



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

Masteroppgave 2016 30 stp  
Handelshøyskolen

# **Analyse av punktlighetsdata i jernbanetrafikk: sammenhenger mellom avgangs- og ankomstforsinkelser for godstog**

Analysis of Punctuality Data:  
The Impact of Freight Train Departure Delays on  
Arrival Delays and Punctuality

Kim Storvoll  
Økonomi og administrasjon



## Forord

---

Denne masteravhandlingen er utarbeidet ved Handelshøyskolen hos Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet (NMBU), våren 2016. Masteroppgaven utgjør 30 studiepoeng og er en obligatorisk avsluttende del av siviløkonomistudiet.

Jernbanesystemet har vist seg å være mer komplisert enn antatt på forhånd, arbeidet med oppgaven har derfor vært utfordrende, men samtidig veldig lærerikt.

Flere personer har bidratt med råd og innspill i forbindelse med oppgaven, og jeg ønsker å benytte anledningen til å takke disse. Først og fremst vil jeg takke mine veiledere, førsteamanuensis Kolbjørn Christoffersen ved NMBU og professor Nils Olsson ved NTNU for god veiledning og konstruktive innspill. Videre rettes en takk til Jernbaneverket som ga meg utgangspunktet for oppgaven og som stilte med datamaterialet. Sist, men ikke minst må jeg takke familien min. Ingvild, min fantastiske, støttende og tålmodige kone. Og mine forståelsesfulle og tålmodige barn, Emil Iver og Vilde, pappa gleder seg til å vie full oppmerksomhet til dere.

Ås, Mai 2016

Kim Storvoll



## Sammendrag

---

For å sikre fremtidens godstransport på bane er det en forutsetning å tilfredsstille transportkjøpernes preferanser til kvalitet, herunder punktlighet. Dog ligger punktligheten i Norge under Jernbaneverkets målsetning på 90 prosent ved endestasjon for godstog. Antagelser og årsaksregistreringer hos aktørene i jernbanesektoren gir indikasjoner på at forsinkede avganger er en viktig faktor i forklaringen på denne kvalitetsbristen. Men årsaksregistreringene i seg selv, sammen med forhold som rutetabell og slakk, prioriteringsregler og avvikshåndtering – samt følgeforsinkelser, bidrar til å komplisere denne sammenhengen.

Foreliggende oppgave undersøker avgangsforsinkelsene sin betydning for ankomstforsinkelsene. De avdekte sammenhengene har til formålet å tjene som faktagrunnlag i punktlighetsforbedring, samt indikere forventet effekt på ankomster gitt en bedring i avganger

For å besvare problemstillingen er det i studien benyttet statistiske analyser anvendt på punktlighetsdata fra TIOS, samt fulgt Jernbaneverkets egenutviklede metode for punktlighetsoppfølging; PIMS-metodikken.

Resultatene peker på enkelte ukedager og tidspunkter som er forbundet med flere avgangsforsinkelser og tilhørende dårligere ankomstpunktlighet. Det er også indikasjoner på en sterk positiv samvariasjon mellom avgangs- og ankomstforsinkelser. En lineær beskrivelse av denne sammenhengen syntes imidlertid å samsvare dårlig med hensyn til den praktiske betydningen av forsinkelsene. Forbedring i avganger vil likevel sørge for en direkte effekt på ankomstpunktlighet. Men påvirkningen på transportkjøpernes preferanser synes å komme fra reduksjon i forsinkelsestimer heller enn økning i punktlighet. Punktlighetsmålet blir i så måte noe overflødig i denne sammenheng og er nok bedre egnet i et produksjonssystem med mindre variasjon og større presisjon, som for eksempel for persontrafikk.

## Abstract

---

A prerequisite to ensure the future of rail freight is to satisfy transport buyers' preferences for quality, including punctuality. The punctuality for freight trains however, is below the objectives of 90 percent at end station. Assumptions and cause registers by agents in the railway sector indicates that delayed departures is a major factor in the explanation of this shortfall in quality. The context is complemented by causal registrations in itself, as well as conditions such as timetable and slack, priority rules, exception handling, and follow delays.

This task examines departure delays impact on arrival delays. The revealed correlations aim to serve as a factual basis in punctuality improvement, and indicate the expected effect given an improvement in departures.

To test the hypothesis the study used statistical analysis applied to punctuality data from TIOS and have followed the proprietary punctuality monitoring method from Jernbaneverket: The PIMS-methodology.

The results disclose that certain individual weekdays and times are associated with multiple departure delays and leading to poorer arrival punctuality. There are also indications of a strong positive correlation between the departure and arrival delays. A linear description of this relationship appeared to match poorly with regard to the practical meaning of the delays. Improvement in departures will still bring about a direct effect on arrival punctuality. But the effects on the transport buyers' preferences seem to come from a reduction in hours of delay rather than an increase in punctuality. The measure of punctuality will therefore be somewhat redundant in this context and is probably better suited to a production system with less variability and greater accuracy, such as passenger trains.

# Innholdsfortegnelse

Forord .....	I
Sammendrag .....	III
Abstract .....	IV
Innholdsfortegnelse .....	V
Figurliste.....	VII
Tabelliste .....	VIII
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn og problemformulering .....	3
1.2 Formål og problemstilling .....	4
1.3 Avgrensing.....	4
1.4 Avhandlingens struktur.....	5
2 Introduksjon til jernbanen i Norge .....	7
2.1 Jernbanen i Norge .....	7
2.2 Organisering .....	7
2.2.1 Jernbaneverket.....	7
2.2.2 CargoNet .....	8
2.2.3 Jernbanenettet.....	9
3 Teoretisk grunnlag.....	11
3.1 Punktlighet og relaterte begreper.....	11
3.2 Måling av punktlighet og registrering av punktlighetsdata .....	13
3.3 Betydningen av punktlighet.....	15
3.4 Faktorer som påvirker punktligheten.....	16
3.5 Hvordan evaluere og forbedre punktlighet .....	20
4 Metode og prosess .....	23
4.1 Datagrunnlaget.....	26

4.1.1	Valg av hensiktsmessig periode, togselskap, strekninger, utgangs- og endestasjoner, og tog. ....	26
4.1.2	Innsamling og organisering av data. ....	28
4.2	Måling og identifisering av sammenhengen mellom avgangsforsinkelser og ankomstforsinkelser. ....	32
4.3	Vurdering av data og anvendte mål .....	35
5	Resultater og analyse.....	39
5.1	Hypotese 1: .....	39
5.2	Hypotese 2: .....	45
5.3	Hypotese 3: .....	47
5.4	Hypotese 4: .....	51
6	Avslutning .....	61
6.1	Konklusjon.....	61
6.1.1	Mulige svakheter med analysen/oppgaven .....	64
6.2	Videre arbeid .....	65
7	Referanser.....	66



## Figurliste

Figur 1: Transportmengder i tonn fordelt på skip, bil og jernbane for de viktigste strekningene i Norge.(Enger, 2015).....	2
Figur 2: Utviklingen av punktlighet for ulike togprodukt (Jernbaneverket, 2016a). ....	3
Figur 3: Jernbanenettet i Norge .....	9
Figur 4: Punktlighetsmodell (Nyström, 2008) .....	12
Figur 5: Punktlighetsgrense for godstog gitt dagens praktiserende toleransegrense på 5 minutter. ....	13
Figur 6: Målepunkter for automatisk registrering av passeringstidspunkter ((Landmark, 2014 i Olsson et al. 2015).....	14
Figur 7: Modell for oppdeling av årsaker til forsinkelse (Lindfeldt, 2001). ....	17
Figur 8: Forsinkelsestimer for de 6 største årsakene for godstog, basert på årsaksregistreringer for 2014. (Engeseth, 2015).....	17
Figur 9: PIMS-metodikken for punktlighetsoppfølging av jernbanetjenester (Veiseth et al., 2011).....	23
Figur 10: Frekvensfordeling for avgangsforsinkelser .....	31
Figur 11: Frekvensfordeling av ankomstforsinkelser.....	31
Figur 12: Avgangs- og ankomstforsinkelser inndelt i henhold til punktlig og ikke-punktlig..	32
Figur 13: Avgangsforsinkelser gruppert: tidlig / i rute / ikke-punktlig.....	32
Figur 14: Anscombes «kvartett» -Eksempler på ulike plot med like egenskaper. (Anscombe, 1973).....	33
Figur 15: Ulike grader av korrelasjon fremstilt grafisk. (Olsson et al., 2015) .....	34
Figur 16: Spredningsdiagram som viser sammenhengen mellom avgangstid fra en stasjon, og ankomsttid til en etterfølgende stasjon. (Olsson et al., 2015) .....	34
Figur 17: En zoom av tidligere spredningsdiagram -økt detaljeringsgrad. (Olsson et al., 2015). .....	35
Figur 18: Korrelasjonsplott mellom avgangs- og ankomstforsinkelser, for alle bevegelser inkludert i analysen. ....	40
Figur 19: Utviklingen til modellen relativt til perfekt sammenheng, for økende forsinkelser.	42
Figur 20: Andel positive ankomstforsinkelser i antall og mengde (minutter). ....	43
Figur 21: Antall vertikale avvik fra regresjonslinjen for ulike intervaller med avvik i minutter .....	43
Figur 22: Sum vertikale avvik fra regresjonslinjen for ulike intervaller med avvik i minutter	44

Figur 23: Ankomstpunktligheit for henholdsvis punktlege og ikke-punktlege avganger. ....	45
Figur 24: Ankomstpunktligheit for henholdsvis tidlige avganger, avganger i rute og ikke-punktlege avganger .....	46
Figur 25: Punktligheitsutvikling for ulike intervaller av avgangsforsinkelse. ....	48
Figur 26: Fremgangsmåte for identifisering av kritiske avganger, et eksempel fra tog nummer 5511 .....	49
Figur 27: Oppsummert kritiske avgangsforsinkelser for ulike tog. ....	50
Figur 28: Andelen avganger, forsinkelser og forsinkelsesminutter fordelt på ukedager .....	55
Figur 29: Antall avganger for ulike ukedager, fordelt over døgnet. ....	56
Figur 30: Antall avgangsforsinkelser for ulike ukedager, fordelt over døgnet. ....	57
Figur 31: Antall avgangsforsinkelser og tilhørende ankomstpunktligheit for ulike tidspunkter over døgnet. ....	58
Figur 32: Mengde forsinkelser i timer for ulike ukedager, fordelt over døgnet.....	58

## Tabelliste

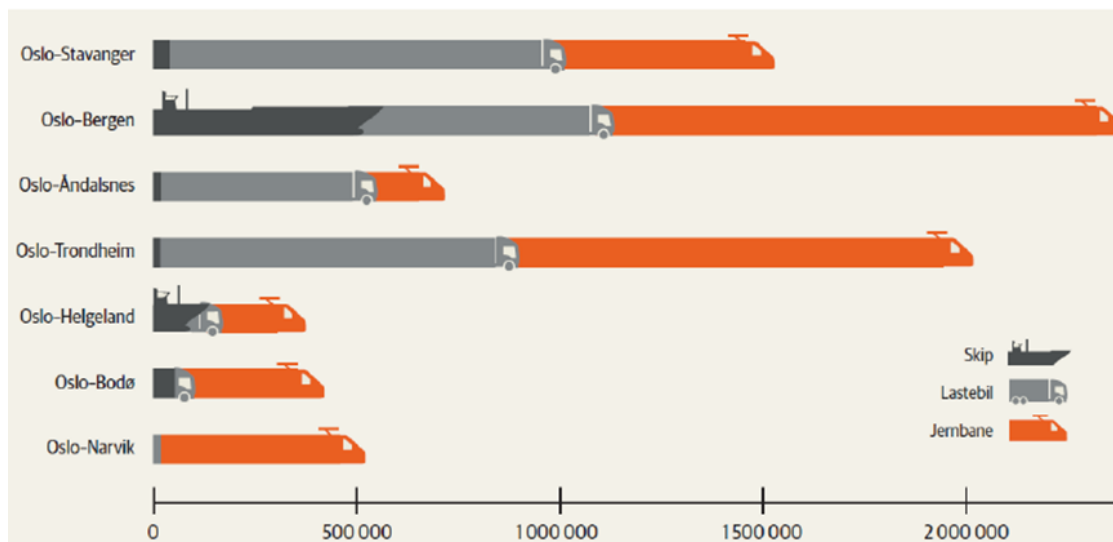
Tabell 1: Oversikt over valgt periode, togselskap, strekninger, utgangs -og endestasjonar og tog.....	28
Tabell 2: Oversikt datamateriale: antall avgang- og ankomst registreringar per tog, strekning og totalt.....	30
Tabell 3: Punktligheits- og korrelasjons analyse for ulike strekningar og samlet.....	39
Tabell 4: Sensitivitetsanalyse for ikke-punktlege ankomster -hva skjer utenfor punktligheitsgrensen.....	46

# 1 Innledning

---

Godsanalysen (2015) utarbeidet i forbindelse med Nasjonal transportplan 2018-2029 presiserer viktigheten av godstransport som et strategisk bindeledd i verdikjeden. Høye lagerholds- og kapitalkostnader sammen med relativt sett minkende transportkostnader har ført til en trend hvor handelsnæringen sentraliserer sine lagerhold. Resultatet blir en logistikkstruktur som medfører økt behov for transport. Det samme kan sies om dagligvarehandelen i Norge. Den var tidligere preget av mange små lokale forretninger, med begrenset vareutvalg og kortreiste leveringer. I dag er det tre dominerende aktører med mer strømlinjeformede, effektive og transportkrevende logistikksystemer. Godstransporten kan altså sies å ha utviklet seg med de samme strukturelle trekkene som sine industrielle kunder. Hvor nye eller større volumer av varesalg med særskilte fremføringskrav, samt nye handelspartnere og handelsruter forklarer noe av denne utviklingen.

I Norge tilbys kommersielle transporttjenester av drøyt 9 000 norskregistrerte lastebilforetak, ca. 1 000 norskregistrerte rederier og 3 norskregistrerte jernbaneoperatører. Disse frakter årlig omlag 500 millioner tonn gods til, fra og i Norge. Av dette er ca. 300 mill. tonn innenriks godstransport. De ulike transportformene opererer hovedsakelig i markedssegmenter der de i liten grad konkurrerer mot hverandre. Vegtransporten har en transportmengde hvor 90% utgjør korte transporter. Utenriks bulktransport svarer for rundt 80 % av volumet på kjøp, mens malm og andre bulkvarer står for 80 % av jernbanens transportvolum. I tillegg åpner flytransport nye markeder med effektiv transport som ellers i liten grad er tilgjengelig. For eksempel eksport av fisk eller raske leveranser av spesialutstyr og maskindeler. Det er altså bare en liten andel varegrupper og transportdistanser som er egnet for flere av transportformene, og følgelig er konkurranseutsatt. Av dette er 5-7 millioner tonn egnet for overføring fra vegtransport til tog eller skip (Marskar et al., 2015). Figur 1 viser at noe av dette overføringspotensialet ligger i korridorene mellom Oslo - Stavanger, og Oslo – Trondheim.



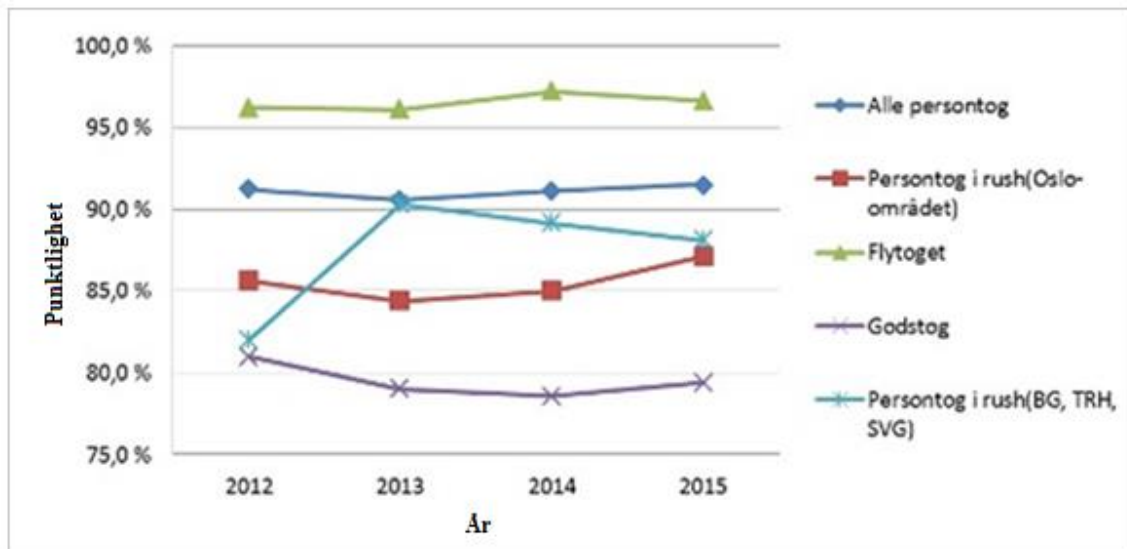
Figur 1: Transportmengder i tonn fordelt på skip, bil og jernbane for de viktigste strekningene i Norge. (Enger, 2015).

Til tross for høy markedsandel for de konkurranseutsatte lange innenlands transportene, virker dagens banetilbud å ikke tilfredsstillere kravene til transportkjøperne. Det hviler derfor en risiko for en reversert overføring hvor store deler av dagens jernbane volum havner på veien (Marskar et al., 2015).

Dagens transportmiddelfordeling er et resultat av mange enkeltaktørers rasjonelle valg. En endring av et slikt valg vil betinge oppfyllelse av transportkjøpernes forventninger til kvalitet. Kvalitetsindikatorer kan være sikkerhet, komfort, framføringstid, tilgjengelighet, frekvens og punktlighet. Sistnevnte er et mål på evnen til å levere varer og tjenester til avtalt tid.

Påvirkningen på fremtidige transportmiddelfordelinger bør derfor ikke bare innebære et fokus på overføring av gods fra veg til sjø og bane, men også sørge for at gods som i dag går på sjø og bane fortsetter med det. Og for å greie dette kan det være avgjørende å levere som forventet av kundene hva angår kvalitet, som for eksempel punktlighet.

## 1.1 Bakgrunn og problemformulering



Figur 2: Utviklingen av punktlighet for ulike togprodukt (Jernbaneverket, 2016a).

Figur 2 viser utviklingen i togproduktene sin ytelse av kvalitet, målt ved punktlighet. For godstog ligger punktligheten under målsetningene på 90 prosent. En ikke-tilstrekkelig punktlighet kan som indikert innledningsvis påvirke transportkjøpernes preferanser og resultere i en økt risiko for at godstransporten flyttes fra bane til veg. Det er en uheldig utvikling og strider mot uttalte politiske målsetninger så vel som målsetninger fra godsaktørene selv. Samfunnsmessige konsekvensene av en slik utvikling vil blant annet være negativ innvirkning på miljø, sikkerhet og økonomi.

Årsaksregistreringer og antagelser blant aktørene i jernbanesektoren peker i retning av at sene avganger fra terminalene er en viktig forklaringsfaktor til forsinkede godstog til endestasjon (Veiseth, 2009). Men sammenhengen er likevel mer sammensatt enn det.

Årsaksregistreringene i seg selv, sammen med en rekke andre forhold, kan stå i veien for å avdekke den reelle årsaken til forsinkelsene og følgelig forvrengte det riktige bildet.

Buffertider (slakk), følgeforsinkelser, prioriteringsregler og avvikshåndtering er eksempler på dette.

Dette viser nødvendigheten av å undersøke avgangsforsinkelser sin innflytelse på ankomstforsinkelser, utover det som fremgår av årsaksregistreringer og antagelser. Dette behovet forsterkes ved at det ikke er gjort mange spesifikke analyser på dette området.

Hvordan trafikken avvikles vil endres over tid, slik at resultater fra tidligere forskning vil tape relevans ettersom nye ruteplaner gjør seg gjeldende.

## 1.2 Formål og problemstilling

Utgangspunktet for oppgaven er gitt av Jernbaneverket, som ønsket at det skulle ses på sammenhengen mellom avgangspunktlighet og ankomstpunktlighet.

Problemstillingen er utformet selv og består av to deler. Første del, hypotese 1-3, har gjennom retrospektive analyser til formål å forklare sammenhengen mellom avgangs- og ankomstforsinkelser. Andre del, hypotese 4, tar sikte på å anvende de avdekte sammenhengene med formål om å forbedre punktligheten for godstog.

- Del I:
  - Hypotese 1: Avgangsforsinkelse fra godsterminaler er forbundet med ankomstforsinkelse ved endestasjoner, og sammenhengen lar seg i tilfelle beskrives.
  - Hypotese 2: Punktlige avganger har høyere sannsynlighet for punktlig ankomst til endestasjon enn øvrige avganger.
  - Hypotese 3: Det finnes en grense for størrelsen på avgangsforsinkelser hvor sannsynligheten for ankomstpunktlighet blir markert redusert.
- Del II:
  - Hypotese 4: Informasjon avdekt fra analyser av sammenhenger mellom avgangs- og ankomstforsinkelse kan anvendes til å bedre punktligheten, og den forventede effekten kan i tilfelle måles.

## 1.3 Avgrensning

Intensjonen med å undersøke sammenhenger mellom avgangs- og ankomstforsinkelse er *ikke* å lage en forklaringsmodell. Det skal heller ikke søkes å finne konkrete årsaker til avgangsforsinkelsene, også kaldt rotårsaksanalyser.

Det er heller ikke tatt hensyn til eventuelle negative innvirkninger på møtende og passerende tog i jernbanesystemet, utover at det er nevnt som en mulig komplikasjon.

Det presiseres at det er bare èn av flere kvalitetsindikatorer for jernbanesystemets prestasjon og tilhørende påvirkning på transportkjøperenes preferanser som betraktes: punktlighet.

