

## Hvordan unngå uforutsette driftsavvik

Hva er årsaken til at oppetiden reduseres og  
hva kan gjøres av tiltak.

**Sigbjørn Korsgård**

Master i veg og jernbane

Innlevert: august 2015

Hovedveileder: Kjell Arne Skoglund, BAT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for bygg, anlegg og transport



## Forord

Masteroppgaven er skrevet som en del av studiet “Erfaringsbasert mastergrad jernbaneteknikk”. Studiet løper over 3 år og er gjennomført i et samarbeid mellom NTNU og Jernbaneverket. Studiet består av ulike emner på totalt 60 studiepoeng og masteroppgave på 30 studiepoeng. Det var med stor glede jeg tok fatt på masterstudiet i regi av Jernbaneverket. Det har gitt meg mye kunnskap som følge av gode forelesere og engasjerte medstudenter. Spesielt artig har det vært med fag som har vært helt nye for meg som ingeniør uten jernbaneutdanning fra tidligere. Dette gjelder både de ulike fagene rettet mot samfunnsspørsmål, samt de tekniske jernbanefagene.

Fra prosjektlederrollen i skadeutbedringsprosjektet «Flomprosjektet 2013» fikk jeg en bred erfaring på hvordan ulike fag måtte involveres for å utbedre skader på det enkelte skadested. Dette vekket nysgjerrigheten på hvordan feil ble utbedret når de oppsto i ordinær drift.

Oppgaven ble med bakgrunn i dette, valgt med utgangspunkt i konkrete hendelser på Dovrebanen som har skapt forsinkelser i togtrafikken.

Som prosjektleder for ulike fornyelses- og skadeutbedringsprosjekt i Jernbaneverket, har jeg en forventning om at mange av hendelsene som reduserer opptiden krever et tverrfaglig samarbeid for å utbedre den aktuelle feilen. En del av oppgaven er å finne denne sammenhengen, for feil som oppstår i ordinær driftsituasjon.

Da jeg har jobbet med flere jernbaneprosjekter, var det interessant å fordype seg i den daglige operative avviklingen av togtrafikken. Tidligere har mine arbeidsoppgaver blant annet vært rettet mot planlegging av vedlikehold og vedlikeholdssystemer i ulike bedrifter. Med denne bakgrunnen var det spennende å se mer på hvordan Jernbaneverket benytter ulike systemer, og hva man kan få ut av dette. Ved å få et bedre innblikk i den daglige driften, mener jeg å senere kunne gjøre en bedre vurdering i de prosjekter jeg er engasjert i. Helt siden jeg startet på høyere utdanning (mekatronikk) har jeg vært opptatt av tverrfaglighet – det har også vært et bakteppe i denne oppgaven.

Det er all grunn til å takke både familie og arbeidskollegaer. Familie som har vist forståelse for tidsforbruket som hele masterstudiet har krevd i tillegg til full jobb. Arbeidskollegaer som har bidratt faglig – kanskje mer enn de er klar over! De har også bidratt med motivasjon til dette studiet i de tre årene det har tatt. Kollegaer som har stilt opp og overtatt arbeidsoppgaver når jeg har vært borte på forelesning – der spesielt Mauritz Lie, Ove Andre Degvold og Per

Kristian Hansen har vært til god hjelp. Spesielt da gjennomføring av flomprosjektet ble sammenfallende med en stor del av studiet.

Både Tormod Urdahl og Kristian Slorbak har som nærmeste ledere, bidratt med motivasjon i form av god tilrettelegging for gjennomføring av studiet. De har også vist oppriktig engasjement underveis.

Lars Frithjof Rehnberg har vært til stor hjelp for å gjøre uttrekk fra Banedata, noe som gjorde det mulig og bearbeide en stor mengde informasjon på en hensiktsmessig måte.

Medstudenter har bidratt til et veldig godt samarbeid i gjennomføring av studiet. Det har vært til stor nytte å kunne jobbe sammen med ulike øvinger og laboratorieoppgaver underveis.

Hamar, 28. juli, 2015

## Sammendrag

Jernbaneverket blir målt på flere parametere når det gjelder leveranse både til den enkelte togoperatør, men også til samfunnet. Denne oppgaven fokuserer på hva infrastrukturen yter opp mot det som er satt som formelle krav. Det er i oppgaven gjort en vurdering av tiltak som er hensiktsmessig for å øke infrastrukturens pålitelighet.

En stor del av oppgaven tar for seg kartlegging av hvilke rapporteringssystemer som er etablert i Jernbaneverket. Denne delen av oppgaven er viktig for å sikre en mest mulig helhetlig oversikt over de faktiske forhold.

Det ble utført et litteraturstudium for å kartlegge hva som finnes av beskrivelse for det å vedlikeholde jernbaneinfrastruktur. Det er også gjort studie av generell vedlikeholdsteori for og best mulig knytte denne opp mot det å drifte jernbaneinfrastruktur. Det ble videre benyttet informasjon fra det som er gjort av relevante analyser og rapporter internt i Jernbaneverket.

Det er gjennomført samtaler med nøkkelpersoner som har detaljert informasjon om strekningen. Dette var nyttig for å få innblikk i det som oppleves som utfordringer i operativ drift.

Etter en kartlegging av etablerte måleparametere falt valget på oppetid som den parameteren som best beskriver infrastrukturens ytelse. Måleparameteren benyttes i generell vedlikeholdsteori. Måleparameteren uttrykker den faktiske leveransen opp mot det som er fastsatt i ruteplan. Ruteplan beskriver hvor mange timer det skal kjøres tog på en gitt banestrekning. Oppetiden uttrykker sammenhengen mellom tiden det er feil på strekningen, og tiden det skulle vært kjørt tog.

Hensikten med oppgaven er å finne hendelser som er årsak til redusert oppetid, for så vurdere hvilke tiltak som er hensiktsmessig for å unngå disse hendelsene.

For kartlegging og vurdering av de ulike hendelsene som har innvirkning på oppetiden, ble følgende registreringssystem funnet som riktige å jobbe videre med:

- TIOS - trafikkinformasjons og oppfølgingssystem hvor trafikkinformasjon for hvert enkelt tog blir lagret og kan sammenfattes i ulike rapporter.
- Synergi - registrering av uønskede hendelser eller tilløp til uønskede hendelser med hensyn til sikkerhet. Her registreres alle hendelser som er potensiell en sikkerhetsrisiko.

- Banedata - her skal all infrastruktur være registrert – samt alle planlagte og uplanlagte vedlikeholdsarbeider i infrastrukturen.
- Hendelseslogg - Jernbaneverkets operative system for registrering av feil, og hendelser på og i nærheten av egen infrastruktur.

En stor del av oppgaven knytter seg til å fremskaffe mulige data og analyse av disse.

For å nyttiggjøre de data som finnes, er det så langt som mulig forsøkt å sammenstille informasjon fra de ulike registreringssystemene. Denne sammenstillingen er gjort slik at man for hver enkelt hendelse har en helhetlig oversikt med de historiske data som er registrert.

For å gjennomføre en håndterbar analyse, ble det tidlig bestemt å benytte casestudie som metode. Banestrekningen mellom Hamar og Lillehammer ble valgt som case og inngår som en del av Dovrebanen, og banestrekningen oppfyller alle krav som ble satt for casestudiet.

Et vesentlig funn i oppgaven, var at vedlikeholdssystemet «Banedata» har et stort utnyttelsespotensiale til å håndtere informasjon om infrastrukturenes tilstand. Det er fremover viktig å oppdatere anleggsregisteret slik at det bedre beskriver infrastrukturens faktiske tilstand. Her bør det etableres et minimum for hva som er registrert av informasjon på den enkelte komponent, slik som dato for idriftsettelse og typebetegnelse.

Det var før oppstart av dataanalysen en forventning om at det skulle finnes mer informasjon om hver enkelt hendelse som førte til togforsinkelse. Det viste seg å være vanskelig å fremskaffe oversikt over det faktiske hendelsesforløpet når en feil i infrastruktur oppsto. Til en slik analyse av enkelthendelser, vil det være hensiktsmessig om årsak og tiltak var bedre beskrevet i Banedata.

Hovedkonklusjonen i oppgaven er at saktekjøringer som følge av sporfeil, er hovedårsaken til redusert opptid. Dette er fordi at disse blir stående over lengre tid og følgelig forsinker mange tog. Mange av sporfeilene ser ut til å ha sitt opphav i problemer med underbygningen.

## Summary

The performance of Jernbaneverket is measured by several parameters relating to both deliverances to the train operators, as well as to the general public and the society as a whole. This report focuses on how the current infrastructure performs with regard to the formal requirements, and evaluates measures considered appropriate for increasing the reliability of the infrastructure.

A major part of this report maps the reporting systems established at Jernbaneverket. This is important to ensure a comprehensive overview of the actual situation and conditions. A literature survey has been carried out in order to map existing descriptions on how to maintain railway infrastructure. A study of general maintenance theory has also been done so as to be able to connect this to the area of maintenance of railroad infrastructure. Information provided by different analyses and reports completed internally in Jernbaneverket has been used. Conversations have been carried out with key personnel who possess detailed information on the railroad stretch in question. These conversations were important, providing insight into what challenges are currently experienced in the operational maintenance.

Following a mapping of established KPIs (Key Performance Indicators), Norw. “*Oppetid*”, or uptime, was chosen as the one best describing the performance of the infrastructure. This parameter is also used in general maintenance theory. It expresses how well the set timetable is met. The timetable describes how many hours trains will be operated on any given railway stretch. “*Oppetiden*”, or the uptime, expresses the relationship between time spans with errors on the stretch (downtime), and the time where there should have been trains operating.

The purposes of this report are to identify incidents causing reduced uptime, then evaluate measures appropriate for avoiding these incidents in the future.

For mapping and evaluating the different incidents affecting the uptime, the following systems for registration were considered useful:

- *TIOS* – A system for traffic information and follow-up, where traffic information for all trains is gathered and can later be combined in different reports.
- *Synergi* – A system for registering incidents or near-incidents with regard to security. All incidents considered as potential risks to security are registered in this system.
- *Banedata* – A system where all infrastructure is registered, as well as all planned and non-planned maintenance activities.

- *Hendelseslogg* – The operative system at Jernbaneverket for registering errors and incidents, in or near the infrastructure.

A large part of the report consists of extraction of data and the associated analysis of these.

In order to make use of the accessible data, information from the different registration systems has been compiled. In that way a complete overview is available for all incidents.

In order to have a manageable analysis, it was decided to employ case study as the assessment method.

The railroad between Hamar and Lillehammer was chosen as the subject to the case study. This stretch is part of a longer route named *Dovrebanen (the Dovre line)*.

An important finding in this report was that the maintenance system *Banedata* has a significant potential with regards to handling information about the condition of the infrastructure. It is important that the register of components is continuously updated so that it better describes the actual condition of the infrastructure. There should be established a minimum requirement for how much information is registered on each component, such as date of operation and information about the component.

Before commencing the data analysis there was an expectation that more information was available on each incident leading to train delays. However, it turned out to be rather difficult to gain full overview over the actual chains of events in cases of infrastructure errors. For the purpose of analyzing future events, it is necessary that causes and measures are better described in *Banedata*.

The main conclusion of this report is that slow orders (reduced speed limit) in the occurrence of track errors is the main reason for reduced uptime. Some errors remain for a period of time, and the single delays in themselves cause further delays with other trains. Many of the track geometry errors seem to originate from problems with the track foundation.



## INNHOLDSFORTEGNELSE

<b>FORORD</b> .....	<b>III</b>
<b>SAMMENDRAG</b> .....	<b>V</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>VII</b>
<b>FIGURER</b> .....	<b>XI</b>
<b>TABELLER</b> .....	<b>XI</b>
<b>DEFINISJONER</b> .....	<b>XIII</b>
<b>FORKORTELSER</b> .....	<b>XV</b>
<b>1 INNLEDNING</b> .....	<b>1</b>
1.1 HVA ER DRIFTSAVVIK?.....	1
1.2 PROBLEMSTILLING.....	3
1.3 AVGRENSNING.....	3
1.4 FORMÅL OG HENSIKT.....	3
1.5 FORSKNINGSPØRSMÅL.....	4
1.6 MÅLGRUPPEN.....	4
1.7 OPPGAVENS DISPOSISJON.....	5
<b>2 BAKGRUNN</b> .....	<b>7</b>
2.1 FLOMMEN 2013 – ET EKSEMPEL PÅ EN TVERRFAGLIG HENDELSE.....	7
<b>3 METODEVALG</b> .....	<b>13</b>
3.1 KVALITATIV METODE.....	13
3.2 KVANTITATIV METODE.....	13
3.3 VALG AV METODE.....	14
<b>4 RELEVANT TEORI</b> .....	<b>17</b>
4.1 RELEVANTE DATA.....	17
4.2 KVALITETSSIKRING AV TEORI.....	17
4.3 ERFARINGER, OBSERVASJONER OG SAMTALER.....	18
4.4 DATA INNSAMLING.....	19
4.5 DATAANALYSE.....	19
4.6 TEORI- VEDLIKEHOLD PÅLITELIGHET.....	21
4.7 K-TALL.....	23
4.8 RELEVANT VEDLIKEHOLDSTEORI.....	24
4.9 FEILSITUASJONER SOM GIR DRIFTSFORSTYRRELSER:.....	34

4.9.1	Linjefaget:	34
4.9.2	Signal og tele:	36
4.9.3	Elkraft:	36
4.9.4	Lavspent:	37
4.10	ETABLERTE FORNYELSESAKTIVITETER	38
4.11	INNØRING AV NYE FEIL VED FORNYELSE OG VEDLIKEHOLDSAKTIVITETER	40
<b>5</b>	<b>CASE STUDIE – DEL 1</b>	<b>43</b>
5.1	INDIKATORER	46
5.2	MÅL FOR Å FINNE TILSTAND TIL INFRASTRUKTUR	48
5.3	SYNERGI I CASESTUDIET	49
5.4	TIOS I CASESTUDIET	51
5.5	BANEDATA I CASESTUDIET	53
5.6	CASE STUDIE - DEL 2	54
5.6.1	Databehandling	56
5.6.2	Dataanalyse	58
5.6.3	Videre arbeid med casestudiet	65
<b>6</b>	<b>DISKUSJON</b>	<b>69</b>
<b>7</b>	<b>KONKLUSJON</b>	<b>73</b>
<b>8</b>	<b>VIDERE ARBEID:</b>	<b>75</b>
<b>9</b>	<b>KILDER</b>	<b>77</b>

## Figurer

Figur 2.1: Skadesteder flom 2013 (Urdahl, 2013) .....	11
Figur 4.1: De ulike datasystemene benyttet i oppgaven.....	20
Figur 4.2: Karakteristiske sviktintensiteter over tid (Lassen, 1999) .....	26
Figur 4.3: Cara Fault tree (Lassen, 2000).....	30
Figur 5.1: TIOS, hendelser infrastruktur .....	51
Figur 5.2: TIOS, Forsinkelse pr. tog på Hamar og Fåberg 2013.....	52
Figur 5.3: Forsinkelse pr, tog 0710, 2013 .....	58
Figur 5.4: Totalt antall registreringer samt registreringer som kan knyttes til TIOS.....	59
Figur 5.5: Utvikling av feil på 0710.....	67

## Tabeller

Tabell 2.1: Ulike feil i infrastruktur .....	8
Tabell 4.1: Komponenter som påvirker posisjon til KL.....	33
Tabell 5.1: Årsakskoder i TIOS .....	45
Tabell 5.2: Kvalitetsindikatorer for togproduksjon (Veiseth. 2013).....	46
Tabell 5.3: Informasjon i Synergi .....	49
Tabell 5.4: Søk i Synergi.....	50
Tabell 5.5: Data til beregning av oppetid .....	54
Tabell 5.6: Forsinkelsestid, fordelt på årsak .....	55
Tabell 5.7: Forberedelse data hendelseslogg.....	56
Tabell 5.8: Forberedelse data Synergi.....	57
Tabell 5.9: Saktekjøringer fordelt på årsak .....	62
Tabell 5.10: Antall komponenter sortert på årstall, 0710.....	65
Tabell 5.11: Alder pr. fag & tiår 1950 og nyere.....	66



## Definisjoner

Fjernstyrtstekning	Styring av signalanlegg fra en togledersentral. Det sendes ordre til og mottas indikeringer fra et større geografisk område.
Flomprosjektet	Skadeutbedringsprosjekt som ble opprettet og gjennomført etter de store flomskadene på Dovrebanen mellom Eidsvoll og Dombås 22 mai 2013.
Fornyelse	Utbedring av større komponenter for å unngå akselerert degradering, eller utskiftning av anlegg hvor det ikke lenger er økonomisk eller mulig å opprettholde en krevd funksjon ved hjelp av forebyggende- eller korrektivt vedlikehold.
Hjulslag	Et jernbanehjul som har et flatt parti som dermed gir slag på skinnehodet.
Infrastruktur	Trasé, over- og underbygning, banestrømforsyning, kontaktledningsanlegg, signalanlegg og telekommunikasjonsanlegg.
Isolerskjøt	Del av jernbaneskinne som ikke har elektrisk ledningsevne.
Jernbanefag	Signal, Linje, Elkraft, Lavspent og Tele – fag.
NIFS Prosjektet	Naturskade, Infrastruktur, Flom og Skred – et risikoanalyseprosjekt i samarbeid mellom Jernbaneverket, Statens vegvesen og Norges vassdrags og energidirektorat.
Nøytral skinnestreng	Skinne strengen har ved 21 grader Celsius hverken strekk eller trykk - spenning.

Oppetid	$= \frac{\text{tot. togtimer} - (\text{forsinkelsestimer infrastruktur} + \text{Ytre forhold})}{\text{totale togtimer}}$
Personutveksling	Hendelsen der persontog stanser for av eller påstigning på jernbanestasjoner.
Rådegrav	Rom under sporveksel for overføring av kraft fra drivmaskin til tunganordning.
Saktekjøring	Midlertidig nedsatt kjørehastighet
Sikkerhetsfeil	Feil med avvik større enn det man kan tillate for ordinær togframføring.
Sporfelt	En avgrenset del av sporet, hvor det kan detekteres om det er tog eller ikke. Alle jernbanens strekninger og spor er delt inn i sporfelt. Når et tog passerer fra et sporfelt til et annet, registreres dette i sikringsanlegget.
Sportilgang	Godkjent tilgang til det nasjonale jernbanenettet for kjøring av jernbaneforetakenes tog, og til infrastrukturforvalters gjennomføring av planlagt eller ad hoc arbeid i spor på angitt banestrekning.
Stasjon	Område på banestrekning avgrenset av én eller flere stasjonsgrenser, der utkjørhovedsignal på strekning med fjernstyring viser om neste blokkstrekning er klar for tog.
Totalbrudd	Planlagte perioder der all togframføring er innstilt
Vedlikehold	En kombinasjon av alle tekniske og administrative aktiviteter, inkludert ledelsesaktiviteter, som har til hensikt å opprettholde eller gjenvinne en tilstand som gjør en enhet i stand til å utføre en krevd funksjon.

## Forkortelser

AO	Arbeidsordre
AKV	Akutt korrektivt vedlikehold
DBS	Dovrebanen sør
FV	Forebyggende vedlikehold
JBV	Jernbaneverket
K-Tall	I kvalitetsnøkkeltall inngår sporkvalitet, forholdstall mellom antall feil og anleggsmengde (feilfrekvens) og omfanget av saktekjøringer. (S. 39, Vedlikeholdshåndbok STY-601058
KV	Korrektivt vedlikehold
MDT	Mean down Time
MTTF	Mean time to failure
NVE	Norges vassdrag og energidirektorat
RCM	Reliability Centered Maintenance
SFO	Strategisk fornyelse
STY	Styringsdokument i Jernbaneverket
TIOS	Trafikkinformasjons og oppfølgingssystem
UKV	Utsatt korrektivt vedlikehold





# 1 Innledning

## 1.1 Hva er driftsavvik?

Samfunnet setter stadig større krav til pålitelige transportmetoder. Noe som gjelder både persontransport og transport av gods. Dette gjør at kravene til en pålitelig infrastruktur for togframføring blir stadig skjerpet. Samtidig er det en oppfatning av at etterslepet av vedlikehold, er en av de store utfordringene for pålitelig togframføring. Med vedlikeholdsetterslep menes forskjellen mellom ønsket og faktisk tilstand på jernbanens infrastruktur. Med vedlikehold menes «En kombinasjon av alle tekniske og administrative aktiviteter, inkludert ledelsesaktiviteter, som har til hensikt å opprettholde eller gjenvinne en tilstand som gjør en enhet i stand til å utføre en krevd funksjon» (Jernbaneverket, 2015i, s. 42).

Jernbanes infrastruktur er definisjon på «Trasé, over- og underbygning, banestrømforsyning, kontaktledningsanlegg, signalanlegg og telekommunikasjonsanlegg». (Jernbaneverket, 2014b).

Oppgaven baseres til dels på prosjektet som ble gjennomført for utbedring av skader etter flommen langs Dovrebanen i 2013 - «Flomprosjektet». Det ble i flomprosjektet gjennomført mange tiltak på tvers av de ulike jernbanefagene. På bakgrunn av disse erfaringene er det en forventning om at mange av de samme utfordringene også oppstår i ordinær drift, men at konsekvensene er langt mindre.

Innledningsvis vil oppgaven beskrive skadeutbedringene som ble gjort i flomprosjektet, for så se på hendelser i ordinær drift som fører til driftsavvik som følge av feil i infrastrukturen.

Oppgaven benytter oppetiden som et mål på infrastrukturens ytelse og tilstand. Dette er et vesentlig mål for hvordan kundene opplever Jernverkets evne til å levere. Avvik i infrastrukturen som forsinker tog direkte kan måles i form av redusert oppetid. Dette er også én sentral parameter innen all vedlikeholdsteori, da det i alle sammenhenger sier noe om et system sin evne til å levere produksjon som forventet. Oppetiden uttrykker sammenhengen mellom tiden det er feil på strekningen og tiden det skulle vært kjørt tog.

Oppetiden beregnes med følgende formel:

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

Totale togtimer = planlagte togtimer ut fra oppsatt rute

Ved å kartlegge årsakene som ligger bak hendelsene som gir driftsavvik, kan det videre gjøres en vurdering av hvilke tiltak som skal til for å heve oppetiden. Dette vil bidra i arbeidet med å gjøre de rette tiltakene både innenfor vedlikehold, fornyelse og investering. Et mål med oppgaven er spesielt å kartlegge fornyelsestiltak der flere av jernbanefagene er involvert for å utbedre en feiltilstand.

Med fornyelse menes «Utbedring av større komponenter for å unngå akselerert degradering, eller utskiftning av anlegg hvor det ikke lenger er økonomisk eller mulig å opprettholde en krevd funksjon ved hjelp av forebyggende eller korrektivt vedlikehold» (Jernbaneverket, 2015i, s. 44).

Mye av infrastrukturen, spesielt underbygningen, har en alder på mer enn 100 år. For at infrastrukturen skal fungere forutsigbart i mange år fremover, er det viktig å gjøre de riktige fornyelsestiltakene. En slik plan legges også til grunn for prioritering av ressurser, slik som økonomi og sportilgang.

Det er i oppgaven fokusert på parameteren «oppetid» som et mål på infrastrukturens tilstand, men i jernbaneverket brukes det også mange andre måleparametere. Spesielt er det flere måleparametere som er direkte knyttet til sikkerhet. Mange av avvikene som gir redusert oppetid, er relatert til sikkerhet. Flere av tiltakene som forsinker togene er nettopp for å ivareta sikkerheten. Et typisk eksempel i så måte er saktekjøringer, altså midlertidig nedsatt kjørehastighet som følge av geometriske avvik i jernbanesporet.

Det vil videre bli en fordypning i hvilke feil som kan kalles tverrfaglige. Oppgavens definisjon av tverrfaglige feil, er der hvor flere jernbanefag må delta i feilrettingen.

## 1.2 Problemstilling

Jernbaneverket har oppetid som en sentral måleparameter på hvor godt jernbaneverkets leveranse til de ulike togoperatørene fungerer. Selve målingen av oppetid er vel etablert. Det er i Jernbaneverket et mål om å forbedre planverktøy for prioritering av fornyelse i eksisterende infrastruktur. Det er mange årsaker til gjennomføring av fornyelsesprosjekter. Denne oppgaven skal kartlegge fornyelsestiltak som vil ha en positiv effekt på oppetiden.

