togindivider. Flest forsinkelser knyttet til akseltellerfeil finner vi ved Mysen stasjon, og forsinkelsene følger den samme trenden som minutter forsinket totalt fordelt på stasjon.

Etter beregninger med *variasjonskoeffisienter*, kan man også se at fordelingen på stasjoner er mer spredt enn fordelingen på togindivider. Dette tyder også på at akseltellerfeil er mer knyttet opp mot spesifikke stasjoner.

Hvis det likevel skal pekes på et togindivider, så er det individ G som skiller seg ut. Dette togindivideret har færrest minutter forsinkelse per kjørte 1000 kilometer, men har likevel flest minutter forsinkelse som følge av akseltellerfeil per kjørte 1000 kilometer.

### 6.1 Anbefalinger

Innføringen av ERTMS på ØØL var nettopp for å kunne høste erfaringer for den videre prosessen med å fornye signalanleggene i Norge. Den største utfordringen ser ut til å være de mange innstillingene man fikk i løpet av de første årene med



trafikkavvikling. Med en utdypende studie kan det avdekkes tiltak som unngår slike tilstander når ERTMS innføres på andre strekninger.

## 6.2 Forslag til videre arbeid

Gjennom prosessen har det jevnlig blitt holdt møter, der veileder Professor Nils Olsson har kommet med forslag til videre utvikling av oppgaven. En del av disse forslagene ble ikke gjennomført, stort sett på grunn av mangel på tid.

Noen av disse forslagene var:

- Sammenlign snutiden på Mysen stasjon med snutid på en annen men tilsvarende strekning
- Se nøyer på turneringsplanen å se om det er en sammenheng mellom forsinkelser og hvor langt et togindivid har kjørt på en dag
- Se på tognummer som både har vært betjent av enkle og doble togsett, og se som det finnes en sammenheng
- Utføre intervjuer med relevante fagfolk for å få en dypere forståelse for resultatene
- Del opp kategorien *Trafikkavvikling* og finn fram til den primære forsinkelsen som var opphavet

# Kapittel 7

## Bibliografi

- Abed, S. K., 2010. European Rail Traffic Management System - An overview. 2010 1st International Conference on Energy, Power and Control (EPC-IQ) 6 (2), 173–180.
- Abril, M., Barber, F., Ingolotti, L., Salido, M. A., Tormos, P., Lova, A., 2008. An assessment of railway capacity. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review 44 (5), 774–806.
- Aschehoug, K., Fodstad, M., 2001. Aschehoug, Kenneth Fodstad, Marte. Specialisation, NTNU.
- BaneNOR, 2012. Slik fungerer jernbanen.  
URL <http://www.jernbaneverket.no/PageFiles/13736/slikfungererjernbanen{ }2011.pdf>
- BaneNOR, 2014. Handlingsprogram 2014–2023.  
URL <http://www.banenor.no/Prosjekter/Utredninger/Handlingsprogram/>
- BaneNOR, 2015. ERTMS:Ustabilt på Østre linje.  
URL <http://www.banenor.no/Nyheter/Nyhetsarkiv/2015/ertms-ustabilt-pa-ostre-linje/>
- BaneNOR, 2016. Teknisk regelverk-Signal,Prosjektering og Togdeteksjon.  
URL <https://trv.jbv.no/wiki/Signal/Prosjektering/Togdeteksjon>