Andre indikatorer som regularitet, sikkerhet, framføringshastighet, og frekvens blir helt eller delvis holdt utenfor.

#### 1.4 Avhandlingens struktur

Oppgaven består av 6 kapitler. Etter denne innledningen følger to kapitler som gir en teoretisk innføring om jernbanen i Norge og refleksjoner rundt punktlighet (kapittel 2 og 3). I kapittel 4 blir forskningsprosess og forskningsmetode presentert i tillegg til en diskusjon av reliabilitet, validitet og generaliserbarhet. I kapittel 5 presenteres forskningsresultatene og analyseres i henhold til overnevnt teori og metode. En oppsummering med konklusjon av problemstillingen, mulige svakheter i avhandlingsarbeidet og forslag til veier videre fra dette prosjektet kommer i avslutningen, kapittel 6.





## 2 Introduksjon til jernbanen i Norge

---

I dette kapitlet gis en kort presentasjon av jernbanesektorens ansvars- og rollefordeling, jernbanens samfunnsansvar og konkurransefortrinn, samt oversikt over jernbanenettet med kart.

### 2.1 Jernbanen i Norge

Framføring av tog er et puslespill som er langt mer komplisert enn det kan virke som. Hvert år foretas over 55 millioner personreiser på det norske jernbanenettet, og det fraktes betydelige godsmengder over lengre distanser. Daglig trafikkeres rundt 1 500 tog på jernbanenettet i Norge, noe som krever mye av både jernbanesystemene og aktørene i jernbanesektoren.

#### Miljø

I utgangspunktet er jernbane en svært miljøvennlig transportmåte. Beregninger viser at energiforbruket er 82 prosent lavere, CO<sub>2</sub>-utslippene 94 prosent lavere og NO<sub>x</sub>-utslippene 86 prosent lavere for transport på jernbane sammenlignet med samme transport på vei (NSB, 2016). Investeringer i jernbanen defineres derfor som et miljøpolitisk satsingsområde i tillegg til å være investeringer for samfunnets infrastruktur. Dette gjør det noe lettere å rettferdiggjøre de forholdsvis store kostnadene forbundet med jernbaneinvesteringer.

#### Sikkerhet

Av alle transportmidler er jernbane et av de sikreste, men ulykker med tog kan få store konsekvenser og det stilles derfor spesielt store krav til sikkerhet. Utgangspunktet er at jernbanevirksomhet ikke skal medføre skade på mennesker, miljø eller materiell. Jernbaneverket har derfor en nullvisjon hva angår antall omkomne, og det arbeides kontinuerlig med risikoforebyggende tiltak (Jernbaneverket, 2012).

### 2.2 Organisering

#### 2.2.1 Jernbaneverket

Samferdselsdepartementet skal på vegne av Stortinget sørge for etterlevelse av de langsiktige utviklingsplanene for jernbanen jf. Nasjonal transportplan (NTP). Jernbaneverket er sammen med Statens jernbanetilsyn (SJT) og Statens havarikommisjon for transport underlagt Samferdselsdepartementet.

Jernbaneverket ble opprettet i 1996, og har i dag over 4 000 tilsatte. Jernbaneverket skal på vegne av staten drifte, vedlikeholde og bygge ut statens jernbaneinfrastruktur med tilhørende anlegg og innretninger. De er også ansvarlig for trafikkstyringen, noe som omfatter kapasitetsfordeling/ruteplanlegging og operativ trafikkstyring. Videre skal de forvalte statens realkapital i jernbaneinfrastrukturen og tilby et sikkert og funksjonelt jernbanenett til togselskapene og transportbrukerne. I tillegg er Jernbaneverket en betydelig byggherre med en stor del innleide ressurser (Jernbaneverket, 2016b).

For å synliggjøre sine mål har Jernbaneverkets utviklet følgende fremtidsbilde mot år 2040 (Jernbaneverket, 2012):

- Jernbanen er den transportmåten i Norge som både passasjerer og godskunder foretrekker å bruke.
- I hele perioden fram til 2040 har jernbanen økt sin markedsandel. Togene går punktlig, og reisetiden har gått radikalt ned.
- Godstogenes markedsandeler har økt på bekostning av vegtrafikken. Vi har bidratt til sikrere og mindre miljøskadelig transport i Norge.

### 2.2.2 CargoNet

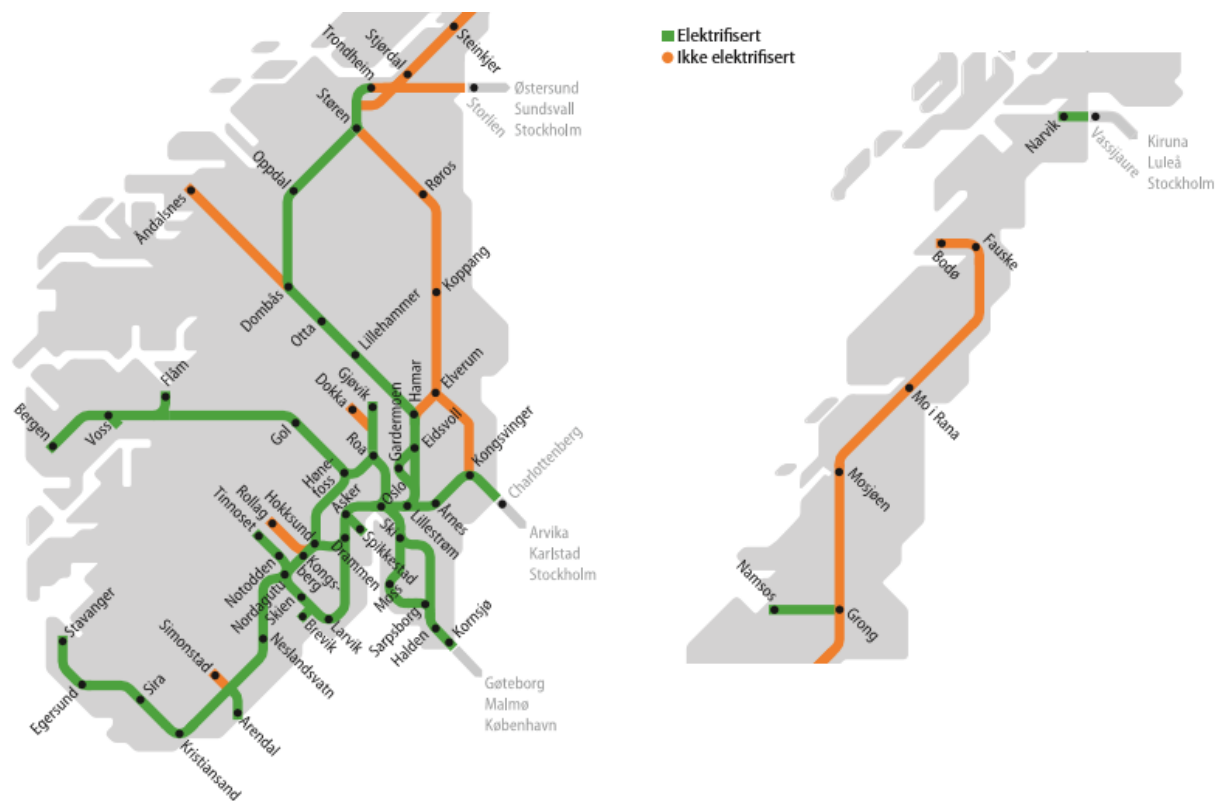
Godstransport på jernbane er sterkt preget av én aktørs sterke stilling: CargoNet. De utgjorde til å begynne med godstransportavdelingen til den tidligere monopolisten NSB, men ble skilt ut som eget AS i 2002. Siden da har de beholdt sin posisjon som den ledende godsaktøren i Norge. De tilbyr kombitransport (faste transporter mellom de store byene i Sør-Norge og til og fra Nord-Norge) og systemtransport (særskilte tog for industrikunder, eksempelvis innen malm, tømmer og flydrivstoff) (CargoNet, 2016).

I 2014 sparte CargoNet sine tog norske veier for rundt 500 vogntog hver eneste dag hele året gjennom, og de har en målsetning om å være det miljøriktige valget som en viktig del av bransjens totale logistikkjede (NSB, 2016).

I 2007 ble det åpnet for fri konkurranse på innenlands godstrafikk, noe som tilsier at alle som har godkjenning fra Jernbanetilsynet om å drive transport i praksis kan gjøre det. I tillegg til CargoNet opererer også Cargolink og svenske GreenCargo med gods på bane i Norge. Men

våren 2016 kom nyheten om at Cargolink med 25% markedsandel har besluttet å avvike sin virksomhet, hovedsakelig på grunn av dårlig lønnsomhet (Bugge, 2016)

### 2.2.3 Jernbanenettet



Figur 3: Jernbanenettet i Norge

Figur 3 viser et kart over jernbanenettet i Norge, som stort sett strekker seg mellom de største byene: Oslo, Stavanger, Bergen, Trondheim, Bodø og Narvik (via Sverige).

Det er viktig å merke seg forskjellene mellom linjer, baner og strekninger da disse på infrastrukturnivå kan skille seg fra det reisende omtaler det som. Av praktiske årsaker, for å unngå forvirringer, benyttes begrepene slik de forstås av de reisende; altså strekning der hvor fagterminologien sier linjer og baner, og delstrekning i stedet for strekning, slik eksempelet under viser:

Alnabru-----Strekning-----Bergen

Alnabru-----Delstrekning-----Delstrekning-----Bergen

Hoveddelen av Norges jernbanenett består av enkeltspor. Det er derfor mange hensyn å ta både i ruteplanleggingen og i trafikkavviklingen. Mye enkeltspor betyr selvsagt også mindre kapasitet enn hva som oppnås med dobbeltspor. Den eneste måten for tog å krysse eller passere hverandre på er ved kryssingsspor, som er vanlig å plassere ved jernbanestasjoner. En utfordring for godstog kan være at ikke alle kryssingsspor er lange nok. Godstog kan være 750 meter lange og kan kreve over 1 km lange kryssingsspor (Jernbaneverket, 2015).

## 3 Teoretisk grunnlag

---

Dette kapitlet dreier seg om punktlighet for jernbane og tar sikte på å definere og reflektere rundt ulike aspekter ved punktligheten, og baserer seg hovedsakelig på tidligere forskning. Kapitlet er ikke ment som en fullstendig oversikt, men belyser de temaer som ansees som mest relevante til forlengelsen av oppgaven.

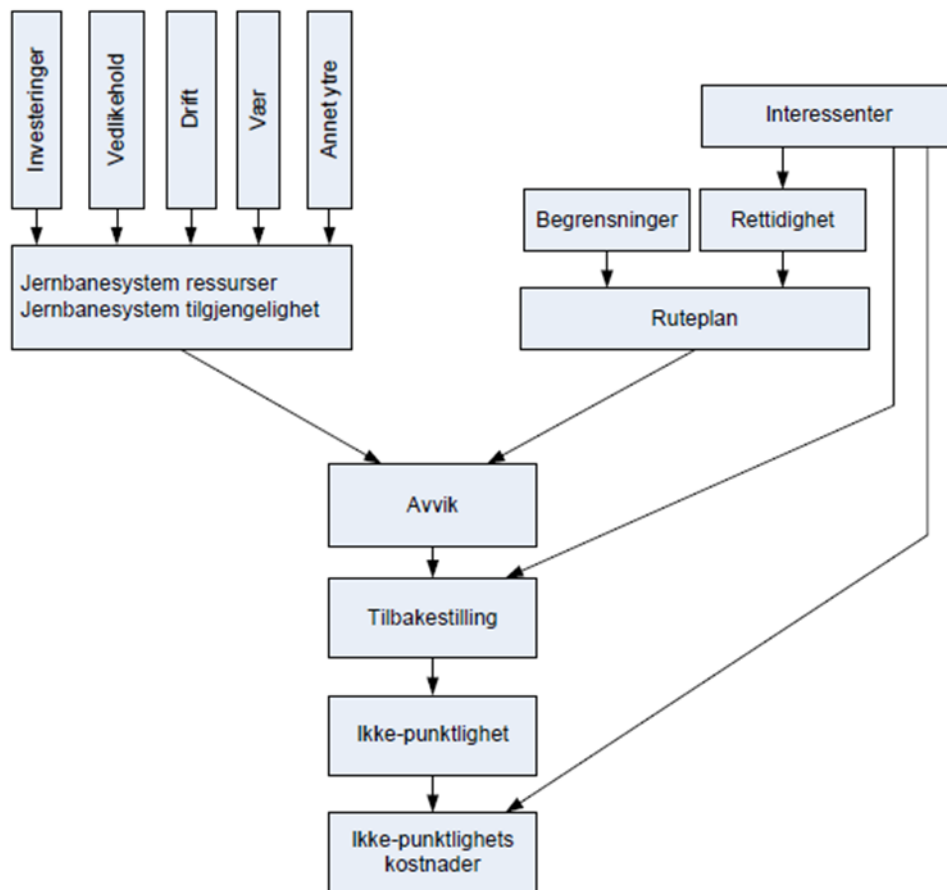
### 3.1 Punktlighet og relaterte begreper

Punktligheit handler om å levere varer og tjenester til avtalt tid og forteller i hvilken grad passasjerer og godskunder på jernbanen mottar det de betaler for. Det finnes mange definisjoner på punktlighet (Granström, 2005; Gylee, 1994; Rudnicki, 1997). Felles for disse er at de fokuserer på at punktligheten bestemmes av i hvilken grad togene kommer og går i rute. Punktlighet i jernbanedrift er derfor definert til å være *at togtrafikken går i henhold til ruteplanen* (Olsson et al., 2015). Avgangspunktligheit referer derav til hvorvidt togene går i rute, mens ankomstpunktligheit om togene *kommer* i rute.

Et begrep som ikke må forveksles med punktlighet er regularitet. Begge sier noe om togenes avvik fra ruteplanen, men de blir ofte feilaktig brukt om hverandre. Regularitet sier noe om andelen tog som faktisk går -ikke er innstilt, mens punktlighet måler hvordan denne andelen presterer relativt til ruteplanen (Rudnicki, 1997). Regularitet er derfor også et viktig mål, særlig for kundene: det hjelper ikke at alle togene er i rute, dersom halvparten av togene ikke går.

Punktligheit og regularitet utgjør sammen påliteligheten av leveringingen. Et pålitelig jernbanesystem blir av Vromans (2005) definert som at togene er i rute mesteparten av tiden, og hvor kun en liten andel tog er ute av drift. Han knytter også robusthet og stabilitet i jernbanesystemet til påliteligheten. Robustheten indikerer hvor lett systemet blir påvirket av forstyrrelser, mens stabilitet er et mål på den innsats som kreves for å tilbakestille systemet til ordinær drift etter forstyrrelser.

En modell av Nyström (2008) setter punktlighet i perspektiv og gir den en helhetlig forklaring:



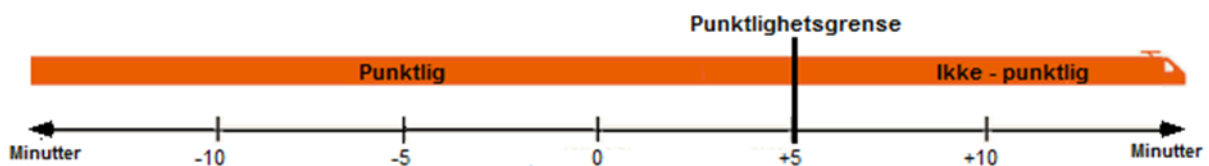
Figur 4: Punktlighetsmodell (Nyström, 2008)

Punktlighet inngår i det som omtales som avvik i figur 4. Samspillet mellom ruteplanen og jernbanesystemets ressurser og tilgjengelighet er avgjørende for om det oppstår avvik. Disse er påvirket av flere forhold, alt fra investeringer i infrastruktur, vedlikehold og drift av rullende materiell, samt eksterne forhold som vær. Ruteplanen er konstruert på bakgrunn av begrensninger i jernbanesystemet. Dette kan for eksempel være maks tillat last og tog lengde, tidskompensasjoner i form av slakk, prioriteringsregler, samt krav og ønsker fra aktørene og deres kunder rundt forhold som sportilgang, frekvens og ankomsttider.

Med tilbakestilling menes eliminering eller reduksjon av effektene som oppstår ved avvik. Togleder skal ved avvik beslutte tiltak som minimerer de totale forsinkelsene, noe som kan ha direkte effekt på ikke-punktlighet og tilhørende kostnader. Både tilbakestillingen og beregningen av ikke-punktlighets kostnadene er også påvirket av informasjon om valg og verdsettinger fra interessentene.

### 3.2 Måling av punktlighet og registrering av punktlighetsdata

Definisjonen av punktlighet forteller at det gjøres en sammenligning mellom faktisk- og planlagt toggang. Et vesentlig begrep i den forbindelse er forsinkelse. Forsinkelse oppstår dersom faktisk leveringstid overgår planlagt leveringstid. Dette er tilfelle når toget er etter ruteplanen. I motsatt fall er det en negativ forsinkelse, noe som innebærer at toget er før ruteplanen. Normalt sett betyr dette at forsinkelse er ensbetydende med ikke-punktlig, mens negativ forsinkelse er ensbetydende med punktlig. Men det er ikke nødvendigvis tilfelle. Det er vanlig at det for planlagte avganger og ankomster tas høyde for et tolererende avvik i forhold til ruteplan. En typisk verdi for denne toleransen er 5 minutter i Europa (Nyström, 2005). Den varierer i midlertid fra land til land og mellom ulike tog produkt. Nederland opererer med 3 minutter, mens Japan har enkelte strekninger som er helt nede i 10-15 sekunder (Yuan & Hansen, 2007). I Norge er det 3 minutter for lokaltog, intercity og flytog. Mens det er 5 minutter for godstog og fjerntog (Olsson & Veiseth, 2011). Med andre ord defineres tog i rute til å være innenfor 5 minutters forsinkelse.

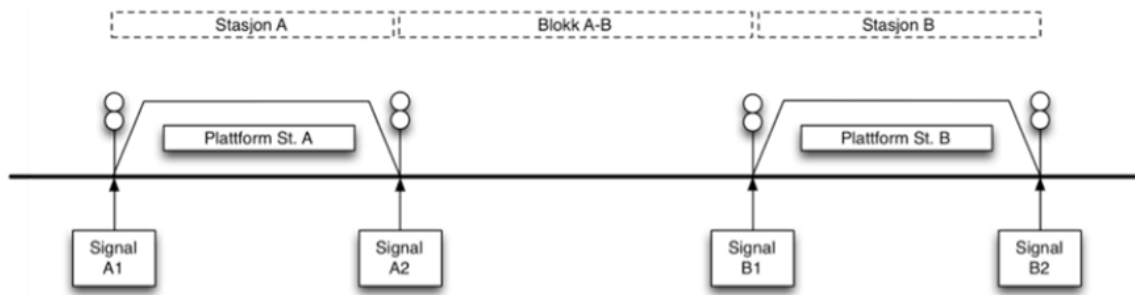


Figur 5: Punktlighetsgrense for godstog gitt dagens praktiserende toleransgrense på 5 minutter.

Ankomstene aggregeres og uttrykkes som andelen punktlike tog til endestasjon, uttrykt i prosent. Hvor punktlig forstås som ankommet endestasjon innen 5 minutter etter oppsatt rutetid.

Utviklingen innen registrering av forsinkelser og punktlighet har gått fra å være manuelle til å bli for det meste automatisert gjennom signalanlegget og sporfeltene. I utgangspunktet betyr automatiske registreringer et større volum og høyere kvalitet av punktlighetsdata i forhold til manuelle. I all hovedsak er det passeringstidspunkter som registreres, og figur 6 illustrerer hvordan dette foregår. Når et tog ankommer stasjon A vil det bli registrert en faktisk ankomsttid når sporfeltet koblet til A1 passeres. Når toget avgår fra stasjonen, registreres en faktisk avgangstid ved passering av sporfelt koblet til signal A2. Tilsvarende blir det også for stasjon B og alle etterfølgende stasjoner langs strekningen. Fra dette kan det beregnes stasjonsopphold ( $A2 - A1$ ), samt kjøretiden for blokkstrekningen mellom stasjonene. I tillegg

kan disse sees i sammenheng med planlagte rutetider for å identifisere forsinkelse og punktlighet jf. tidligere beskrivelser.



Figur 6: Målepunkter for automatisk registrering av passeringstidspunkter ((Landmark, 2014 i Olsson et al. 2015).

Forsinkelser utover punktlighetsgrensen på 5 minutter registreres også sammen med en tilhørende årsak til forsinkelsen, såkalt årsaksregistreringer. De faktiske passeringstidspunktene og årsaksregistreringene lagres i Jernbaneverkets database for trafikkinformasjon og oppfølgingssystem (TIOS) (Sætermo, Olsson, & Veiseth, 2006).

Automatiske registreringer bidrar også til at en får punktlighetsdata for flere punkter langs strekningene, og dermed kan se på punktligheten underveis. Men dette er noe som er mer relevant for persontog enn godstog. Persontrafikken har flere stasjoner underveis, noe som gjør at toget må være punktlig på samtlige stopp for at det skal oppleves punktlig av kundene. For godstransport holder det strengt talt at godset ankommer endestasjon til avtalt tid for at kundene skal oppleve det som punktlig.

Å måle punktlighet som andel tog i rute til endestasjon gir et enhetlig mål i prosent som er enkelt å beregne og sammenligne. Beregninger forutsetter bare kjennskap til planlagt og faktisk toggang, og sammenligninger kan gjøres på tvers av strekninger og regioner. Måltallet er også uavhengig av mengden tog som trafikkerer strekningen (Olsson et al., 2015).