Hensikten med oppgaven er å kartlegge hvordan Jernbaneverkets datasystemer kan benyttes for å gi underlag til en langsiktig fornyelsesplan. Videre skal det gjennomføres en case studie for en representativ banestrekning. I casestudien skal det for den valgte banestrekning gjøres en vurdering av årsaken til redusert oppetid og forslag til tiltak.

På bakgrunn av dette skal følgende punkter kartlegges i oppgaven:

- Litteraturstudium for å kartlegge hva som finnes av vedlikeholdsteori for idriftsatt jernbane. Det er også gjort en vurdering av generell vedlikeholdsteori for å knytte denne opp mot vedlikehold av jernbaneinfrastruktur.
- Kartlegge hvilke datasystemer som er etablert og hvordan disse kan benyttes for å finne årsakssammenheng mellom feil i infrastruktur og redusert oppetid.
- Gjennomføre en case studie på en representativ banestrekning for å kartlegge hvordan feil i infrastruktur har påvirket oppetiden i en gitt tidsperiode

## 1.3 Avgrensning

Det er mange ulike hendelser som fører til forsinkelser og innstillinger i togtrafikken. For å begrense oppgaven, vil det først bli gitt en beskrivelse av de ulike feilene i jernbanens infrastruktur som fører til at togtrafikken uplanlagt stanses eller forsinkes. Det er kun hendelser direkte i jernbanens infrastruktur som er håndtert i oppgaven. Andre typer hendelser slik som feil på banestrømsforsyning, togmateriell, forsinkelser som følge av sen personellutveksling etc., er ikke en del av denne oppgaven.

## 1.4 Formål og hensikt

Formålet med oppgaven er å kartlegge hvilke feil og omfanget av disse, hvor resultatet er redusert oppetid. Dette skal gjøre at oppgaven videre kan benyttes som deler av underlaget til en fornyelsesplan. Hensikten er å sikre at fremtidig fornyelsesaktiviteter reduserer omfanget av feil. Videre er det også vesentlig at fornyelsesprosjekter ikke bidrar til økt antall feil.

## 1.5 Forskningsspørsmål

- Hvordan redusere antall driftsavvik?
- Hvordan kan fornyelsesaktiviteter på eksisterende jernbaneinfrastruktur redusere antall feil?
  - o Kartlegge hva som kan defineres som tverrfaglige feil
  - o Gjennomføre en casestudie for strekningen Hamar – Lillehammer for å se antall feil, og hva disse har forårsaket av togforsinkelser.

## 1.6 Målgruppen

Målgruppen for oppgaven er de som arbeider med infrastruktur innenfor Jernbaneverket, og spesielt de som arbeider med planlegging av fornyelsesaktiviteter i eksisterende infrastruktur.

## 1.7 Oppgavens disposisjon

Kapittel 1 Innsikt i oppgavens problemstilling, avgrensning og formål. Det er også gitt en beskrivelse av hvorfor oppgaven er aktuell for den beskrevne målgruppen.

Kapittel 2 En dypere innføring i hvilke feil som er «vanlige» årsaker til togforsinkelser.

Kapittel 3 Valg av metode og bakgrunn for dette valget.

Kapittel 4 Relevant teori både i forhold til jernbaneinfrastruktur. Beskrivelse av typiske feil og relevant vedlikeholdsteori. Kapitlet beskriver også kartlegging og bearbeiding av data som finnes i Jernbaneverket og er relevante for oppgaven.

Kapittel 5 Casestudiet hvor data benyttes, for banestrekningen Hamar – Fåberg.

Kapittel 6 Diskusjonskapitlet som dekker de funnene som er gjort i casestudien og teori fra kapittel 4.

Kapittel 7 Oppgavens konklusjon.

Kapittel 8 Forslag til videre arbeid.

Kapittel 9 Kilder



## 2 Bakgrunn

Spesielt er flommen som rammet Dovrebanen fra Eidsvoll til Dombås i 2013, benyttet som utgangspunkt for å beskrive en stor hendelse. Årsaken til at denne hendelsen ble benyttet som eksempel, er at den er nær i tid og relevansen er stor da den rammet flere fag. Med denne hendelsen som bakgrunn ble det interessant å finne ut hvordan ulike feil i infrastrukturen påvirker togframføringen.

Det finnes i dag mange ulike planer og ulik dokumentasjon for å beskrive fornyelsesbehov, men det er krevende å benytte dette som et styringsverktøy. Hensikten er å utarbeide underlag som videre skal kunne benyttes som underlag for en fornyelsesplan. Det er viktig å ha et ensartet underlag og datasett. Dette sikrer at Jernbaneverket mellom de ulike strekninger sammenligner det samme når aktiviteter og ressurser skal prioriteres.

### 2.1 Flommen 2013 – et eksempel på en tverrfaglig hendelse

Flommen som oppsto 22. mai 2013 er en av de større hendelsene i Norsk jernbanehistorie som har gitt store konsekvenser for både gods- og persontrafikk. Det var strekningen på Dovrebanen mellom Eidsvoll – Dombås som fikk de aller største skadene. Flommen skapte store utfordringer både på kort og lang sikt. Det er relevant å gjøre en kort beskrivelse av flomhendelsen og feil forårsaket av denne, da dette belyser noen av de tverrfaglige utfordringene som finnes.

Selve hendelsen startet med at det i perioden 16.-23. mai kom betydelige nedbørmengder, jf. målinger ved noen av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) sine målestasjoner (Roald, 2015). Det er grunn til å tro at det på avgrensede områder kom enda større nedbørmengder. Det jobbes med en rapport i NIFS prosjektet for å finne de bakenforliggende årsakene til at skadene ble så omfattende. Denne situasjonen førte til at det på formiddagen 22. mai var flomstore sidevassdrag langs hele Dovrebanen sør for Dombås. Det var gjerne mindre vassdrag/bekker som flommet over og tok nye veier. Dette førte til at vannet kom på steder det aldri tidligere hadde vært vannføring. Bekker som ellers var små, utviklet seg til elver med vannføring langt utover det de var dimensjonert for. Dette førte videre til at jernbanefyllinger raste, sideterreng raste ut på jernbanelinjen og oversvømmelser inn i jernbanespor. Som følge av flommen ble det skader innenfor alle jernbanefag, hvor noen av eksemplene er beskrevet i Tabell 2.1.

Tabell 2.1: Ulike feil i infrastruktur

Hendelse	Beskrivelse
Oversvømmelser	Sporet fylt med vann og jord
Utrasing av fyllinger	Strekninger fra noen meter til mange 10 talsmeter der fyllinger ble vasket bort
Utrasing av sideterreng	Masser inn i spor
<b>Konsekvenser:</b>	
Linjefaget	Sporveksler ute av funksjon
	Undergraving av spor
	Drensanlegg tettet, både åpne og lukkede
	Grøfter skadet – fare for nye ras
	Mindre eller større sporfeil
	Forurenset ballastpukk
	Skadede skinner
	Skader på føringsvei for kabler
	Feil på isolerskjøter
Signal- og tele faget:	Skade på kabler
	Signalobjekter ute av posisjon
	Skade på føringsvei
	Sporfelt fikk feil som følge av endrede egenskaper i strømveien (Endret resistans)
	Feil på innvendige installasjoner



Elkraft:	Master ute av posisjon
	Skade på kabler
	Skade på kontaktledning – ute av posisjon, nedfall av trær.
	Skade på barduner
Lavspent:	Skade på sporvekselvarme
	Skade på togvarmeanlegg
	Skade på belysning

All togtrafikk ble innstilt midt på dagen 22. mai. Det ble da igangsatt en kartlegging av skadeomfang. Dette for å ha et riktig beslutningsgrunnlag for å iverksette de nødvendige tiltak. Kartleggingen ble i praksis gjennomført ved fotvisitasjon av hele strekningen der hvert skadested ble dokumentert med bilder og en beskrivelse.

Det ble raskt besluttet at utbedringene måtte gjøres i flere faser. 1. prioritet var å få infrastruktur tilbake til en tilstand der det var sikkert å fremføre tog.

Kompleksiteten og omfanget av skadene varierte fra sted til sted. Skadeutbedringsprosjektet ble derfor organisert i de tre fasene;

- Akutt fase; 22. mai 2013 – 17. juni 2013 (gjenåpning av hele strekningen).
- Fase 1: akutte tiltak på Jernbanens eiendom for å reetablere jernbanens infrastruktur.
- Fase 2; tiltak i sideterreng og større prosjekter som må prosjekteres.

Status; prosjektering av de enkelte tiltak er igangsatt høsten 2013. Anbudsprosess gjennomføres våren 2014 med planlagt oppstart i mai 2014, avsluttes i 2015.

(Korsgård, 2013)

Høyeste prioritet for gjenåpning fikk strekningen Eidsvoll – Lillehammer. Det var to årsaker til dette:

- Strekningen hadde et skadeomfang som var mulig å håndtere raskere enn strekning Lillehammer – Dombås.
- Strekningen Eidsvoll – Lillehammer er en del av Intercitystrekningen og er derfor høyt prioritert.

Strekningen Eidsvoll – Hamar ble åpnet 26.05.13

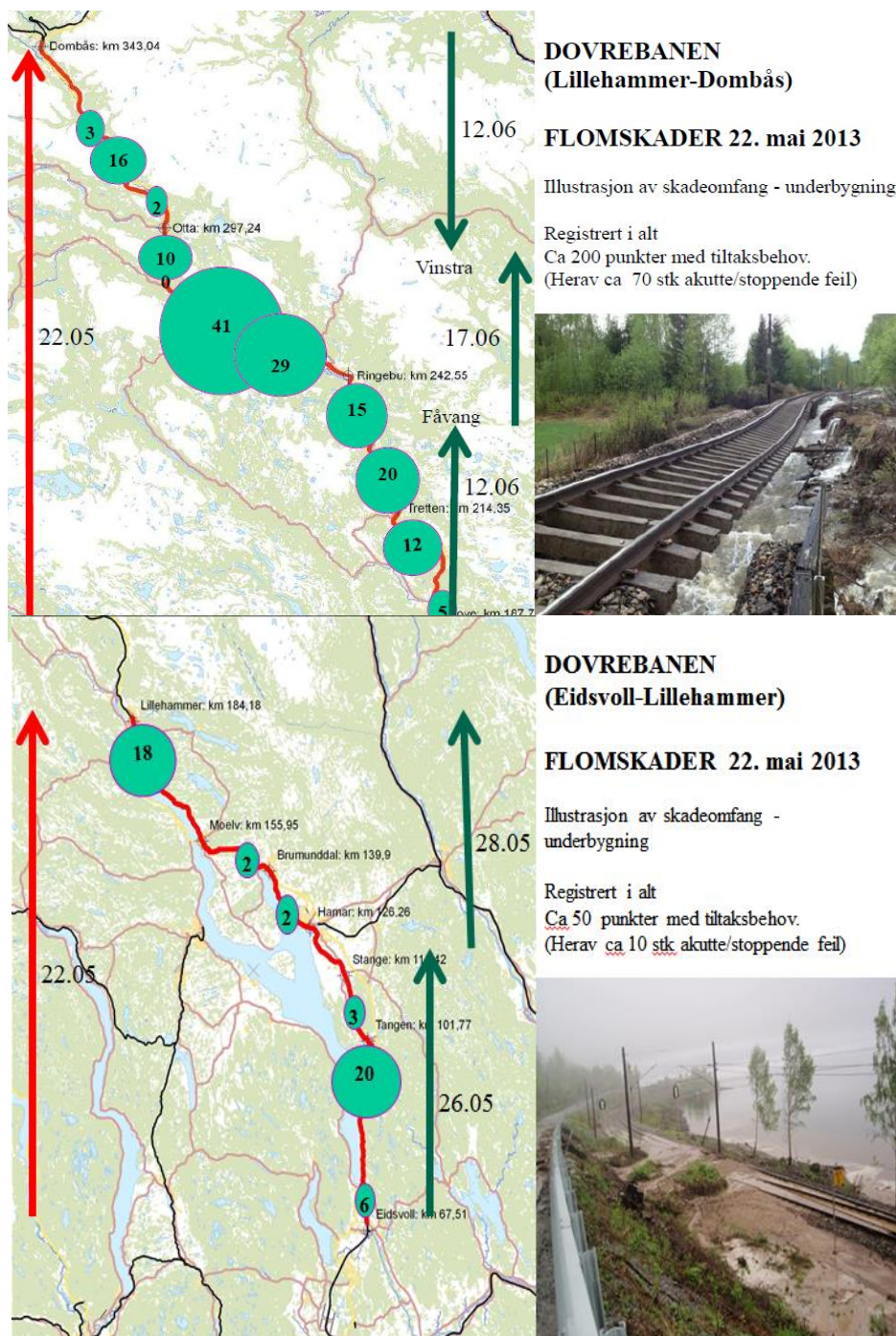
Strekningen Hamar - Lillehammer ble åpnet 28.05.13

Strekningen Lillehammer – Fåvang og Vinstra - Dombås 12.06.13

Hele Dovrebanen åpnet 17.06.13

Etter at strekningene var åpnet, ble umiddelbart arbeidene i Fase 1 iverksatt. Hensikten med Fase 1 var å tilbake stille jernbaneinfrastrukturen til en like god eller bedre tilstand enn før flommen. Det var viktig å gjøre disse arbeidene så snart som mulig slik at man ikke på ny skulle få forsinkelser eller innstillinger i togtrafikken. Man klarte i hovedsak å unngå dette, men enkelte lokale nedbørsbyger førte til nye ras i løpet av sommeren 2013.

Delvis parallelt, men i hovedsak etter Fase 1-tiltakene, ble Fase 2-tiltakene iverksatt. Dette for å sikre at sideterreng fikk en tilstand slik at det fremover skulle være robust nok til å motstå store nedbørsmengder.



Figur 2.1: Skadesteder flom 2013 (Urdahl, 2013)

Ut fra skadekartet, Figur 2.1 ser man at enkelte delstrekninger er sterkere berørt enn andre. Det var derfor interessant å gjøre en kontroll med oppsynsmennene for de ulike fag på de ulike strekningene om hva som kunne være årsak til dette. Det er mange faktorer som spiller inn, slik som nedbørsmengde og topografi. Det er også innenfor mange av nedbørsfeltene gjort større tiltak, slik som bygging av veier og avskoging av større områder. Det er uansett

interessant at det var langt mindre skader på de strekninger hvor det i løpet av de siste 10 år var gjort større fornyelsestiltak på drens- og kabelanlegg. Disse strekningene var også raskere å istandsette enn strekninger hvor det ikke var skjedd større fornyelse. Det er spesielt Strategisk fornyelse (SFO) prosjektene; «Dransanlegg og Forberedenderenseverk» som ser ut til å ha stor effekt. Dette er prosjekt som de senere årene er gjennomført på strekningene: Hamar – Brøttum, Tretten – Losna og Dovre – Dombås.

Hva som ble den samfunnsmessige kostnaden av flomhendelsen mai 2013, er det gjort ulike forsøk på å beregne. I regi av Jernbaneverket er det igangsatt et arbeid for å kartlegge dette. Det som er kjente tall fra flomprosjektet, er at skadeutbedringene til og med 31.12.14 beløp seg til 319 MNOK, se vedlegg 2 - økonomioversikt for prosjektet. Det er i 2015 bevilget ytterligere 150 MNOK for å ferdigstille strekningen Fåberg – Dombås.

Det var for oppgavens problemstilling viktig at den var relevant og nyttig for Jernbaneverket. Det er den siste tiden vært enda større fokus på å oppnå en stabil og pålitelig infrastruktur. For å forbedre dagens situasjon, er det selvfølgelig mange ulike problemstillinger å ta tak i. Tverrfagligheten mellom ulike fag er noe av det som gir utfordringer med å nå de krav som settes både internt, men ikke minst av samfunnet som bruker av jernbane. (Et typisk eksempel vil være skinnebrudd der følgefeil i signalanlegget vil være det som gir driftsforstyrrelser.) Det er en målsetting med oppgaven at arbeidet skal kunne være nyttig for videre bruk til å se på mulige forbedringer i dagens anlegg, mulige forbedringer i arbeidsplanlegging og mulige forbedringer hvor det planlegges fornyelse av infrastruktur.

### 3 Metodevalg

Etter at problemstillingen for oppgaven var bestemt, måtte det til en systematisering for hvordan oppgaven skulle løses. Det ble gjort et søk på Bibsys for å finne litteratur om emnet «metodevalg», i tillegg til at Jernbaneverket sitt eget bibliotek ble benyttet.

For oppgaven var det ønskelig å benytte informasjon om hva som gjøres både i Norge og i andre land. Hensikten med litteratursøket var å finne etablert teori om hva som gjør at *i drifts satt jernbaneinfrastruktur* leverer best mulig ytelse, med hensyn til oppetid. Videre var det interessant å se på hvordan en aktuell jernbanestrekning faktisk fungerer. Det var ønskelig å basere oppgaven på registrerte data, men det er også viktig og nyttiggjøre fagkunnskapen som finnes hos de enkelte fagpersonene.

Oppgaven har to ulike hoveddeler, den ene er teori om vedlikehold og pålitelighet, den andre er casestudie for analyse av en relevant banestrekning.

I de påfølgende avsnitt er det gjort en vurdering av hvordan ulike metodevalg kunne benyttes for å løse oppgaven.

#### 3.1 Kvalitativ metode

Kvalitative metoder innebærer liten grad av formalisering (Holme og Solvang, 1996, s. 15). Det ble for oppgaven vurdert som lite hensiktsmessig å lage en spørreundersøkelse for innhenting av informasjon. Det er tillagt stor vekt at informasjon skulle innhentes underveis som oppgaven tok form, nettopp for at informasjonen skulle bli så relevant som mulig. Det ble også vurdert som mer sannsynlig at man får svar på spørsmål om de er konkrete og direkte til få personer i istedenfor en mere omfattende og generell spørreundersøkelse. Kvalitativ informasjon fra de ulike fagpersonene i Jernbaneverket ble vurdert som et godt supplement til det som finnes av mere formalisert kvantitativ informasjon.

#### 3.2 Kvantitativ metode

Kvantitative metoder er mere formaliserte og strukturerte. Metoden er i langt større grad preget av kontroll fra forskerens side (Holme og Solvang, 1996, s. 15). For å sikre et riktig grunnlag i case studiet, var det viktig å benytte så mange harde fakta som det er tilgjengelig. Det er ved å benytte et vedlikeholdssystem som Banedata, en forventning om at man skal ha mulighet til å finne informasjon ned på komponentnivå. Dette er nøkkelinformasjon om hvor ofte en gitt komponent svikter, hvor lenge det tar for å utbedre feilen, og hva som kreves av ressurser for og utbedre en aktuell feil. Videre er det en forventning om at TIOS skal kunne gi

kvantitativ informasjon om hvordan togtrafikken avvikles. Utfra kjennskapen til Hendelseslogg og Synergi, er det klart at denne informasjonen ikke kan kalles kvantitativ, men er et kvalitativt supplement som er tett knyttet til de data som hentes fra TIOS og Banedata.

### 3.3 Valg av metode

Gjennom hele oppgaven er det lagt stor vekt på at fremskaffede fakta skal være etterprøvbare. Dette er enkelt å håndtere der informasjonen kommer fra etablerte datasystemer hvor man benytter en rapportgenerator til å hente data fra en database. Samtidig må det også her gjøres en vurdering av hvor riktige de aktuelle data er. Det er uansett mer krevende der informasjon er fremkommet i form av samtaler/ intervju med fagpersoner. Her kan det fort være egne meninger/ synspunkter hos den enkelte som kan få for mye vekt i forhold til helhet. Her er en typisk problemstilling at man må innhente informasjon fra representanter fra alle jernbanefagene før man kan konkludere.

En skiller på 2 ulike former for metodisk tilnærming – myk data og hard data (Holme og Solvang, 1996, s. 15). Dette er viktig å være klar over, og denne oppgaven bruker begge typer data. De data som hentes fra datasystemene, vil i hovedsak kunne kalles *hard data*. Det er allikevel også for disse data viktig å skille på hva som er presise registreringer og hva som er fritekst. I tillegg er det ikke gitt at alle registreringer er gjort på samme måte. Det vil være personlige avvik både på om alle hendelser registreres, og om hendelsene registreres korrekt. Dette er noe som spesielt i casestudiet, vil tillegges stor vekt i evaluering av dataene.

Siden dette masterstudiet er erfaringsbasert synes det riktig å benytte kvalitativ metode for å fremskaffe informasjon til teorikapitlet. En viktig del av studiet, er å nyttiggjøre egne erfaringer, både fra flomprosjektet, men også fra ulike fornyelses prosjekter. I tillegg finnes mange personer med stor detaljkunnskap om de aktuelle strekningene. Dette er samtidig dyktige fagfolk med bred erfaring innen drift og vedlikehold av Jernbane. Det er en viktig del av oppgaven å dra nytte av denne erfaringen og kunnskapen. Det vil være spesielt interessant å se hvordan erfaringene fra flomprosjektet stemmer med det som blir kartlagt i casestudiet.

Utfra dette er det ønskelig å benytte både kvantitativ metode og kvalitativ metode. Kvalitativ metode vil være en tilnærming for å forstå hva de mest vanlige tverrfaglige hendelsene er. Her vil noen enkle intervjuer/samtaler kunne danne grunnlag for å kartlegge de mest vanlige feilene der flere ulike fag er involvert.

Videre vil kvantitativ metode være hensiktsmessig for å analysere de data som er tilgjengelig, slik at man kan lage en oversikt over hva de ulike feilene i infrastrukturen er.





## 4 Relevant teori

For å kunne løse oppgaven, er det nødvendig med en bred teoretisk plattform som både dekker vedlikeholds-faget og jernbanefagene. For vedlikehold finnes det mye tilgjengelig teori. Det gjør det også for jernbane. Det viste seg at mange av søkene etter relevant teori for jernbane, endte i stoff om sikkerhet eller ytelse i form av hvor mange tog som kan kjøres, mens det var mere krevende å finne litteratur om infrastrukturens pålitelighet.

### 4.1 Relevante data

I Jernbaneverket finnes det store mengder tilgjengelige data for både godstransport, persontrafikk, infrastruktur osv. Dette er informasjon som er svært nyttig for de som arbeider med optimalisering. Det er samtidig krevende å tolke data, spesielt fra databaser der det manuelt velges koder etc. Det kan bli personavhengig utfra forståelsen av feilen der og da som ligger til grunn for hvilken feilkode som velges. Dette kan gjøre at sammenlignbare feil blir logget ulikt utfra situasjonen når den oppstår. Det vil være opp til den enkelte operatør å vurdere etter beste evne eks. hvilken årsakskode som skal velges se Tabell 5.1.

For å gjøre et forbedringstiltak, er det ofte nødvendig å hente informasjon fra mange ulike systemer. Dette er krevende, da det finnes begrenset referanse mellom de ulike systemene. Dette gjør at manuelle data slik som tidspunkt og stedsangivelse må benyttes for å se på samme hendelse i ulike systemer. Dette er i seg selv en risiko til da data kan tolkes feil. Det er følgelig en risiko for at man overser sammenhenger mellom hendelser, da det er vanskelig å se sammenhengen eksempelvis mellom TIOS og Banedata.

«Det er svært sjelden at en faktor fullt ut kan forklare et fenomen» (Holme og Solvang, 1991, s. 26) Det var derfor viktig å finne en tilnærming til oppgaven som klarer både å forenkle og systematisere tilgjengelige data tilstrekkelig. Dette er også belyst tidligere i dette avsnittet og understreker viktigheten av å innhente informasjon fra forskjellige kilder. Eks. ved å intervju representanter fra ulike fag.

### 4.2 Kvalitetssikring av teori

Fortløpende som litteratur er brukt i oppgaven, er det gjort en vurdering av hvor pålitelig stoffet er. Det er også gjort en validering på tvers av litteratur om samme emne, for å sikre at flere forfattere har samme oppfatning. Videre så er det mye tilgjengelig stoff internt i Jernbaneverket. Her er det gjort en vurdering av at styringsdokumenter (STY) og rapporter

som er utgitt er pålitelige, mens arbeidsdokumenter og presentasjoner er vurdert som mindre pålitelige.