- BaneNOR, 2017a. Grafiske togruter.  
URL <http://www.banenor.no/kundeportal/ruter-og-sportilgang/grafiske-togruter2/>
- BaneNOR, 2017b. Operativ regelverksamling ERTMS.  
URL <http://orv.jbv.no/orv/doku.php?id=manualer{ }fjernstyrings{ }og{ }sikringsanlegg:ertms{ }hjelpeliste{ }for{ }togleder>
- Bentzrød, S. B., nov 2015. Her fant NSB endelig tog som går - fra første dag.  
URL <http://www.aftenposten.no/okonomi20346b.html>
- Bentzrød, S. B., 2017. Signalsystemet preges av forsinkelser og usikkerhet i Europa, men Norge satser 36 milliarder.  
URL <http://www.aftenposten.no/norge/616158b.html>
- Bloomfield, R., 2006. Fundamentals of European Rail Traffic Management System - ERTMS. 11th IET Professional Development Course on Railway Signalling and Control Systems, 165–184.
- Briginshaw, D., 2012. Now or never for ERTMS in Europe. *International Railway Journal* 52 (6), 2012.
- EuropeanCommission, 2017. ERTMS Deployment World Map.  
URL <http://www.ertms.net/?page{id}=55>
- Garathun, M. G., 2014. Slik skal det bli færre signalfeil på Drammensbanen. *Teknisk Ukeblad*.  
URL <https://www.tu.no/artikler/226870>
- Kallerud, O., 2016. Feilanalyse og tilstandsovervåking av togdeteksjonssystemer. Master's degrees, NTNU.
- Kastell, K., Bug, S., Nazarov, a., Jakoby, R., 2006. Improvements in Railway Communication via GSM-R. 2006 IEEE 63rd Vehicular Technology Conference 6 (c), 3026–3030.
- Kjenne, S., 2017. Om ERTMS og signalfornyelsen på jernbanen.  
URL <http://www.banenor.no/Nyheter/Nyhetsarkiv/2017/om-ertms-og-signalfornyelsen/>

- Midya, S., Thottappillil, R., 2008. An overview of electromagnetic compatibility challenges in European Rail Traffic Management System. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 16 (5), 515–534.
- Myhre, K., 2015. Hvilke endringer medfører ERTMS for Banesjef på Gjøvikbanen. Master.
- NetworkRail, 2017. Digital Railway.  
URL <https://www.networkrail.co.uk/our-railway-upgrade-plan/digital-railway/>
- NorskJernbaneklubb, 2017. Materielldatabase.  
URL <http://forsk.njk.no/mdb/mdb.php?hid=1829{&}aut={&}eng=>
- NSB, 2016. NSB kjøper ytterligere 26 nye tog.  
URL <https://www.nsb.no/om-nsb/for-presse/pressemeldinger/nsb-kjoper-ytterligere-26-nye-tog>
- Olsson, N., Halse, A. H., Hegglund, P. M., Killi, M., Landmark, A., Seim, A., 2015. Punktlighet i jernbanen – hvert sekund teller. SINTEF akademisk forlag.
- Olsson, N. O. E., Haugland, H., 2004. Influencing factors on train punctuality—results from some Norwegian studies.
- Olsson, N. O. E., Veiseth, M., 2011. Jernbanetraffikk. Tapir Akademisk Forlag.
- Qvale, P., Garathun, M. G., 2015. Nytt milliardsystem skulle få slutt på forsinkelsene. Nå er pendlerne møkk lei.  
URL <https://www.tu.no/artikler/275757>
- Riksrevisjonen, 2015. Riksrevisjonens undersøkelse av effektivitet i vedlikehold av jernbanenettet.  
URL <https://www.riksrevisjonen.no/rapporter/Documents/2015-2016/VedlikeholdJernbanenettet.pdf>
- Schrader, S.-J., 2017a. Punktlighet og kapasitet - Innføring. NSB.
- Schrader, S.-J., 2017b. Punktlighet og kapasitet - Materiellplanlegging. NSB.
- Schrader, S.-J., 2017c. Punktlighet og kapasitet - Ruteplanlegging. NSB.
- Slette, G., 2009. GSM-R – Store norske leksikon.  
URL <https://snl.no/GSM-R>

Sniady, A., Soler, J., 2012. An overview of GSM-R technology and its shortcomings. 2012 12th International Conference on ITS Telecommunications, ITST 2012, 626–629.

Valmot, O. R., 2016. Verken 3-, 4- eller 5G på jernbanen.  
URL <https://www.digi.no/artikler/348249>