Måltallet har sine begrensninger også. Målet er aggregert og gir derav bare begrenset informasjon. Det sier ikke noe om forsinkelser underveis på strekninger, eller noe om størrelsen og variasjon av kjøretiden. For eksempel blir en forsinkelse på 6 minutter ansett for å være like ille som en forsinkelse på 20 minutter. Togene blir i begge tilfeller registrert som ikke punktlig. Et tilleggsmål som gjennomsnittlig forsinkelsestimer kan derfor være nyttig. Forsinkelsenes standardavvik og andel tog bør også inkluderes da gjennomsnittet ikke sier



noe om det er mange små eller få store forsinkelser det er snakk om. Dette er vesentlig siden store forsinkelser ofte har større konsekvens enn mindre forsinkelser. En annen svakhet er at positive forsinkelser under punktlighetsgrensen (0 -5 minutter), ikke blir ansett som forsinkelser til tross for at de i realiteten er det. Selv små forsinkelser kan skape store problemer, spesielt på stasjoner med mye trafikk (Veiseth & Bititci, 2005).

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

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

### 3.3 Betydningen av punktlighet

Tid er en viktig konkurransefaktor i dagens samfunn og punktlighet blir derfor en viktig kvalitetsindikator. Etter sikkerhet blir nettopp punktlighet av mange trukket frem som den viktigste kvalitetsfaktoren i jernbanedrift (Fahlén & Jonsson, 2005; Olsson & Haugland, 2004; Seco & Goncalves, 2007). Dette understøttes også av undersøkelser som er gjort på kundetilfredshet hos interessentene (Evers, Harper, & Needham, 1996). Tendensene ser vi også igjen i aktørenes strategier og mål (Marskar et al., 2015)

Temaet får ofte fokus i media, spesielt etter hendelser der mange blir rammet av forsinkelser. Det virker å være en generell oppfattelse av at punktligheten er dårlig, og gjerne dårligere i Norge sammenlignet med andre land. Hvordan kunder og potensielle kunder oppfatter kvaliteten av godstjenester på bane kan være avgjørende for deres valg av transportform.

Prosjektet PUSAM (2012) arbeidet med å tallfeste effekten av forsinkelser og punktlighet i tid og kroner. Studiene baserte seg på «Stated-Preference» analyser. Altså undersøkelser som avdekker hvor mye brukerne er villige til å betale for å unngå forsinkelser. Dette munnet ut i enhetskostnader for forsinkelser, som varierer ettersom hvilken type gods det er snakk om. Den vektete forsinkelsesverdien som benyttes er 72 NOK pr. tonn pr. forsinkelsestime. Studiene sier også at forsinkelsene tenderer å først medfører en kostnad når de er over en viss

størrelse. Hvor stor denne terskelen er varierer imidlertid mellom kundene. Tross dette baseres resultatene fra studiene seg på at kostnaden er proporsjonal med lengden på forsinkelsene. Små forsinkelser (5-15 min) var lavt representert i valgekspérimentene. Resultatene fra studiene egner seg derfor ikke så godt for bergene kostnadene forbundet ved små forsinkelser (Halse & Killi, 2012). Forsinkelsesverdien på 72 NOK pr. tonn pr. forsinkelsestime, gitt gjennomsnittlig last per godstog på 500 nettotonn (Bryne, Skovdahl, & Salicath, 2014), og 10 000 forsinkelsestimer i året (Engeseth, 2015), gir en samfunnsøkonomisk kostnad på 360 millioner i året.

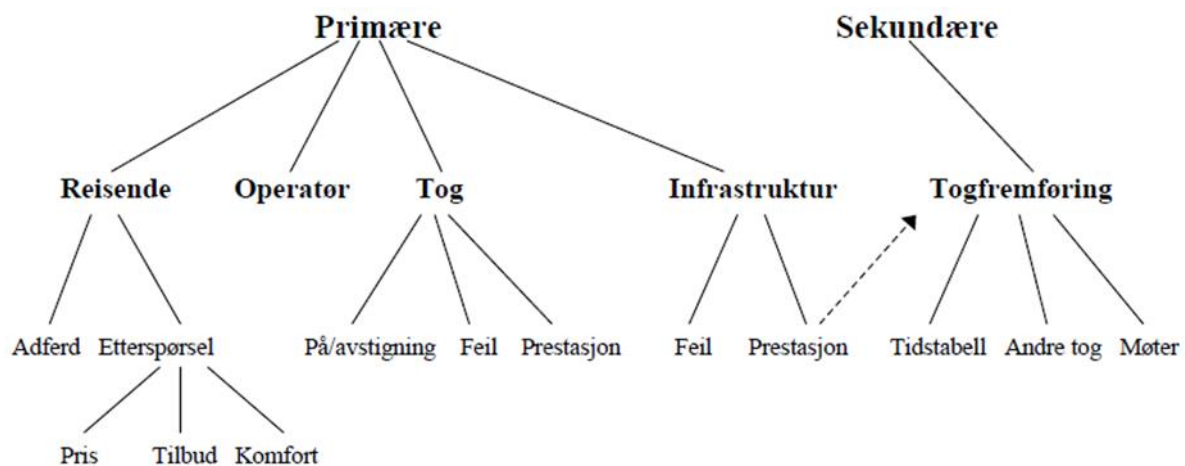
Punktlighet kan altså ha direkte effekt på kostnader. For aktørene handler det om avvikskostnader, mens det for kundene dreier seg om forsinkelses- og tilpasningskostnader, for eksempel ved at de sitter på større varelager enn nødvendig. I tillegg opptrer indirekte effekter i form av omdømme og valg av transportform. Disse kan igjen gi uheldige ringvirkning ved at alternative, mindre miljøvennlige og sikre transportformer blir benyttet. Variasjon og usikkerhet knyttet til togganger vanskeliggjør også gjennomføring av planlagt vedlikeholds- og utbyggingsaktiviteter.

Dette illustrerer at tilstedeværelse av en tilfredsstillende punktlighet er en nødvendig brikke i puslespillet, og på mange måter fremstår som en forutsetning for å oppnå ønsket utvikling av jernbanen og transport av gods.

### 3.4 Faktorer som påvirker punktligheten.

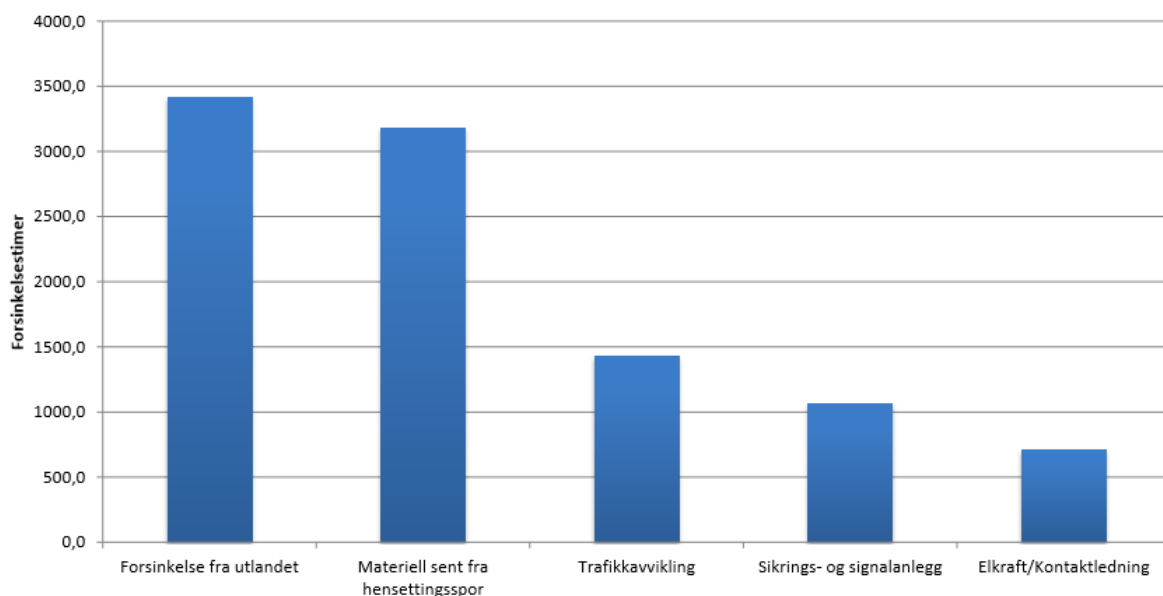
For å kunne bedre punktligheten er det nødvendig med innsikt i hva som skaper forsinkelser. Det kan man blant annet få gjennom årsaksregistreringer. Dersom et tog er forsinket utover det som er definert som punktlig, jf. kap 3.2, er det påkrevd at togleder eller togekspeditør (TXP) manuelt angir en direkte forsinkelsesårsak knyttet til forsinkelsen. Det opereres med 16 forskjellige årsakskoder som overordnet kan deles inn i forhold som skyldes infrastrukturforvalter, trafikkavvikling, togselskap og utenforliggende årsaker (Olsson et al., 2015).

Flere opererer med tilsvarende inndelinger av forsinkelsesårsaker. Olsson, Sætermo og Røstad (2002) argumenterer for en inndeling i «harde» og «myke» faktorer. Hvor førstnevnte favner årsaker av teknisk karakter, mens sistnevnte har et mer menneskelig preg. Lindfeldt (2001) deler forsinkelsesårsakene i primære og sekundære, som det fremgår av Figur 7.



Figur 7: Modell for oppdeling av årsaker til forsinkelse (Lindfeldt, 2001).

Primærforsinkelser kan sees på som direkte årsaker, som for eksempel feil på infrastruktur, feil på rullende materiell eller godsbehandling (lang tidsbruk ved lossing og lastning). Sekundærforsinkelser er indirekte årsaker og kalles også for følgeforsinkelser. Følgeforsinkelse oppstår ved at et tog er forsinket og med det forstyrrer den planlagte toggangen til andre. Slike forsinkelser fremgår gjennom årsaksregistreringen «trafikkavvikling» i Figur 8:



Figur 8: Forsinkelsestimer for de 6 største årsakene for godstog, basert på årsaksregistreringer for 2014. (Engeseth, 2015).

- «Trafikkavvikling»: Følgeforsinkelser, signal stilles for sent, får ikke meldt tog til betjent stasjon, kjøring, overbelastet banestrekning, helhetsvurdering vedrørende rekkefølge/valg av kryssingssted, konstruksjons/systemfeil i ruteplan.
- «Forsinkelse fra utlandet»: Tog er forsinket/innstilt fra utlandet. Toget må holdes tilbake på norsk side grunnet kapasitetsmangel i utlandet. Slike forsinkelser er ikke så enkelt å gjøre noe med selv. Å motivere til bedre samarbeid, kan være en løsning.
- «Materiell sent fra hensettingsspor» benyttes når avgang blir forsinket fordi tog ikke er satt opp i tide fra driftsbanegård/lokalstall/hensettingsspor eller lignende. Slike forhold kan ofte tilskrives interne forhold ved terminalene, som for eksempel kapasitetsutfordringer, sviktende eller manglende rutiner og ytre forhold.

Det er altså indikasjoner på at sene avganger utgjør en betydelig andel av de totale forsinkelsene. Men selv om det ikke nødvendigvis fremgår av årsaksregistreringene, så hevdes det at det er flere sekundærforsinkelser enn primærforsinkelser i et jernbanesystem (Bayissa, 2013). Forsinkelser er ikke alltid åpenbare forhold som for eksempel feil på infrastruktur og rullende materiell. Ofte vil det være flere samvirkende årsaker til de observerte forsinkelsene. Det kan derfor være vanskelig å tilegne forsinkelsen en konkret enkeltårsak. I tillegg vil det være individuelle forskjeller blant togledere knyttet til den manuelle registreringen av årsakene. Årsaksregistreringer blir derfor ofte omtalt som symptomregistreinger da de ikke nødvendigvis reflekterer den virkelige årsaken til forsinkelsen.

Det eksisterer også faktorer som ikke er inkludert i kodesystemet, men som likevel påvirker punktligheten. Ruteplan (slakk), kapasitet og enkeltfaktorer er eksempler på dette og vil bli utledet nærmere i det følgende.

#### Ruteplanen og bruk av slakk

Ruteplanen står i en særstilling når det gjelder faktorer som påvirker punktlighet. Når det diskuteres ruteplan og punktlighet er det sentralt hvor *mye* slakk som bør legges inn og *hvor* i ruta den bør plasseres. Med slakk menes at det ved konstruksjon av ruter blir lagt til tid til den teoretiske kjøretiden for å kunne kompensere for at små forsinkelser ikke skal eskalere og forplante seg i systemet. Eksempler på små forsinkelser er forskjeller i ytelse til lokomotivene, værforhold og kjørestil. I tillegg legges det til planlagt ventetid ved stasjoner basert på prioriteringsregler. Grunnet begrensinger i infrastrukturen vil de enkelte togs

optimale ruteplaner være i konflikt med hverandre. Tog med lavere prioritet planlegges derfor å måtte vente ved stasjon eller kryssningsspor for kryssing/passering av tog med høyere prioritet. Godstog er også ofte lettere og kortere enn hva kjøretid i ruteplanen er beregnet for, slik at den effektive slakken er større enn den beregnede.

Slakk betyr økt kjøretid, mindre effektivitet, mindre kapasitetsutnyttelse og dyrere drift. Dette er i utgangspunktet ikke ønskelig, i alle fall ikke for persontog. For godstog derimot er det knyttet usikkerhet til om presisjon eller slakk er den riktige strategien. Toyota Production Systems med sin Lean filosofi hevder at eliminering av såkalt sløsing, i dette tilfelle slakk, fordrer et stabilt produksjonssystem (Ohno, 1988). I Norge kan ikke produksjonen av godstjenester på bane hevdes å være stabil. Det kan derfor spekuleres i om jernbanesektoren bør fokusere på å levere punktlighet som forventet av kundene før de reduserer slakk og fokuserer på presisjon i trafikkavviklingen. Følgelig blir det en avveining mellom slakk, hurtighet og punktlighet. Det påpekes imidlertid at økt slakk ikke nødvendigvis gir økt punktlighet. Ekstra slakk kan bare balansere noen av faktorene som bidrar til lav punktlighet (Økland & Ekambaram, 2010). Og som nevnt spiser slakken også av kapasitetsutnyttelsen. Aktiv bruk av den vil derfor begrense framføringstid og frekvens. Det vil derfor også være viktig å ta hensyn til disse faktorene i avveiningen.

### Kapasitetsutnyttelse

Det er en utbredt oppfatning at høy kapasitetsutnyttelse av infrastrukturen virker negativt inn på punktligheten, og da hovedsakelig i form av følgeforsinkelser. Dette er bekreftet i empiriske studier av blant annet Olsson, Sætermo og Røstad (2002). Det er av den grunn definert en anbefaling om maksimal kapasitetsutnyttelse. I rushtid er denne på 75% av teoretisk kapasitet, mens den utenom rush er satt til 60% av teoretisk kapasitet (UIC, 2004).

Utnyttelsen av jernbanenettverket blir også lavere ved blandet kjøring. Med blandet kjøring menes at godstogene normalt kjører med lavere hastighet enn persontog. På grunn av dette har godstog ofte avgang sent på kvelden, noe som betyr at godstogene ankommer terminalene tidlig om morgenen.

Det er også vesentlig å få med at Norsk jernbane kjennetegnes av en høy andel enkeltsporede jernbanestrekninger jf. kap. 2.2.3. Ved enkeltsporet drift får nevnte faktorer som slakk, prioriteringsregler og kryssingsmuligheter større påvirkning på punktligheten enn hva tilfelle er for flersporet drift.

### Andre faktorer

Det er gjort norske studier med hensikt om å kvantifisere ulike enkeltfaktorer sine påvirkninger på punktligheten. I 2004 oppsummerte Olsson og Haugland resultatene fra disse studiene. Kapasitetsutnyttelse er en av disse faktorene, og som påpekt i forrige avsnitt indikeres det en negativ korrelasjon til punktlighet. I tillegg ble det avdekket positive korrelasjoner til punktlighet både for kanseleringer, regler for avvikshåndtering og avgangs- og ankomstpunktlighet (Olsson & Haugland, 2004).

Etter dette er det funnet et par tilfeller av forskningsarbeid spesifikt på sammenheng mellom avgangs- og ankomstforsinkelser.

En artikkel skrevet i forbindelse med en doktoravhandling om forbedring av punktlighet i jernbanedrift av Mads Veiseth (2009), avdekker at det finnes en slik sammenheng. Og at forbedringer på avgangspunktligheten følgelig vil ha innvirkning på ankomstpunktligheten. Videre er det forsøkt en tilnærming til å kvantifisere hvor mye avgangspunktligheten og avgangsforsinkelse påvirker ankomstpunktlighet og ankomstforsinkelse. Det ble på dette grunnlag tallfestet en tilhørende samfunnsøkonomisk kostnad på ca. 100 millioner kroner, basert på samtlige forsinkelser i 2007 og 2008. I tillegg ble det avdekt kritiske verdier for størrelsen på avgangsforsinkelsen, med hensyn på sannsynligheten for at toget kommer forsinket til endestasjon. Det ble det avdekt en kritisk forsinkelse på 5 minutter, altså tilsvarende den tolererende punktlighetsgrensen.

Et SINTEF notat av Nils Olsson og Andreas Økland (2011) hvor det ble gjort innledende analyser av tognummer 5793 på bakgrunn av dens dårlige ankomstpunktlighet til Bodø. Her ble det avdekt en kritisk avgangsforsinkelse på 50 minutter.

### 3.5 Hvordan evaluere og forbedre punktlighet

Kvalitet i transport kan forklares gjennom fire aspekter; ønsket-, planlagt-, produsert- og oppfattet kvalitet. Anvendes dette for punktlighet isolert vil det følgelig skilles mellom:

- Ønsket punktlighet
- Planlagt punktlighet
- Produsert punktlighet
- Oppfattet punktlighet

Ved kvalitetsoppfølging i transport hevdes det at alle disse aspektene bør dekkes. Da vil faktisk ytelse bli fulgt opp, samt eventuelle gap mellom de fire aspektene bli avdekket.

I utgangspunktet ønsker både brukerne, aktørene og myndighetene en høy punktlighet. I Norge er det som nevnt en målsetning at punktligheten til endestasjon ikke skal være dårligere enn 90% for godstog. Men hvordan en planlegger punktlighet trenger ikke samsvare med ønsker og mål. Resultatet av hvor gode planene er og hvor gode man er til å følge dem er den produserte punktligheten. Det er denne som presenteres utad i punktlighetsstatistikker. Dog trenger ikke den å være det samme som brukerne opplever (Bustinduy, 1995; Fagerhaug & Olsson, 2005).

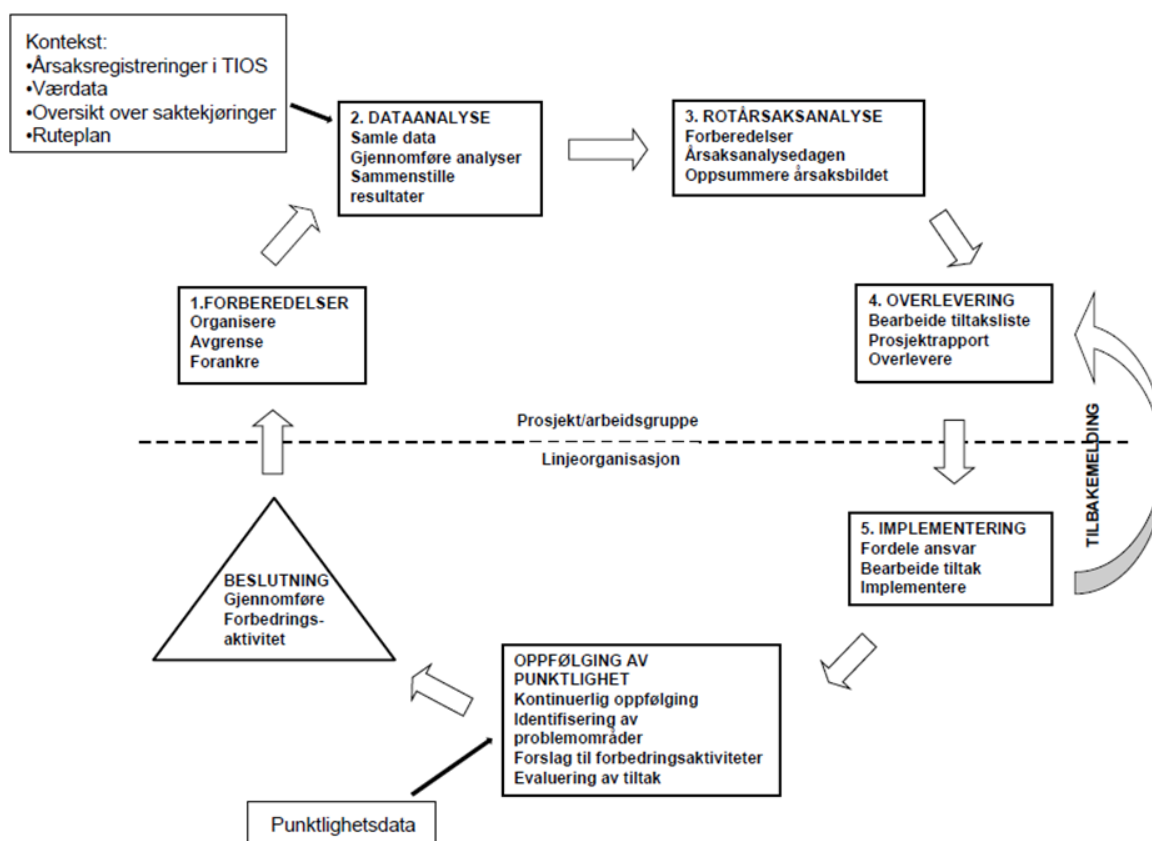
Under forskningsprosjektet PERMO (Performance Measurement in Railway Operations) ble det utviklet en metodikk som Jernbaneverket har besluttet at skal benyttes til punktlighetsoppfølging. Mer spesifikt for å etablere kunnskap om hvilke bakenforliggende årsaker som forårsaker punktlighetssvikten. Metodikken har fått navnet PIMS (Punctuality Improvement Method System), og baserer seg på Demingsirkelen kjent fra kvalitetsledelse og forbedringsarbeid (Veiseth, Heggland, Wien, Olsson, & Stokland, 2011).