Det var vanskelig å gjøre en objektiv kvalitetssikring av data som ligger i de ulike registreringssystemene HL, TIOS, Banedata og Synergi.

For hendelser som har en fullstendig registrering, er det gjort en kvalitetssikring i form av om informasjonen er sammenfallende i de ulike systemene.

### **4.3 Erfaringer, observasjoner og samtaler**

For å utføre casestudiet med en kvantitativmetode, var det lagt stor lit til at datagrunnlaget som finnes i Jernbaneverket er tilstrekkelig og relevant. Dette er en av usikkerhetene knyttet til valg av metode.

I praksis er denne oppgaven utformet som «Kvalitative undersøkelser som forberedelse til kvantitative undersøkelser» Grønmo (1982, som sitert i Holme og Solvang, 1991). I forkant av valg av oppgave og ikke minst for å spisse problemstillingen, har det vært en dialog med banesjef og flere faggrupeledere. Dette ga svært nyttig informasjon og mange innspill til hva Jernbaneverket ser på som utfordringer. Banesjef og faggrupeledere ble valgt fordi disse har en sammensatt erfaringsbakgrunn. Faggrupelederne som ble kontaktet, har hatt mange ulike stillinger innenfor jernbanerelatert virksomhet. Dette er viktig, slik at antall intervjuobjekt kunne reduseres, samtidig med at man fikk gjenspeilet det som for hvert enkelt fag sees på som en utfordring. Samtalene var ikke ment for å besvare problemstillingen, men for å «komme i gang». Derfor var samtalene mer som en hverdags samtale/ faglig dialog, og ikke et intervju.

## 4.4 Data innsamling

Det ble tidlig i oppgaven gjort en kartlegging av hvilke registreringssystemer som fantes i Jernbaneverket. I utgangspunktet var det data om trafikkavvikling, uønskede hendelser og vedlikeholdsdata som var mest interessante. For å finne de rette data, ble det gjort en uformell prat med representanter både fra togledelse og banesjefens organisasjon. Det ble raskt klart at følgende systemer var de rette for å fremskaffe de ønskelige data:

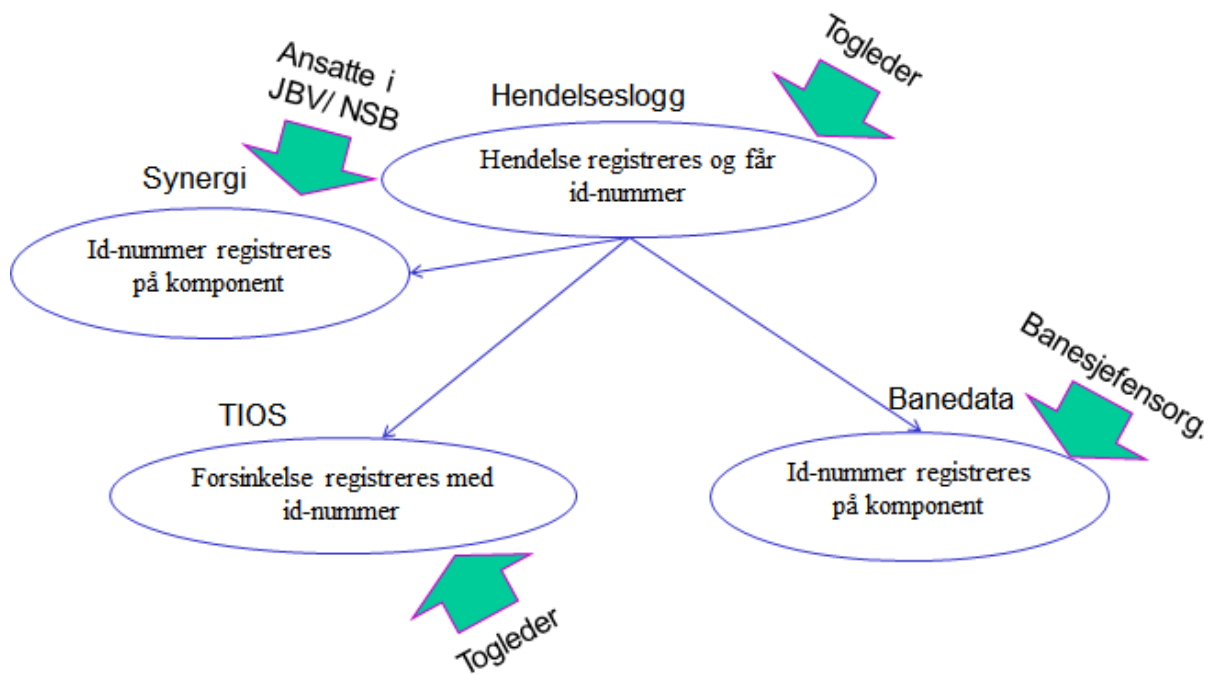
- TIOS som er jernbaneverkets trafikkinformasjon og oppfølgingssystem. Dette datasystemet benyttes av togleder hvor det fortløpende legges inn informasjon om togavviklingen. Det ble behov for egne brukertilganger til dette, slik at man selv kan lage egendefinerte rapporter utfra den tilgjengelige informasjonen. Etter at nødvendige tilganger var gitt, ble det gjennomført en opplæring i regi av sporkoordinator Cato Westlie. Det viste seg raskt at dette var et system med mye informasjon som var direkte knyttet til casestudiet slik det var tenkt gjennomført.
- Videre ble systemene Hendelseslogg, Synergi og Banedata vurdert som de mest relevante for å fremskaffe informasjon om henholdsvis hver enkelt avvikshendelse, uønskede hendelser og vedlikeholdshistorikk.

## 4.5 Dataanalyse

Ved analyse av data, var det viktig å være bevist på at dette skulle være så objektivt som mulig slik at besvarelsen av problemstillingen blir nøytral og faktabasert. Det er innledningsvis i oppgaven beskrevet hvilken bakgrunn jeg har innenfor Jernbaneverksomhet - da dette kan ha farget både valg av oppgave og arbeidet som er gjennomført i oppgaven.

«Det er lett å legge mer i de dataene en har samlet inn enn det det er grunnlag for» (Holme og Solvang, 1991, S.148) Dette gjør at man på bakgrunn av egen erfaring og kunnskap kan trekke konklusjoner som man mener er faktabaserte. Det kan være at undersøkelsen peker i en retning, men datagrunnlaget er for tynt til å konkludere. Dette viste seg å være en relevant problemstilling da det var vanskelig å finne tilstrekkelig informasjon for de hendelsene registrert i TIOS og Hendelseslogg (HL).

Det må under dataanalysen gjøres en vurdering av påliteligheten til data registrert i de ulike systemer. Et eksempel er Synergi – hvem er det her som er flinkest til å registrere, og hva gjør det med datagrunnlaget? Om det er slik at enkelte grupper ansatte er flinkere til å registrere hendelser enn andre, kan det fremstå som at enkelte hendelser er hyppigere enn andre. Mens den faktiske årsaken er underrapportering av hendelser.



Figur 4.1: De ulike datasystemene benyttet i oppgaven

Sammenhengen mellom de ulike datasystemene som er benyttet i oppgaven er vist i Figur 4.1

De grønne pilene beskriver hvem som registrerer data i de ulike systemene:

- Hendelseslogg (HL) er en logg der togleder fører inn alle hendelser som direkte berører togtrafikken
- Synergi er et system der alle uønskede hendelser loggføres. Alle ansatte i NSB og Jernbaneverket (JBV) gjør registreringer i dette systemet.
- TIOS benyttes av Trafikk og markedsdivisjonen for å loggføre alle data for togfremføringen, slik som start og stopp, tidspunkt for adkomst til stasjoner underveis. Hendelser som berører togtrafikken blir registrert inn i TIOS via HL.
- Banedata er infrastrukturforvalter sitt system for å loggføre alt som har med infrastrukturen å gjøre. Her er det etablert et anleggsregister som beskriver infrastrukturen, og alt som gjøres av ulike vedlikeholds/fornyelsesaktiviteter føres i Banedata. Det er banesjefens organisasjon som registrerer hendelser i Banedata.

De blå pilene i figuren viser knytningen mellom de ulike systemene. Dvs. at relevante hendelser i Hendessesslogg overføres både til Synergi, TIOS og Banedata. Dvs. at alle uønskede hendelser i HL registreres i Synergi. Hendelser som har hatt betydning for togtrafikken kommer inn i TIOS, og hendelser som har resultert i akutte tiltak i

infrastrukturen registreres med HL-ID i Banedata. Registreringene fra HL, kommer altså i tillegg til det som registrerer direkte inn i systemet, beskrevet med de grønne pilene.

## 4.6 Teori- Vedlikehold Pålitelighet

Hensikten med å benytte oppetid som måleparameter, er at dette er et vel etablert og anerkjent mål innenfor Jernbanesektoren. I generell vedlikeholdsteori, er det gjerne analyse fra komponentnivå og til hovedsystem som er metoden. Dette gir nøyaktig teoretisk informasjon om hva man kan forvente seg av et system. Utfordringen er at dette krever stor detaljkunnskap om både systemet, men også ned til komponentnivå. Det er behov for å vite hvordan systemer er implementert og koblet sammen i tillegg til nøyaktige data for de enkelte komponenter. Dette er nærmere belyst i kapitlet *relevant vedlikeholdsteori*.

For togoperatørene er oppetiden interessant da den sier noe om hele jernbaneinfrastrukturen som system. Hele infrastrukturen kan betraktes som et system som må ha en viss tilstand for at det kan fremføres tog på en forsvarlig måte. Har infrastrukturen sikkerhetsfeil, feil med avvik større enn det man kan tillate for ordinær togframføring, vil dette gi redusert oppetid i form av at kjørehastigheten må reduseres for å besørge sikker togframføring. Eller togtrafikken stanses helt, dette fremkommer i statistikken for innstilte tog. På bakgrunn av dette, er det helt legitimt og benytte oppetid som et indirekte mål på infrastrukturens tilstand.

Ved å basere seg på oppetid til måling av infrastrukturens ytelse, vil man ha et bedre underlag for hvilke fornyelsesaktiviteter som bør gjennomføres i den hensiktå redusere togforsinkelsene. Det er flere andre årsaker enn togforsinkelser til å gjennomføre fornyelsestiltak, der sikkerhet har høyeste prioritet. Fornyelse kan også bli iverksatt som følge av nye krav fra tredjepart, slik som endringer i regelverk eller nye krav fra togoperatører. I casestudiet er det kartlagt hvilke fornyelsesaktiviteter som kan redusere togforsinkelsene på den valgte togstrekningen.

Fornyelsesaktivitetene blir gjerne samordnet i fornyelsesprosjekt, der banesjefens organisasjon sammen med aktuelle prosjektenhet tilstreber en mest mulig hensiktsmessig gjennomføring. Ofte vil et fornyelsesprosjekt i tillegg til de spesifikke fornyelsesaktivitetene dekke utsatt korrektivt vedlikehold (UKV). Man kan også se på muligheten for å ta med forebyggende vedlikehold (FV) inn i et fornyelsesprosjekt. Der man velger å ta med UKV eller FV, må man sørge for at disse aktivitetene gjennomføres innenfor de gitte tidsfrister. De må ikke under noen omstendighet komme i konflikt med påkrevet gjennomføring med hensyn

til sikkerhet. Som følge av hvilke fornyelsesaktiviteter som er samordnet i ett prosjekt, må det organiseres en prosjektgruppe som har riktig kompetanse. Slik Jernbaneverket er organisert pr. i dag, vil prosjektet bli gjennomført i regi av en prosjektenhet med faglig støtte fra banesjefens organisasjon.

En slik samordning mellom fornyelses- og vedlikeholdsaktiviteter kan være krevende da disse dekkes av ulike budsjettposter i statsbudsjettet. Det er en problemstilling som ikke er belyst videre i denne oppgaven.

## 4.7 K-Tall.

Det ble videre interessant å se om Jernbaneverket har andre målinger som direkte kan si noe om infrastrukturens tilstand – da oppetid er et mål på faktisk ytelse. I samtale med lokal veileder, Tormod Urdahl, ble dette diskutert. Etter denne samtalen, ble det gjort et søk på banenett og spesielt *Instruks for styring av akutt korrektivt vedlikehold* (Jernbaneverket, 2015a) ble funnet interessant.

Videre ble teknisk regelverk brukt for å finne mer informasjon om faktorene bak kvalitetsnøkkeltall (K-Tall). I dette arbeidet ble søkeordene «K-Tall» og «Kvalitetstall» benyttet. Uttrekk av den informasjonen som ble funnet ligger i vedlegg 3: K-Tall.

Beskrivelsen fra dokumentet (Jernbaneverket, 2015a) gir følgende informasjon om K-Tall:

### **K-tall:**

På spor og kontaktledning, er det vedtatt en rekke parametere som skal måles periodisk. Det er også bestemt krav til hvilke verdier disse parameterne må ha, avhengig av blant annet hastighet på stekningen. K-tallet for en gitt strekning er andelen i prosent av anlegget på strekningen som er innenfor kravene på alle måleparametere. Konkret er K gitt som følger:

$$K = \frac{l}{L} \times 100\%$$

Der  $l$  er summen av enkeltkilometere hvor alle parametere tilfredsstillter kravene, og  $L$  er lengden på hele den målte strekningen. «Ved start og slutt av beregningene blir det beregnet K-tall for delstrekningen fra målingens start til første hele km. Ved slutt blir det beregnet fra siste hele km til målingene slutter eller til eventuelt grense for banestrekning.» (Jernbaneverket, 2015b)

Hvilke krav som settes til den enkelte strekningen, er beskrevet i Teknisk regelverk JD 532, tabell 14 i kapitel 13 (Jernbaneverket, 2015b). Det er dette som settes som mål og legges til grunn for hva K-tallet faktisk blir.

Hensikten med K-tallet, er å beskrive hvor stor andel av strekningen som tilfredsstillter kravene som er satt for den aktuelle strekning ut fra kvalitetsklasse og måleparameter angitt i tabell 14, vedlegg 3. Dvs. hvor mange enkeltkilometer innenfor den totale  $L$  som er innenfor kravene. Styrken med K-tallet, er at det kan beskrive tilstanden fra lengder ned til linjeblokker og helt opp til alle strekninger i landet. Ulempen er at K-tallet ikke sier noe om hvor alvorlig feilene er, bare hvor mange km som ikke er gode nok, målt mot stekningens krav.

«For eksempel ville en strekning med 100 m som har 1mm for mye sporviddefeil kunne få samme K-tall som en strekning med 100m meter som har 10mm for mye sporviddefeil.» (Jernbaneverket, 2015a).

«K-tallet gir en enkel måte å se hvor stor del av anlegget som tilfredsstiller kravene. Det vil gi en indikasjon på om det er sikkert å kjøre på linjen eller om det må gjøres tiltak» (Jernbaneverket, 2015a). Man må være klar over at K-tallet måles opp mot kravet som er satt til den aktuelle strekningen. Derfor er det viktig å vite at man for to ulike strekninger ikke kan bruke K-tallet som et mål på infrastrukturens faktiske tilstand. Bare som et mål på tilstand opp mot de krav som er satt for stekningen.

Denne informasjon ble verifisert med Overingeniør Hans Magne Killi hos teknisk operativ støtte i område midt (Killi, 2015). Det ble i samtalen også diskutert hvordan K-tall kan synliggjøre kommende reduksjon av oppetid, slik som det også kan leses ut fra, Vedlegg 3: K-Tall, vil K-tallet beskrive hvilke tiltak som er nødvendige.

Resultatene fra K-Tall har følgende tre kategorier:

- Ingen tiltak nødvendig
- Feil > tiltaksgrense, men bedre tilstand enn for akutt feil
- Feil som defineres som akutt feil

Begge de 2 siste kategorier kan gi innvirkning på oppetid. Planlagte tiltak kan føre til saktekjøringer etter at skaden er utbedret, feil som defineres som akutt feil kan føre til saktekjøringer eller at banen stenges til tiltak er utført.

K-tall er et mål som benyttes i Jernbaneverket, mens andre land kan ha andre måleparametere. Eksempelvis benytter jernbanesektoren i Østerrike et såkalt MDZ-tall som et mål på sporets kvalitet. «MDZ-tallet måler geometriavvik fra et perfekt spor uavhengig av grenseverdier. MDZ-tallet har derfor en nærmere tilknytning til fysikken i sporet enn det norske K-tallet.» (Vatn, 2013a). MDZ-tallet gir bedre beskrivelse av den faktiske tilstand, men dette vil ikke ta hensyn til de kravene som settes til strekningen. Dette må i så fall gjøres som en egen operasjon.

## 4.8 Relevant vedlikeholdsteori

Det er spesielt tre begreper innen vedlikeholdsteori som er sentrale:

**Pålitelighet (Reliability):** «Dette er definert som en teknisk enhets evne til å utføre sin tiltenkte funksjon tilfredsstillende uten å feile. Dette kan kvantifiseres ved sannsynligheten



$R(t)$  for at en enhet fungerer i en gitt tidsperiode  $t$ . under gitte driftsbetingelser, den har ikke feilet i perioden  $t$ » (Lassen, 1999). Her er det spesielt *gitte driftsbetingelser* som er utfordrende ved vurdering av systemer innenfor jernbaneinfrastruktur. Det er stor variasjon i hva de ulike systemer utsettes for over en periode  $t$ . Eksempler på dette er store variasjoner i temperatur, nedbør og ikke minst store variasjoner i belastning fra togtrafikken og da spesielt med innføring av nytt materiell hos togoperatører. Det ble derfor vurdert som viktig at man i Case studiet senere i denne rapporten, vurderte data for et helt år slik at man dekker variasjoner i som følge av alle årstider.

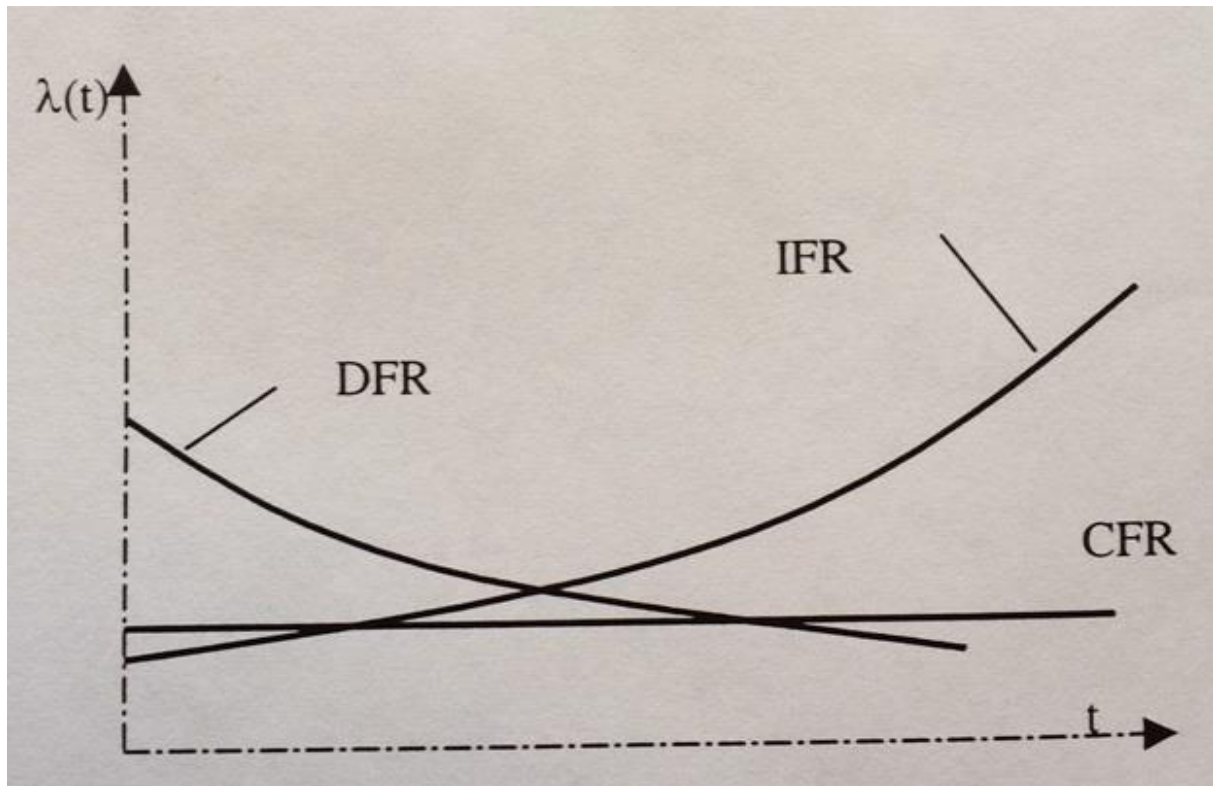
**Tilgjengelighet (Availability):** «En kvalitet som innebærer at enheten er klar til bruk når behovet er der. Dette kvantifiseres ved sannsynligheten for at enheten fungerer ved et gitt tidspunkt  $t$ , eller i løpet av et oppdrag. Enheten kan altså ha feilet før, men reparasjon må være utført for at den er tilgjengelig.» (Lassen, 1999)

I en situasjon der man ikke utfører korrektivt vedlikehold vil Tilgjengelighet = Pålitelighet

**Vedlikeholdsvennlighet (Maintability):** Dette sier noe om en enhet eller et systems kvalitet når det gjelder vedlikehold. Hvor raskt og enkelt er det å utføre forebyggende/ korrektivt vedlikehold. «Denne kvaliteten kan også kvantifiseres ved sannsynligheten for at man med gitte vedlikeholdsressurser i løpet av en gitt tid  $t$ , kan utføre en fullstendig reparasjon av enheten» (Lassen, 1999). Det er spesielt dette som inngår i case-studiet senere i oppgaven, der man ønsker å se på hvilke hendelser som krever at flere fag involveres i feilrettingen. For jernbane er sportilgang en vesentlig faktor når det gjelder vedlikeholdsvennlighet. Systemet i seg selv kan synes enkelt å vedlikeholde, men adkomsten til systemet kan være en vesentlig begrensning om man er avhengig av sportilgang. Et eksempel på dette er elektroskap, hvor enkle feil i skapet kan ta lang tid å rette om man er avhengig av å arbeide mellom togene, med de til enhver tid gjeldende sikkerhetsbestemmelser. En måte å øke vedlikeholdsvennligheten er å tenke på dette ved plassering av skapet slik at adkomst er ivaretatt når skapets plassering i forhold til sporet blir bestemt. Ved en bedre plassering vil vedlikeholdsaktivitet behøve så kort sportilgang som mulig. Dette er noe som typisk har endret seg etter hvert som togtrafikken har økt og sportilgangen har blitt en vesentlig mere kritiskressurs i forhold til når infrastrukturen ble bygget. Et konkret eksempel som baserer seg på dette med plassering av elektroskap, er å flytte komponentene inn i tekniske rom på nærmeste stasjon – dette kan kreve noe lengre kabler, men gir en helt annen og mye bedre adkomst til komponentene.

### Sviktintensitet:

Det er viktig å ha med i vurderingen at alle komponenter/ systemer har «sin» karakteristikk for hvor ofte de feiler gjennom levetiden. Dette er vist med Figur 4.2.



Figur 4.2: Karakteristiske sviktintensiteter over tid (Lassen, 1999)

Formålet med figuren, er å vise de ulike komponenter eller systemer sin beskaffenhet. Hvordan sviktintensiteten utvikler seg i forhold til brukstiden.

DFR: Decreasing Failure Rate; med dette menes komponenter som får lengre og lengre tid mellom hver gang de feiler etterhvert som levetiden øker. Et eksempel på dette, er systemer det må gjøres mye oppfølging eks. i form av justering etter at en komponent er byttet eller vedlikeholdt. Et relevant eksempel er f.eks. når det er byttet stikkrenne under spor hvor man den første tiden har størst fare for sporfeil som følge av setninger i massene rundt stikkrennen. Dette må korrigeres i form av sporjustering.

IFR: Increasing failure rate; dette er komponenter som blir dårligere etter hvert som levetiden øker. Dette er gjerne forårsaket av slitasje eller utmatting. Her vil ofte forebyggende vedlikehold ha effekt for å flate ut kurven slik at tiden mellom hver feil blir lengre. Typisk eksempel er komponenter som kan rengjøres og smøres etc. for å forlenge levetiden. Mange av komponentene i en sporveksel er typisk eksempel.

CFR: Constant Failure Rate; dette er komponenter som har konstant tid mellom hver feil uavhengig av levetid. Her har ikke forebyggende vedlikehold noen effekt, men det må være et system for å ivareta korrektivt vedlikehold når en feil oppstår.

Om det er tilgjengelige grunnlagsdata, er det fullt mulig å benytte matematiske modeller til å beregne utviklingen av tiden mellom hver feil basert på brukstid. Det er uansett viktig å være klar over disse forholdene når man setter opp plan for både vedlikehold og fornyelse.

Eksempel på data som benyttes er :

MTTF : Mean time to failure ; hvor lang tid vil en gitt komponent eller et system ha ønsket funksjonalitet før det feiler .

MDT: Mean down Time; hvor lang tid et system eller en komponent har feil når først en feil er oppstått. Det benyttes også begrepet MTTR som er Mean Time To Repair.

$$\text{Tilgjengelighet} = \frac{MTTF}{MTF + MDT}$$

Dette er data som enten er gitt fra leverandør eller man benytter erfaringsdata fra egen virksomhet til å beregne disse.

For at disse data skal bli korrekt, kreves det stor nøyaktighet både i innsamling av datamateriale og behandlingen av dette.

Det er i praksis utfordrende å etablere disse dataene på eldre system, der det er variasjoner på hvordan systemet faktisk er bygget. Det er også stor variasjon på hvordan systemet benyttes. Det mest åpenbare ulikheten er type tog og antall tog gjennom året.

For MDT er det også faktorer slik som; kunnskap, tilgang til riktige reservedeler og ikke minst adkomst til å rette feilen. Alle disse faktorene vil gjøre at MDT kan ha store forskjeller på feil som er helt sammenlignbare. For hvert av disse elementene er det mulig og gjøre tiltak, slik som forbedret logistikk for og redusere tiden for å anskaffe reservedeler. Dette vil være dekket dersom en RAMS-analyse gjennomføres på en god måte.

Det vil for denne oppgaven være unøyaktig og kanskje ikke oppnåelig å samle alle disse dataene for en gitt strekning. En av årsakene er at hendelsene rundt feil beskrives ulikt og med for lite presisjon til å finne tilstrekkelig bakgrunnsdata. Dette er belyst i kapittelet Dataanalyse.

Det ble derfor enighet sammen med lokal veileder å benytte måleparameteren oppetid. Hensikten med dette er å se på et systems faktiske ytelse. Oppetid er også en parameter som er sammenlignbar mellom ulike jernbanestrekninger, da det er en omforent forståelse av hvordan registreringen skal foregå. Blant annet gjennom opplæring av togledere (Jernbaneverket, 2015c).

### **Reliability Centered Maintenance**

Innen vedlikeholdsteori er Reliability Centered Maintenance (RCM) en mye brukt metode, blant annet innen flyindustri, men også i Jernbaneverket er dette en metode som benyttes.

«RCM - Reliability Centered Maintenance (Pålitelighetsstyrt Vedlikehold) er den metoden Jernbaneverket benytter for å optimalisere det forebyggende vedlikeholdet (FVK)» (Jernbaneverket 2015i)

RCM = pålitelighet styrt vedlikehold

RCM-analysen har som hovedfokus å optimalisere forebyggende vedlikehold.

RCM er en metode for

- Systematisk analyse av systemfunksjoner
- Hvordan disse kan feile, for å videre kunne:
  - o Etablere et forebyggende vedlikeholdsprogram som balanserer:
    - Sikkerhet
    - Tilgjenglighet (oppetid)
    - Kostnader

Viktige steg i gjennomføring av RCM analysen er (Vatn, 2013):

- Funksjonsfeilanalyse
- FMECA = Feilmode og effekt analyse
  - o Systematisk analyse av hver enkelt komponent sine funksjoner, feiltilstander, feilårsaker og feileffekter
  - o SKF: Funksjon som har feilmode som gir sikkerhetskonsekvenser

«Formålet med FMECA-analysen er å avdekke feilingsmekanismer, årsaker og effekter» (Lassen, 2000) Hensikten med FMECA-analysen er å kartlegge kritikaliteten og påpeke forebyggende og korrektive vedlikeholdstiltak.

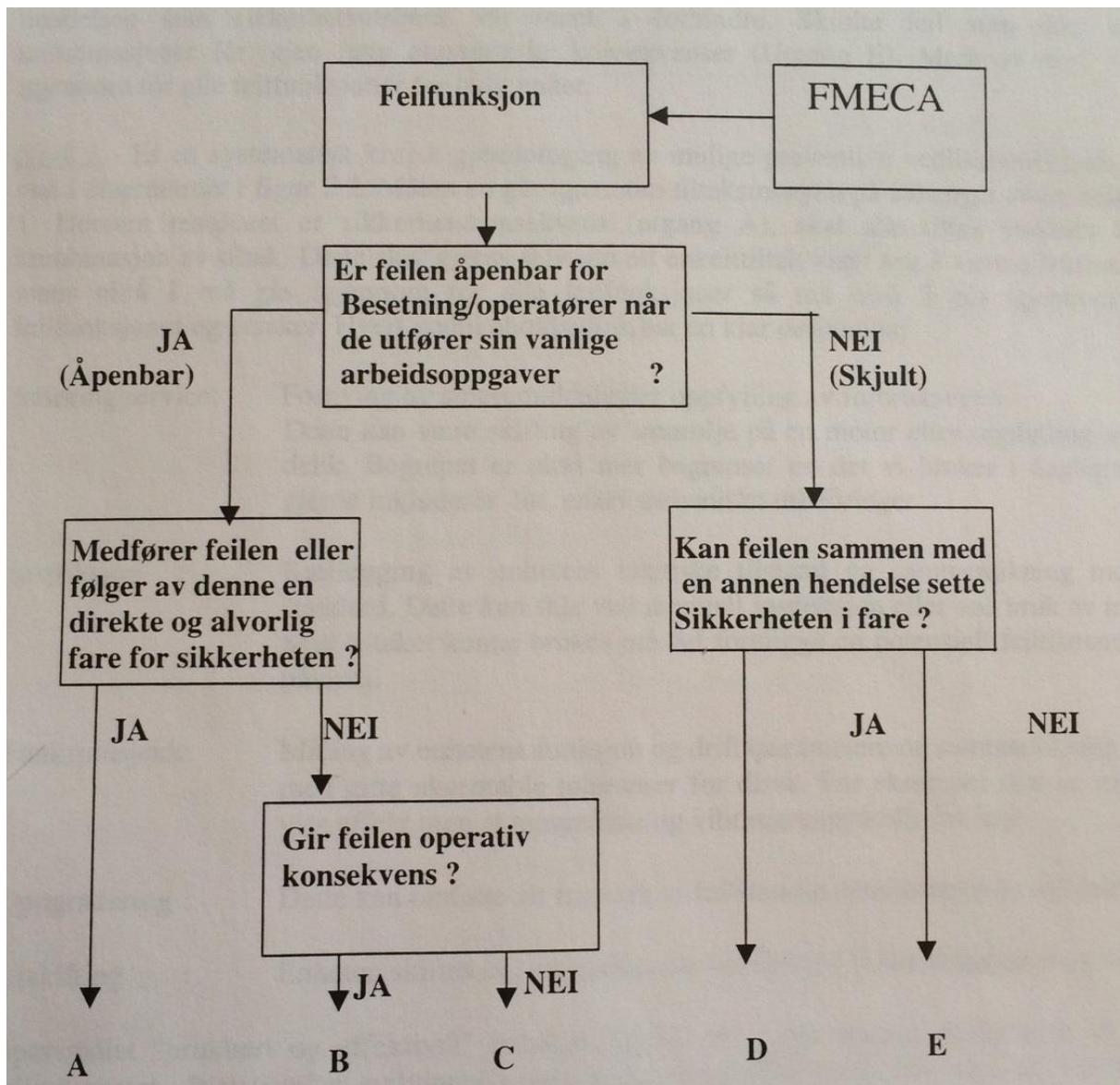
Som en del av FMECA-analysen inngår feiltre-analyse. Hensikten er å sette opp et logisk diagram som beskriver sammenhengen mellom topphendelse og feil ved systemets komponenter. For å vurdere konsekvens av ulike feilfunksjoner, er det hensiktsmessig å benytte en struktur som vist i Figur 4.3. Hensikten med et slik CARA feiltre er å vise hvordan mange ulike komponenter henger sammen, og hvilke avhengighet det er mellom disse. Det vil være et svært nyttig verktøy for å systematisere oversikten på infrastrukturen. Med en slik oversikt vil man se hvilke avhengigheter som kan gi en feilsituasjon på en gitt komponent. For å gjøre dette på en systematisk måte, må en tverrfaglig arbeidsgruppe plukke ut et sett med topphendelser man ønsker å analysere. For å vurdere hvilke topphendelser man skal plukke ut, vil Banedata være et nyttig verktøy. Da man utfra Banedata kan se hvilke KV-aktiviteter som er utført. Videre må man gjøre en prioritering av disse topphendelsene utfra følgende kriterier:

1. Hvilke topphendelser har direkte påvirkning på sikkerhet
2. Hvilke topphendelser er flest i antall over en periode
3. Hvilke topphendelser tar lengst tid å utbedre
4. Hva koster den enkelte topphendelse i materiell og mannskapstimer.

Punkt 1 – her vil Synergi være et hjelpemiddel.

Punkt 2 og 3 – her vil TIOS og hendelseslogg være et utgangspunkt.

Punkt 4 er det pr. i dag ikke noen god oversikt for å fange de eksakte data, men Banedata vil i tillegg til erfaring være til hjelp for en vurdering.



Figur 4.3: Cara Fault tree (Lassen, 2000)

Ut fra Figur 4.3, kan man ut fra en definert feilfunksjon som er resultatet av FMECA analysen vurdere hvilken konsekvens feilen har. Det må gjøres en slik systematisk gjennomgang for alle feilfunksjoner som er avdekket i FMECA.

- A- Alvorlig konsekvens for sikkerheten
- B- Ikke konsekvens for sikkerheten, men gir driftsforstyrrelser
- C- Kun økonomiske konsekvenser
- D- Dette er kritisk da man ikke har mulighet til å avdekke feilen, og den er sikkerhetskritisk
- E- Dette er skjulte feil som kun gir økonomiske konsekvenser.

RCM analyse bygger både på kvalitativ og kvantitativ informasjon om det gitte systemet. Der det er viktig å få med erfaringsinformasjon på hvilke feil som kan forventes, hvilke tiltak som kan forhindre disse feilene, og forståelse av hvordan vedlikeholdsorganisasjonen fungerer. Det må også til et kvantitativt underlag for å kartlegge hvilken effekt vedlikeholdet vil ha. I forbedringsarbeidet er det behov for optimaliseringsmodeller.

Innledningsvis er det viktig å definere systemet som skal analyseres. Det kreves en god systemforståelse for at dette skal bli hensiktsmessig.

Videre gjøres det en vurdering ut fra systemets funksjon – hva er hovedfunksjonen. Når hovedfunksjonen er definert må det beskrives hva som er systemets feilmodi. Hvordan arter tap av funksjon seg?

Ut fra ønsket systemfunksjon og hva som skjer ved de ulike feiltilstander, defineres det hvilke feiltilstander man ikke kan tillate – disse defineres som kritiske. Det er de kritiske feiltilstander som blir bearbeidet videre i analysen.

«RCM- analysene er i Jernbaneverket bygget på en generisk referanse, med tilhørende vedlikeholdstiltak og intervaller. Den generiske referansen kan betraktes som en referanse strekning. Alle generiske vedlikeholdsrutiner i Jernbaneverket (JBV) er basert på en slik generisk referansestrekning og er i utgangspunktet like for alle banestrekninger. Med generisk menes stor grad av likhet og overførbarhet mellom komponenter og systemer med hensyn til teknisk oppbygning, virkemåte og sviktårsaker.» (Vatn, 2013b).

Generiske RCM referanser omfatter følgende hovedsystemer (Vatn, 2013c):

- Underbygning
- Overbygning
- Elektro høyspent (KL og banestrømforsyning)
- Elektro lavspent
- Signal- og sikringsanlegg

Følgende topphendelser er definert i RCM analysen benyttet i JBV:

Sikkerhet:

- Avsporing
- Sammenstøt tog – tog
- Sammenstøt tog – objekt
- Brann

- Passasjer skadet på plattform
- Personer skadet ved PLO
- Personer skadet i og ved spor
- Avsporing med ekstra stor konsekvens (Eks. avsporing i tunnel)
- Ingen konsekvens

**Punktlighet:**

- Full stopp
- Sakte fart
- Manuell togfremføring – blokkstrekning
- Manuell togfremføring – stasjon
- Ingen konsekvens

**Eksempel på Feiltre:**

Flommen 2013 er tatt som utgangspunkt hvor eksemplet viser kontakt ledning (KL) ute av posisjon relativt til sporet. Dette er med som vedlegg 4 til oppgaven, da utskriften av diagramet er vanskelig lesbar.

Den minimale kuttmengden beskriver hvilke komponenter som alene eller sammen med feil på andre komponenter forårsaker feilsituasjonen – Topphendelsen. Hensikten med dette er å se hvilke komponenter som er mest kritiske for at funksjonen skal opprettholdes og topphendelsen ikke skal inntreffe.

Som Tabell 4.1 viser, er det ingen redundans for å unngå feilsituasjon. Med redundans menes at flere komponenter i systemet kan overlape hverandre – ha tilsvarende funksjon. Som følge av at så mange enkelt komponenter kan føre til at KL kommer ut av posisjon, må man se videre på sannsynligheten for den enkelte komponenten og tilhørende tiltak. I denne oppgaven analyseres ikke dette nærmere, men dette er helt klart en metode for å finne hvilke tiltak man skal prioritere.



Det er i Tabell 4.1 gitt en oversikt over komponenter som inngår i feiltre for KL anlegg – ute av posisjon.

**Tabell 4.1: Komponenter som påvirker posisjon til KL**

Beskrivelse på de ulike komponentene i feiltre for hendelsen:	
<b>KL ute av posisjon</b>	
Stikkrenne	Dårlig vedlikehold, slik at denne er tett eller dårlig vedlikehold oppstrøms slik at denne går tett ved nedbør.
Grøfter	Nedbør > enn det dreosanlegg er dimensjonert for
Dreosanlegg oppstrøms	Dreosanlegg oppstrøms er defekt/ikke tilstrekkelig dimensjonert (Vann på avveie)
Grunn	Grunn som ikke tåler belastningen fra infrastruktur
Mast	Deformert mast som følge av aldring eller underdimensjonering
Utligger	Feil på utligger
Tog	Tog som påvirker etter passering gir varig skade på KL
Skinner	Ikke nøytral skinnestreng, gir feil i sporgeometri (Solslyng)
Sviller	Feil på sviller som gir sporfeil
Ballast	Dårlig ballast gir feil i sporgeometri

Videre vil en vurdering av om en komponent inngår flere steder i feiltre, sammen med sannsynligheten for denne komponenten, si noe om hvilke fokus den enkelte komponent bør få.

Ut fra eksemplet her, vil det være naturlig å se på komponentene som gir ustabil grunn, da dette både påvirker mastenes og sporets stabilitet. Disse forholdene gir stor sannsynlighet for en feilsituasjon.

#### **Noen vurderinger i bruk av feiltre til analysearbeid:**

Et feiltre gir en god skjematisk oversikt på hva som er årsaken til den utvalgte topphendelsen. Dette vil være likt, uavhengig for hvilken del av jernbanestrekningen man er på. Utfordringen

er at det langs sporet er store forskjeller på sannsynligheten for feil til de ulike komponentene i feiltreet. Selve utarbeidelsen av et feiltre, skaper også en bevisstgjøring for de involverte på hvordan komponenter henger sammen på tvers av fag.

Her er noen eksempler på dette:

- Master kan være byttet. Det vil være stor forskjell på deformasjonen til en ny stålmast og en gammel tremast.
- Grunnforholdene har kontinuerlige forskjeller noe som gir store utslag i hvor stabilt mastene og sporet står.
- Vannveiene er ulike – spesielt kan det utenfor jernbanen være gjort endringer som gjør at det kommer mer vann eller vann andre steder enn tidligere.

Dette er noen eksempler på hvor krevende det er å lage en prioritering av ulike fornyelsestiltak, da det selv innenfor ett baneområde kan være store forskjeller på hvilke tiltak som er riktige.

## 4.9 Feilsituasjoner som gir driftsforstyrrelser:

Som vist i Tabell 2.1 er det en rekke potensielle feil i infrastrukturen som kan gi driftsforstyrrelser for togframføringen. Tabellen gir ikke en uttømmende oversikt, men beskriver de viktigste feilene som kan oppstå. Det er i dette underkapittelet gjort en vurdering av bakgrunnen for de enkelte feil.

### 4.9.1 Linjefaget:

**Sporveksler ute av funksjon:** Dette skyldes at tungeanordning ikke legger seg i riktig posisjon.

Typiske årsaker er: Feil på drivmaskin, feil på tilhørende styring fra signalanlegg, løsmasser i rådegrav (rom under sporveksel for overføring av kraft fra drivmaskin til tungeanordning), vanninntrenging i drivmaskin og mekanisk slitasje.

**Undergraving av spor:** Dette skyldes at vann i bevegelse har fjernet masser under spor.

Typiske årsaker er: Underdimensjonert stikkrenne, dårlig vedlikeholdt stikkrenne slik at denne ikke har opprinnelig kapasitet, vannet kommer på annet sted enn planlagt (vann på avveie) og akutt tilstopping av stikkrenne som følge av løsmasser eller trær/ gjenstander.

**Drensanlegg tett:** Tette grøfter eller lukkede dreneringer.

Typiske årsaker: Skred i sideterreng, sedimenter i vann som legger seg igjen, fremmede objekter (trær eller gjenstander) eller dårlig vedlikehold.

**Grøfter skadet:** Sidevegger på grøft har fått lekkasje.

Typiske årsaker: Stor vannføring, ras i sideterreng eller feil utførelse ved etablering

**Geometriske sporfeil:** Sporet har avvik i horisontal eller vertikalgeometri.

Typiske årsaker: Setninger i fylling, forurenset ballastpukk som har mistet elastisiteten, dårlig befestigelse, ikke nøytral skinnestreng (skinnestrengen har ved 21 grader celsius hverken strekk- eller trykkspenning), dårlige sviller, tele på grunn av dårlige dreneringsegenskaper i over- eller underbygning. Typiske årsaker til at skinnene ikke er nøytrale kan være: Feil i kurver som følge av at sporet er flyttet under sporjustering som følge av ikke tilstrekkelig kontroll av sporets beliggenhet mot fastmerker eller at det er gjort inngrep i underbygning etter nøytralisering.

**Forurenset ballastpukk:** Finstoffer i ballastpukk, slik at denne ikke har de nødvendige egenskaper.

Typiske årsaker: Masser fra sideterreng inn i spor, masser fra underbygning har «jobbet seg opp» i ballast, forurensning fra tog gjennom lang levetid og at ballast pukken slites både som følge av togframføring og sporjustering. «Slitasjen i ballastpukken akselererer når vann er innestengt i ballasten. Dette fungerer som smøring mellom hver enkelt pukkestein.» (Robinson og Kapoor, 2009, s. 30). Dette gir også dårligere dreningsegenskaper, slik at effekten akselererer når den først er oppstått.

**Skadede skinner:** Feil profil på skinnene, eller feil metallstruktur i skinnene.

Typiske årsaker: Store belastninger etter ytre skade – slik som undergraving av ballast, feil på materiell, eks. hjulslag (et jernbanehjul som har et flatt parti som dermed gir slag på skinnhodet), feil etter at materiell har spunnet på samme sted som følge av for liten friksjon mellom hjul og skinne eller skader etter andre vedlikeholdsaktiviteter.

**Skader på føringsvei for kabler:** Kablene ligger ikke tilstrekkelig beskyttet i føringsvei.

Typiske årsaker: Endring av terreng etter eks. flom, føringsvei siger som følge av for dårlig fundament, skade fra andre vedlikeholdsaktiviteter eller skade etter dyrepåkjørsel.

**Feil på isolerskjøt:** Isolerskjøt mister sin opprinnelige funksjon og slipper igjennom strøm.

Typiske årsaker: Mekaniskslitasje, dårlig understøttelse, feil på KL. anlegg (vekslingsfelt), fabrikkasjonsfeil eller feil behandling under transport/ montering.

**Skinneslitasje:** Som følge av togtrafikk vil skinnene slites. Det er stor variasjon i hvor fort skinnene slites. Det er verdt å nevne følgende faktorer som forringer skinnenes levetid, spesielt på strekninger med blandet trafikk mellom person- og godstrafikk hvor togene har ulik hastighet. Godstogene kan i kurver slite på innerste skinnestreng på grunn av lav hastighet, dette som følge av at overhøyden kan være for stor i forhold til godstogets hastighet. Videre øker skinneslitasjen med redusert kurveradius. Et typisk tiltak for å rette opp skinneslitasje er å slipe skinnene, noe som gjenoppretter skinneprofilet. På strekninger der det er behov for hyppig skinnesliping vil skinnene ha en kortere levetid. For strekninger med bedre geometri i forhold til den aktuelle trafikken, kan skinnene ha en helt annen levetid.

#### 4.9.2 Signal og tele:

**Skade på kabler:** Kabler som er utsatt for mekanisk eller elektrisk overbelastning.

Typiske årsaker: Strekk i kabler som følge av at føringsvei forskyver seg, maskiner skader kabler, jordfeil fører til strøm på avveie, feil i andre elektriske anlegg som fører til strøm på avveie eller gamle kabler som ikke lenger tåler belastningen de var dimensjonert for.

**Feil i innvendige installasjoner:** Feil som følge av aldring eller overbelastning av komponenter.

**Objekter ute av posisjon:** Skap eller signalobjekter har forflyttet seg fra opprinnelig posisjon.

Typiske årsaker: Sviktende grunn, dårlig fundamentering eller ytre påvirkning eks. fra maskin.

**Sporfelt ute av justering:** Endrede elektriske egenskaper for kretsen slik at resistansen endres. Dette kan skyldes endringer i ballast slik at lekkstrøm økes/ reduseres, feil på isolerskjøter eller feil på impedanser som er plassert mellom sporfelt.

#### 4.9.3 Elkraft:

**Master ute av posisjon:** Typiske årsaker: Sviktende grunn, dårlig fundamentering, ytre påvirkning eks. fra maskin eller tretthetsskade i mast slik at denne endrer fasong.

**Skade på kabler:** Kabler er utsatt for mekanisk eller elektrisk overbelastning.

Typiske årsaker: Strekk i kabler som følge av at føringsvei forskyver seg, maskiner skader kabler, jordfeil fører til strøm på avveie eller dårlige kabler som ikke tåler belastningen de var dimensjonert for.

**Skade på kontaktledning:** Ledning ute av posisjon, skade på ledning, brudd på ledning  
Typiske årsaker: Ledning ute av posisjon som følge av master ute av posisjon, skade fra stømavtager på tog, slitasje eller mekanisk skade eks. etter berøring fra eks. gravemaskin.

#### **4.9.4 Lavspent:**

**Skade på sporvekselvarme:** Typiske årsaker er mekanisk sporvedlikehold, slitasje på vekslere som igjen skader varmeelement, elektriske feil som følge av aldring eller overbelastning.

**Skade på tog varmeanlegg:** Mekaniske skade som følge av annet vedlikehold eks. snøbrøyting, elektriske feil som følge av overbelastning eller aldring eller nye krav fra nytt materiell som ikke er tilstrekkelig tatt hensyn til.

**Skade på belysning:** Vandalisme, skade som følge av snøbrøyting, aldring.

Det er også viktig å nevne feil som skjer på tvers av fag. Tverrfaglige feil krever god systemforståelse under feilsøking. Men også mange enkeltpersoner med rett fagkompetanse må involveres for å løse feilen. Det krever at mange rykker ut til en feil, noe som krever mange ressurser, men også god koordinering mellom disse.