Det er i oppgaven forsøkt å følge denne generaliseringen av Demingsirkelen. PIMS-metodikkens generelle oppbygging, samt paralleller til denne oppgaven blir derfor presentert i det følgende – metodekapitlet.





## 4 Metode og prosess



Figur 9: PIMS-metodikken for punktlighetsoppfølging av jernbanetjenester (Veiseth et al., 2011).

Figur 9 viser Jernbaneverkets egenutviklede PIMS-metodikk. Det tar utgangspunkt i oppfølging av punktlighet og beslutning om gjennomføring av forbedringsaktivitet. Videre består den av 5 trinn koblet til. Hvert trinn har en beskrivende fremgangsmåte, og metoden baserer seg på en rollefordeling mellom forbedringsprosjekt og linjeorganisasjonene.

Metodikken med tilhørende prinsipper er hentet fra metodehåndboken for PIMS (Veiseth, Olsson, & Stokland, 2008). I det følgende vil PIMS-metodikkens generelle oppbygging, samt paralleller til denne oppgaven bli presentert:

### Oppfølging av punktlighet og beslutte gjennomføring av forbedringsaktivitet

Dette kan sees på som «trinn 0» i metoden og finnes igjen som den nederste boksen samt etterfølgende trekant i figur 9.

### *Steg 1: Identifisere problemområder*

Gjennom kontinuerlig oppfølging av punktlighetsdata identifiseres avvik fra ønsket produksjon. Oppgavens bakgrunn viser en punktlighetsstatistikk for godstog med gjennomgående dårligere punktlighet til endestasjon en hva som er ønskelig.

### *Steg 2: Foreslå og beslutte forbedringsaktivitet*

For det identifiserte problemområdet utarbeides det en beslutning om å gjennomføre forbedringsaktiviteter. Typisk vil dette gjøres av en leder med ansvar knyttet til leveranse kvalitet og budsjett. I dette tilfelle kan det sammenstilles med Jernbaneverket, ved punktlighetssjefen, sitt utstrakte ønske om å se på togavgangenes betydning for ankomstene.

## Trinn 1: Forberedelser

Deretter starter forberedelsene med mål om å legge et godt grunnlag for gjennomføringen av forbedringsaktiviteten. Dette inkluderer både etablering, avgrensing, planlegging og forankring av arbeidet.

### *Steg 1: Etablering*

Hva angår etablering er det som regel prosjektgrupper som benyttes. Dette for å ivareta punktlighetsutfordringene sin tendens til å gå på tvers av organisatoriske enheter. Det faktum at oppgaven utarbeides alene kompenseres ved tilgangen på faglig ekspertise både gjennom veiledere og ressurspersoner hos Jernbaneverket.

### *Steg 2: Avgrensing og planlegging*

Forsinkelsesårsaker er ofte sammensatte og komplekse, noe som fordrer begrensning av fokusområder og planlegging. Det er i oppgaven derfor foretatt avgrensinger jf. kap.1.3, samt utarbeidet en prosjektbeskrivelse med tidsplan.

### *Steg 3: Forankring*

Selv om det er besluttet gjennomføring av forbedringsprosjektet er det ikke sikkert at det er riktig forankret. Forankringen er i dette tilfelle teoretisk og har gjennom en litteraturstudie hatt til formål å avdekke hva som foreligger av tidligere forskning, samt gi et grunnlag for å utvikle en dekkende problemstilling i form av hypoteser.

## Trinn 2: Dataanalyse

Det neste trinnet er dataanalyse hvor det en skal samle inn data, utføre analyser og sammenstille resultater. Med dataanalyser menes analyser utover det som blir gjennomført i oppfølgingen av punktlighet. Hensikten er å avdekke forhold som inneholder rotårsakene til punktlighetsproblemet. Oppgavens konkrete eksempel på et slikt forhold er avganger, med underliggende faktorer som antall avganger, tidspunkter og lignende. Dataanalysene er altså ment å gi et faktagrunnlag for videre analyser (trinn 3: rotårsaksanalyse). De er derfor overordnede og det er ingen spesifikke krav knyttet til type analyser som skal utføres.

### *Steg 1: Skaffe oversikt og samle data*

Det finnes store mengder data samt mulige analyser og analyseverktøy som kan være relevant for punktlighetsarbeidet. Dette steget byr derfor på en utfordring med å velge ut det som er mest relevant for prosjektets fokusområde. Hvordan det er løst for denne studien fremgår av neste delkapittel, kap. 4.1

### *Steg 2: Gjennomføring av dataanalyser*

Når relevant data er identifisert, samlet inn og organisert kan analysene gjennomføres. Målet bør ikke være å gjennomføre flest mulig analyser, men gjennomføre nok analyser til å ha et godt faktagrunnlag til rotårsaksanalysene. Problemstillingen, tilgjengelig data, tid og kompetanse avgjør valg av verktøy og analyseteknikk. Jf. kapittel 4.2.

### *Steg 3: Sammenstille arbeidet*

Etter at dataanalysene er utført oppsummeres resultater og en beskrivelse av hvordan prosessen er gjennomført. Det er her viktig å tenke på hva hensikten med analysene er, nemlig å gi et best mulig faktagrunnlag for det videre arbeidet. Resultatenes fokus bør derfor være i henhold til dette. Men det er også viktig å ikke overtolke data og resultater. Funnene kan deretter sammenstilles og bekreftelse/avkreftelse av hypotesene kan utledes. Jf. kapitel 5.

## Trinn 3 - 5: Rotårsaksanalyse, overlevering og implementering

Med dataanalysene i trinn 2 som utgangspunkt kan arbeidet med *rotårsaksanalyser* gjøres. Det foregår ofte ved gruppeprosesser sammen med representanter med relevant driftserfaring. Målet er å bryte årsaksforholdene ned til et nivå hvor det er mulig å foreslå tiltak. Videre utarbeides tiltaksliste som *overleveres* til linjeorganisasjonen med myndighet og tyngde til beslutning, prioritering og implementering av tiltakene.

Prosjektet er med dette tilbake på det samme trinnet det startet på. Det er her viktig at implementerte tiltak inkluderes i oppfølgingen og at det utføres evalueringer underveis.

Det er i oppgaven forsøkt å ta høyde for prinsippene underlagt denne metoden. Grovt sett er det den venstre halvdel av figur 9, med hovedvekt på trinn 2 «Dataanalyse», som følges. En fullstendig prosess krever mer enn rammene for denne oppgaven tillater.

## 4.1 Datagrunnlaget

### 4.1.1 Valg av hensiktsmessig periode, togselskap, strekninger, utgangs- og endestasjoner, og tog.

#### Periode

Ved valg av periode var det et kriterium at den i sin helhet måtte være innenfor gjeldende ruteplan. Den startet i midten av desember 2015 og valgt perioden ble følgelig begrenset nedad i henhold til det. Øvre grense ble satt til februar/mars 2016 avhengig av progresjonen og status for oppgaven for øvrig. I tillegg var det et ønske å sikre togbevegelser som reflekterer mest mulig normal drift. Hva som legges i normal drift kan selvsagt diskuteres. Det menes *ikke* at det var ønskelig å unngå bevegelser med avvik fra ruteplanen, men heller avvik som en ellers ikke kan forvente oppstår. Det var i den forbindelse et tema om januar måned, representert av flere dager med mange kuldegrader (ekstremkulde) og følgelig flere store forsinkelser, skulle utgå. Dette er hendelser som ikke inntreffer ofte og når de oppstår er det med stor sannsynlighet bare i den perioden av året som oppgaven tar for seg. Effekten av disse kuldedagene ville altså, isolert sett, blitt mindre på årsbasis enn perioden som var aktuell for dette vedkommende. Tross dette ble januar måned ikke ekskludert da det kan argumenteres for at kuldedagene føyer de seg i rekken av eksterne påvirkninger som gjør seg gjeldende også resten av året. Er det ikke enkelte dager med større forsinkelser grunnet kulde, så er de gjerne representert av flom, ras eller solslyng.

#### Godsselskap

I utgangspunktet var både CargoNet og Cargolink, som de største godstransportørene på jernbane, ønskelig å bruke. Men da Cargolink har besluttet å avvikle sin virksomhet falt valget på CargoNet alene.

### Strekninger og baner

Det er valgt å benytte strekninger fremfor baner. Strekning er slik reisende og andre utenfra ser på en strekning fra A til B. Mens infrastrukturforvalter opererer med baner som det i praksis vil være flere av på en slik strekning, jf. kapittel 2.2.3. Strekningene ble først og fremst avgrenset av oppdragsgiver (Jernbaneverket) til å gjelde bevegelser fra Alnabru. Utover dette var det ingen spesifikke kriterier. Det var likevel ønskelig med så mange som mulig og gjerne i ulike retninger fra Alnabru. Tilgjengelig datamaterialet viste seg å begrense dette noe. Blant annet måtte det gis slipp på ARE togene som går gjennom Sverige og til Narvik.

Tog fra Alnabru til Nordland (Mosjøen/Mo i Rana/Fauske/Bodø) er først er innom Trondheim, slik at disse er betraktet som bevegelser mellom Alnabru og Trondheim. Det samme kan sies om tog fra Alnabru til Drammen. Disse er i praksis de samme togene som fortsetter videre langs sørlandsbanen til Kristiansand/Stavanger. Man kan se på ankomsttilfeller av disse hver for seg, men ikke inkludere begge i totalen da det betyr at de vil bli talt to ganger.

### Tog

Forutsetninger om periode, strekning og togselskap la i stor grad føringer for hvilke tog som var aktuelle å inkludere. Og slik tilgjengelig datamaterialet begrenset muligheten for å benytte enkelte strekninger, ble dette også tilfelle for enkelte tog. For de inkluderte strekningene ble tog nummer 5501, 5705 og 5715 ble ekskludert på grunn av svært få registreringer.

I tillegg er det kjent gjennom tidligere analyser om sammenhenger mellom avgangs- og ankomstforsinkelser, at strekningenes utgangs- og endestasjoner ikke nødvendigvis er de som er mest hensiktsmessig å bruke (Olsson & Økland, 2011). Det viser seg at disse i enkelte tilfeller har mangelfulle registreringer, og at nærliggende stasjoner vil gi flere registreringer. Hvilke stasjoner som er hensiktsmessig å bruke for strekningens ytterpunkter avgjøres også av datamaterialet og dens organisering og vil bli behandlet i neste delkapittel.

Tabell 1 oppsummerer valgene basert på vurderingene gjort i dette delkapittelet:

Tabell 1: Oversikt over valgt periode, togselskap, strekninger, utgangs -og endestasjoner og tog.

Periode	Godsselskap	Strekning (bane)	Tog
01.Januar 2016 - 31.Mars 2016	CargoNet	Alnabru -Bergen (Bergensbanen)	5505
			5507
			5509
			5511
			5513
			5515
			5521
			5523
			5525
		Alnabru - Trondheim (Dovrebanen)	5707
			5709
			5719
		Alnabru - Trondheim (Nordlandsbanen)	5731
			5735
			5737
		Alnabru - Drammen / Kristiansand / Stavanger (Sørlandsbanen)	5803
			5805
			5809
			5811
		Alnabru - Eidanger (Vestfoldbanene)	5821
5371			
			5373

#### 4.1.2 Innsamling og organisering av data.

Data er nødvendig for enhver kvantitativ analyse. I denne oppgaven er det brukt data mottatt fra Jernbaneverket, som i sin tur har hentet det fra databasen TIOS (Trafikkinformasjon og oppfølgingssystem). Som nevnt i kap.3.2 er data i TIOS automatisk registrert gjennom signalanlegg og sporfeltene (fjernstyringssystemer). Hvilket i utgangspunktet skal bety høyere kvalitet av punktlighetsdata i forhold til manuelle registreringer.

Datamaterielt var ikke fullt ut tilpasset slik det fremgår av forrige delkapittel. Det inneholdt ca. 250 000 registreringer i form av tidspunkter for planlagte og faktiske avganger og ankomster for perioden 1. januar 2016 – 31. mars 2016. Alle registreringer var for bevegelser og tog underlagt CargoNet. De fleste, om ikke alle, stasjoner langs strekningene var inkludert, men flere av de hadde mangelfulle registreringer. Med mangelfull menes at det for analyser av sammenheng mellom avgang- og ankomstforsinkelser er nødvendig med tidsregistreringer for både planlagt og faktisk avgang og ankomst. Mangler en eller flere av disse er

sammenhengen følgelig ikke mulig å avdekke. Aktuelle strekninger med tilhørende utgangs- og endestasjoner, samt tognummer ble derfor i stor grad avgjort av datamaterialets innhold og organisering.

Som første ledd i organiseringen ble alle hel- eller delinnstillinger sortert ut. Disse favnes under det som i teorien er omtalt som regularitet, altså andelen tog som faktisk går. Selv om dette også er en viktig faktor for den totale påliteligheten av transporten, bidrar de ikke i analyser av sammenheng mellom avgang- og ankomst da registreringene vil være mangelfulle.

Neste steg i organiseringen omhandlet eliminering av andre mangelfulle enkeltregistreringer. Blant annet er det ikke planlagte avganger og ankomster for alle stasjoner langs en strekning. Det syntes å være kun de mest trafikkerte (total trafikk: person- og godstog) og/eller stasjoner med andre kritiske årsaker som har dette. Alle andre ble følgelig identifisert og sortert ut som mangelfulle. Hvor datamaterialets størrelse naturlig nok krevde at dette ikke kunne gjøres manuelt.

Videre ble det utviklet en modell som identifiserte og talte antall registreringer pr. stasjon for de ulike strekningene. For alle strekninger med unntak av Eidanger (Vestfoldbanen), var Alnabru best egnet som utgangsstasjon. Det var tilfeller hvor andre stasjoner var marginalt bedre, men forskjellene var ikke store nok til å kunne veie opp for ulempen av at stasjonen ikke representerer den faktiske utgangsstationen. Dette var dog ikke tilfelle for strekningen til Eidanger. Her ble registreringer for Bryn (4 km / 2 stasjoner etter Alnabru) benyttet som erstatning for Alnabru registreringer. Tilsvarende fremgangsmåte for endestasjoner førte frem til anvendelse av faktiske endestasjoner for alle strekninger med unntak av tog til Kristiansand/Stavanger (Sørlandsbanen). Her ble registreringer for Langemyr (5 km / 2 stasjoner før Kristiansand) benyttet som erstatning for Kristiansand registreringen. Det presiseres at det i analysene vil vises til faktiske utgangs- og endestasjoner for alle strekninger, uavhengig av hvilke registreringer som er benyttet.

Datasettet var med dette komprimert til å kun inneholde ikke-mangelfulle registreringer, de aktuelle strekninger med tilhørende tog, samt strekningenes mest hensiktsmessige utgangs- og endestasjon. En oppsummering av dette fremgår av tabell 2:

Tabell 2: Oversikt datamateriale: antall avgang- og ankomst registreringer per tog, strekning og totalt.

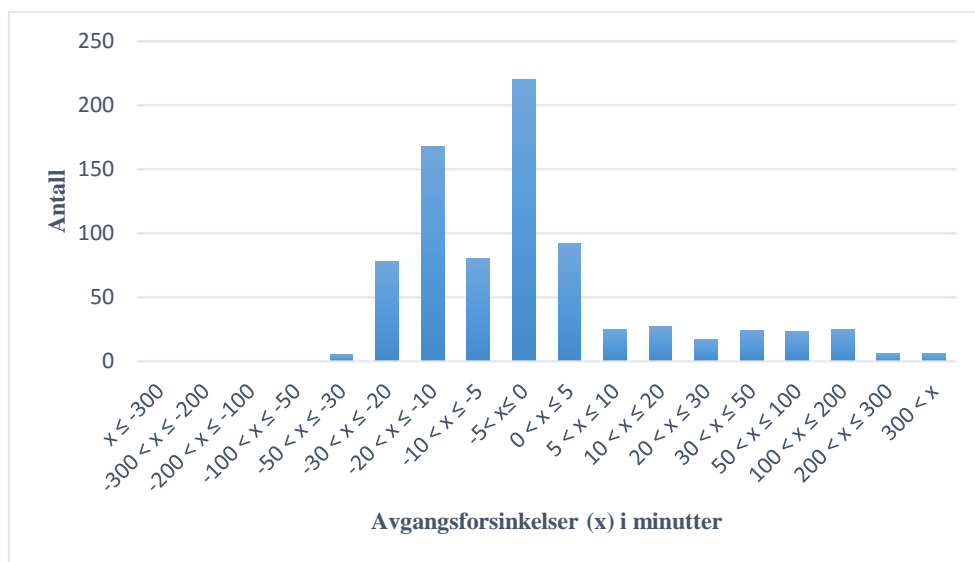
Strekning (bane)	Tog	Antall avg./ank. registreringer		
		Tog	Strekning	Totalt
Alnabru -Bergen (Bergensbanen)	5505	35	283	796
	5507	61		
	5509	47		
	5511	49		
	5513	11		
	5515	46		
	5521	11		
	5523	12		
5525	10			
Alnbrua - Trondheim (Dovrebanen)	5707	48	255	
	5709	60		
	5719	12		
Alnbrua - Trondheim (Nordlandsbanen)	5731	61		
	5735	59		
	5737	11		
Alnabru - Drammen / Kristiansand / Stavanger (Sørlandsbanen)	5803	61	234	
	5805	47		
	5809	48		
	5811	68		
	5821	10		
Alnabru - Eidanger (Vestfoldbanene)	5371	12	24	
	5373	12		

Forsinkelser kan med dette beregnes ved å sammenligne de faktiske registreringene med de forhåndsdefinerte tiden fra ruteplanen. Avvik er enten positive eller negative. Negativ forsinkelse innebærer at toget går eller ankommer før ruteplan, mens positiv forsinkelse innebærer at toget går eller ankommer etter ruteplan. Figur 10 og Figur 11 (neste side) viser det organiserte datamaterialets frekvensfordeling for henholdsvis avgangs- og ankomstforsinkelser.

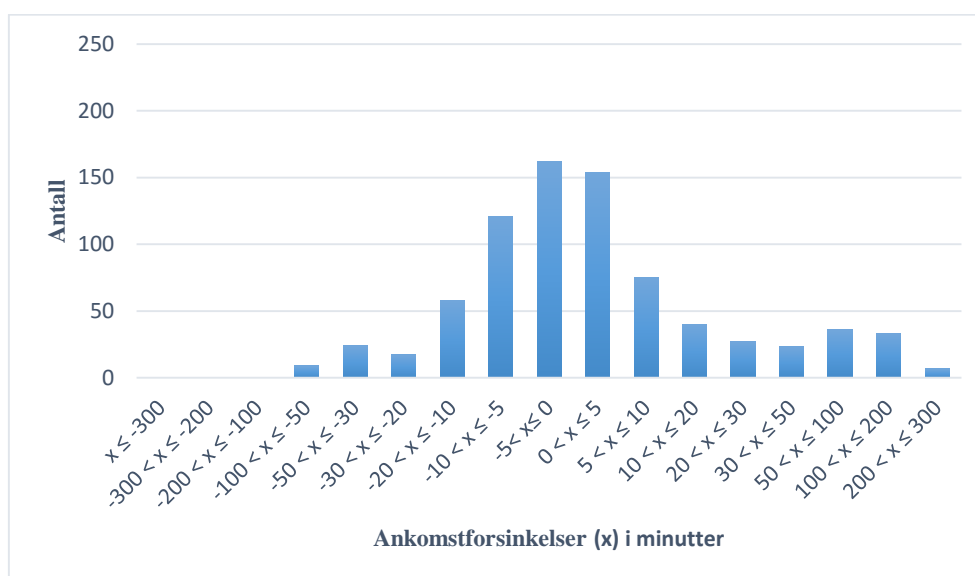
Forsinkelsene er konsentrert mot senter av fordelingen. Avgangsforsinkelsenes median er på -2,0 mens den for ankomstforsinkelser er tilnærmet lik 0. Negativ median indikerer at det i antall er flere negative enn positive forsinkelser. Både avgangs- og ankomstforsinkelsene har positive gjennomsnitt for forsinkelser på henholdsvis 6,3 og 15,0. Samt et forholdsvis stort standardavvik på henholdsvis 45,5 og 62,4. Dette betyr at de positive forsinkelsene er større enn de negative, og at variasjonen i forsinkelser er store. Dette er i samsvar med hva en kunne forvente. Det samme kan sies om halene i fordelingene som er lengre på høyre siden. Det er altså flere større avganger og ankomster *etter* rutetid enn *før* rutetid. Tross noe skjevhet i



fordelingene (på ca. 5 for begge), og større sannsynlighet for ekstreme positive verdier (kurtose på 25 og 38) vil datasettet etter dette bli betraktet som tilnærmet normalfordelt. Dette innebærer at forutsetningene for å benytte p-verdier for å avgjøre statistisk signifikans er oppfylt.