## 4.10 Etablerte fornyelsesaktiviteter

Hensikten med dette delkapittelet, er å gi en innføring i noen av de fornyelsesaktiviteter som foregår i Jernbaneverket i dag, og hvordan disse er organisert i ulike prosjekter.

Fornyelsesaktiviteter:

- Opprustning av underbygning for å unngå ras, tele eller setningsproblematikk
- Utbedring av dreosanlegg, dette er en aktivitet som gir stor effekt innenfor flere områder. Eksempelvis vil KL master stå mere stabilt i tørre grunnforhold, ballasten vil ha lengre levetid, og faren for telehiv reduseres
- Rensk av sideterreng for å unngå ras inn på spor
- Etablering av ny føringsvei for kabler
- Bytte av kabler
- Bytte utvendige signalobjekter
- Rens/bytte av ballast. Hensikten med ballastrens er å gjenskape ballastens dresegenskaper og elastisitet. Årsaken til at ballasten forringes, er at pukken etter hvert slites og det dannes finstoff som reduserer ballastens friksjon og dreneringsegenskaper. «Ballast som er konstant våt eller under vann vil raskt forringes og gi feil» (Robinson M. og Kapoor A., 2009, s. 46)
- Utskifting av KL master
- Utskifting av sporveksler
- Utskifting av sporvekselvarme
- Utskifting av bruer
- Rehabilitering av bruer, eks. sandblåsing og maling.
- Bytte av komplette kontaktledningsanlegg som følge av alder eller økte krav fra togoperatørene som tar i bruk mere energikrevende materiell som følge av større trekkraft
- Bytte av sviller
- Bytte av skinner
- Bytte av veisikringsanlegg
- Bytte av sporveksler

Dette er noen av fornyelsesaktivitetene som til enhver tid er pågående i Jernbaneverket.

En utfordring med jernbane, er at store deler av infrastrukturen har en lang levetid, ofte mer enn 100 år. Dette gjør at det «tekniske vindu» blir veldig bredt. Ny teknologi tar lang tid å

implementere gjennomgående for hele landets jernbaneinfrastruktur. For eksempel kan det ta 50-60 år å implementere en ny type jernbaneskinne med forbedret stålkvalitet. (Robinson og Kapoor, 2009, s. 13). Dette er også noe man ser i praksis ved at anleggene, naturlig nok, får stor ulik beskaffenhet i teknologi utfra hvilke krav som var satt når de var bygget.

Byggingen av nye banestrekninger er et bidrag til å redusere behovet til fornyelse på mellomlang sikt. Et bidrag er at disse strekningene konstrueres for strekningshastigheter større enn 200 km/h. Dette skjer i hovedsak som følge av krav til økt hastighet. En positiv effekt av dette, er at skinneslitasje vil reduseres og faren for sporfeil minker, da disse banene har langt større kurveradius enn de som ble bygget tidlig på 1900-tallet. Samtidig kan det være en utfordring for strekninger med blandet trafikk da overhøydene blir store i forhold til langsommere godstog, noe som gir økt belastning på indre skinnestreg i kurver. Det settes også høyere krav til eks. dreosanlegg og føringsveier – noe som gjør nye baner mer robuste enn de som er bygget for mange 10-år siden.

## 4.11 Innføring av nye feil ved fornyelse og vedlikeholdsaktiviteter

Videre er det viktig å ta inn i sammenhengen at ved fornyelsesaktiviteter øker faren for nye feil i infrastrukturen. Dette som følge av at fornyelsesaktiviteter i seg selv direkte kan innføre nye feil.

Dette er en viktig faktor som må være med i planleggingen av fornyelsesprosjekter. Slik kan man redusere faren for at fornyelsesaktivitetene bidrar til reduksjon av oppetid.

Eksempler på slike følgevirkninger etter fornyelsesaktiviteter:

- Avgraving av kabler som går langs banen, og i de fleste tilfeller er kritiske for togframføringen
- Ødeleggelse av tidligere etablerte dreneringer som senere kan skape problemer med vann på avveie.
- Nyetablerte dreneringer som kan gi setningsproblemer. Eks. dreneringer som etableres for å unngå teleproblematikk. Her må det etableres en plan for oppfølging i etterkant som også beskriver hvem som har ansvaret, slik at etterpakking blir gjennomført.
- Jordingsfeil som kan gi problemer i signalanlegget. Eks. ved etablering av gjerder.
- Returstrøm på avveie eks. ved nye gjerder og andre stålkonstruksjoner som gir mulighet til å lede returstrøm utenom skinnene.
- Feil i dokumentasjon som senere gjør det komplisert ved vedlikehold eller andre fornyelsesaktiviteter.
- Manglende nøytralisering som gir fare for skinnebrudd/ solslyng.
- Føringsvei for kabler som ligger i veien for senere endringer i andre anlegg. Eks. nye mastefundamenter eller vedlikehold av drensanlegg.
- Sporgeometri endres som følge av anleggsmaskiner som kjører av og på sporet.
- Setninger etter nyetablering av rør under jernbanespor. Ofte krevende å gjenskape tilsvarende egenskaper som de tilgrensende masser inn til gravegrop har. Nye masser kan ha andre egenskaper enn de eksisterende med hensyn til setninger.

Som man ser i fra punktene ovenfor, er det mange av disse som kan gi feil på et langt senere tidspunkt enn når selve aktivitetene pågår. Dette viser viktigheten av at fornyelsesaktiviteter er godt planlagt, og at kvaliteten av disse følges opp på en måte som avdekker eventuelle avvik.



Det er ønskelig at fornyelsesaktiviteter i best mulig måte ivaretar tverrfagligheten som er i jernbanens infrastruktur. Fornyelsesaktiviteter bør ha som mål å gi effekt på flere fag og definitivt ikke skape utfordringer for andre fag. Det finnes eksempler der fornyelsesaktiviteter har gitt feilsituasjoner for andre fag. For å prioritere og gjennomføre fornyelsen effektivt, må det til en kartlegging av dagens situasjon



## 5 Case studie – del 1

For best mulig å besvare problemstillingen, ble det vurdert som hensiktsmessig å benytte casestudie for å beskrive dagens situasjon. Hensikten med casestudiet er å kartlegge hvilke hendelser som forsinker togene og effekten av de ulike hendelsene. Ved å gjøre denne kartleggingen, vil man fremskaffe underlag for hvilke fornyelsesaktiviteter som bør gjennomføres for å redusere disse forsinkelsene.

Det var viktig at valgte case skulle være representativt for flere strekninger. Som følge av dette ble det satt opp følgende kriterier:

- Banestrekningen skulle ha både gods- og persontrafikk
- Banestrekningen skulle være fjernstyrt, dvs. styring av signalanlegg fra en togledersentral
- Banestrekningen skulle i all hovedsak ha elektrisk fremdrift av tog
- De skulle være en enkeltsporet strekning
- Data som skulle analyseres, skulle være gjennom ett helt kalenderår slik at alle klimatiske årstider ble dekket.

Ut fra kriteriene ble banestrekningen fra Hamar til og med Lillehammer valgt som analyse objekt, denne har banenummer 0710. Denne banestrekningen er vurdert som representativ i forhold til de kriterier som er beskrevet først i dette kapitlet.

### **Noen fakta for banestrekningen:**

- Strekningen er 65,4 km lang
- Det er 6 stasjoner på strekningen (hvorav 3 med personutveksling)
- Det er 27 planoverganger hvorav 6 med veisikringsanlegg
- 3 Tunneler
- 62 jernbanebruer/kulverter
- Det er enkeltsporet strekning, kun med krysningsspor
- Det er blandet trafikk mellom gods- og persontrafikk
- Banen ble åpnet i 1894

En innledende del av casestudiet er å se hvilke datasystem det vil være hensiktsmessig å hente data fra. I tillegg gjøres et forsøk på å koordinere data fra disse datasystemene for å se på hvilken informasjon som er tilgjengelig for ulike hendelser. Det er også viktig å finne hvilke etablerte måleparametere som finnes i Jernbaneverket. Det er først og fremst interessant å finne måleparameter på togforsinkelser og infrastrukturens tilstand.

I forkant av casestudiet, ble det gjort en gjennomgang av hvilke systemer som var tilgjengelige. Dette skjedde gjennom samtale med banesjef, sikkerhets- og kvalitetsrådgiver, tilstandskontrollører og togledelse. Det ble også en del av vurderingen for å velge metode for å gjennomføre casestudiet.

Neste steg var å skaffe tilgang til de ulike systemene, samt tilstrekkelig opplæring. Det var noe opplæring tilgjengelig, i tillegg ble det litt «prøving og feiling».

Siden casestudiet skal samle inn og benytte tilgjengelige data, er det ingen tvil om at selve casestudiet må gjennomføres med data som kan kvantifiseres. «Selve begrepet kvantitativ metode understreker at de data en får inn, må ha en slik form at de kan kvantifiseres» (Holme og Solvang 1991. S.146). Data både fra TIOS og Banedata skal i utgangspunktet ha en form som gjør at de kan sorteres og grupperes. Det vil bli en del av casestudiet å gjøre seg kjent med nettopp beskaffenheten til dataene som samles inn.

**På bakgrunn av kunnskap som ble tilegnet gjennom arbeid med metodekapittelet (kap. 3), ble følgende systemer vurdert som hensiktsmessig videre arbeid med casestudiet:**

**SYNERGI** – Registrering av uønskede hendelser eller tilløp til uønskede hendelser med hensyn til sikkerhet. Her registreres alle hendelser som er en potensiell sikkerhetsrisiko, uavhengig om årsaken er tredjepart, Jernbaneverket eller togoperatør. Systemet har som hensikt å systematisere enkelthendelsene og videre gi en god oppfølging av hver hendelse, slik at det gjøres en kvalitativ vurdering av hvilke tiltak det er hensiktsmessig å iverksette. Dette gir videre et grunnlag til prioritering av ulike tiltak, både med hensyn til hyppighet for gjentakende hendelser og risikoen til de enkelte hendelser.

**TIOS** – Tog Informasjon og Oppfølgings System. TIOS er Jernbaneverkets punktlighetsdatabase. Hensikten er å sammenligne planlagte rutetider med faktiske tider. «Grunnlag for det meste av punktlighetsstatistikk i Norge» (Veiseth, 2013) Benyttes av Trafikk og markedsdivisjonen for registrering av hvordan togtrafikken er avviklet. En vesentlig del av registreringen som gjøres i TIOS baserer seg på et sett årsaks koder, se Tabell 5.1.

Tabell 5.1: Årsakskoder i TIOS

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

**Banedata** – Her skal all infrastruktur være registrert – samt alle planlagte og uplanlagte hendelser i infrastrukturen. «Banedata er fra starten av i hovedsak et register for infrastruktur med tilknyttede muligheter for registrering av hendelser og feil, generiske kontroller og korrektivt vedlikehold. Dette medfører at Banedata er et komplett vedlikeholdssystem for Jernbaneverkets infrastruktur.» (Jernbaneverket, 2015d)

**Hendelseslogg (HL)** – «Er Jernbaneverkets operative system for registrering av feil og hendelser på og i nærheten av egen infrastruktur, og denne instruksen skal sikre enhetlig føring av operativt personale når de registrerer saker i hendelseslogg» (Jernbaneverket, 2015e). Alle relevante føringer i HL blir overført til Synergi. Det er også en målsetning om at alle akutt korrektive arbeidsordre i Banedata skal inneholde ID fra hendelseslogg, slik at disse kan knyttes mot hverandre. Det er togleder som har ansvaret for rapporteringen inn i HL, og alle førere har ansvar for å rapportere avvik til togleder, slik at alle avvik en fører blir oppmerksom på, registreres i HL.

## 5.1 Indikatorer

Det er i Jernbaneverket etablert et sett indikatorer som sier noe om kvaliteten på togproduksjonen. Det var for oppgaven ønskelig å benytte allerede etablerte måleparametere. Hensikten var å beskrive infrastrukturens faktiske ytelse i forhold til det som var satt som mål både fra samfunn og togoperatører. Det ble derfor gjort en vurdering av hvilke parametere som kunne være mest egnet. Siden casestudiet tar for seg en bane med blandet trafikk, var det også viktig at måleparameteren dekket godstrafikk. Som man kan lese ut fra Tabell 5.2 så er det oppetid som dekker dette på en mest hensiktsmessig måte.

Tabell 5.2: Kvalitetsindikatorer for togproduksjon (Veiseth. 2013)

Indikator	Måleenhet	Beskrivelse
Punktlighet	Prosent	Andel tog i rute til endestasjon, innenfor 3,59 min/sek (lokaltog, IC og Flytog) og 5,59 min/sek (fjerntog og godstog)
Regularitet	Prosent	Andelen av planlagte avganger som blir gjennomført. Kun persontog og ikke-planlagte innstillinger
Forsinkelsestimer totalt	Antall timer	Antall forsinkelsestimer registrert på årsakskoder i TIOS.
Forsinkelsestimer infrastruktur	Antall timer	Antall forsinkelsestimer registrert på kode 1-6 og 92 i TIOS (infrastruktur og ytre forhold)
Innstilte tog totalt	Antall tog	Antall avganger som blir innstilt. Kun persontog og ikke-planlagte innstillinger
Innstilte tog infrastruktur	Antall tog	Antall innstilte tog registrert på kode 1-6 og 92 i TIOS (infrastruktur og ytre forhold)
Oppetid	Prosent	Forholdet mellom planlagte togtimer og forsinkelsestimer reg. på kode 1-6 og 92 i TIOS (infrastruktur og ytre forhold)

Oppetid – Et viktig mål på infrastrukturens funksjonsevne beskrives med oppetid. Oppetiden beskriver forholdet mellom planlagte togtimer og forsinkelsestimer registrert på kode 1-6 og 92 i TIOS (Veiseth. 2013). Oppetiden beregnes med følgende formel:

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

Totale togtimer = planlagte togtimer ut fra oppsatt rute

Det er gjerne indikatoren «oppetid» som benyttes ute hos infrastrukturforvalter for å beskrive hvor godt infrastrukturen fungerer. Dette gir en god beskrivelse på om den samlede infrastrukturen klarer å levere det som forventes, sett opp i mot planlagt togproduksjon.

## **5.2 Mål for å finne tilstand til infrastruktur**

Første del av casestudiet ble å hente inn data fra systemene Synergi, TIOS, Hendelseslogg og Banedata. Dette ble gjort av 2 årsaker: Se hvilke data som ble registrert i de ulike systemene, og å vurdere hva disse inneholder.

Case studiet tar for seg registrerte data på banestrekning 0710 Hamar – Fåberg km: 127,210 – 192,584 i perioden 01.01.13 – 31.12.13. Hensikten med casestudiet er å se på muligheter og metode for å benytte historiske data fra de ulike systemene. Ved å begrense tidsperioden til året 2013, ble datamengden håndterbar for analyse, samt at dataene dekket alle årstidene. Dette var de seneste tilgjengelige data når oppgaven ble påbegynt. Det var allerede innledningsvis klart at det måtte til en manuell gjennomgang for å koordinere dataene fra de ulike systemene.



### 5.3 Synergi i casestudiet

Etter å ha blitt kjent med synergisystemet, ble rapporten «Kort saksrapport» vurdert til å være det mest hensiktsmessige utgangspunkt til videre analyse. Denne rapporten gjør uttrekk på følgende data som beskrevet i Tabell 5.3:

Tabell 5.3: Informasjon i Synergi

Datafelt	Beskrivelse
Nr.	En automatisk generert saks ID som etableres med løpenummer etter hvert som saker registreres.
Risiko	Enkel beskrivelse på risiko for den aktuelle hendelsen. Risiko er beskrevet med fargekodene Rød, Gul og Grønn.
Dato	Dato for hendelsen/observasjonen.
Oppfølgingsansvarlig	Feltet beskriver den eller de enheter som har ansvar for videre oppfølging av hendelsen.
Sted	Hvor hendelsen skjedde.
Status	Status på saksgangen for den enkelte sak.
Sakstype	Feltet beskriver hvilken forhåndsdefinert type hendelse som er valgt ved registrering.
Tittel	Fritekstfelt som legges inn ved registrering av hendelsen og gir en kort informasjon om den enkelte sak.

Hensikten med å benytte synergirapporten i det videre arbeidet er for å se hvilke hendelser som i løpet av 2013 ble vurdert som en sikkerhetsrisiko. Dette vil være til hjelp i prioritering av fornyelsesaktiviteter da tiltak som kan redusere risiko er høyt prioritert.

For å få oversikt på de registreringer som var gjort i Synergi, ble det gjennomført et søk som vist i Tabell 5.4.

Tabell 5.4: Søk i Synergi

Søkekriterier	
Felt	Verdi
Søkeparametre - Saksdato	Fra 01.01.2013
Søkeparametre - Saksdato	Til 31.12.2013
Søkeparametre - Sted (prosjekt)	0710 (Hamar)- Fåberg (km:127.210-192.584)

Antall saker:            465

## 5.4 TIOS i casestudiet

Etter en gjennomgått veiledning i bruk av TIOS og nødvendige brukertilganger, ble det tatt ut ulike rapporter for å finne den beste beskrivelsen på banestrekningens tilstand. Rapporten «Årsaksfordeling» ble funnet mest hensiktsmessig. Denne rapporten gir en oversikt både på antall feil fordelt på valgte årsakskoder, og hva som er forsinkelsestiden utfra den enkelte årsakskode.

Region Øst Togtimer	28 Eldsvoll - Lillehammer		HMR, JES, BRD, RUD, RIN, MLV, BVK, BUM, BGG, LHM	Endre	Slett
Region Øst Togtimer	30 Lillehammer - Fåberg		HVE, FÅB	Endre	Slett

Figur 5.1: TIOS, hendelser infrastruktur

Ved å benytte rapportuttrekket beskrevet i Figur 5.1 får man oversikt over alle forsinkelser mellom stasjonene Hamar og Fåberg i 2013, fordelt på årsakskoder.

Det er for det videre arbeidet behov for en mer detaljert rapport på hver hendelse. TIOS ble derfor benyttet til å generere rapporten *TIOS Forsinkelse pr. tog på Hamar og Fåberg 2013*, se Figur 5.2. Denne rapporten viser i detalj hvilket tog som var forsinket, hvor mye toget var forsinket, og hvilken årsakskode som er registret på den enkelte hendelsen. Rapporten inneholder også noe informasjon i form av fritekst for den enkelte hendelse. Det er begrenset nytte av dette kommentarfeltet, siden informasjonen kun er ført på en del av hendelsene. Det er også stor variasjon i detaljeringsgrad på kommentarene.

The screenshot shows the TIOS web application interface for generating a report. The header includes the TIOS logo and 'Trafikkinformasjons- og oppfølgingsystem' on the left, and the Jernbanelogoen and 'Jernbanelogoen' on the right. The navigation menu contains: 'Hjem', 'Kart', 'Meldinger', 'St.monitor', 'Trafikkdata', 'Rapporter', 'Årsaksregistrering', 'TPR', and 'Hjelp'. The main content area is titled 'Rapporter - Detaljrapport' and contains several filter sections:

- Er dato:** 01.01.2013
- Til dato:** 31.12.2013
- Hovedsortering:**  Årsakskode,  Hendelse-ID,  Dato
- Togselskaper:** (Merk alle | Fjern alle)
  - Baneservice AS,  CargoNet AS,  Flytoget AS,  Green Cargo AS,  Grenland Rail AS
  - Hector Rail AS,  Jernbanelogoen,  Malmtrafikk AS,  NSB Gjøvikbanen AS,  NSB AS,  Ofotbanen AS
  - Ofotbanen Drift AS,  Peterson Rail AB,  Railcare Tåg AB,  SJ AB,  TX Logistik AB,  Tågakeriet AS
  - AS Valdresbanen,  Veolia Transport Bane AS,  Øvrige
- Visning:**
  - Årsakskode/ID,  Forårsakende (kolonnevisning)
  - Ingen gruppeheader
  - Innstilt
  - Ta med assosiert tog
  - Summer HL-informasjon
- Tog nummer(e):** [Empty field]
- Stasjoner:** JES, BRD, RUD, RIN, MLV, BVK, BUM, BGG, LHM
- HL-ID:** [Empty field]
- Forårsakende tognr:** [Empty field]
- Årsaker:**
  - \* Infrastrukturforvalter \*
  - 1 - Bane
  - 2 - Sikringsanlegg, signalanlegg, fjernstyring
  - 3 - Elektrifisering/kontaktledningsanlegg
  - 4 - Telle- og transmisjonsfeil
  - 5 - Planlagt vedlikeholdarbeid infrastruktur
  - 6 - Materieil med feil sperrer sporet/blokkstrekning
  - \* Jernbanelogoen \*
  - 81 - Feil ved materieil
  - 82 - Materieil sent fra hensettingspore

Figur 5.2: TIOS, Forsinkelse pr. tog på Hamar og Fåberg 2013

## 5.5 Banedata i casestudiet

For å få mer kunnskap om hvordan registrering av korrektivt vedlikehold håndteres, ble relevante dokumenter i JBV sitt styringssystem vurdert. Det er spesielt dokumentet «Instruks for styring av akutt korrektivt vedlikehold» (Jernbaneverket, 2014) som man kan forvente gir den beste beskrivelsen for hvordan akutte feil skal registreres. Ut fra dette dokumentet er det overveiende sannsynlig at en og samme feilhendelse bør få flere registreringer i Banedata dersom flere fag er involvert. I de tilfellene flere fag skal skrives inn på samme arbeidsordre (AO) bør det fremgå i beskrivelsen hva de ulike fag har utført av arbeide.

Banedata innsyn er verktøyet for å gjøre uttrekk fra databasen til Banedata. Det viste seg imidlertid vanskelig å finne en egnet rapport som ga en helhetlig oversikt over alle feil uavhengig av fag. På bakgrunn av dette ble Lars Frithjof Rehnberg, banedata ansvarlig i Region Øst, kontaktet. Målet var å få alle utsatt korrektivt vedlikehold (UKV) og akutt korrektivt vedlikehold (AKV) for 2013, inn i en rapport uavhengig av fag og objekthendelsen det var registrert på.

Det ble utarbeidet en spørring som gjorde uttrekk på alle AO registrert på banestrekning 0710 fra 1.1.2010 til 31.12.2014. Denne ble senere endret for å se på registreringer også tidlig i 2015. Detaljer for spørringen er beskrevet i vedlegg 9.

## 5.6 Case studie - del 2

Del 2 av casestudiet har som hensikt å koordinere data fra de ulike systemene for å se hvordan disse kan benyttes i planleggingen av fornyelsesaktiviteter.

Det første som er interessant, er å beregne oppetiden for den aktuelle strekningen. Tallene for dette hentes i fra TIOS rapporten, se vedlegg 5. Utrekk av data fra de 2 rapportene er gjengitt i Tabell 5.5.

Tabell 5.5: Data til beregning av oppetid

Togtimer	18948:58	tt:mm
Forsinkelsestimer infrastruktur	658:15	tt:mm
Ytre forhold	57:59	tt:mm

$$\text{Oppetid} = \frac{18948:58 - (658:15 + 57:59)}{18948:58} = 96\%$$

Målet for oppetid i 2013 var for strekningen Eidsvoll - Lillehammer 98,5 % (Jernbaneverket, 2015g). Altså er det et avvik mellom faktisk resultat og målet i virksomhetsplanen. Det var ikke utarbeidet et eget måltall bare for strekningen Hamar – Lillehammer.

Det viser altså et avvik på hva som er satt som mål, og hva som var det reelle resultatet.

For å kartlegge hvilke bidrag de ulike feilårsakene hadde til forsinkelsestid, ble Tabell 5.6 laget. Denne beskriver forsinkelsestid fordelt på årsak. Tallene i denne er hentet fra TIOS-rapporten som beskriver forsinkelsesårsak pr. årsakskode, Vedlegg 5.

Tabell 5.6: Forsinkelsestid, fordelt på årsak

Kode i TIOS	Beskrivelse	Forsinkelsestid tt:mm]	Bidrag i %	Antall
1	Bane	524:09	73,2	6179
2	Sikringsanlegg	58:04	8,1	452
3	Elkraft	48:12	6,73	161
4	Tele anlegg	8:00	1,1	34
5	Planlagte arbeider	12:38	1,8	39
6	Materiell med feil i spor	7:12	1,0	59
92	Ytre forhold	57:59	8,1	177

Tabell 5.6 gir en tydelig fremstilling av hvilke årsaker som er størst kilde til reduksjonen i oppetid. Som man kan lese ut av tabellen er det bane som har den største andelen av feil. De bakenforliggende årsakene til dette er beskrevet senere i dette kapitlet.