Figur 10: Frekvensfordeling for avgangsforsinkelser



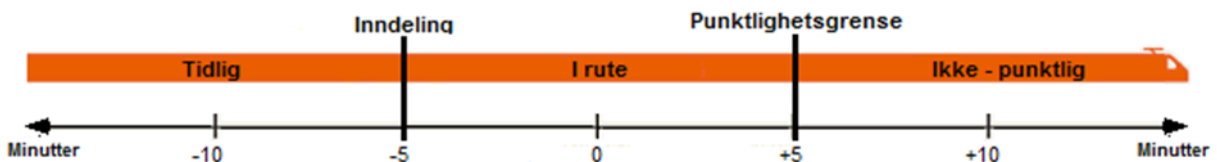
Figur 11: Frekvensfordeling av ankomstforsinkelser

Videre er det benyttet data fra to målepunkter: avgangsforsinkelser fra terminal og ankomstforsinkelser ved endestasjon. Førstnevnte er i datasettet registrert i hele minutter, mens sistnevnte også viser sekunder. Punktlig avgang og ankomst er definert til å være innenfor 5 minutter etter ruteplan, som nevnt tidligere. Avgangsforsinkelser med tilhørende ankomster ble derfor gruppert for å muliggjøre sammenligninger, se figur 12. Denne inndelingen samsvarer med definisjonen av punktlig forsinkelser og gjelder både for avganger og ankomster.



Figur 12: Avgangs- og ankomstforsinkelser inndelt i henhold til punktlig og ikke-punktlig

For å kunne avdekke eventuelle interne forskjeller i ankomst blant de punktlig avgangene er de delt opp i tidlige avganger og avganger i rute slik det fremgår av Figur 13



Figur 13: Avgangsforsinkelser gruppert: tidlig / i rute / ikke-punktlig.

Oppsummert er datamaterialet med dette klargjort for videre analyser av sammenhenger. Data ble bearbeidet og analysert i Microsoft Excel.

## 4.2 Måling og identifisering av sammenhengen mellom avgangsforsinkelser og ankomstforsinkelser.

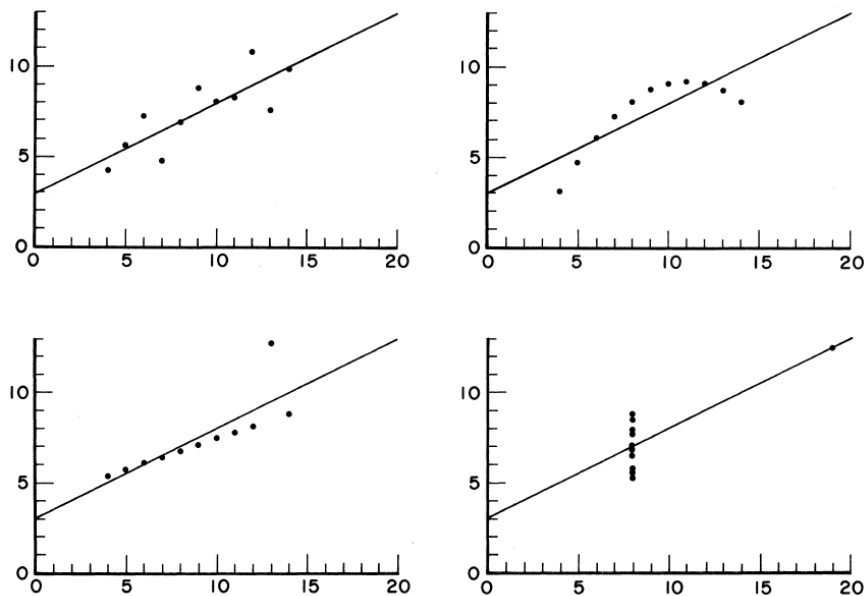
Korrelasjon, også kalt samvariasjon, er i statistikk og sannsynlighetsregning et mål på styrken og retningen av den lineære sammenhengen mellom to variabler. Målingen gjøres ved at en beregner en korrelasjonskoeffisient ut fra to datasett, i dette tilfelle avgangsforsinkelser og

ankomstforsinkelser. Korrelasjonskoeffisienten ( $R$ ) kan ha verdier mellom  $\pm 1$ . En  $R$  lik  $-1$  indikerer perfekt negativ lineær korrelasjon mellom variablene, mens en  $R$  lik  $+1$  indikerer perfekt positiv lineær korrelasjon.  $R$  lik null betyr følgelig ingen lineær korrelasjon.

Forklaringsgraden kan deretter beregnes ved å opphøye korrelasjonskoeffisienten i andre ( $R^2$ ) (Wapole, Myers, & Myers, 1998).

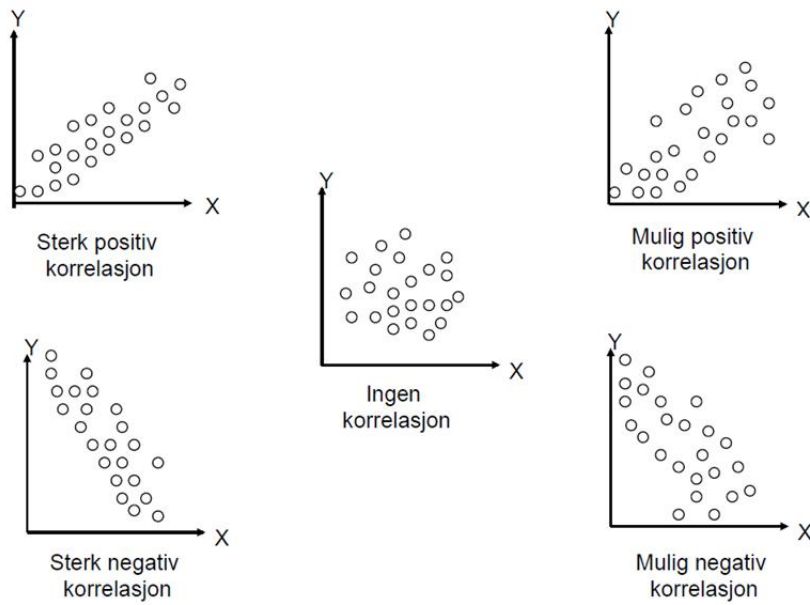
Både positiv og negativ korrelasjon indikerer at det er en sammenheng mellom variablene, men det betyr ikke nødvendigvis at det finnes et kausalt forhold (årsak-virkningsforhold). Det forteller bare at faktorene endres på en lignende måte i samme tidsrom. Til tross for dette kan antagelsene om at man har funnet en reell årsak til forsinkelser styrkes dersom det i tillegg til avdekt korrelasjon synes logisk at det er slik. (Olsson et al., 2015)

Utover korrelasjonskoeffisient og logisk resonering bør korrelasjoner også studeres grafisk gjennom plott. Anscombe (1973) har laget et datasett, Anscombes «kvartett», for å vise hvordan denne typen analyser kan være misledende:



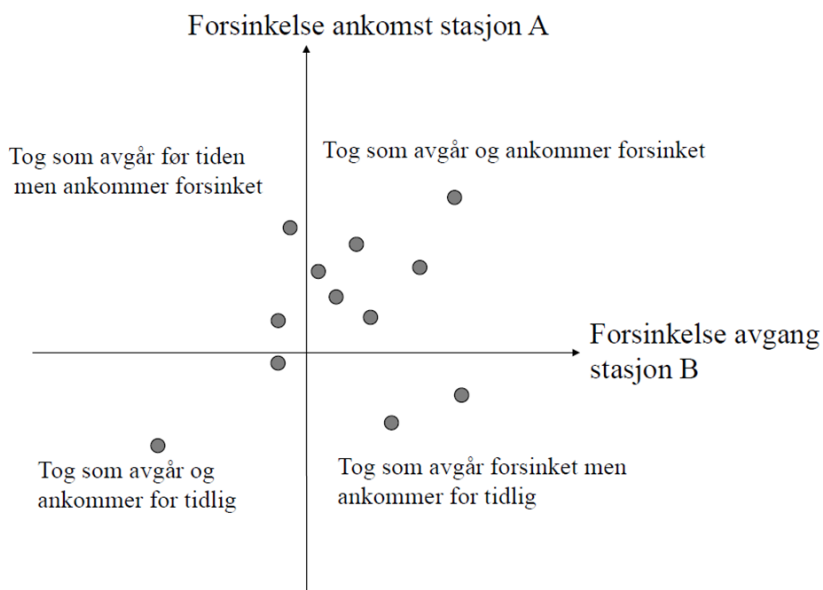
Figur 14: Anscombes «kvartett» -Eksempler på ulike plot med like egenskaper. (Anscombe, 1973).

Alle fire plottene i figur 14 har lik korrelasjon, variasjon og gjennomsnittsverdier for  $x$ - og  $y$ -aksen. Noe som illustrerer hvordan tallene alene kan mislede når en utelater å se på fordelingen av dataene. Tar man derimot hensyn til fordelingene vil ulike grad av korrelasjoner identifiseres slik det fremgår under:



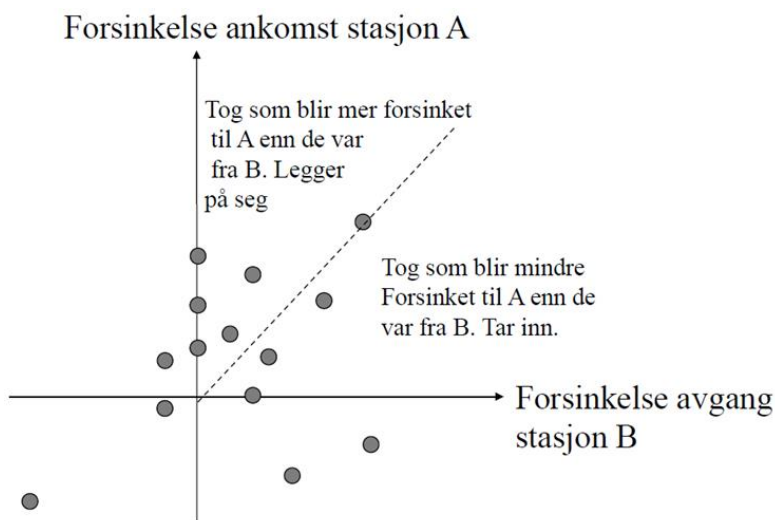
Figur 15: Ulike grader av korrelasjon fremstilt grafisk. (Olsson et al., 2015)

Det benyttes spredningsdiagrammer for å grafisk vise hvordan variabler samvarierer. Konkret gjøres dette ved å plote dem inn i et XY-diagram. Den variabelen man vil ha forklart, i dette tilfelle ankomstforsinkelser, på Y-aksen, og den variabelen man antar påvirker, i dette tilfelle avgangsforsinkelser, på X-aksen.



Figur 16: Spredningsdiagram som viser sammenhengen mellom avgangstid fra en stasjon, og ankomsttid til en etterfølgende stasjon. (Olsson et al., 2015)

I utgangspunktet er det den øvre høyre delen av figur 16, representert av tog som avgår og ankommer med ulik grad av forsinkelse, som er mest aktuell for nærmere studier av denne typen (Olsson et al., 2015). Men øvre venstre del er også av interesse da de også bidrar til ankomstforsinkelser og følgelig dårligere punktlighet ved endestasjon. Tog som ankommer for tidlig (nedre halvdel) er ikke et problem med mindre de kompliserer trafikkbildet for andre tog. Dersom en zoomer inn på den viktigste delen (øvre høyre), se figur 17, kan den ved en 45 graders lineær strek deles opp i tog som blir mer og mindre forsinket til ankomststasjon enn de var fra avgangsstasjon:



Figur 17: En zoom av tidligere spredningsdiagram -økt detaljeringsgrad. (Olsson et al., 2015).

I tillegg anvendes komplementerende mål for beskrivelse av forsinkelse og punktlighet: sum, antall, andel, median, gjennomsnitt, standardavvik, p-verdi og frekvensfordelinger. Disse målene antas kjent og blir derfor ikke utdypet videre. Skulle det likevel være behov, vises det til boken til Wapole (1998), tilgjengelig på internett.

### 4.3 Vurdering av data og anvendte mål

I forbindelse med kvantitative analyser kan det ofte bli spørsmål om reliabilitet og validitet. Førstnevnte viser til dataenes *pålitelighet* og måten den er samlet inn på, mens sistnevnte viser til dataenes *gyldighet* i forhold til aktuell problemstilling. En får med dette en form for kvalitetssikring av forskningsprosessen hvor forskeren formidler at informasjonen er samlet

inn på en troverdig måte, og at opplysningene/resultatene har gyldighet i forhold til problemstillingen.

### Reliabilitet

Data er hentet fra TIOS, en database som Jernbaneverket benytter til punktlighetsforbedringsformål. Oppgavens formål samsvar med denne datakilden.

Likevel bør det påpekes *hvordan* data blir registrert i denne datakilden. Som nevnt (i kap. 3.2) foregår dette for det meste automatisk gjennom signalanlegget. En svakhet i den forbindelse relaterer seg til avstanden fra stasjoner og fra/til henholdsvis inn- og utkjøringssignalet. Disse varierer fra stasjon til stasjon og det vil følgelig eksisterer en viss feilkilde til nøyaktigheten av registreringene av disse dataene. Det samme kan sies om avgangsregistreringene som i datasettet bare fremgår i hele minutter. Ankomster derimot er mer detaljerte da de i tillegg viser sekunder. Disse forskjellene må imidlertid sies å være forholdsvis små, og forventes derfor ikke å ha nevneverdig effekt på resultatene fra analysene.

Men kvaliteten på slike data handler ikke bare om hvor nøyaktig de er. Redman (2001), inspirert av Joseph Juran, definerte datakvalitet som:

”Data are of high quality if they are fit for their indented uses in operations, decision making and planning. Data are fit for use if they are free of defects and possess desired features”.

Altså bør datakvalitet også bli vurdert ut fra hvor godt den tilfredsstillende bruk i en gitt prosess. Det er derfor også hensiktsmessig å vurdere dataenes gyldighet til problemstillingen; at det faktisk måles og søkes svar på det som er hensikten å gjøre.

### Validering av sammenhenger

Korrelasjonsmålet gir ikke alene grunnlag for å kunne uttale seg kausalt. Det har også blitt nevnt at målet bør sees i sammenheng med *grafiske* fremstillinger samt hva som syntes logisk, før en kan nærme seg en kausal sammenheng. Dette elementet overholdt tilfører sådan troverdighet. For å være på den sikre siden bør resultatene derimot testes ut gjennom simuleringer og/eller testes for andre forhold.

Det bør også nevnes at korrelasjoner bygger på antagelser om *lineære* sammenhenger. Eksempelvis kan sammenhengen mellom arbeidsinntekt og alder tilsynelatende virke lineær: dess eldre en blir, dess mer vil en kunne forvente å tjene. Men i realiteten er den ikke-lineær som følger av inntektsreduksjon i høy alder (pensjonister). I dette tilfelle er

korrelasjonskoeffisienten ikke et egnet mål på styrken i samvariasjonen. Forklaringsgraden,  $R^2$  indikerer hvor god den lineære tilpasningen er for den faktiske sammenhengen.

Videre vil *skjevfordelte* utvalg gi underestimert korrelasjonskoeffisient, noe som kan være tilfelle i denne oppgaven, jf. skjevhet avdekket i kapittel 4.1.2. Korrelasjonen øker også med økende *spredning* (varians), hvilket innebærer at utvalget bør være representativt for populasjonen med tanke på spredning på variablene. Eksisterer det større varians (eks. flere/større ekstreme verdier) enn hva en kan forvente er representativt for populasjonen, vil den beste lineære tilpasningen, korrelasjonskoeffisienten og tilhørende forklaringsgrad bli overestimert. Dette er forsøkt tatt høyde for ved valg av datamaterialet, jf. kap. 4.1.1.

### Ekstern gyldighet

I utgangspunktet skulle det vært ønskelig med et større utvalg av populasjonen. Enten gjennom en større periode og/eller gjennom flere avgang/ankomst registreringer blant de som inngikk i perioden. I midten av desember 2015 kom en ruteendring, for å sikre resultater basert på den gjeldende ruten ble perioden derfor besluttet avgrenset nedad tilsvarende dette. Generalisering av resultater (ekstern gyldighet) kan vanskelig gjøres utover den populasjonen den kommer fra, og det tidspunktet undersøkelsen er gjennomført på. Jernbanesystemet er dynamisk og endringene krever nye analyser. Gamle analyser får relevans gjennom at dess flere ganger en kommer frem til de samme resultatene, dess mer troverdige fremstår de.





## 5 Resultater og analyse

---

Del I, hypotese 1 – hypotese 3, har til formål å *empirisk* forklare sammenhengen mellom avgangs- og ankomstforsinkelse. Disse sammenhengene er videre ment å anvendes i del II, hypotese 4, med formål om å bidra i arbeidet mot å forbedre punktligheten til endestasjon for godstog. Sammen med oppgavens *teori* utgjør dette grunnlaget for å kunne utlede en bekreftelse eller avkreftelse av oppgavens problemstilling uttrykt gjennom hypoteser.

### Del I

#### 5.1 Hypotese 1:

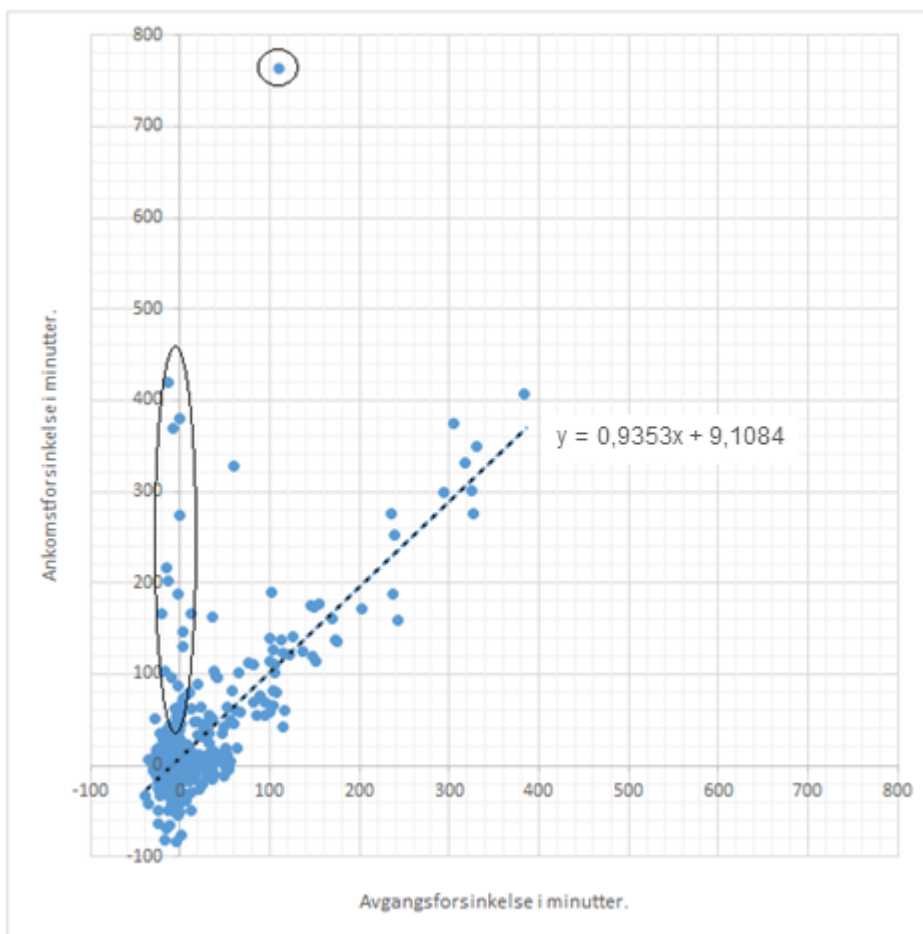
For å besvare hypotese 1 er det både for ulike strekninger, og samlet sett, beregnet andel punktlige avganger og ankomster, korrelasjonskoeffisient, forklaringsgrad, statistisk signifikans og antall registreringer:

Tabell 3: Punktlighets- og korrelasjons analyse for ulike strekninger og samlet.

Strekning	Avgangs-punktligheit	Ankomst-punktligheit	Korrelasjons-koeffisient (R)
Alle	81 %	68 %	0,68
Bergen	79 %	80 %	0,60
Trondheim	82 %	64 %	0,73
Kristiansand	83 %	64 %	0,82
Eidanger	67 %	25 %	0,93

Det fremgår av tabell 3 at ankomstpunktligheitene stort sett er lavere enn avgangspunktligheitene. Dette indikerer at det er andre forsinkelser, utover avgangsforsinkelsene, som preger ankomster til endestasjon negativt. Disse forsinkelsene er det som er omtalt under samlebetegnelsen *underveisforsinkelser*, og kan oppstå underveis på strekningen som følge av plutselige hendelser (eksterne effekter), diverse feil på infrastruktur, signalanlegg, rullende materiell, eller en kombinasjon gjennom følgeforsinkelser.

Korrelasjonskoeffisient (R) i samme tabell, indikerer en sterk positiv samvariasjon mellom avgangs- og ankomstforsinkelser. Det samsvarer med antagelser, årsaksregistreringer og tidligere forskning om denne sammenhengen (jf. kap. 3), og det syntes derfor logisk at det er slik. Men som påpekt i metoddelen, er det også viktig å se tallene i sammenheng med grafisk fremstilling. Og også vurdere; den lineære sammenhengen, om spredningen er representativ, og eventuell påvirkning av skjevfordeling. Dette bli behandles i det følgende:



Figur 18: Korrelasjonsplott mellom avgangs- og ankomstforsinkelser, for alle bevegelser inkludert i analysen.