Totalt blir det for strekningen igjennom et helt år forholdsvis mange hendelser å analysere.

For hendelser i Banedata forventes det at det kun er Akutt Korrektivt Vedlikehold (AKV) og Utsatt Korrektivt Vedlikehold (UKV) som kan settes i sammenheng med hendelser som gir redusert oppetid. Forebyggende Vedlikehold (FV) kan også gi redusert oppetid av følgende 2 årsaker:

- Planlagte vedlikeholdsarbeider tar lengre tid enn planlagt, noe som hindrer planlagt togproduksjon, dette vil føres på hendelseskode 5 i TIOS.
- Forebyggende vedlikehold gir en feilsituasjon i etterkant av avsluttet arbeid. En slik følgefeil vil bli ført på en av hendelseskodene 1-4 og påfølgende feilretting skal registreres som en AKV.

Det er derfor riktig å kun se på AKV og UKV i sammenhengen med å finne årsaken til redusert oppetid.

Gjennom 2013 ble det til sammen registrert totalt 960 hendelser, 380 AKV og 580 UKV. For å finne registreringene i Banedata, ble det benyttet spørringen som beskrevet i vedlegg 9.

## 5.6.1 Databehandling

Formålet i dette delkapittelet er å bearbeide rapportene fra de benyttede registreringssystemene slik at det kun er data forbundet med hendelser i infrastruktur og ytre påvirkninger som brukes i videre datanalyse.

Det ble gjort en gjennomgang av alle de tilgjengelige rapportene hvor det ble gjort en systematisk siling, slik at kun hensiktsmessige data var tilgjengelig videre.

Følgende kriterium ble satt for at data skulle vurderes som hensiktsmessig:

- De måtte være direkte knyttet til infrastruktur.
- Det måtte være hendelser der fornyelsesaktiviteter kan forventes å ha en positiv effekt.

Alle hendelser som ikke kunne knyttes til feil i infrastruktur ble fjernet, da disse hendelsene ikke var relevante for casestudiet.

### Hendelseslogg

Tabell 5.7: Forberedelse data hendelseslogg

Rapportnavn	Data fjernet	Årsak	Ant. registreringer
HL 07102013	Feil på materiell	Ikke relevant til infrastruktur	11
HL 07102013	Teknisk testing/ kontroll	Kontroll i forbindelse med sikkerhetsfunksjoner	1
HL 07102013	Uryddig platform/ stasjon	Ikke relevant til infrastruktur	1
HL 07102013	Heis	Ikke relevant	1
	Ulovlig handling bråk/ hærverk	Ikke relevant til infrastruktur	3

Etter fjerning av hendelser som beskrevet i Tabell 5.7 er det i Hendelseslogg igjen 492 hendelser. For disse hendelsene er det en forventning om at det er registret AKV eller i UKV i Banedata.



## Synergi

Tabell 5.8: Forberedelse data Synergi

Synergi 0710 2013	Uønsket hendelse driftsatt jernbane tilstand	Mye snø/ glatt	17
Synergi 0710 2013	Kvalitet	Saken behandles av kundesenter	5
Synergi 0710 2013	Uønsket hendelse driftsatt jernbane tilstand	Manglende avstandsmerke	1
Synergi 0710 2013	Uønsket hendelse driftsatt jernbane tilstand	Operasjonsfeil GSM-R	2
Synergi 0710 2013	Uønsket hendelse Driftsatt jernbane Tiløp	Brudd prosedyre ved skifting	2
Synergi 0710 2013	Uønsket hendelse driftsatt jernbane tilstand	Fører kommer til feil togleder	1
Synergi 0710 2013	Uønsket hendelse driftsatt jernbane tilstand	Mulig feil passering av signal	2
Synergi 0710 2013	Uønsket hendelse driftsatt jernbane tilstand	Diverse togframføring/ skilt saktekjøring/ ruteorder	24

Etter fjerning av hendelser som beskrevet i Synergi

Tabell 5.8 er det i synergirapporten igjen 411 hendelser.

Rapportene som ble gjennomgått var Synergi og Hendelseslogg. Dette på grunn av at dataene ikke var filtrert i uttrekket fra kildedatabasen. Rapportene fra TIOS og Banedata ble filtrert

allerede når man bestemte parameterne for rapportgenereringen. En annen effekt av å gjennomgå rapportene for Hendelseslogg og Synergi såpass grundig, var den økte kjennskapen til de registreringene som var lagt inn.

## 5.6.2 Dataanalyse

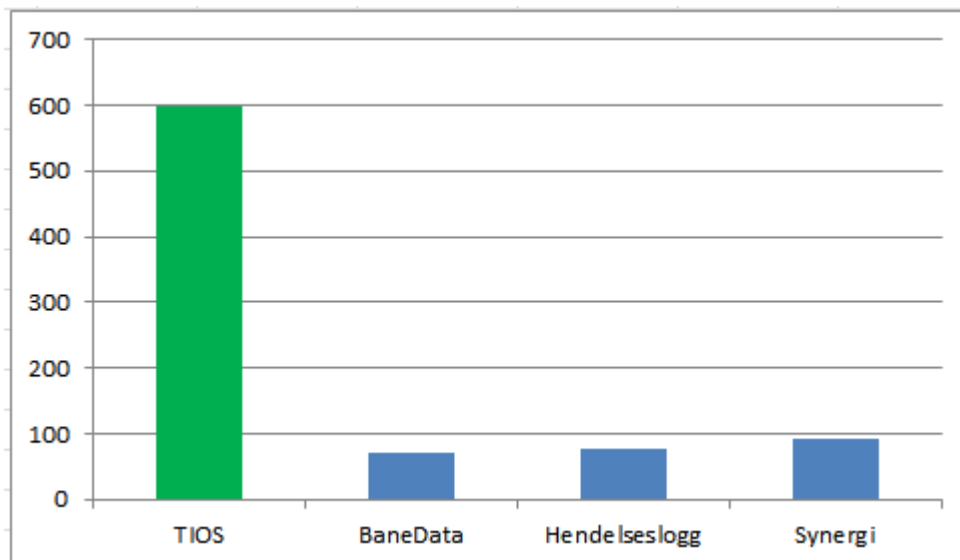
Hensikten i dette underkapittelet er å gjennomføre en analyse av de nå tilgjengelige dataene for å kartlegge hendelser der flere fag var involvert.

Siden hensikten med dataanalysen er å finne feilsituasjoner der flere fag er involvert, var det hensiktsmessig å generere en rapport som beskriver forsinkelse pr. tog på Hamar og Fåberg i 2013, se Figur 5.3, som et førende utgangspunkt. Formålet var å analysere årsaken til hver enkelt togforsinkelse. Dette ble gjort ved systematisk å se på hver enkelt forsinkelse registrert i TIOS, for så å se hva som var registrert i Banedata, Synergi og hendelseslogg.

Fra dato:	01.01.2013	Til dato:	31.12.2013
Tognummer:	Alle		
Stasjonkode(r):	FÅB, HMR		
HL-ID:	Alle		
Forårsakende tognr:	Alle		
Årsakskode(r):	1, 2, 3, 4, 5, 6, 92		
Ta med assosiert tog:	Ja		
Innstilt:	Nei	Forsinkelse:	4
Togselskap:	Alle		

Figur 5.3: Forsinkelse pr, tog 0710, 2013

Arbeidet ble systematisert slik at for hver hendelse i TIOS, der tog var forsinket, ble registreringene i Banedata, Synergi og Hendelseslogg gjennomgått. Metoden ble å gi de ulike årsakskodene en unik farge for å så sortere registreringene på dato. I Banedata ble de 2 påfølgende datoer også tatt med siden det her så ut til at noen av de korrektive arbeidsordrene var registrert en dag eller to etter selve hendelsen. Selv med denne metodikken var det vanskelig å se helt klare knytninger mellom det forsinkede tog i TIOS, og de tiltakene som var gjort. For enkelte av hendelsene i TIOS var det i Hendelseslogg og Synergi gjort flere registreringer som kunne knyttes til en og samme hendelse i TIOS. Figur 5.4 viser hvor mange av hendelsene i TIOS det med stor sikkerhet kan sies at det er gjort korresponderende registreringer i de øvrige systemer.



Figur 5.4: Totalt antall registreringer samt registreringer som kan knyttes til TIOS

Det er en svakhet at registreringer i HL ikke kommer inn i Banedata. Et eksempel på dette er HL 62983 - begynnende telehiv km 143,2, hvor det ikke er mulig og finne mere informasjon i Banedata.

Dette fører til at det er en god oversikt for hver enkelt togforsinkelse, men det er ikke mulig å finne mer detaljer for hendelsen enn årsakskode. Dette gjør det umulig å finne den faktiske årsaken til at det har oppstått forsinkelser.

Dette gjør det også vanskelig å finne hvor mange tog som er rammet av en enkelt feil, og hva den faktiske konsekvensen av feilen blir.

Det som utpekte seg særskilt under gjennomgangen av dataene, var at de etablerte saktekjøringene er de vesentligste årsakene til forsinkelser, det er med andre ord ikke enkelt hendelser som oppstår, men saktekjøringene i etterkant som er årsakene.

Signal er bakgrunn for 452 av hendelsene og 57:58 av forsinkelsestimene. Ut fra registreringene både i TIOS og Banedata, er det ikke mulig og kategorisere feilene, da de er av ulik karakter.

Innenfor elkraft er det registrert totalt 161 hendelser med totalt 48:12 forsinkelsestimer. Disse kan kategoriseres slik:

- 0:42 timer skyldes avgravd kabel
- 4:06 timer skyldes feil på isolator
- 5:14 timer skyldes lav spenning
- 13:23 timer skyldes feil på kontaktledning eller bæreline
- 24:47 timer er hendelser som ikke lar seg kategorisere

Tele- og transmisjonsfeil kan kategoriseres slik:

- 6:58 timer knyttet til hendelser med GSMR-feil
- For de resterende hendelsene er det ikke mulig og finne informasjon om årsak, men de er også begrenset til 59 minutter.

Feilårsak 6; som gjelder *materiell med feil* som sperrer spor, er ikke vurdert i denne sammenheng, da det her er andre tiltak enn vedlikehold eller fornyelse av infrastruktur som må gjennomføres.

Feilårsak 92; Ytre forhold er knyttet til totalt 177 av hendelsene og totalt 57:56 forsinkelsestimer. Disse er mest hensiktsmessig å se i sammenheng med feilårsak 1, da de i hovedsak skyldes vann som ikke kan håndteres med etablert dreosanlegg.

I Synergi kunne man tydelig se at det var gjort flere registreringer for samme feil, dvs. at man kunne finne mange registreringer i Synergi som beskrev de samme forholdene. Et eksempel på dette, er at man for mange påfølgende tog kunne ha registrering om en og samme feil i spor. Dette viser at Synergi blir brukt slik det er tenkt og at sammenhengen mellom Hendelseslogg og Synergi ser ut til å fungere.

Som Figur 5.4 viser, er det svært få av de registrerte hendelsene i TIOS som har tilknyttet informasjon om hvilke tiltak som er gjort, i form av registrering i Banedata. Dette ble et for lite dataunderlag til å jobbe videre med. For å komme videre med oppgaven, måtte det benyttes informasjon fra kommentarfeltet i TIOS. Dette ble gjort for de hendelser hvor det ikke var gjort registrering i andre systemer.

Forventingen om at man på mange av hendelsene der tog var forsinket, skulle finne informasjon fra flere fag i Banedata ble ikke innfridd. Ved gjennomgang av de registrerte hendelsene i TIOS, var det godt synlig at etablerte saktekjøringer var en stor bidragsyter til

forsinkelse på det enkelte tog. Ut fra den tilgjengelige informasjonen er det ikke lett å se nøyaktig hvor mange av forsinkelsestimerne for 2013 som skyldes saktekjøringer. Dette skyldes at det for mange av hendelsene i TIOS ikke er mulig å finne noe informasjon, hverken i kommentarfelt eller andre systemer.

For å unngå synsing, ble det for den enkelte årsakskode filtrert ut de hendelsene som helt klart skyldtes saktekjøring. Totalt 283,5 forsinkelsestimer kan tydelig knyttes til etablerte saktekjøringer.

Ut fra datagrunnlaget, spesielt TIOS, var det ingen tvil om at alle saktekjøringene ble registrert med årsakskode 1. Det som nå ble interessant var å finne bakgrunnen til de ulike saktekjøringene. Dette ble gjort ved å benytte T-sirkulære for hele 2013. I arbeidet med å fremskaffe disse T-sirkulærene fremkom det at det allerede var gjort en systematisering av dette som kunne benyttes som underlag.

Etter å ha fått tilgang til dokumentet Strekningsvis fornyelsesplan, banesjef DBS, 2014 (Jernbaneverket, 2015h), var det mulig å si noe om de bakenforliggende årsakene til de enkelte saktekjøringene. Siden strekningen 0710 nå, etter omorganisering 1. april 2014, er definert som strekningen (Hamar) – Fåberg måtte dette også endres i dokumentet. I 2013 var strekningen 0710 definert til og med Lillehammer. Videre manglet det registrering av KL feil som ble lagt inn.

Tabell 5.9: Saktekjøringer fordelt på årsak

Strekning 0710 (Hamar) - Lillehammer		2008	2009	2013	Totalt
A	Dårlig sikt ved plo	50	52	0	102
B	Ujevn skinnegang	0	0	9	9
C	Ras/Rasfare	1	0	0	1
D	Sporutvidelse	0	0	0	0
E	Solslyng	2	12	9	23
F	Dårlig spor	0	0	0	0
G	Ujevnt spor	22	1	94	117
H	Skinnebytte (og nøytralisering)	13	0	0	13
I	Arbeider ilved spor(veksler)	0	0	11	11
J	Sporvekslerarbeid	0	0	0	0
K	Fare for utglidning	0	0	0	0
L	Sig i sporet	0	0	0	0
M	Ujustert spor	4	0	0	4
N	Ustabil spor (etter avsporing)	0	0	0	0
O	Svillebytte/Vaskesville	22	12	17	51
P	Tømmerkjøring over sporet	0	0	0	0
Q	Skinnefeil	0	42	0	42
R	Feil i sporveksel	0	0	0	0
S	Store vannmengder på sporet/vannføring	0	1	11	12
T	Slag/sleng i sporet	0	0	0	0
U	Massebytte	0	0	1	1
V	Nøytralisering/sveising	0	0	0	0
W	Bytte/Innlegge betongtau, kulvert. Fjerne stålbru	0	0	0	0
X	Bytte/innlegge ny stikkrenne	0	3	3	6
Y	Feil ved kryss i sporvei	0	7	15	22
Z	Klaveløst sporveksel	0	0	0	0
Æ	Slitte/dårlige skinner	0	6	0	6
Ø	Kort avstand mellom signaler og skilt	0	0	0	0
Å	Is i sporet	0	0	0	0
A2	Telehiv	0	0	67	67
B2	Pil høydefeil	0	0	0	0
D2	KL	0	0	6	6
<b>Totalt</b>		<b>114</b>	<b>136</b>	<b>243</b>	<b>487</b>

Som Tabell 5.9 viser, er det antall saktekjøringer pr. årsak som er kartlagt. Dette er i realiteten en svakhet, da en saktekjøring vil ha ulik effekt ut fra hvor på strekningen den er plassert, samt hvor mye kjørehastigheten er redusert. Det kan teoretisk være mulig og også ta hensyn til disse to faktorene, men det vil komplisere analysearbeidet veldig. Operativt er det allikevel slik at det til enhver tid gjøres en vurdering av hvilke saktekjøringer som er viktigst å fjerne, utfra de to overnevnte kriterier.

For å komme videre med de dataene som var tilgjengelige, ble det nå gjort en vurdering av korrektive hendelser som var registrert i Banedata. Hver registrering ble vurdert om den kunne ha en knytning til en av saktekjøringene. Bakgrunn for vurderingen var beskrivelsen på arbeidsordren og dato den var registrert, for så se om det var etablert saktekjøring med korresponderende informasjon.

En gjennomgang av årsakene til saktekjøringene, viser at det er linjerelaterte feil som er kilden til saktekjøringer. Kun 1 saktekjøring skyldtes elkraft.

Ut fra analysen i casestudiet, ser man at det er saktekjøringer forårsaket linjefaget som gir den største reduksjonen i oppetiden.

Ved planlegging av fornyelsesaktiviteter må også infrastrukturens resterende levetid avklares. Det er for banestrekningen 0710, igangsatt planarbeid for bygging av ny infrastruktur. Dette betyr i mange tilfeller at etablert infrastruktur ikke kan gjenbrukes. Dette er noe man må ta hensyn til ved planlegging av fornyelsesaktiviteter. Hva er riktig nivå på fornyelsestiltakene som skal gjennomføres? Dette er ofte krevende, da etablerte standarder bygger på at infrastrukturen skal leve i et gitt antall år. Typisk skal en bru eller tunnel ha en levetid på opp mot hundre år. Det er da krevende å velge hvilket nivå som er riktig for en tunnel som eksempelvis har en restlevetid på 15 år, mens det i dag er behov for tiltak som følge av nedfall av stein eller store problemer med iskjøving. Dette er en typisk problemstilling for mange av fornyelsestiltakene på banestrekning 0710, og konkrete eksempler er planlagte tiltak i Furubergtunnelen og Bergsengtunnelen. Furubergtunnelen ligger mellom Hamar og Brumunddal og vil ikke være i bruk etter at jernbanetraséen til Brumunddal er bygget. Furubergtunnelen har etter dagens Nasjonale Transport Plan (NTP) en levetid frem til 2020-2025. Bergsengtunnelen ligger mellom Brumunddal og Lillehammer, og levetiden avhenger av når ny infrastruktur til Lillehammer tas i bruk. For Bergsengtunnelen er det mere usikkert da fremdriften for denne strekingen ikke er klarlagt, men det ligger føringer om at denne skal dekkes i neste NTP.

Man står her ovenfor to scenarier:

1. At fornyelsestiltak blir for små og enkle, slik at man på slutten av banestrekningens levetid får problemer med å levere de ytelsene som kreves.
2. At tiltakene blir for omfattende og at restlevetiden er lang etter at infrastrukturen tas ut av bruk. Dette vil i så fall være en feil prioritering, da disse midlene burde vært prioritert til strekninger som har lengre restlevetid.

Dette er på mange måter en ny problemstilling, da man for de fleste jernbanestrekninger tidligere har hatt en forventet levetid som er svært lang.

Som beskrevet i metodekapittelet, er det viktig å være klar over selve håndteringen av innsamlede dataene og riktigheten i de data som er tilgjengelige. Det var nettopp dette som gjorde casestudiet mer sårbart enn forventet. Antall registreringer i vedlikeholdssystemet

Banedata sto ikke i samsvar med antall hendelser med forsinkede tog i TIOS. Siden denne utfordringen ble tydelig under arbeidet med selve dataanalysen, ble det gjort nye søk på Banedata for å se hvordan dette faktisk skulle håndteres. Det som da fremkom, var at det i løpet av 2014 var gjort et betydelig forbedringsarbeid for å heve kvaliteten på informasjon i Banedata. Blant annet ble det funnet et dokument «201502 Feilrapport Banedatasknytning til HL» (Jernbaneverket, 2015f). Dette dokumentet viser at det er blitt et langt større fokus på knytningen mellom Hendelseslogg og Banedata. Det ble derfor interessant å gjøre et tilsvarende uttrekk for Q1 2015. Dette ble ikke representativt for alle typer hendelser gjennom ett helt år, men det kunne si noe om metoden som ble benyttet i casestudiet faktisk kunne benyttes i senere tilsvarende analyse som er gjort i denne oppgaven.



### 5.6.3 Videre arbeid med casestudiet

Siden fokuset på oppetid og registreringer i Banedata ikke ga den oversikten som ønsket, ble det interessant å gjøre en vurdering av andre parametere som kunne legges til grunn for den aktuelle strekningen.

#### K-Tall – for spor

Fra strekningsvis fornyelsesplan (Jernbaneverket, 2015h) var det enkelt å finne K-tallet for den enkelte delstrekning. Dette er gjengitt i vedlegg 6. Som dette vedlegget viser, er K-tallet for enkelte deler av strekningen lavt, og ved planlegging av videre fornyelse må de bakenforliggende årsaker til dette kartlegges.

#### Alder

Det ble også interessant å se på hva som fantes av dokumentasjon på alder for de ulike komponenter i infrastrukturen, siden dette er en parameter som blir tillagt stor vekt ved prioritering av fornyelsesaktiviteter.

Tabell 5.10: Antall komponenter sortert på årstall, 0710

Oppgitt per tiår:	
Årsperiode	Antall:
Før 1900	25
1900-1950	58
1950	211
1960	315
1970	259
1980	103
1990	486
2000	611
2010	1003
<b>Ukjent</b>	<b>11255</b>

Som tabell Tabell 5.10 viser, er det mange komponenter i anleggsregisteret som ikke har registrert alder. En del av disse er ikke veldig relevante i forhold til fornyelse, men det er helt

tydelig en del komponenter som burde hatt alder registrert. Dette ville vært til nytte i prioritering av fornyelsesaktiviteter.

**Tabell 5.11: Alder pr. fag & tiår 1950 og nyere**

Fagkode:	EH	EL	KO	KU	SA	TE	Sum
Alder\Fag	Elkraft	Lavspent	Overbygning	Underbygning	Signal	Tele	
1950	0	0	24	187	0	0	211
1960	84	3	57	115	56	0	315
1970	0	0	151	108	0	0	259
1980	0	0	77	26	0	0	103
1990	182	2	268	17	16	1	486
2000	88	0	476	15	3	29	611
2010	75	212	333	125	42	216	1003
Uten data	4362	318	3213	696	1956	627	11172

Ut fra Tabell 5.11 kan det synes som at registreringen i Banedata har fått et større og større fokus. Siden det er 21,6 % av alle komponenter som har registrert dato, er det ikke umiddelbart mulig å trekke en slutning om infrastrukturens faktiske alder.

### **Status Banedata Q1 2015**

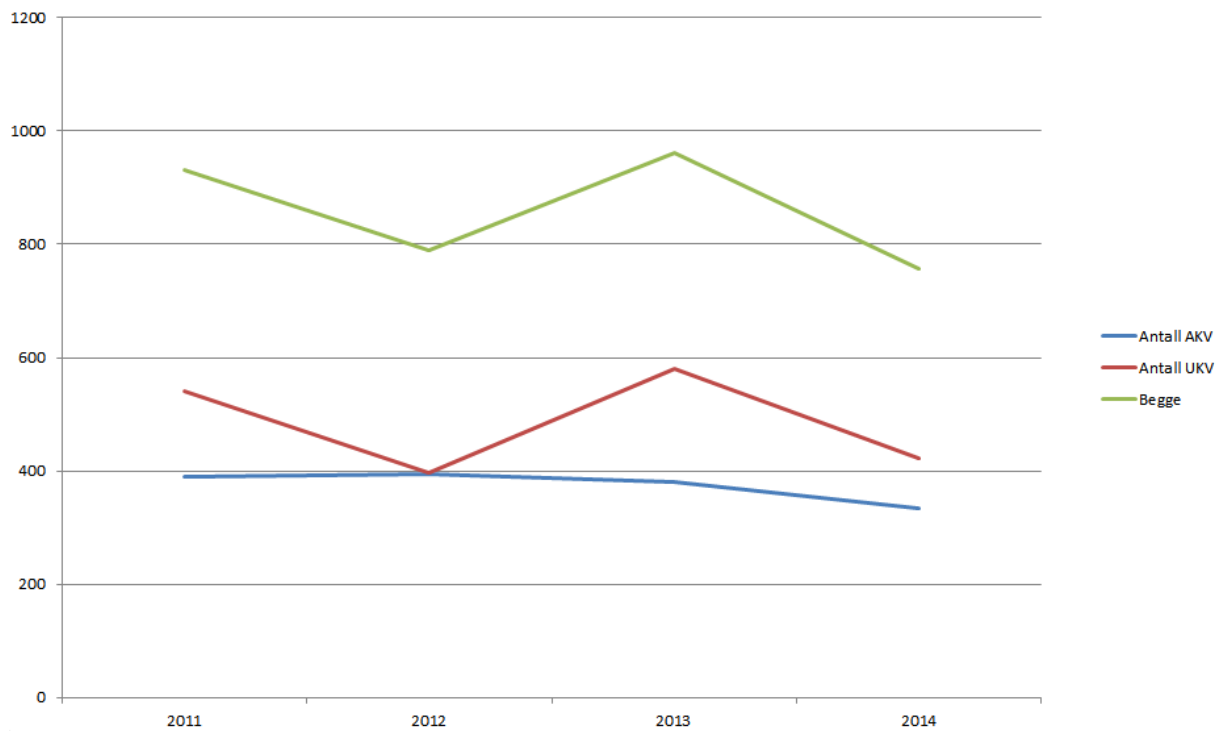
Både fra arbeid med casestudiet og fra de kartleggingene som var gjort i forbindelse med teoridelen, var det grunn til å tro at kvaliteten på registreringene i Banedata hadde økt. Det var derfor ønskelig å se hva som var den faktiske status for Q1 2015. Det ble gjort samme spørring i Banedata som beskrevet i vedlegg 9, bare at nå dekket søket frem til og med Q1 2015.

Dette søket viste at det for Q1 2015 var gjort 128 registreringer av Korrektive AO, mens det for Q1 2013 var gjort 135 registreringer.

### **Utvikling over flere år**

Det var generelt interessant å se hvordan utviklingen av feil på banestrekningen hadde vært gjennom flere år. Figur 5.5 viser hvordan denne utviklingen har vært. Hva som er årsaken til at antall feil har gått ned er vanskelig å konkretisere, men det har på banestrekningen vært gjort omfattende prosjekter med bytte av kabler og fornyelse på signalanlegg, samt store

utbedringer på dreosanlegg. Det er grunn til og tro at det er effekten av dette som synliggjøres i færre feil.



Figur 5.5: Utvikling av feil på 0710



## 6 Diskusjon

Etter å ha jobbet gjennom oppgaven, er det ingen tvil om at oppetid er en vesentlig parameter for å måle infrastrukturens faktiske ytelse. Det ble enda tydeligere da dette er den eneste etablerte måleparametere som dekker den totale ytelsen, uavhengig av fag og type togtrafikk. Det er også en godt etablert standard for registrering i TIOS. Det er grunn til å tro at disse registreringene er representative for de faktiske forhold, selv om det selvfølgelig skjer registreringer som burde hatt en annen årsakskode. Det som ble klart under gjennomgangen av materialet er at koblingen mellom Banedata og Hendelseslogg kunne vært bedre. Det hadde da vært enklere å se årsaken til at oppetiden er redusert som følge av feil i infrastrukturen,

Det kunne vært veldig interessant og gjort en fordypning i enkelte anlegg for å se på MTTF på ulike komponenter. Det burde også vært gjort en vurdering av MDT. Dette kunne dannet et godt underlag for oppstart av nye fornyelsesprosjekter, slik at man kunne gjort forbedringer ved valg av komponenter og tilgang til anleggene. MDT er spesiell for jernbane, da mange anlegg kan ha vanskelig adkomst i praksis, selv om de er raske å reparere. Eneste mulighet til å få gjort en slik analyse i dag, måtte være å overvåke aktiviteten på enkelt komponenter over lengere tid, da Banedata dessverre er for mangelfullt til å finne detaljer om dette. Som følge av dette oppleves det som om alder og slitasje legges til grunn for prioritering av fornyelsesaktiviteter. Så lenge dette gjøres av personer som har god kunnskap om de enkelte anlegg, er ikke dette nødvendigvis feil. Allikevel kunne det vært en fordel og hatt mere bakgrunnsdata for de som skal prioritere vedlikeholdet/fornyelsen.

Det var en forventning om at erfaringene fra flomprosjektet skulle være bedre representert i datasettet. Der var, for svært mange av skadepunktene, flere fag involvert for utbedring, og ikke minst kontroll av «sine» systemer. Denne sammenhengen var ikke åpenbar med det underlaget som ble brukt i oppgaven.

K-tall ble ikke analysert i detalj i case studiet, men det var veldig nyttig å bli bedre kjent med hva denne parameteren sier og ikke sier. Det har gitt en bevisstgjøring av hva denne parameteren kan benyttes til. Slik som nevnt tidligere i oppgaven, vil ikke K-tallet kunne være en avgjørende faktor for prioritering av fornyelse, men man må også se på hvilken effekt de ulike feil har på den opplevde ytelsen for togproduksjon. I teknisk regelverk er det beskrevet K-tall for kontaktlednings anlegg og sporkvalitet, men ikke for signalfaget. For å gjøre en vurdering av hvilken effekt K-tallet vil ha, må det gjøres en analyse på så detaljert nivå som mulig. Målevogn rapporten har en oppløsning pr. km og man kan med denne finne det

avgrensede området for hvor feilen(e) ligger. Det mest hensiktsmessige vil være om dette gjøres av folk med lokalkunnskap på den aktuelle banestrekningen. Informasjon fra Banedata kan si noe om det er spesielle objekter på strekningen, og om det er registrert arbeidsordre som kan gi mer informasjon.

Et stort fokus på K-tall kan være risikabelt. Dette kan gi for stort fokus på å rette mindre avvik som kan gjøres med mindre tiltak, men ha samme effekt på K-tallet som å rette større feil som krever større tiltak. For å utbedre feilene på en gitt strekning, må man uansett vurdere de bakenforliggende årsakene. Der vil sikkerhet alltid veie høyest for prioritering av tiltak.

Ved prioritering av fornyelsesaktiviteter og gjennomføring av disse, er det også viktig å se på sportilgang som en av ressursene som skal til. Dette fokuset øker etter hvert som togproduksjon øker, samtidig som aktivitetene på fornyelse øker.

Ut fra analysen i casestudiet ser man at det er saktekjøringer forårsaket av linjefaget som gir den største reduksjonen i oppetiden. Dette samsvarer også med at «det er tyngre sporvedlikehold som innehar de største kostnadene» (Robinson og Kapoor, 2009, s27). Dette er vedlikehold som ikke er gjennomført på store deler av strekningen. Det er spesielt rens av ballastpukk, som bør vurderes for å øke sporkvaliteten. Dette vil gi optimale egenskaper til ballasten med god elastisitet og drenssegenskaper. Det vil samtidig bli gjennomført sporoptimalisering og nøytralisering, noe som vil ha stor positiv effekt for å forhindre solslyng.

Det er grunn til å tro at en stor andel av hendelsene i TIOS som mangler årsaksbeskrivelse, også skyldes saktekjøringer. Videre er mange av forsinkelsene begrunnet med at kryssinger har gitt forsinkelser. Årsaken til at kryssinger gir forsinkelser, er ofte at kjøretiden til et eller begge tog er lengre enn det som er oppsatt i kjøreplan. Dette er hendelser som det vil være vanskelig å knytte til Banedata, selv om det teoretisk vil være mulig å knytte disse til den AO som faktisk utløste saktekjøringen. Det er også en del fornyelsesaktiviteter som genererer saktekjøringer. Disse er ikke pr. i dag registret som AO i Banedata. Det er kanskje noe som bør vurderes.

Denne oppgaven har ikke tatt for seg nye jernbanestrekninger som bygges i dag, men det kunne vært veldig interessant og gjort en vurdering av fremtidig fornyelsesbehov på disse strekningene. Spesielt med tanke på at det nå tas i bruk mye mer programvarebaserte styringssystemer. Det er grunn til og tro at disse har en kortere levetid enn de konvensjonelle

relébaserte styringssystemene som er benyttet på eldre baner. Spesielt kunne en slik analyse vært interessant for signalfaget, og for andre styringer og overvåkningsanlegg.

Som følge av nye krav til infrastruktur og endringer som skjer i togproduksjon, eks. hyppigere togavganger og større trekkraft, er det viktig å påpeke at det fremover vil kreves store tiltak både innenfor signal og elkraft. Men slik det kan se ut fra resultatene i dataanalysen, er mye av dette begrunnet i nye krav og nødvendigvis ikke at anleggene har så mye feil.

Under hele arbeidet med case studiet, lå det i underbevisstheten «Hvor pålitelig er de ulike data». Spesielt ved gjennomgang av registreringene i Synergi, var det påfallende lik tekst som i Hendelseslogg. Ut fra dette kan man stille spørsmålet om registreringene i Synergi skjer av alle som jobber innenfor Jernbaneverket, eller om hovedtyngden av registreringene kommer fra togledelsen.





## 7 Konklusjon

Slik det fremgår i delkapittelet dataanalyse, som ble gjennomført som en del av casestudiet, er det ikke tilstrekkelig med data tilgjengelig til å utføre en analyse slik som forutsatt. Dette er data som må hentes fra et loggførings-/vedlikeholdssystem, der man over tid har opparbeidet en større mengde data. Det kunne alternativt vært gjort et grundigere intervju av relevant personell. Dette ble vurdert, men å basere en slik analyse på intervju, vil ikke være en riktig metode, da hensikten med oppgaven var å finne en systematisk metode for å beskrive årsaken til redusert oppetid.

Det ble underveis i dataanalysen, gjort en refleksjon på hvorfor det var så få av hendelsene i TIOS som kunne knyttes til registreringer i Banedata. Årsaken til dette er at mange av forsinkelsene skyldes saktekjøringer av tidligere utførte tiltak og i forkant av utbedringer. Det var ikke mulig å finne noen tydelig sammenheng mellom utsatt korrektivt vedlikehold og redusert oppetid. Fornyelsesaktiviteter er heller ikke beskrevet i Banedata på en måte som er tilstrekkelig til å kunne analysere effekten i for- og etterkant.

Det var en forventning om at man på flere av hendelsene skulle finne flere registreringer i Banedata som følge av at flere fag var involvert i feilrettingen. Dette var ikke mulig å bevise i dataanalysen.

Feil som legges til linjefaget, er hovedbidraget til «planlagte» saktekjøringer som blir stående over tid. Linjefaget har også flere akutte feil, slik som skinnebrudd og solslyng.

De øvrige fagene har i hovedsak akutte feil. Dette er feil som gir større eller mindre forsinkelser inntil de er rettet, men det er kun unntaksvis at de forårsaker stående saktekjøringer over tid.

Saktekjøringer som kan se ut til å være en meget stor bidragsyter til redusert oppetid, er i all hovedsak, slik materiellet beviser, knyttet til linjefaget.

Det ser ut til at det er årsakskode 1 - linjefaget det er enklest å finne bevis på at det «lønner seg» å gjøre fornyelse. Med dette vil man redusere antall saktekjøringer, som beviselig er en konkret årsak til at oppetiden reduseres. Totalt var saktekjøringer årsak til 3366 hendelser der tog er forsinket, og totalt 274:44 [tt:mm] forsinkelsestimer. I tillegg kommer hendelsene registrert med årsakskode 92 – Ytre forhold, totalt 177 hendelser og 57:56 forsinkelsestimer.

Som man ser ut av Tabell 5.9, så kan til sammen 94+11+67 av saktekjøringene relateres til ballast, underbygning og dreosanlegg. Det er derfor grunn til å tro at om man gjør tiltak innenfor disse områdene, vil både hendelsene knyttet til linjefaget og ytre forhold kunne reduseres. Det er en utfordring med dataunderlaget at hele 2283 registrerte hendelser på årsaks kode 1, linjefaget i TIOS ikke har tilknyttet mer informasjon enn at det aktuelle toget er forsinket. Totalt er det 189:48 forsinkelses timer registrert på årsakskode 1, som ikke kan analyseres videre som følge av manglende informasjon om årsak.

Som følge av nye krav til infrastruktur og endringer som skjer i togproduksjon, eks. hyppigere togavganger og større trekkraft, er det viktig å påpeke at det fremover vil kreves store tiltak både innenfor signal og elkraft. Dette er begrunnet i nye krav og utdatert teknologi, ikke nødvendigvis at anleggene har så mye feil med hensyn til effekten på infrastrukturens oppetid.

Det er i oppgaven kanskje lagt for stor vekt på bruk av oppetid som kriterium for å prioritere fornyelse. Hensikten var at resultatene fra evalueringen skal være en del av underlaget til en fornyelsesplan. Det finnes også mange andre kriterier, slik som anleggets beskaffenhet i forhold til gjeldende regelverk, tilgang til reservedeler etc. For eksempel kan ikke fornyelse av bruer skje på bakgrunn av oppetid. Her må det til en egen langsiktig plan for å ivareta bruer som også er en del av en total fornyelsesplan.

Som det fremgår av casestudie del 2, er oppetiden som følge av feil i infrastrukturen lavere enn det som forventes av Jernbaneverket sin leveranse. Så lenge oppetiden er lavere enn målet, vil dette være en viktig parameter i prioriteringen av fornyelsesaktiviteter.

Slik det ser ut i oppgaven, ville det vært stor nytte av om UKV også ble knyttet til Hendelseslogg. Det ser ut til å være mange UKV som beskriver eksempelvis sporfeil, men effekten av disse er ikke knyttet opp mot den faktiske innvirkningen på oppetiden.

## 8 Videre arbeid:

Dette kapitlet gir noen forslag til videre arbeid for å gjøre det enda enklere å finne de bakenforliggende årsakene til redusert oppetid, for så kunne vurdere hvilke tiltak som må gjøres.

- Fordype seg i de enkelte feilene som forårsaker driftsavik. Det ville være veldig interessant å se grundigere på de bakenforliggende årsakene til feilene som gir redusert oppetid. En slik analyse vil gi enda bedre beskrivelse for hvilke tiltak som må gjøres for å øke oppetiden. I en slik analyse ville det vært viktig og sett på tverrfagligheten til de bakenforliggende årsakene. Det ville i en slik analyse være interessant å finne sviktintensiteten til de ulike komponenter for å gjøre enda bedre og målrettede tiltak.
- I slutten av arbeidet med oppgaven innførte Jernbaneverket et nytt system for bekjentgjøring av ruteordere. Dette heter FIDO og er elektronisk basert, i videre arbeid kunne det vært interessant og se hvilken effekt dette har på oppetid da varsling om skatekjøring nå i prinsipp er mere dynamisk en tidligere.



## 9 Kilder

- Holme, M. og Solvang, B. 1996. *Metodevalg og metodebruk*, Utgitt: Oslo, TANO forlag
- Jernbaneverket, 2014a. *Instruks for styring av akutt korrektivt vedlikehold*, Banenett (JBVs intranett), besøkt 5. desember 2014
- Jernbaneverket, 2014b. Begreps og rolledefinisjoner, Banenett (JBVs intranett), besøkt 3. november 2014
- Jernbaneverket, 2015a. *Prosjektrapport 3 I\_230614*, Banenett (JBVs intranett), besøkt 4. april 2015
- Jernbaneverket, 2015b. *Teknisk regelverk 532*, Jernbaneverket.no, besøkt 4. april 2015
- Jernbaneverket, 2015c. *Læreplan utdanning av togledere STY-602889*, Banenett (JBVs intranett), besøkt 10. april 2014
- Jernbaneverket, 2015d. *Bruerveiledning Banedata*, Banenett (JBVs intranett), besøkt 2. april 2015
- Jernbaneverket, 2015e. Instruks for føring av hendelseslogg STY 602927. Banenett (JBVs intranett), besøkt 6. januar 2015
- Jernbaneverket, 2015f. *201502 Feilrapport Banedataknytning til HL*, Banenett (JBVs intranett), besøkt 15. mars 2015
- Jernbaneverket, 2015g. *Virksomhetsplan RDGB*
- Jernbaneverket, 2015h. *Strekningsvis fornyelsesplan*, banesjef DBS, 2014
- Jernbaneverket, 2015i. *Håndbok for vedlikehold STY-601058*, Banenett, 2. april 2015
- Killi, H. M., 2015. *Personlig samtale om K-tall*, 30. mars 2015
- Korsgård, S. 2013. *Prosjektstyringsdokument for Flom 2013*
- Lassen T., 1999. *Pålitelighetsbasert vedlikehold. Statistiske metoder og levetidsmodeller*, undervisningsnotat fra emne MF2610 Pålitelighetsbasert vedlikehold, Høgskolen i Agder, 1999
- Lassen T., 2000. *Pålitelighetsbasert vedlikehold. Logiske analyser og planlegging*, undervisningsnotat fra emne MF2610 Pålitelighetsbasert vedlikehold, Høgskolen i Agder, 1999
- Roald L.A., 2015. *Flommen på Østlandet i mai 2013*, ISBN 978-82-410-1068-2, NVE

- Robinson M. og Kapoor A., 2009. *Fatigue in railway infrastructure*, Utgitt: Newcastle: Woodhead Publishing Limited
- Urdahl, T. 2013. *Rapport flom Dovrebanen pr august 2013*
- Vatn J., 2013a. *TU-Graz modellen*, undervisningsnotat fra emne PK6024 Sikkerhet og vedlikeholdsstyring, NTNU, 2013
- Vatn J., 2013b. *Instruks for lokal tilpasning*, undervisningsnotat fra emne PK6024 Sikkerhet og vedlikeholdsstyring, NTNU, 2013
- Vatn J., 2013c. *Instruks for RCM analyse*, undervisningsnotat fra emne PK6024 Sikkerhet og vedlikeholdsstyring, NTNU, 2013
- Veiseth M., 2013. *Punktlighet i Jernbanedrift*, undervisningsnotat fra emne BA6055 Punktlighet og kapasitet, NTNU, 2013

## Oppgavens vedlegg:

- Vedlegg 1 Oppgavetekst
- Vedlegg 2 Økonomioversikt flomprosjektet
- Vedlegg 3 Beskrivelse K-Tall
- Vedlegg 4 Cara feiltre
- Vedlegg 5 TIOS rapport for oppetid
- Vedlegg 6 K-tall banestrekning 0710
- Vedlegg 7 Litteratursøk
- Vedlegg 8 Dataprogram
- Vedlegg 9 Spørring Banaedata





## Vedlegg 1: Oppgavetekst

NTNU  
Norges teknisk-naturvitenskapelige  
universitet

Fakultet for ingeniørvitenskap  
og teknologi  
Institutt for bygg, anlegg og transport



Faggruppe: Veg, transport og geomatikk

Postadresse  
Høgskoleringen 7A  
7491 Trondheim  
Telefon 73 59 46 40  
Telefax 73 59 70 21

### **BA6903 MASTEROPPGAVE**

HØSTEN 2014 OG VÅREN 2015

for

Stud techn. Sigbjørn Korsgård

### **Hvordan unngå uforutsette driftsavvik**

Hva er årsaken til at oppetiden reduseres og hva kan gjøres av tiltak

#### **Bakgrunn**

Samfunnet setter stadig større krav til pålitelige transportmetoder. Dette gjelder både persontransport og transport av gods. Som følge av dette er kravene til en pålitelig infrastruktur for togframføring stadig skjerpet. Samtidig er det en oppfatning av at etterslep av vedlikehold er en av de store utfordringene for pålitelig togframføring. Med vedlikeholdsetterslep menes forskjellen mellom ønsket og faktisk tilstand på jernbanens infrastruktur.

Jernbaneverket har stort fokus på en pålitelig leveranse til togoperatørene. For å ivareta denne leveransen på eksisterende infrastruktur, er det behov for kontinuerlig vedlikehold og fornyelse. Oppgaven baseres på erfaringen fra prosjektet som ble gjennomført for utbedring av skader etter flommen langs Dovrebanen i 2013. Det ble i flomprosjektet gjennomført mange tiltak på tvers av de ulike jernbanefagene. Det er som bakgrunn for oppgaven, en forventning om at mange av de samme utfordringene også oppstår i ordinær drift, men at konsekvensene er langt mindre.

Innledningsvis skal oppgaven beskrive skadeutbedringene som ble gjort i flomprosjektet, for så se på hendelser i ordinær drift som fører til redusert oppetid.

## Oppgaven

### Beskrivelse av oppgaven

Det er i Jernbaneverket et mål om å forbedre planverktøy for prioritering av fornyelse i eksisterende infrastruktur. Det er mange årsaker til gjennomføring av fornyelsesprosjekter. Denne oppgaven skal kartlegge fornyelsestiltak som vil ha en positiv effekt på opptiden.

På bakgrunn av dette er det behov for en vurdering av årsaken til at opptiden reduseres.

Det er en oppfatning om at hendelser der flere fag er involvert i feilsøking og/eller feilretting, er hendelser som gir stor negativ påvirkning på opptiden.

- Hvordan kan etablerte datasystemer innenfor Jernbaneverket benyttes?
- Hva er årsakene til at opptiden reduseres?

### Målsetting og hensikt

Formålet med oppgaven er å kartlegge hvordan Jernbaneverkets datasystemer kan benyttes for å gi underlag til en langsiktig fornyelsesplan. Videre skal det gjennomføres en casestudie for en representativ banestrekning. I casestudien skal det for den valgte banestrekning gjøres en vurdering av årsaken til redusert opptid og forslag til tiltak.

### Deloppgaver og forskningsspørsmål

Basert på problemstillingen og hensikten med oppgaven er følgende deloppgaver og forskningsspørsmål utarbeidet:

- Kartlegge relevant vedlikeholdsteori
  - Hvordan benytte vedlikeholdsteori for å unngå feil, gitt de tilgjengelige data?
- Hva finnes av tilgjengelige data i Jernbaneverket for å gjøre en vurdering av bakenforliggende årsaker til redusert opptid?
- Casestudie som bruker disse datasystemene
  - Hvordan fremskaffe informasjon om hvorfor opptiden reduseres?
  - Hvilke tiltak er for den valgte strekning hensiktsmessig for å øke opptiden?

### Generelt

Ovenstående tekst er ment som en ramme for kandidatens arbeid. Justeringer vil, om nødvendig, kunne skje underveis, når en ser hvordan arbeidet går. Evt. justeringer må skje i samråd med veileder og faglærer ved instituttet.

Normert arbeidsbelastning for masteroppgaven er 30 studiepoeng som tilsvarer ca. 800 arbeidstimer pr student.

Ved bedømmelsen legges det vekt på grundigheten i bearbeidningen, samt at framstillingen er velredigert, klar, entydig og ryddig uten å være unødig voluminøs.

Besvarelsen skal ha sammendrag, innholdsfortegnelse (med fortegnelse over evt. vedlegg og bilag) og komplett paginering. Alt kildemateriale som ikke er av generell karakter, skal angis slik at man uten problemer kan finne tilbake til kilden. Dette gjelder også opplysninger og informasjon som er gitt muntlig.

Se forøvrig «Råd og retningslinjer for rapportskrivning ved prosjektarbeid og hovedoppgave ved Institutt for bygg- og anleggsteknikk». Dette er retningslinjer for det gamle BA-instituttet, men de gjelder også for Institutt for bygg, anlegg og transport.  
(<http://www.ivt.ntnu.no/bat/undervisning/rapportveiledning.pdf>)

Instituttet vil ha full rett til å bruke resultatene av arbeidet, som om det var utført av en ansatt under den ordinære arbeidsbelastning. Bruk av resultatene til publisering etc. kan bare skje i samarbeid med og etter avtale med faglærer og student (og eventuelt ekstern samarbeidspartner).

**Innleveringsfrist:**

Oppgavebesvarelsen i original (uinnbundet) samt to kopier skal leveres til instituttet innen

**Fredag 14. august 2015 kl. 23:59.**

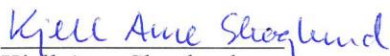
I tillegg skal en elektronisk versjon av oppgavebesvarelsen leveres/sendes til faglæreren.