Figur 18 indikerer en lineær sammenheng, og den stiplede regresjonslinjen viser den beste lineære tilpasningen. Ligningen for denne linjen,  $y = 0,935x + 9,108$ , angir modellens forventede sammenheng. For ulike avgangsforsinkelser (x) får en på bakgrunn av den bakenforliggende sammenhengen en antatt ankomstforsinkelse (y). Forklaringsgraden,  $R^2$ , indikerer at ca. halvparten av de reelle ankomstforsinkelsene fanges opp av denne modellen. Dette kan sies å være noe lavt for å anse modellen som troverdig. Gitt disse forutsetningene

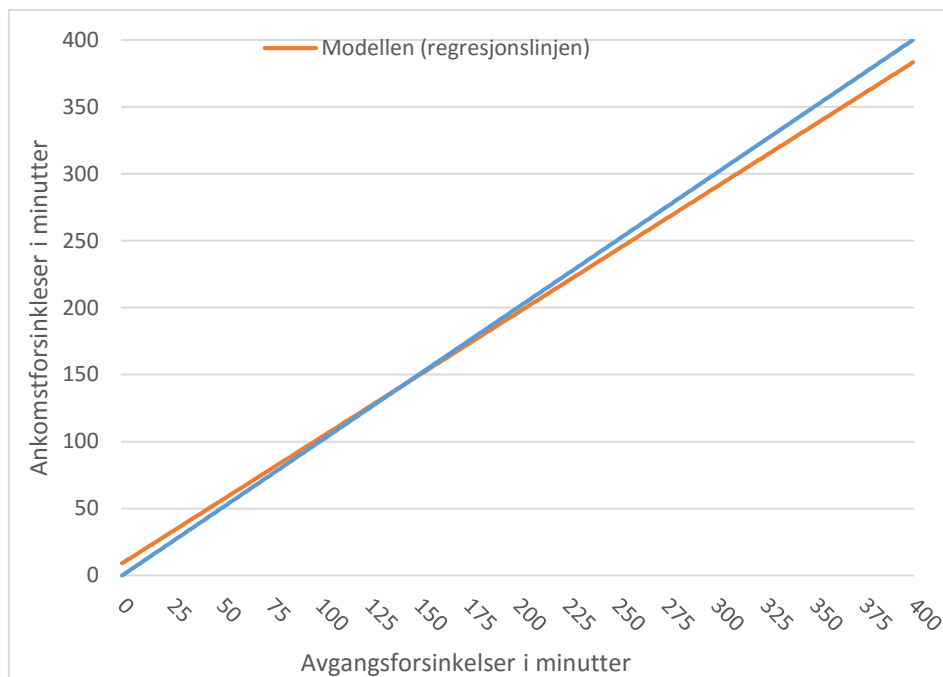
tilsier beregnet p-verdi, både konstantledd og variabelt ledd, at modellen er signifikant forskjellig fra null ( $p < 0,001$ ).

En stor del av støyen, eller vertikale avvik fra regresjonslinjen, finnes i den ovale ringen langs y-aksen i figur 18. Dette er avganger som til tross for å være punktlig i ulik grad ender opp med å være ikke-punktlig ved endestasjon. Med andre ord ankomstforsinkelser som er oppstått fra underveisforsinkelser alene. I kontrast tilsier flere av de store forsinkelsene langs regresjonslinjen at avgangsforsinkelsene opprettholdes noenlunde i størrelse frem til endestasjon. Regresjonslinjen er i dette tilfelle tilnærmet 45 grader, slik at jo nærmere punktene ligger denne linjen jo større er samvariasjonen mellom avgangen og ankomsten.

Innledningsvis i resultatkapitlet viste tabell 3 en ankomstpunktligheit for alle strekningene samlet sett (hele datasettet) på 68%, dette er noe lavere enn hva tidligere års statistikker viser (rundt 80% jf. figur 2, kap.1.1). Det kan derfor tyde på at utvalget analysene baserer seg på er noe mer preget av forsinkelser enn det kan forventes av populasjonen på årsbasis. Dersom det er flere eller større ekstreme verdier enn hva man ellers kan forvente, blir konsekvensen at resultatene påvirkes. Ringen øverst i plottet for figur 18 viser til et ekstrempunkt. I tillegg til å være ekstremt er det bare ett tilfelle av det. En sensitivitetsanalyse utført viser at eliminering av dette ekstrempunktet ikke gir en korrelasjon og regresjonslinje som fraviker nevneverdig. Det antas derfor at spredningen er representativ.

Fra frekvensfordeling i kapittel 4.1.2 samt diskusjon av gyldighet i kapittel 4.3, er det påvist noe skjevhet i fordelingen av forsinkelsene. At det er flere tog som har større forsinkelser etter ruten (positiv forsinkelse) enn før (negativ forsinkelse) virker også rimelig. Konsekvensen kan være underestimerte resultater, dog er ikke skjevheten større enn at normalfordeling legges til grunn.

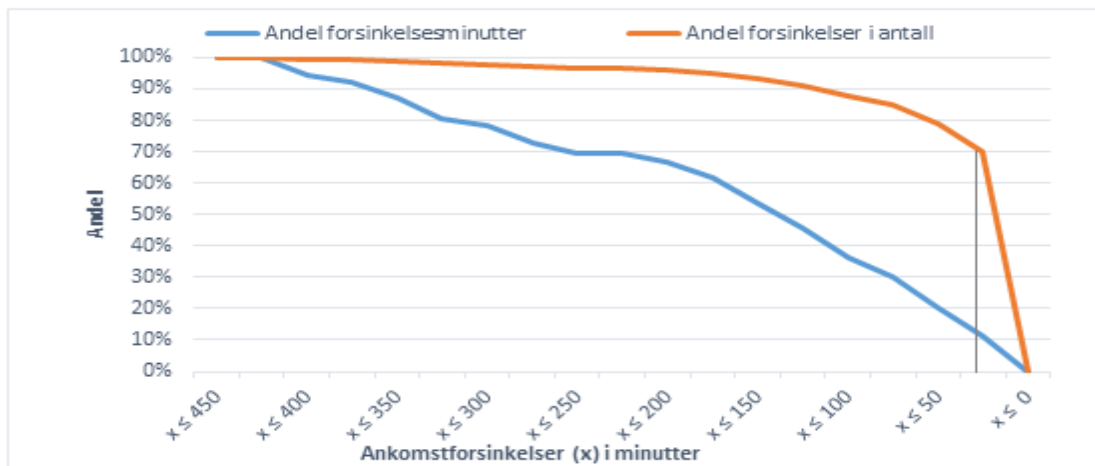
Det er også hensiktsmessig å se hvordan modellen (regresjonen) slår ut med hensyn til praktisk betydning. Modellen består av en x-variabelen som ligger under 1 (0,935) og et konstantleddet som er lite relativt til store forsinkelser. Det betyr at store avgangsforsinkelser vil øke relativt mindre enn de forventede ankomstforsinkelsene slik det fremgår av figur 19. Dette virker å være en fornuftig antagelse, så fremst forsinkelsene ikke blir svært store. Imidlertid er den største avgangsforsinkelsen som er registrert ca. 400 minutter, og forventet ankomst blir følgelig 383 minutter. Altså er det i praksis ikke sannsynlig med forsinkelser store nok til at nevnte effekt vil slå ut.



Figur 19: Utviklingen til modellen relativt til perfekt sammenheng, for økende forsinkelser.

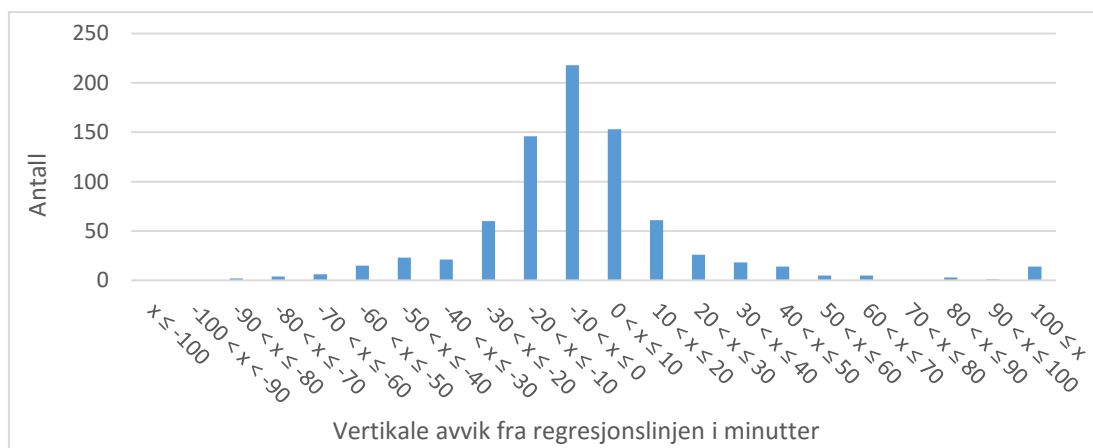
Den praktiske betydningen av modellen for *små* forsinkelser vil det kunne hevdes at x-variabelen er troverdig. At den er under 1 betyr at det forventes at togene tar inn forsinkelser underveis, slik at de ankommer mindre forsinket enn de var. Teori fra kapittel 3.4, om innlagte buffertider i ruteplanen, understøtter en slik tilnærming. Konstantleddet kan imidlertid virke å være noe i overkant for de små forsinkelsene. Den tilsier at tog som avgår i rute forventes å ankomme ikke punktlig. For eksempel vil et tog som avgår 4 minutter før teoretisk rutetid, forventes å ankomme i mer enn 5 minutter etter ruten – ikke-punktlig. En forklaring på konstantleddets størrelse kan være regresjoner sin tendens til å gi positive konstantledd som ikke går gjennom origo. For å undersøke dette kan aksene byttes om, i stedet for xy-plott blir det altså yx-plott. Det skulle da forventes at skjæringen med aksene (konstantleddet) blir negativt. Er den ikke nevneverdig endret er det et tegn på at konstantleddet er påvirket av svakheter med regresjonsmetoden. Det viser seg imidlertid at konstantleddet endres til negativt;  $-1,164$ .

I det videre tas fordelingen av antall forsinkelser og antall forsinkelsesminutter med i betraktningen for den praktiske betydningen av forsinkelser relativt til modellens prediksjoner:

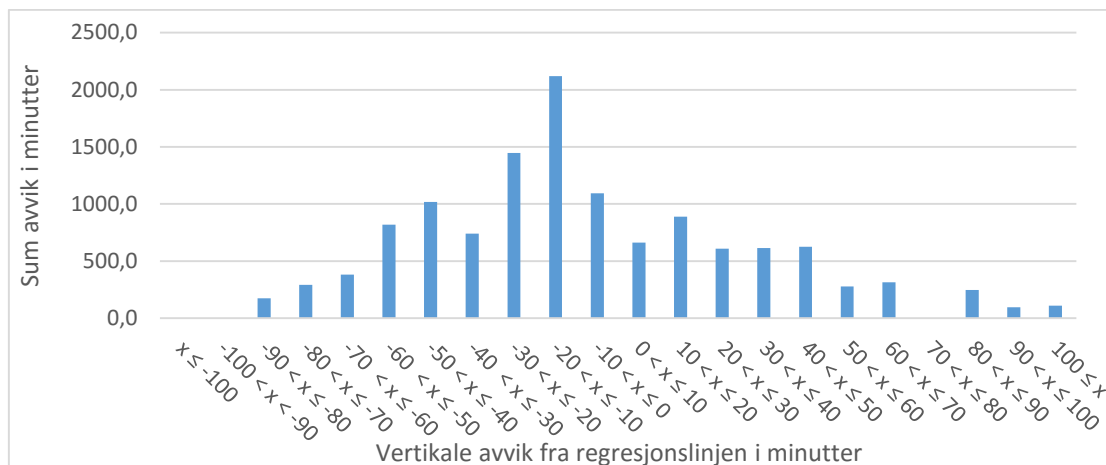


Figur 20: Andel positive ankomstforsinkelser i antall og mengde (minutter).

Det fremgår av oransje graf i figur 20 at 70% av de positive ankomstforsinkelsene, i antall, er under 25 minutter (små forsinkelser). Modellen virker altså ikke bare å være dårlig egnet til å beskrive små forsinkelser, men de små ankomstforsinkelsene utgjør også en stor andel av det totale antallet. Modellen kan derfor ikke sies å være godt egnet for disse forsinkelsene. Blå graf i figur 20 tilsier at andelen forsinkelsesminutter fordeler seg jevnere. Men sett i sammenheng med antall forsinkelser innebærer det at bare 10% av de totale forsinkelsesminuttene til endestasjon er såkalt små forsinkelser. Med andre ord er 90 % av forsinkelsene større forsinkelser. Modellen som i utgangspunktet er ment å beskrive absolutte mengder og ikke antall, og som tenderer til å favorisere de store forsinkelsene i sin tilpasning, beskriver naturlig nok derfor bedre disse større forsinkelsene. Men det må påpekes at de større forsinkelsene bare står for 30% av den totale andelen forsinkelser i antall, og at modellen bare forklarer halvparten av forsinkelsene. Figur 21 og 22 viser fordelingen til avvikene:



Figur 21: Antall vertikale avvik fra regresjonslinjen for ulike intervaller med avvik i minutter



Figur 22: Sum vertikale avvik fra regresjonslinjen for ulike intervaller med avvik i minutter

Det observeres fra avviksfordelingene ovenfor at det er en tendens til negativ skjevhet, hvor mange negative små avvik dominerer. Disse avvikene representerer støyen som modellen ikke tar høyde for. Det antas at et høyt konstantledd er årsaken. Dog søker modellen å minimere disse avvikene (minste kvadraters metode), en annen lineær tilpasning vil derfor gi et større avvik. Men det argumenteres for at en stor andel av avvikene tilfaller et stort antall av små forsinkelser. Noe som med hensyn til praktisk betydning virker å være uheldig. Følgelig vil det være vanskelig å legge til grunn denne lineære sammenhengen. Hvorvidt en lineær tilpasning som ikke baserer seg på minste kvadraters metode, men som mer tar hensyn til det store antallet små forsinkelser, vil gi en bedre beskrivelse skal ikke forsøkes å besvares i denne studien. Ellers er det flere forhold som peker i retning av en ikke-lineær sammenheng.

### Oppsummering

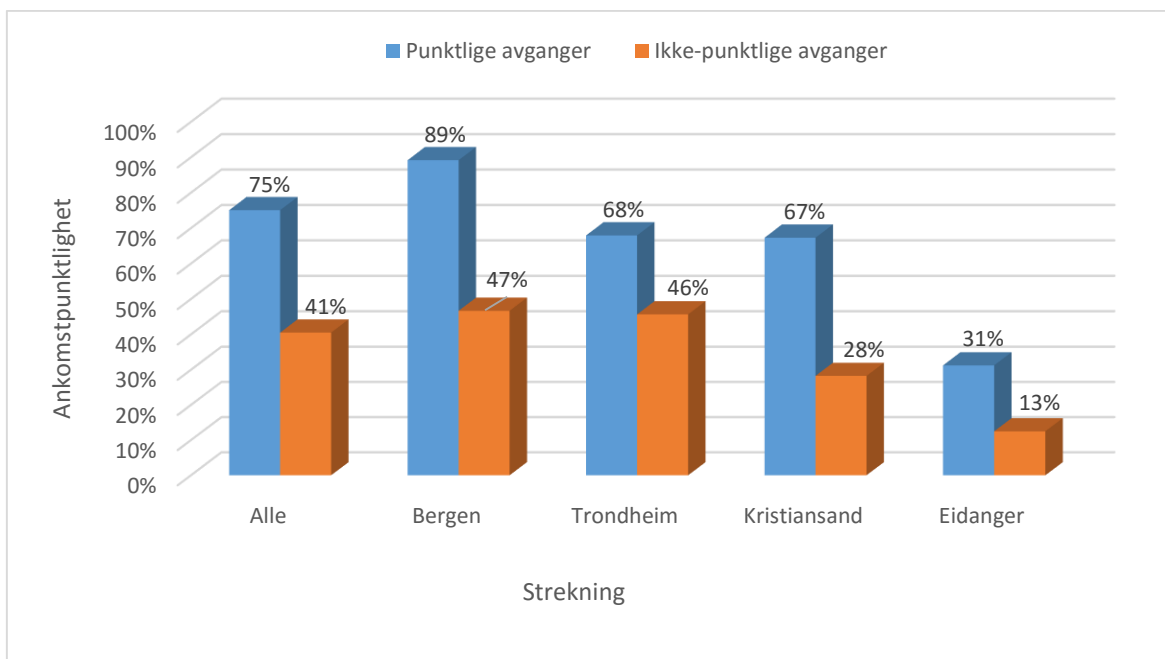
Trekkes trådene sammen er det innledningsvis presentert empiriske funn som indikerer en sterk positiv samvariasjon mellom avgangs- og ankomstforsinkelser. Dette støtter opp under antagelser, årsaksregistreringer og tidligere forskning hva angår sammenhengen mellom avgangs- og ankomstforsinkelser, jf. teoridel. Det er videre tatt høyde for noen forutsetninger og typiske sider ved regresjoner slik som; grafisk fremstilling linearitet, spredning og skjevhet, jf. metodedel. Forutsetninger er tilfredsstilte, men det stilles spørsmål ved linearitet sett i sammenheng med den praktiske betydningen av forsinkelsene. Sammenhengen regresjonen predikerer blir sterkt påvirket av få store forsinkelser. De resterende forsinkelsene, herunder mange små forsinkelser, vil følgelig baserer seg på dette. Med andre

ord; dersom regresjonslinjen ( $y = 0,935x + 9,108$ ) legges til grunn som en forklaring på sammenhengen, så virker den i liten grad å kunne forutsi ankomstene til små avgangsforsinkelser. Dette på bakgrunn av at ankomstforsinkelsene forventes å være større enn virkeligheten tilsier. Dette være seg både i tallverdi og praktisk betydning. Eksempelvis vil  $y = 0,935x + 9,108$  for -4 minutter avgangsforsinkelse sies å ankomme over 5 minutter forsinket – ikke punktlig. Regresjonslinjen ser følgelig ut for å egne seg best for å beskrive større forsinkelser. Noe som innebærer at sammenhengen mellom avgangs- og ankomstforsinkelser, med hensyn til den praktiske betydningen av forsinkelser, tenderer å være ikke-lineær.

## 5.2 Hypotese 2:

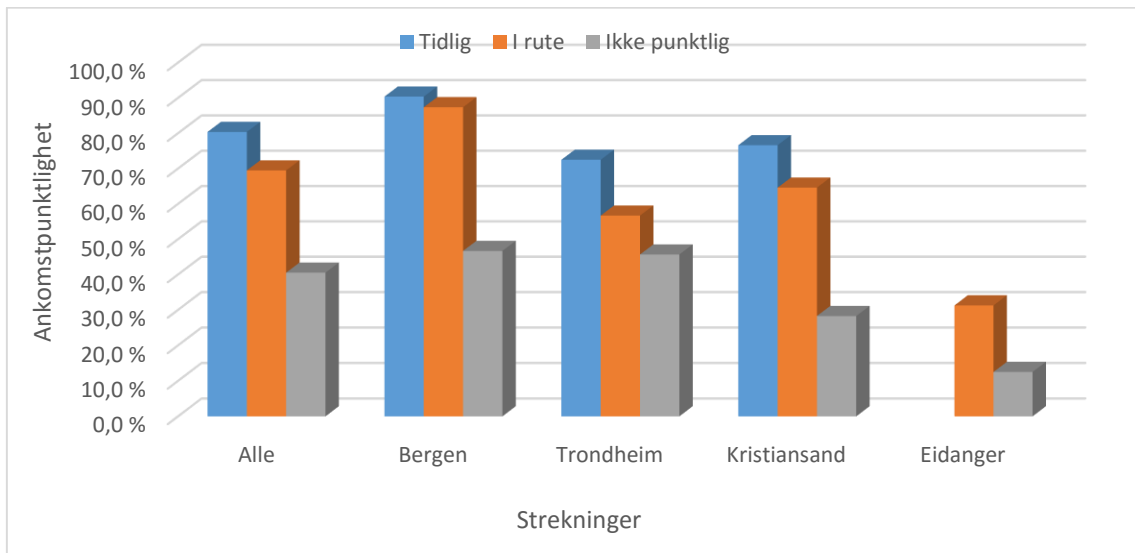
Funn fra hypotese 1, samt teori om operasjonelle prioriteringsregler i Norge som sier at et punktlig tog skal ha høyere prioritet enn et forsinket tog, indikerer at det er forskjell på ankomstpunktligheten for ulike avgangstider.

For å besvare hypotese 2 ble det først tatt utgangspunkt i akkumulert ankomstpunktlighet for punktlig og ikke-punktlig avganger:



Figur 23: Ankomstpunktlighet for henholdsvis punktlig og ikke-punktlig avganger.

Figur 23 viser at de punktligte avgangene har bedre ankomstpunktligghet enn de ikke-punktligte avgangene. Disse forskjellene viser seg også å være statistisk signifikant ( $p < 0,001$ ). For å se om det er forskjell på ankomstpunktliggheten internt blant de punktligte avgangene, ble de punktligte avgangene delt opp i tidlige avganger og avganger i rute, jf. metodedel.



Figur 24: Ankomstpunktligghet for henholdsvis tidlige avganger, avganger i rute og ikke-punktligte avganger

Det fremgår av figur 24 at både tidlige avganger og avganger i rute hver for seg har bedre ankomstpunktligghet enn ikke-punktligte avganger. Forskjellene er også signifikante ( $p < 0,001$ ). Tilsvarende har tidlige avganger signifikant bedre ankomstpunktligghet enn avganger i rute, for strekningene til Trondheim og Kristiansand.

Punktligghetsmålet sier ingenting om hva som skjer utenfor punktligghetsgrensen. Følgelig vil alle tog uavhengig av hvor stor forsinkelsen er utover punktligghetsgrensen bli klassifisert likt, som ikke-punktlig. Det vil derfor være hensiktsmessig å undersøke dette nærmere:

Tabell 4: Sensitivitetsanalyse for ikke-punktligte ankomster -hva skjer utenfor punktligghetsgrensen.

Mål	Ikke-punktligte ankomster	
	Punktlig avg.	Ikke-punktlig avg.
Sum forsinkelser	5367	10265
Antall forsinkelser	160	91
Gj.snitt forsinkelse	33,5	112,8
Forsinkelsenens std.avvik	63,6	113,8



Tabell 4 viser at det blant de ikke-punktlige ankomstene er det færre og større forsinkelser og spredning for ikke-punktlige avganger relativt til de punktlige avgangene. I sammenheng med diskusjoner under hypotese 1 kan det nevnes at for de punktlige avgangene med ikke punktlige ankomster er over 70% av forsinkelsene små (<25 min). De har en gjennomsnittlig forsinkelse på i overkant av 10 minutter. For ikke-punktlige avganger er andelen små forsinkelser 15%, og bare knappe 2 % av de totale forsinkelsesminuttene for denne gruppen kan tilskrives de små forsinkelsene. Videre betyr forskjellene i tabell 4 at det vil kreve mer å øke ankomstpunktligheten for ikke-punktlige avganger enn punktlige. Forholdet mellom disse med hensyn på ankomstpunktligheten styrkes derfor ytterligere i favør av de punktlige avgangene.

### Oppsummering

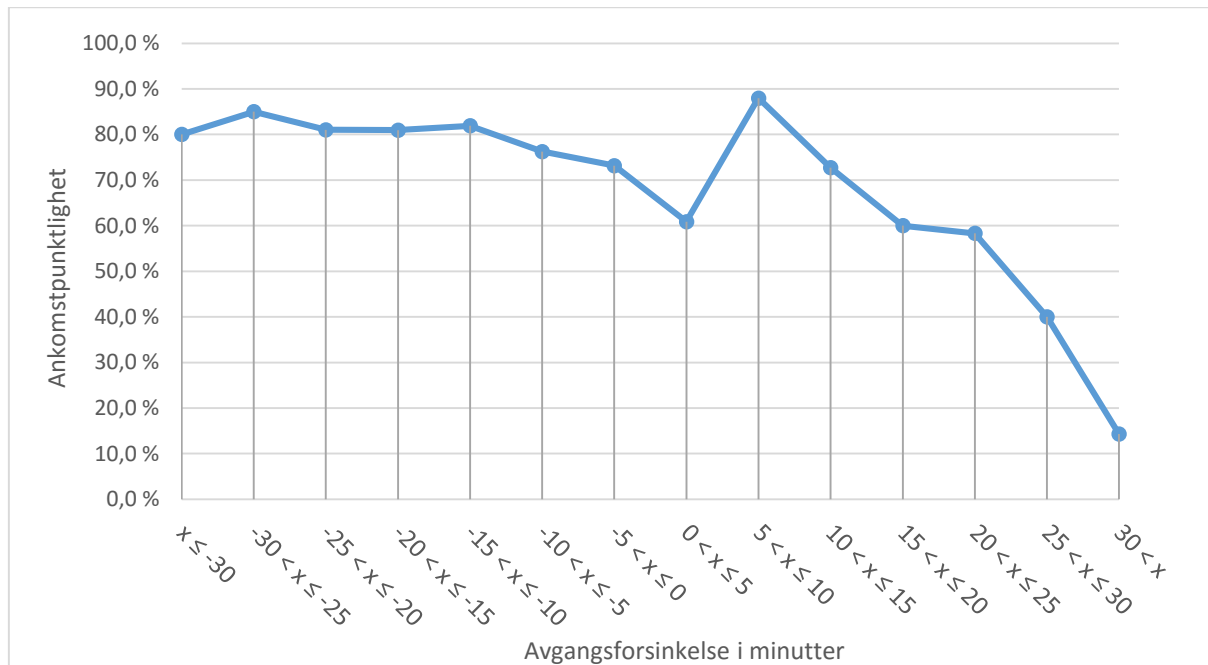
Det er med en litt annen vinkling bekreftet funn fra forrige hypotese, samt gjort empiriske funn som støtter seg til teorien hva angår optimalt tidspunkt for avgang med hensyn på ankomstpunktligheten; punktlig avgang bedre enn ikke-punktlig. Det er også vist tendenser til at tidlige avganger er å foretrekke blant de punktlige avgangene. Selv om dette kan virke intuitivt så er det motstridene til prinsippene underlagt ruteplan, samt funn fra tidligere forskning. Dog er det i denne oppgaven ikke tatt hensyn til potensielle konflikter med annen transport. Tas dette i betraktning, for eksempel ved å beregne vektete gjennomsnitt hvor vektleggingen foregår i henhold til prinsippene underlagt ruteplanen, kan det tenkes at utfallet hadde vært annerledes.

### 5.3 Hypotese 3:

Det er flere faktorer som påvirker forholdet mellom avgangs- og ankomstforsinkelser. Togledere kan bruke en generell vurdering basert på den totale trafikksituasjonen når de gjør operasjonelle prioriteringer mellom tog i avvikssituasjoner. Videre kan det være mulig for togene, på grunn av innlagt slakk i ruteplanen, å komme i tide til tross for sene avganger. Altså kan jernbanesystemet ha potensialet for å absorbere forsinkelser ved normal drift. Men det forventes at forsinkelser som overskrider visse grenser vil være forbundet med markert lavere punktlighet til endestasjon.

For å besvare hypotese 3 er det statiske bildet innledningsvis i forrige delkapittel utvidet til en punktighetsutvikling for flere mindre intervaller av avgangsforsinkelse, Figur 25. Det minnes

om at kritiske avgangsforsinkelser er definert til å være grensen hvor forsinkelsene vil være forbundet med markert lavere punktlighet til endestasjon.

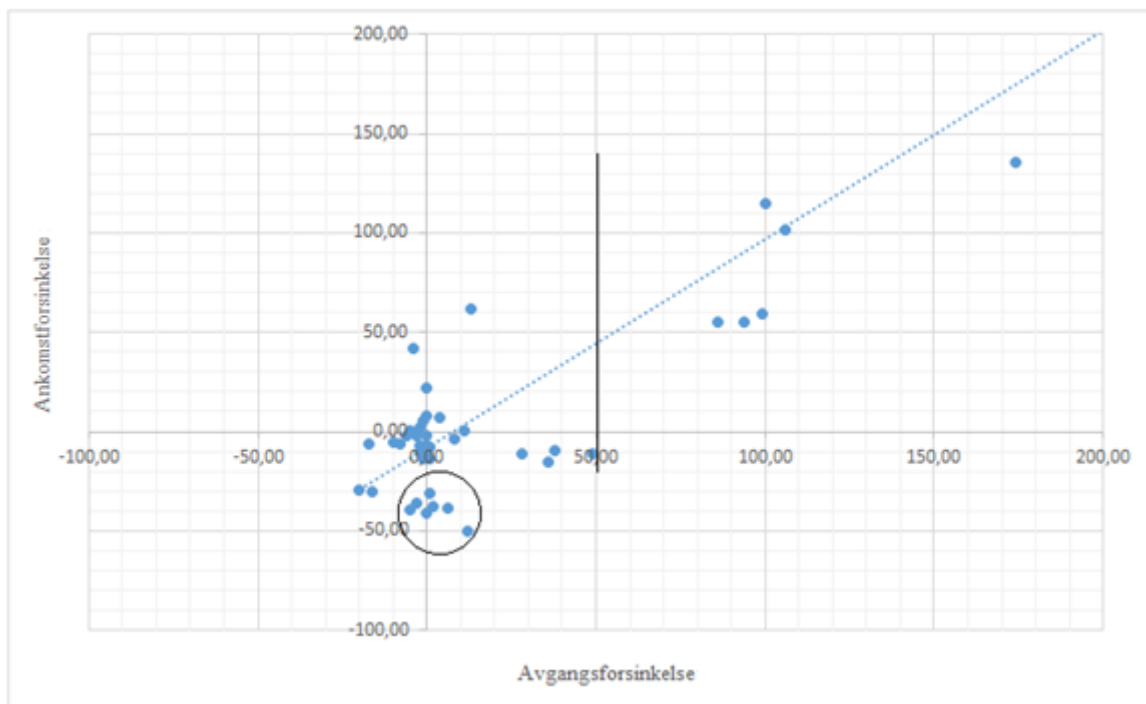


Figur 25: Punktlighetsutvikling for ulike intervaller av avgangsforsinkelse.

Inntrykket en får av figur 25 samsvarer delvis med tidligere fremstillinger av punktlighet, hvor ikke-punktlige avganger kommer dårligere ut med hensyn til ankomstpunctlighet, og en tendens til at tidlige avganger er mest fordelaktig blant de punktlige. Det som derimot er noe overraskende er forsinkede avganger som ligger rett over punktlighetsgrensen (5-10min). De ser ut for å gi den beste ankomstpunctlighet blant samtlige avganger. Tendensen er også den samme om en ser på strekningene hver for seg. Dette empiriske funnet er i strid med hva en kunne forvente og vil være gjenstand for videre diskusjon. Det samme kan sies om den dårlige ankomstforsinkelsen som opptrer for avganger som går punktlig men like over teoretisk rute (0 – 5 min. forsinkelse). Overordnet vil funnene si at det er to kritiske avgangstidspunkter. Dersom toget ikke klarer å gå innen per definisjon teoretisk rutetid (0 min forsinket), har det større sannsynlighet for punktlig ankomst dersom det holdes igjen og avgår rundt 10 min etter ruta. Dette høres veldig merkelig ut og det er verdt å ta med seg fra presiseringer i metoddelen at resultater fra overordnede analyser basert på aggregerte data som dette bør tolkes med forsiktighet -ikke overtolkes. Dersom funnene ikke skyldes tilfeldigheter kan det spekuleres i om psykologiske sider ved håndtering av trafikkavvikling

kan være et element i forklaringen. Det vises til personellens adferd når de er vel vitende om at fravik på +/- 5 minutters forsinkelse fra teoretisk rutetid er akseptert. Virker denne tolererende bufferen mot sin hensikt; som en hvilepute for operasjonelt personell i den daglige driften i stedet for en absorberende buffer ved avvikssituasjoner? Det skal ikke forsøkes å svare på dette her, men dersom det er noe i det, så vil resultatene utvilsomt være påvirket av det.

Kritiske forsinkelser kan også undersøkes på enhetsnivå, for hvert enkelt tog. Den sorte vertikale linjen i Figur 26 indikerer en kritisk forsinkelse. Dens plassering er basert på visuell inspeksjon etter punkter langs x-aksen (avgangsforsinkelser). Kriterier for fastsettelsen er at avgangsforsinkelsen må være ankommet punktlig, og at det er mer en ett observert tilfelle av dette. Fremgangsmåten kan derfor sies å være basert på tilnærmet subjektive vurderinger. Dog er det i henhold til hva som er praktisert i tidligere forskningsarbeid. Det ble også forsøkt en mer objektiv tilnærming jf. figur 25, men få bevegelser innenfor hver bolk av avgangsforsinkelser ga uklare resultater. Visuell inspeksjon ble derfor favorisert.

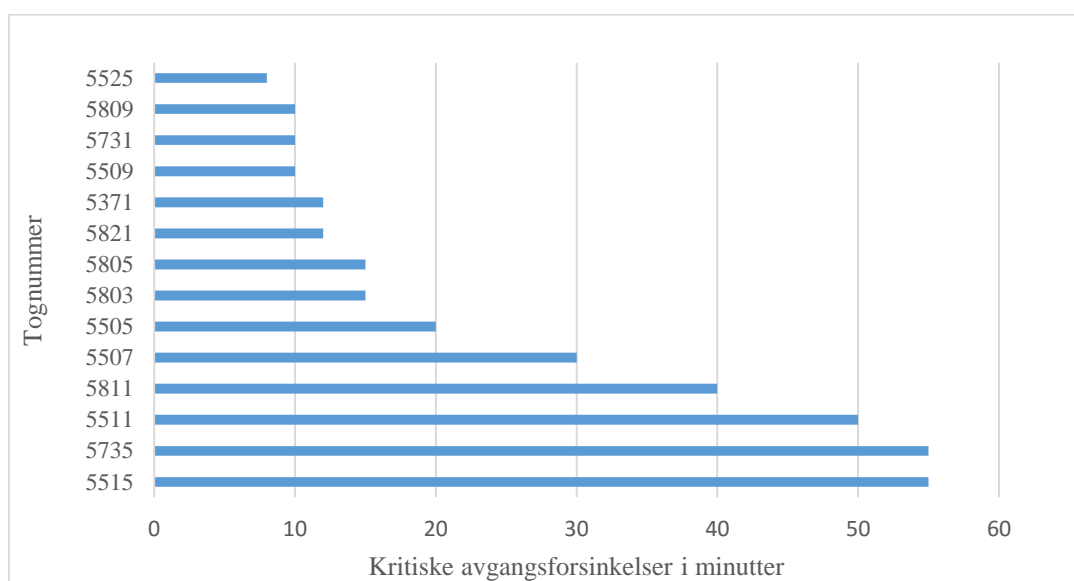


Figur 26: Fremgangsmåte for identifisering av kritiske avganger, et eksempel fra tog nummer 5511

Figur 26 viser at tog 5511 som følger av egenskaper ved strekningen (kapasitet), ruten (slakk) og/eller avvikshåndteringen (prioriteringer) har potensial til å ankomme punktlig for

avgangsforsinkelser inntil 50 minutter. De samme tendensene kan observeres i den sorte sirkelen. Dette er punktlig avganger som ankommer inntil 50 minutter før tiden.

Tilsvarende analyser er gjort for samtlige tog. Typisk vil tog med få registrerte avganger og ankomster, samt de med få positive forsinkelser ekskluderes da de ikke gir tilstrekkelig informasjon. Resultatet fra de togene det ble funnet kritiske avganger for er vist samlet i kronologisk rekkefølge i figur 27:



Figur 27: Oppsummert kritiske avgangsforsinkelser for ulike tog.

### Oppsummering

På aggregert nivå er tendensene tilsvarende det som er avdekt gjennom tidligere hypoteser; at punktlig avganger er mer fordelaktig enn forsinkede med hensyn til ankomstpunktlighet. På enhetsnivå er det observert tendenser til at det er mulig å ta inn forholdsvis store forsinkelser. Mens noen tog viser god systematikk i håndtering og praktisering av avvik, er dette fraværende hos andre. Det er også gjort et funn som motstrider teorien og tidligere forskning; at avganger 5 – 10 minutter forsinket er de mest optimale med hensyn til sannsynligheten for punktlig ankomst. Men funnet tilskrives tilfeldigheter, alternativt hvorvidt tolererende avvik fra teoretisk ruteplan for avganger og ankomster på bakgrunn av psykologisk adferd virker mot sin hensikt. Det kan være fristende å tenke det samme også for den innlagte slakken underveis i ruten. De kritiske forsinkelsene gir en fornemmelse av hva som foreligger av slakk. Om ikke alt kan tilskrives kalkulert slakk i ruten, forteller de i alle fall om hvilket

handlingsrom som foreligger ved avvikssituasjoner. Dersom dette handlingsrommet «benyttes feil», spekuleres det i at det virker mot sin hensikt og gjør mer ugagn enn nytte.

Videre forteller dette handlingsrommet, som typisk går opp til ca. 55 minutters avgangsforsinkelse, at det er en del potensiell støy i bildet ved måling av sammenhenger gjennom korrelasjon. Denne potensielle støyen vil dersom den benyttes påvirke små forsinkelser relativt mer enn store. Sammenhengen mellom avgangs- og ankomstforsinkelser vil for små forsinkelser derfor i stor grad påvirkes av hvordan nevnte handlingsrom anvendes. Dersom det ikke er noe systematikk i dette (subjektive vurderinger ved avvikshåndtering) vil sammenhengen være vanskelig å definere da den typisk vil variere veldig.

## Del 2

### 5.4 Hypotese 4:

For å besvare hypotese 4 ble det tatt utgangspunkt i forutgående analyser, samt jernbaneløpets egen metodikk for punktlighetsoppfølging; PIMS.

PIMS metodikken tilsier at dataanalyser som dette skal tjene som faktagrunnlag for videre rotårsaksanalyser. Et bidrag til faktagrunnlaget vil først og fremst være å avdekke de bakenforliggende sammenhengene mellom avgangs- og ankomstforsinkelser. Dess bedre denne sammenhengen er, dess større effekt vil en kunne forvente at eventuelle etterfølgende forbedringstiltak for avgangsforsinkelser vil ha på ankomstforsinkelser. Og dess bedre man forstår sammenhengen, dess mer treffsikker vil en være ved beslutninger om forbedringstiltak. Eksempelvis vil det være liten nytte i å lete etter rotårsaker til avgangsforsinkelser dersom tiltak rettet mot disse ikke vil få nevneverdig effekt på ankomstforsinkelser og punktlighet. På lang sikt derimot kan det hevdes at alle tiltak som fremmer presisjon i avgangene, og trafikkavviklingen for øvrig er nødvendig. Men foreløpig, på kortere sikt, taler utredninger og transportstrategier for konkrete tiltak med direkte effekter på transportkjøperenes preferanser. Dette for å sikre markedsandelene og forsvare fremtidige investeringer som er nødvendig nettopp for å oppnå et pålitelig og robust jernbanesystem myntet på presisjon.

Empiriske funn fra de foregående analysene, del I, er tydelige på at punktlig avganger er foretrukket fremfor ikke-punktlig med hensyn på ankomstene. De punktlig avgangene indikerer en ankomstpunktlighet på 75%, herunder avganger i rute (-5 – 0 min. forsinkelse) som jf. beregninger under hypotese 3 gir en ankomstpunktlighet på 73%. Utover dette er det knyttet noe usikkerhet til hva som kan regnes for å være det optimale avgangstidspunktet.

Både tidlige avganger og avganger mellom 5 og 10 minutter etter ruta har vist seg å være noe bedre. Tatt i betraktning annen trafikk bør en som hovedregel etterstrebe avgang i rute, da det vil være best ut fra et helhetsperspektiv. Funnene som motstrider denne hovedregelen er ikke tydelige nok til at det kan tas høyde for disse. Det er derfor avganger i rute, -5 – 0 minutters forsinkelse, som legges til grunn som optimal avgang. Følgelig blir avganger som avviker fra dette de som er de mest hensiktsmessige å se på med hensyn til punktlighetsforbedring. Blant disse er større negative forsinkelser (tidlige avganger) og positive avgangsforsinkelsene (ikke-punktlige), med sine respektive ankomster. Analyser under hypotese 2 avdekte at de ikke-punktlige avgangene har det største forbedringspotensialet, dersom det er antall forsinkelsestimer en ønsker å forbedre. Dette på grunn av flere store forsinkelser. Mens de punktlige avgangene, herunder tidlige avganger, med mange små forsinkelser har det beste potentialet for å bedre punktligheten. Dog er dette avganger som allerede går optimalt, eller tilnærmet optimalt. De forsinkelsene som preger ankomstpunktligheten for disse er følgelig underveisforsinkelser. Det virker derfor som at tiltak rettet mot underveisforsinkelser for punktlige avganger vil være mer effektivt for å bedre andelen punktlige godstog til endestasjon, enn hva en bedring i avgangspunktligheten for ikke punktlige avganger vil gjøre. Dette har også sammenheng med tidligere diskusjoner om at sammenhengen mellom avgangs- og ankomstforsinkelser virker å være mer definert for store forsinkelser enn små.

Det faktum at de økonomiske ulempene ved forsinkelser for godstog blir beregnet etter forsinkelsestimer og ikke antall (72 NOK pr. tonn pr. forsinkelsestime, jf kap. 3.3), indikerer et dårlig samsvar mellom målsetningene målt som andelen punktlig til endestasjon og de økonomiske konsekvensene forbundet med forsinkelser. Fra dette kan det tenkes at et snevert fokus på punktlighet medføre beslutninger om å iverksette tiltak som bedrer antall forsinkelser i stedet for mengden forsinkelse.

Når det er sagt kan det selvsagt stilles spørsmål om verdsettingen av forsinkelser med fokus på antall eller mengde er det som er det riktig. Eller et spørsmål om punktlighetsmålet bør reflektere andel punktlige godstog til endestasjon, antall forsinkelsestimer, samfunnsøkonomiske kostnader. I en slik diskusjon bør en ta høyde for hvilken part det relateres til. Skal fokuset ligge på samfunnsøkonomiske aspekter, de som leverer tjenesten eller de som kjøper tjenestene. Markedet for gods på bane hviler på kundene og deres preferanser til forsinkelse. Det kan derfor argumenteres for at det i første omgang bør søkes å tilfredsstille deres preferansener. Så hva er verst for transportkjøperne; mange små eller få store forsinkelser? Dersom svaret er små forsinkelser, vil punktlighetsmålet være egnet for å

reflektere kundenes preferanser. Dersom svaret er store forsinkelser vil samfunnsøkonomiske kostnader eller ett av de andre punktlighetsmålene presentert i kapittel 3.2 tenkes å være bedre egnet til å reflektere kundenes preferanser. Dette på bakgrunn av tidligere beregninger som viser at 10 % av avgangene kan stå for 90 % av forsinkelsestimene. Teoretisk vil dette si at en bedring av punktligheten til 90 % samtidig bare medfører en 10 % forbedring av forsinkelsestimene.

I kapittel 3.3 ble det samfunnsøkonomiske målet presentert. Det er noe forenklet antatt å være proporsjonal med forsinkelsene. Dette til tross for at betalingsvillighetene undersøkelsen baserte seg på viste en tendens til at forsinkelser først medfører en kostnad for kundene når de er over en viss størrelse. Hvor stor denne terskelen er varierer imidlertid mellom kundene, men små forsinkelser (her omtalt som 5-15 min) var lite representert. I prognostiseringen av transportkjøpernes lagerhold vil økt variasjon være ensbetydende med økt lagerhold og tilhørende kostnader. Det betyr likevel ikke at de små forsinkelsene er uten kostnad. Dersom de i større grad kunne vært unngått, ville jernbanesystemet vært mer presist og en kunne ha redusert slakk, redusert den planlagte kjøretiden og/eller økt frekvensene. Det vil si en bedring av kapasitetsutnyttelse. Hvis det bare tilskriver nytte til å bli kvitt lange forsinkelser tar en følgelig ikke hensyn til nytten av økt kapasitetsutnyttelse.