**Veileder:** Kjell Arne Skoglund, NTNU

**Ekstern kontakt og industriveileder:** Tormod Urdahl, Jernbaneverket

Institutt for bygg, anlegg og transport

Dato: 7. august 2015

  
Kjell Arne Skoglund  
Førsteamanuensis II  
Hovedveileder



## Vedlegg 2: Økonomioversikt flomprosjektet

Årsrapportering - flomprosjektet 2013 (719023)		
Aktivitet	Beskrivelse	Regnskap 31.12.2013
71902300	Flom Dovrebanen 2013 - administrasjon <i>Ressurskostnad</i> <i>Annen kostnad</i>	kr 1 567 150,53
71902301	Flom Dovrebanen 2013 - akutfase <i>Ressurskostnad</i> <i>Materiell - eget</i> <i>Entreprenør</i>	kr 31 887 417,60
71902302	Prosjektering	kr 1 113 828,54
71902303	Ballastpukk	kr 784 420,40
71902304	Pakking	kr 3 908 400,53
71902308	Signal <i>Ressurskostnad</i> <i>Materiell - eget</i> <i>Entreprenør</i>	kr 1 102 318,22
71902309	Elkraft <i>Ressurskostnad</i> <i>Materiell - eget</i> <i>Entreprenør</i>	kr 5 012 718,95
71902330	Eidsvoll-Brumunddal <i>Ressurskostnad</i> <i>Materiell - eget</i> <i>Entreprenør</i>	kr 13 148 474,48
71902340	Brumunddal-Ringebu <i>Ressurskostnad</i> <i>Materiell - eget</i> <i>Entreprenør</i>	kr 36 837 478,01
71902350	Ringebu-Dombås <i>Ressurskostnad</i> <i>Materiell - eget</i> <i>Entreprenør</i>	kr 18 673 173,56
	SUM	kr 114 035 380,82

Årsrapportering - flomprosjektet 2014 (719023)		
Aktivitet	Akt nr	MNOK
Forberedende	600020	27,90179477
Ballastrens	600010	49,610484
Prosjektering	690900	7,95241369
Rassikring	610060	6,657137
Drensanlegg	610020	94,1393252
Overbygging annen (skinner/sviller)	600900	1,035
KL	620900	1
KL - master	620020	4,37723
Annet (adm mm)	690900	11,7086118
SUM		204,3819965



## Vedlegg 3: K-Tall

### K-tall:

Utklipp fra teknisk regelverk 532 – Vedlikehold (Teknisk regelverk 532, Jernbaneverket.no 04.04.2015)

## 5 Sporets kvalitet

### 5.1 Definisjon

Kvalitetstallet (K-tallet) angir hvor stor del av en strekning der samtlige  $\sigma$ -verdier er innenfor toleransene (kvalitetsgrensene).

### 5.2 Toleranser

$\sigma$ -verdiene i Tabell 14 angir grenseverdier for god sporkvalitet, uttrykt som standardavvik av sporgeometrifeil. Tabellverdiene anvendes bl. a. for beregning av kvalitetstall.

Tabell 14: Kvalitetsgrenser

Kvalitetsklasse	Hastighet(km/h)	Kvalitetsgrenser (mm)			
		Vertikalgeometri $\sigma_H$	Overhøyde $\sigma_R$	Horisontalgeometri $\sigma_P$	Samvirkning $\sigma_S$
K0	145 -	1,1	0,9	1,1	1,6
K1	125 - 140	1,3	1,0	1,2	1,7
K2	105 - 120	1,5	1,2	1,3	1,9
K3	75 - 100	1,9	1,4	1,7	2,4
K4	45 - 70	2,4	1,8	2,0	3,1
K5	- 40	2,9	2,2	2,4	3,6

Størrelsen 'Samvirkning' er en vektorsum av hhv. horisontalgeometri og overhøyde, for å ivareta de tilfeller der denne er større enn de to parametrene hver for seg. Størrelsen er kun aktuell ved målevognskjøring.

Kvalitetstallet bør være så høyt som mulig. Lave kvalitetstall vil i tillegg framskynde nedbrytningen av sporet.

Tabell 15: Krav til kvalitetstall

Kvalitetsklasse	Hastighet(km/h)	Kvalitetstall		
		Nyjustert spor	Vedlikeholdsgrense	Tiltaksgrense
K0	145 -	90	90	50
K1	125 - 140	90	85	40
K2	105 - 120	90	80	30
K3	75 - 100	90	75	20
K4	45 - 70	90	70	20
K5	- 40	-	-	-

For overbygningsklassen Ofofbanen skal neste K-klasse over det hastigheten tilsier anvendes.

### 5.3 Justering

a) Vedlikeholdsgrensene benyttes som utgangspunkt ved planlegging av gjennomgående sporjustering. Det skal søkes etter årsaker til redusert sporkvalitet med sikte på utbedring – både enkelttiltak som forebyggende vedlikehold og/eller større fornyelser.

b) Ved underskridelse av tiltaksgrensene skal en nærmere vurdering av årsaker til den lave sporkvaliteten utføres snarest, med tanke på utbedring innen neste måling.

Ved underskridelse av tiltaksgrensen for K0- og K1-strekninger skal vurderingen av årsaksforholdene medføre kompenserende tiltak. Slike tiltak kan være:

- hastighetsreduksjon til den høyeste kvalitetsklassen der strekningen tilfredsstillertiltaksgrensen
- sporjustering
- utskifting av komponenter
- hyppigere inspeksjoner frem til utbedring



# Kontaktledning/Vedlikehold/Kontaktledning/Vedlegg/Kvalitetstall (K-tall) for kontaktledningen

Fra Teknisk regelverk utgitt 26. januar 2015

< [Kontaktledning](#) | [Vedlikehold](#) | [Kontaktledning](#)

Gå til: [navigasjon](#), [søk](#)

## Innhold

[\[skjul\]](#)

- [1 Kvalitetstall \(K-tall\) for kontaktledningen](#)
- [2 Parametre for beregning av K-tallet](#)
- [3 Beregning av K-tallet](#)
- [4 Fremstilling](#)

## 1 Kvalitetstall (K-tall) for kontaktledningen

Kvalitetstallet (K-tallet) angir hvor stor del av en strekning der samtlige definerte parametre for kontaktledningen er innenfor toleransene (vedlikeholdsgrensene).

Kvalitetstallet (K-tallet) bør være så høyt som mulig. Lave verdier for kvalitetstall vil fremskynde nedbrytningen av anlegget.

K-tallet skal beregnes ut fra følgende parametre

- Høydeendring. Stigning og fall av kontaktledningshøyden skal ikke være brattere enn etter formelen  $\frac{1}{5 \times V}$  der V = strekningshastighet (normalhastighet).
- Sikksakk
- Høyde. Minste og største kontaktledningshøyde
- Krefter. Kreftene skal ligge innenfor kravet til lave og høye krefter

## 2 Parametre for beregning av K-tallet

Det er grenseverdiene i [Prosjektering Kontaktledningssystemer](#) som er gyldige.

	Vedlikeholdsgrenser						
	Høyde			Krefter		Sikksakk	Stigning/fall
	Min (mm)	Min (mm)	Maks (mm)	Min (N)	Maks (N)	± (mm)	
Eldre anlegg (Other)	5000	4800	5650	20	120	450	$\frac{1}{5 \times V}$
System 20 A	5050	4800	5650	20	150	230	$\frac{1}{5 \times V}$
System 20 B	5050	4800	5650	20	150	430	$\frac{1}{5 \times V}$
System 20 C	5050	4800	5650	20	150	330	$\frac{1}{5 \times V}$
System 20 A og B og sikksakk 300 mm	5050	4800	5650	20	150	330	$\frac{1}{5 \times V}$
System 25	5270	5270	5330	20	150	330	-

Vedlikeholdsgrensene for lave høyder er i henhold til kolonnen til venstre, men pga. den generelle dispensasjonen for høyder i eksisterende tunneler og under broer, benyttes 4800 mm som laveste kontaktrådshøyde.

## 3 Beregning av K-tallet

K-tallet angir hvor stor del av en strekning der samtlige parametre er innenfor toleransene (vedlikeholdsgrensene). Uttrykt som ligning kan vi skrive dette som **Feil i matematikken (lexerfeil):**  $K = \frac{\sum l}{L} \times 100 \%$

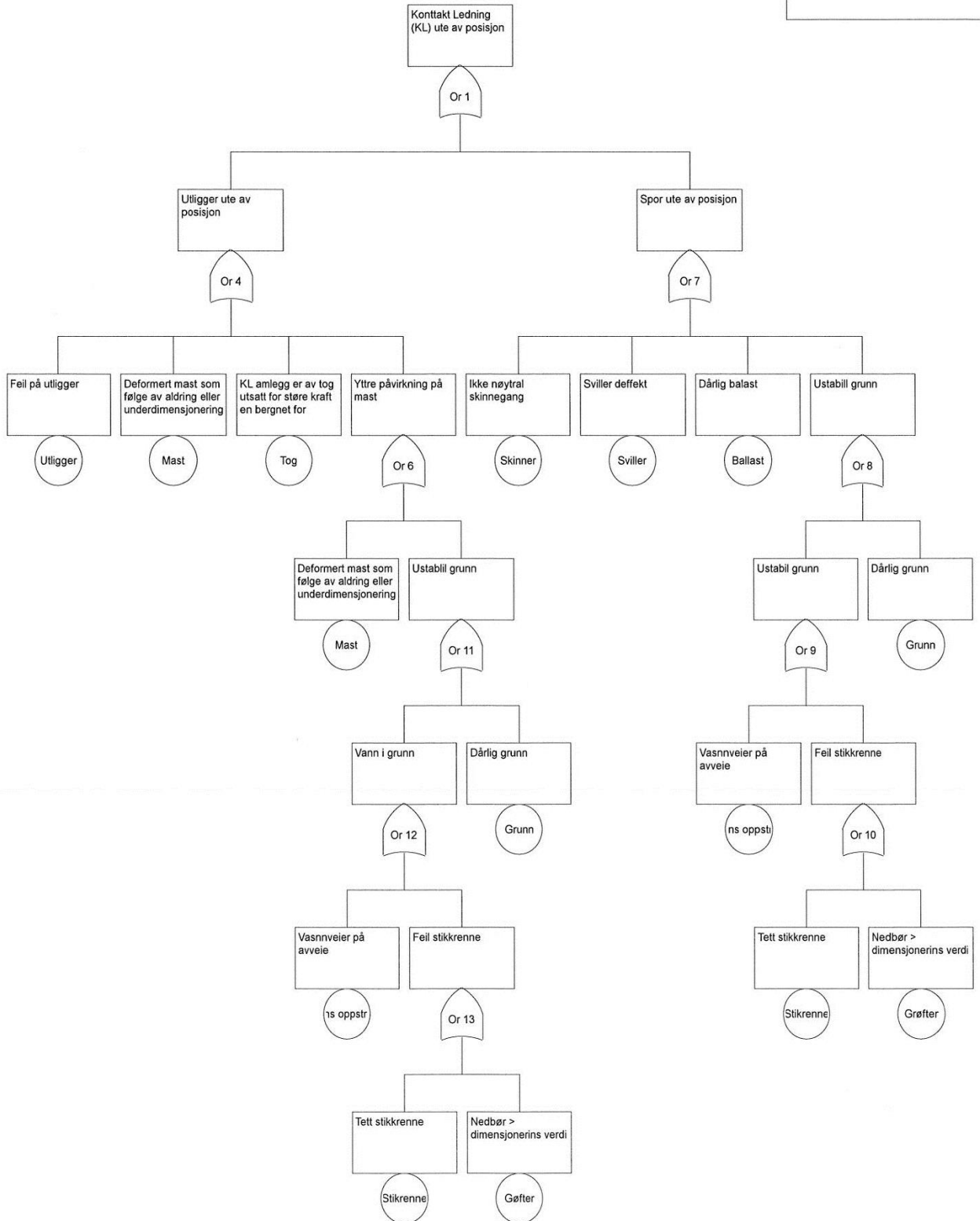
- $\sum l$  = summen av lengder der alle 7 parametre er innenfor toleransene
- $L$  = den undersøkte lengden.

K-tallet blir beregnet over lengder på 1 km (hele km-intervaller) og som et K-tall for hele banestrekningen (banenummeret). Ved start og slutt av beregningene blir det beregnet K-tall for delstrekningen fra målingens start til første hele km. Ved slutt blir det beregnet fra siste hele km til målingene slutter eller til eventuelt grense for banestrekning.

## Vedlegg 4: Cara feiltre - KL ute av posisjon

University License - NTNU, Norway  
Not for commercial use

Eksempel på feiltre for og fse ulike årsaker til at KL kan komme ut av posisjon i forhold til spor.



Minimale kuttmengde for systemet:

CARA Fault Tree version 4.0 (c) SINTEF 1996  
University License - NTNU, Norway  
Not for commercial use  
Date: 16.06.2015 Time: 14:21:06

File: Eksempel feiltre\_2.CFT

New fault tree

Cut set(s) with 1 component (Total: 12)

- {Stikrenne}
- {Gøfter}
- {Drens oppstrøms}
- {Grunn}
- {Mast}
- {Utligger}
- {Tog}
- {Grøfter}
- {Drens oppstrøm}
- {Skinner}
- {Sviller}
- {Ballast}

Cut set(s) with 2 components (None found)

Cut set(s) with 3 components (None found)

Cut set(s) with 4 components (None found)

**Total number of cut sets up to order 4: 12**

## Vedlegg 5: TIOS, Data til beregning av oppetid

Rapporten beskriver feil relatert til infrastruktur på strekningen 0710

### Årsaksfordeling (01.01.2013-31.12.2013)

Togselskaper:	Alle
Årsakskoder:	1,2,3,4,5,6,92
Ytre forhold med i oppetidsberegning:	Nei
Regularitetsberegning:	Kodeavhengig

### FORSINKELSEÅRSAKER (ANTALL)

Strekning	1	2	3	4	5	6	(1-6)	92	(91-94)	Sum
	Bane Sikrings anlegg	Elkraft anlegg	Tele- anlegg	Planlagte arbeider	Materiell m/feil sperrer spor	m/feil sperrer spor	Sum infra-struktur	Ytre forhold	Sum Utenfor-liggende forhold	
Region Øst Togtimer /28 Eidsvoll - Lillehammer	6094	417	154	31	37	57	6790	176	176	6966
Region Øst Togtimer /30 Lillehammer - Fåberg	97	37	7	4	4	4	153	6	6	159
<b>Sum</b>	<b>6191</b>	<b>454</b>	<b>161</b>	<b>35</b>	<b>41</b>	<b>61</b>	<b>6943</b>	<b>182</b>	<b>182</b>	<b>7125</b>

### FORSINKELSER (TIMER:MINUTTER)

Strekning	1	2	3	4	5	6	(1-6)	92	(91-94)	Sum	Togt
	Bane Sikrings anlegg	Elkraft anlegg	Tele- anlegg	Planlagte arbeider	Materiell m/feil sperrer spor	m/feil sperrer spor	Sum infra-struktur	Ytre forhold	Sum Utenfor-liggende forhold		
Region Øst Togtimer /28 Eidsvoll - Lillehammer	515:38	54:34	36:44	4:35	12:05	6:32	630:08	54:48	54:48	684:56	15084:10
Region Øst Togtimer /30 Lillehammer - Fåberg	8:31	3:30	11:28	3:25	0:33	0:40	28:07	3:11	3:11	31:18	881:14
<b>Sum</b>	<b>524:09</b>	<b>58:04</b>	<b>48:12</b>	<b>8:00</b>	<b>12:38</b>	<b>7:12</b>	<b>658:15</b>	<b>57:59</b>	<b>57:59</b>	<b>716:14</b>	<b>15965:24</b>

### HELINNSTILLINGER (ANTALL)

Strekning	1	2	3	4	5	6	(1-6)	92	(91-94)	Sum	Antall	Regularitet
	Bane Sikrings anlegg	Elkraft anlegg	Tele- anlegg	Planlagte arbeider	Materiell m/feil sperrer spor	m/feil sperrer spor	Sum infra-struktur	Ytre forhold	Sum Utenfor-liggende forhold			
Region Øst Togtimer /28 Eidsvoll - Lillehammer			1	2			3			3	22253	99,99
Region Øst Togtimer /30 Lillehammer - Fåberg	2	1			5		8	4	4	12	9220	99,87
<b>Sum</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>11</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>15</b>	<b>0</b>	<b>99,95</b>

### DELINNSTILLINGER (ANTALL)

Strekning	1	2	3	4	5	6	(1-6)	92	(91-94)	Sum	Regularitet
	Bane Sikrings anlegg	Elkraft anlegg	Tele- anlegg	Planlagte arbeider	Materiell m/feil sperrer spor	m/feil sperrer spor	Sum infra-struktur	Ytre forhold	Sum Utenfor-liggende forhold		
Region Øst Togtimer /28 Eidsvoll - Lillehammer	42	9	22	4	266		343	214	214	557	97,48
Region Øst Togtimer /30 Lillehammer - Fåberg			1				1	2	2	3	99,84
<b>Sum</b>	<b>42</b>	<b>9</b>	<b>23</b>	<b>4</b>	<b>266</b>	<b>0</b>	<b>344</b>	<b>216</b>	<b>216</b>	<b>560</b>	<b>98,17</b>

[Tilbake](#)

## Rapporten beskriver antall togtimer på strekningen 0710 (inkluderer endestasjonene Hamar og Fåberg)

### Årsaksfordeling (01.01.2013-31.12.2013)

Togselskaper:	Alle
Årsakskoder:	1,2,3,4,5,6,92
Ytre forhold med i oppetidsberegning:	Nei
Regularitetsberegning:	Kodeavhengig

### FORSINKELSESÅRSAKER (ANTALL)

Strekning	1	2	3	4	5	6	(1-6)	92	(91-94)	Sum
	Bane anlegg	Sikrings anlegg	Elkraft anlegg	Tele- anlegg	Planlagte arbeider	Materiell m/feil sperrer	infra- struktur	Ytre forhold	Utenfor- liggende forhold	Sum
Region Øst Togtimer /28 Eidsvoll - Lillehammer	6499	469	163	39	37	63	7270	214	214	7484
Region Øst Togtimer /30 Lillehammer - Fåberg	97	37	7	4	4	4	153	6	6	159
<b>Sum</b>	<b>6596</b>	<b>506</b>	<b>170</b>	<b>43</b>	<b>41</b>	<b>67</b>	<b>7423</b>	<b>220</b>	<b>220</b>	<b>7643</b>

### FORSINKELSER (TIMER:MINUTTER)

Strekning	1	2	3	4	5	6	(1-6)	92	(91-94)	Sum	Togt
	Bane anlegg	Sikrings anlegg	Elkraft anlegg	Tele- anlegg	Planlagte arbeider	Materiell m/feil sperrer	infra- struktur	Ytre forhold	Utenfor- liggende forhold	Sum	
Region Øst Togtimer /28 Eidsvoll - Lillehammer	551:20	62:49	45:01	10:24	12:05	7:30	689:09	91:54	91:54	781:03	18067:44
Region Øst Togtimer /30 Lillehammer - Fåberg	8:31	3:30	11:28	3:25	0:33	0:40	28:07	3:11	3:11	31:18	881:14
<b>Sum</b>	<b>559:51</b>	<b>66:19</b>	<b>56:29</b>	<b>13:49</b>	<b>12:38</b>	<b>8:10</b>	<b>717:16</b>	<b>95:05</b>	<b>95:05</b>	<b>812:21</b>	<b>18948:58</b>

### HELINNSTILLINGER (ANTALL)

Strekning	1	2	3	4	5	6	(1-6)	92	(91-94)	Sum	Antall	Regularitet
	Bane anlegg	Sikrings anlegg	Elkraft anlegg	Tele- anlegg	Planlagte arbeider	Materiell m/feil sperrer	infra- struktur	Ytre forhold	Utenfor- liggende forhold	Sum		
Region Øst Togtimer /28 Eidsvoll - Lillehammer	1		2	4	21	1	29	20	20	49	29281	99,83
Region Øst Togtimer /30 Lillehammer - Fåberg	2	1			5		8	4	4	12	9220	99,87
<b>Sum</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>26</b>	<b>1</b>	<b>37</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>61</b>	<b>0</b>	<b>99,84</b>

### DELINNSTILLINGER (ANTALL)

Strekning	1	2	3	4	5	6	(1-6)	92	(91-94)	Sum	Regularitet
	Bane anlegg	Sikrings anlegg	Elkraft anlegg	Tele- anlegg	Planlagte arbeider	Materiell m/feil sperrer	infra- struktur	Ytre forhold	Utenfor- liggende forhold	Sum	
Region Øst Togtimer /28 Eidsvoll - Lillehammer	74	10	45	5	320	2	456	294	294	750	97,27
Region Øst Togtimer /30 Lillehammer - Fåberg			1				1	2	2	3	99,84
<b>Sum</b>	<b>74</b>	<b>10</b>	<b>46</b>	<b>5</b>	<b>320</b>	<b>2</b>	<b>457</b>	<b>296</b>	<b>296</b>	<b>753</b>	<b>97,89</b>

### Tilbake

Trafikkinformasjons- og oppfølgingssystem  
 Versjon: 2.8.3 | Siste oppdatering: 24.03.2015 14:04:26

## Vedlegg 6: K-tall 0710

127,210 <i>(Hamar)</i>	132,280	133,860	139,270	141,170	147,100	150,110	155,370	157,210	162,380	164,354	167,620	169,120	174,270	175,490	183,820	185,170
		<i>Jessnes</i>		<i>Brumunddal</i>		<i>Rudshøgda</i>		<i>Moelv</i>		<i>Bergvika</i>		<i>Brøttum</i>		<i>Bergseng</i>		<i>Lillehammer</i>
127,210	132,282	133,968	139,271	141,17	147,10	150,110	155,37	157,21	162,380	164,354	167,620	169,123	174,273	175,495	183,823	185,174
<b>K-TALL</b>																
<b>2. K-tall i prosent</b>																
Mål	66,4	25,5	78,4	67,5	93,0	49,3	67,6	72,0	72,5	100,0	69,3	42,5	70,6	80,0	92,7	-
Status																

målefeil





## Vedlegg 7: Litteratursøk

Litteratursøk:

**Litratur søk på banenettet med søkeordene:**

Oppetid

K-tall

Kvalitetstall

Definisjoner

Vedlikehold

**Søk på [ask.bibsys.no](http://ask.bibsys.no) og [dawsonera.com](http://dawsonera.com) med ordene:**

Metoder

Metodevalg

Railway reliability

Railway infrastructure

Railway maintenance

**Følgende bøker ble funnet interessante for oppgaven:**

Fatigue in Railway Infrastructure, av forfatterene Mark Robinson og Ajay Kapoor

Railway Safety, Reliability, and security av forfatteren Francesco Flammini

Asset Maintenance Management av forfatteren Dr. Alan Wilson



## Vedlegg 8: Dataprogram

Oversikt over dataprogram benyttet i oppgaven:

- Microsoft Office
- CARA-FaultTree v4.0
- Adobe Reader
- Synergi Life
- TIOS
- Banedata



## Vedlegg 9: Spørring Banedata

Spørring direkte i databasen for Banedata:

### Spørring for uttrekk AKV/UKV:

```
SELECT * FROM WORKORDER WHERE substr(location,1,4) = '0710' and 2009 <
extract(year from woex30) and worktype IN ('AKV','UKV') order by woex30, woeq14
```

I klartekst:

**Velg** alle kolonner **fra** tabell bd\_dw.BD\_WORKORDER **hvor** de første fire tegnene i kolonne location er lik '0710' **OG** året i kolonne oppstått(woex30) skal være større en 2010 **sorter** etter oppstått(woex30) deretter fag (woeq14)

Alle kolonner = \*

substr(location,1,4) = substring funksjon, velg første til og med fjerde tegn.

extract(year from woex30) = trekker ut årstallet fra datoene i feltet woex30

### Spørring for uttrekk FVK:

```
SELECT * FROM WORKORDER WHERE parent is null and substr(location,1,4)
= '0710' and 2010 < extract(year from targstartdate) and status != 'AVBRUTT' and Worktype =
'FVK' order by targstartdate, woeq14
```

I klartekst:

**Velg** alle kolonner **fra** tabell WORKORDER **hvor** det ikke finnes noen forelder (kun hovedoppgave)

**OG** der de første fire tegnene i kolonne location er lik '0710' **OG** der året i kolonne planlagt start dato(targstartdate) er større en 2010 **OG** der status på arbeidsordren ikke er AVBRUTT(må være planlagt utført) **OG**

der arbeidstype(Worktype) er en generisk kontroll(FVK) **sorter** etter planlagt start dato (targstartdate) **deretter** fag (woeq14)

Alle kolonner = \*

substr(location,1,4) = substring funksjon, velg første til og med fjerde tegn.

extract(year from targstartdate) = trekker ut årstallet fra datoene i feltet targstartdate

Status != 'AVRUTT' = Status er ikke lik AVRUTT