Dette er en relevant diskusjon da det går direkte på oppgavens forutsetninger. Det er i oppgavens innledning og teori forutsatt at punktlighetsmålet reflekterer transportkjøpernes preferanser og en bedring av målet følgelig vil ha direkte effekt på etterspørsel. Denne koblingen syntes å være noe svakere enn antatt. Ved vurdering av kvalitet er det vist til at både ønsket, planlagt, produsert og opplevd punktlighet bør betraktes (jf. kap. 3.5). Den *produserte* punktligheten for godstransporten på jernbane er utvilsomt dårligere enn den *ønskede* og *planlagte* punktligheten. Men det vesentlige er at overnevnte diskusjon indikerer at dersom det ikke hadde vært et avvik, så hadde transportkjøperne likevel *opplevd* en ikke tilstrekkelig kvalitet, nettopp fordi punktlighetsmålet ikke reflekterer deres preferanser. Punktlighetsmålet virker derfor å være mer av strategisk karakter, relatert til markedsføring og omdømme av godstrafikken på bane, enn av praktisk betydning for kundene.

Hvorvidt det er noe i det overnevnte kan delvis testes ut gjennom å se på den forventede effekten på ankomstpunktligheten av en bedring av avgangsforsinkelser til å være 100% optimale avganger. Hvor optimal er sagt å være i rute (-5 – 0 min. forsinket), eller i det minste punktlig utover dette. Altså er 0 – 5 minutter forsinket ekskludert fra det som tidligere er omtalt som punktlig. Da vil en ikke kunne forvente at disse skal prestere bedre enn hva de

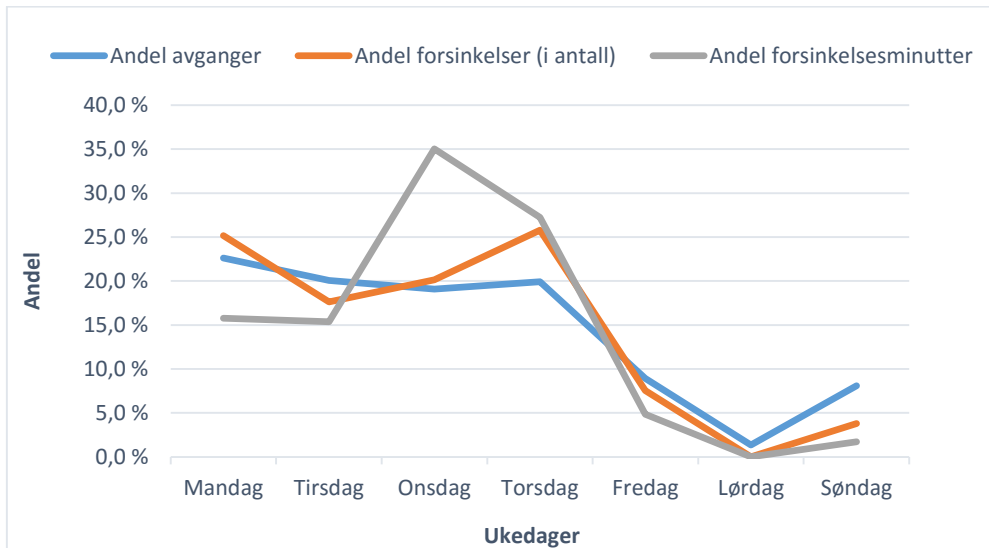
punktlige avgangene gjør i dag. Punktlige avganger står for 1/3 av den totale mengden ankomstforsinkelser (i timer) og over 60 % av de ikke-punktlige ankomsten (i antall). Men siden de punktlige avgangene allerede avgår på et optimalt tidspunkt, er det kun underveisforsinkelser som påvirker de fra å ankomme punktlig. En bedring av ikke-punktlige avganger vil følgelig ikke berøre denne andelen. Da gjenstår det 91 stykk ikke-punktlige avgangene med ikke-punktlig ankomst. De står for 2/3 av forsinkelsestimene og 40% av antall forsinkelser. Gitt at disse 91 blir punktlige avganger vil de oppnå en ankomstpunktighet på lik linje med andre tog som avgår punktlig, nemlig 75%. Med andre ord vil 68 av disse gå fra ikke-punktlig til punktlige. Videre har denne gruppen en gjennomsnittlig ankomstforsinkelse på 1,88 timer per avgang. Følgelig innebærer endringen en bedring på 128 forsinkelsestimer, hvilket er ca 50 % av de totale forsinkelsestimene. Dette er ca. det samme som ved den første fremgangsmåten.

Dette betyr at mens punktligheten gikk fra 68% til 75%, en økning på ca. 10 %. Så ga det tilsvarende en reduksjon i forsinkelsestimer på ca. 50%. Den samfunnsøkonomisk reduksjon blir på ca. 3,4 millioner, for utvalget av togbevegelser inkludert i denne analysen over en periode på 3 måneder. Årlig og skalert for hele populasjonen tilsvarer det ca. 40 millioner.

Regresjonen som beskriver sammenhengen mellom avgangs og ankomstforsinkelser er påpekt at syntes å være lite troverdig, spesielt for små forsinkelser, både med hensyn til mengden avvik (ca. 50%) og med hensyn til praktiske betydninger og linearitet. Den burde følgelig ikke brukes for beregning av nevnte effekt. Dog består ikke-punktlige avganger av en hovedvekt av store forsinkelser, slik at modellen vil være noe bedre egnet for å beregne effekten av en endring i disse. Utfordringen i så måte er at summen av totale vertikale avvikene (SS-tot) er beregnet på bakgrunn av differansen fra de ulike ankomstene til gjennomsnittet av alle forsinkelsene og ikke differansen til null.  $R^2$  kan derfor ikke brukes som forklaringsgrad direkte. For å gå om denne utfordringen er alle positive ankomstforsinkelser summert (SS-tot) og absoluttverdien av de tilhørende avvikene er summert (SS-res). Forklaringsgraden fremgår deretter som;  $1 - (SS\text{-tot} / SS\text{ res})$ , hvilket gir 36%. Ganges dette opp med de totale forsinkelsen for denne gruppen (266 timer) gir det en reduksjon på 96 timer ankomstforsinkelse. Altså noe mindre enn forrige fremgangsmåte. I tillegg sier regresjonen at alle avganger som avgår mindre enn -4 minutter forsinket vil ende opp ikke punktlig, slik at effekten på punktlighetsmålet vil tilnærmet være fraværende. Noe som er særdeles usannsynlig og som bekrefter diskusjoner om egnetheten til modellen.



Et ytterligere bidrag til faktagrunnlaget vil være å avgrense omfanget til rotårsaksanalysene, jf PIMS metodikken. Rotårsaksanalysene, som er utenfor rammene av denne oppgaven, søker konkrete svar på *hvorfor* avgangsforsinkelsene oppstår for deretter å kunne foreslå forbedrende tiltak. Nevnte avgrensning av omfang søker å nærme seg dette ved å undersøke *når* forsinkelsene oppstår.



Figur 28: Andelen avganger, forsinkelser og forsinkelsesminutter fordelt på ukedager

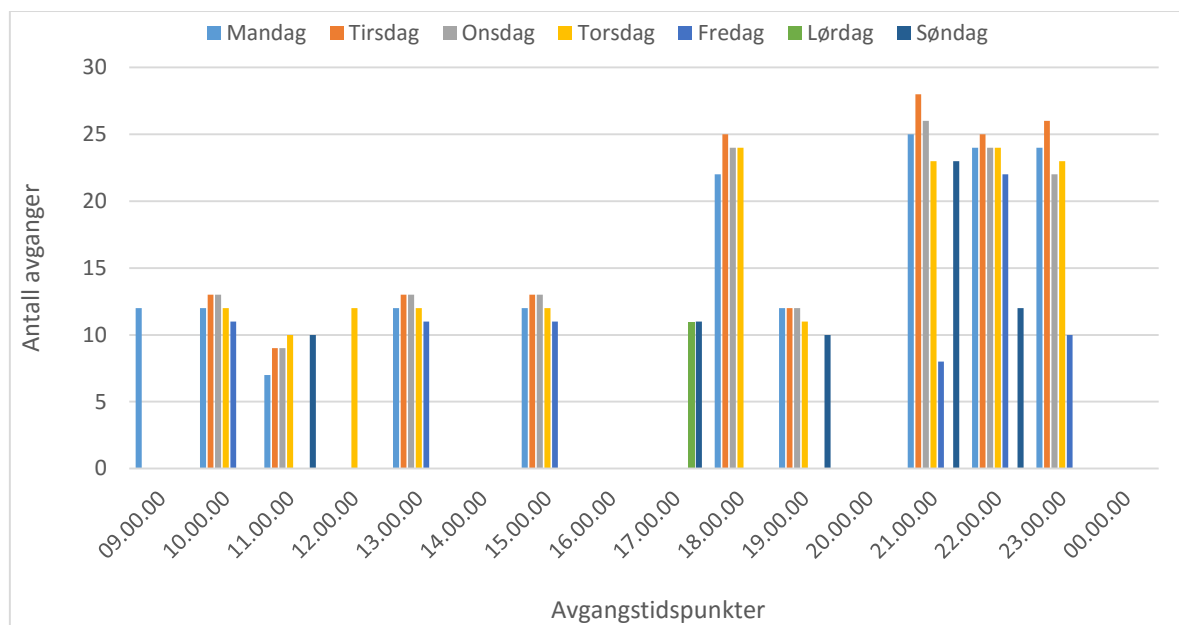
Fra figur 28 ser det ut for at både antall forsinkelser (oransje) og mengden forsinkelse (grå) følger antall avganger (blå) for de respektive dagene, med unntak av forsinkelsestoppen på onsdag og torsdag. Mengden forsinkelse for disse dagene er signifikant ( $p < 0,01$ ) større relativt til de andre ukedagene. Tilsvarende har lørdager og søndager signifikant mindre forsinkelse enn andre ukedager. Dette indikerer at en del av årsaken til forsinkelsene kan forklares gjennom hvor mange tog som går. Dette syntes logisk i lys av begrensninger i kapasitet, ressurser og lignende. Men det er også andre forhold, utover antall avganger, som beskriver antall forsinkede tog og mengden forsinkelse. Dette gjør seg spesielt gjeldende for onsdager og torsdager.

Det kunne tenkes at det i starten av uken oppstår et etterslep på grunn av sprengt kapasitet, og at det utover i uken må gis etter for dette etterslepet og konsekvensene tilfaller de aktuelle dagene. Gode rutiner for avvikshåndtering og/eller neglisjering av konsekvenser på annen trafikk bidrar med til å snu trenden. Inn mot helgen får man også drahjelp av færre avganger og mindre utnyttet kapasitet, og systemet blir stabilt. Hva gjelder mer konkrete svar vil det,

hver for seg, ses nærmere på faktorene i figur 27; antall avganger, antall forsinkelser og mengden forsinkelse.

### Antall avganger

Fra teoridelen (kap. 3.4) vet man at det går flest godstog på kvelden. Dette for å ikke være i konflikt med persontransport, samt at ankomster tidlig på morgenen kan være et fordelaktig tidspunkt for handelsnæringer. Spesielt dersom de belager seg på praktisering av «just-in-time produksjon», noe som stadig blir mer vanlig. I et forsøk på å finne en overordnet forklaring på observert forsinkelsestopp for onsdag og torsdag kan en se på antall avganger for de ulike ukedagene fordelt på tidspunkter på døgnet. Det antas da at onsdager og torsdager har flere sene avganger enn andre ukedager:



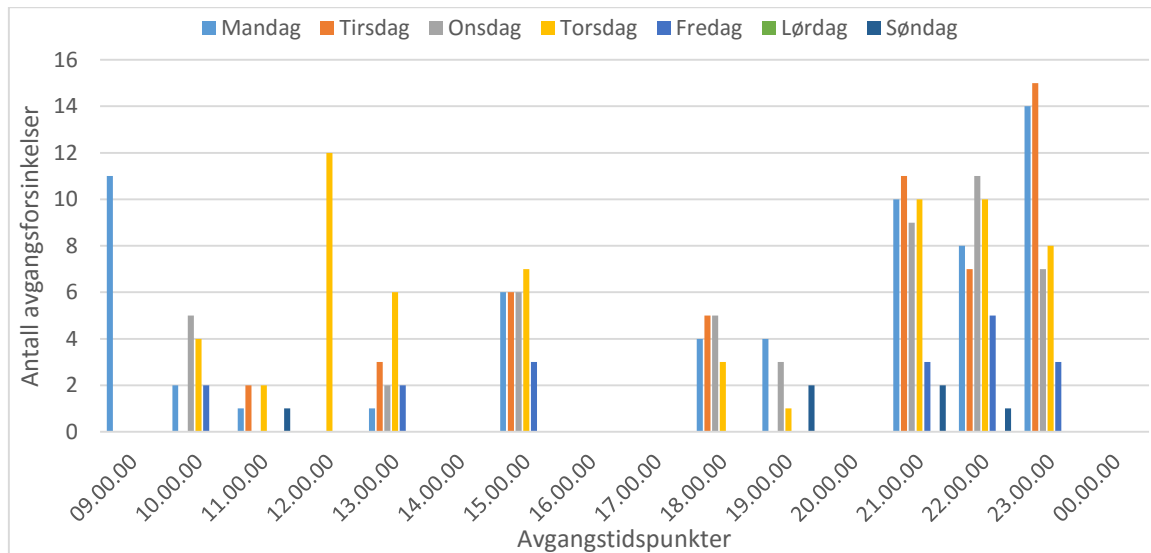
Figur 29: Antall avganger for ulike ukedager, fordelt over døgnet.

Som det fremgår er hverken onsdager eller torsdager representert av flere sene avganger. Tross noen få unntak viser det seg heller ikke å være tilfelle for noen av de andre tidspunktene over døgnet (helgedager holdt utenfor).

### Antall forsinkelser

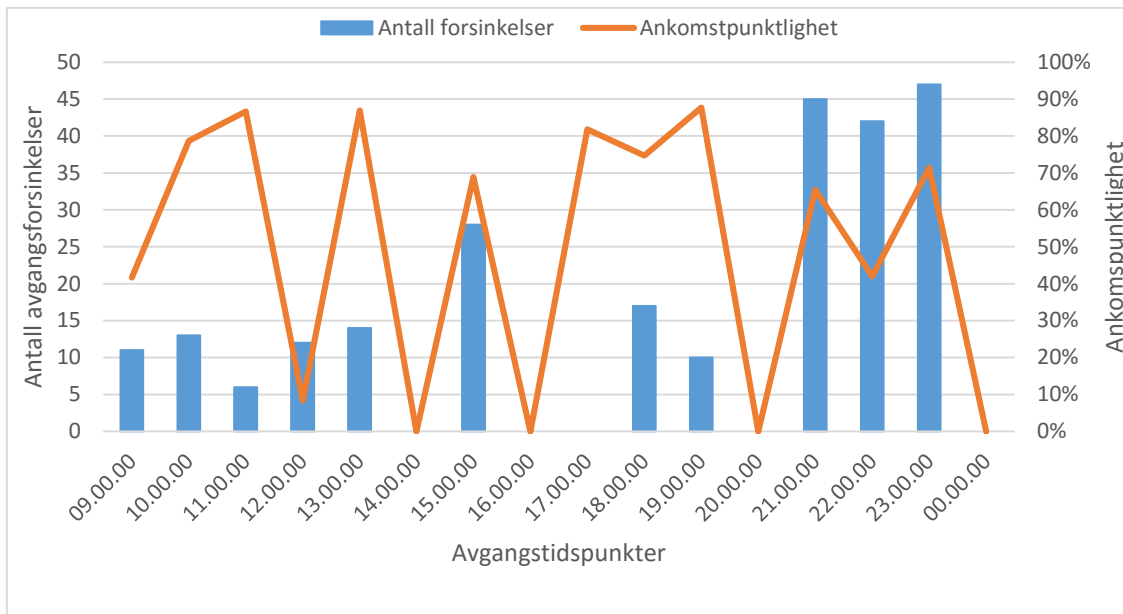
Hittil er det avdekt at det for antall forsinkelser er en sammenheng med antall avganger. Det er også bekreftet at det er flere avganger sent på kvelden, men uten at onsdager og torsdager

er hyppigere representert. Det søkes nå å se på samme fordeling bare med hensyn på antall forsinkelser i stedet for antall avganger for å kunne tilskrive eventuelle avvik.



Figur 30: Antall avgangsforsinkelser for ulike ukedager, fordelt over døgnet.

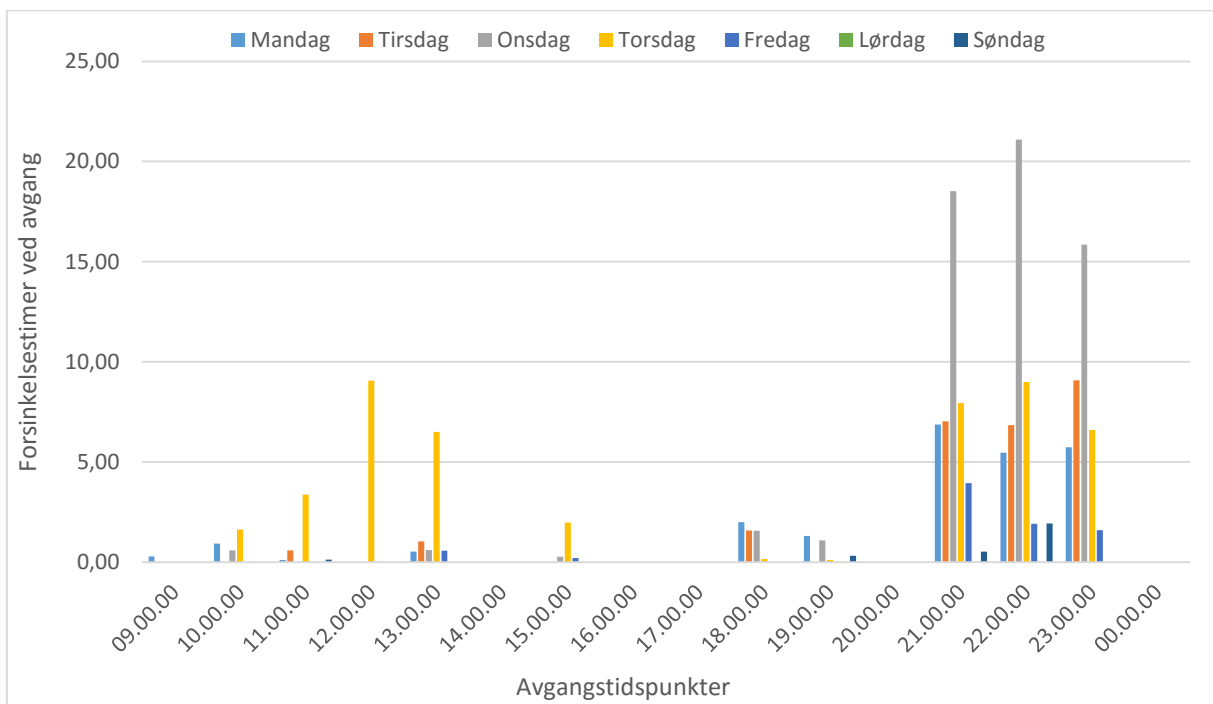
Som forventet er det flere forsinkelser for torsdager, samt flere forsinkelser for avganger sent på kvelden. Utover dette er det enkelte dager og klokkeslett som skiller seg noe ut; både mandag klokken 09:00 og torsdag klokken 12:00. Sammenlignet med forrige figur som viste antall avganger viser det seg at det bare er mandager og torsdager som har avganger for disse tidspunktene. Det er derfor ikke tilfeldig at det er kun disse dagene som har forsinkelser for de aktuelle tidspunktene. Likevel kan det sies at andelen forsinkelser sett i forhold til antall avganger er større for disse tidspunktene relativt til andre. Faktisk er nesten alle avgangene for mandag klokken 09:00 og torsdag klokken 12:00 forsinket. Det er vanskelig å tro at dette skulle skyldes tilfeldigheter alene. Det kan derfor tyde på at rotårsaksanalyser rettet mot disse dagene og tidspunktene vil gi konkrete funn. Dog etterprøves disse avgangene mot ankomstpunktligheten i det følgende:



Figur 31: Antall avgangsforsinkelser og tilhørende ankomstpunktighet for ulike tidspunkter over døgnet.

Først og fremst kan man merke seg det som ser ut for å være en negativ sammenheng, hvor ankomstpunktligheten fluktuerer motsatt av antall forsinkelser. Dog bryter tidspunktene bemerket tidligere denne tendensen (kl. 9 og kl.12). Disse sammen med de sene avgangene er dermed bekreftet at er forbundet med dårligere punktighet til endestasjon.

### Mengde forsinkelse



Figur 32: Mengde forsinkelser i timer for ulike ukedager, fordelt over døgnet.

Forsinkelsestoppen for onsdager og torsdager som ble presentert innledningsvis i figur 28, ser man lett igjen årsaken til her i figur 32. Utover det har mandager klokken 09:00, som var forbundet med mange forsinkelser, få forsinkelsestimer og er følgelig forbundet med små forsinkelser. De er derfor godt egnet for bedring av punktlighetsmålet dersom tiltak besluttes om å bedre disse avgangen, jf. tidligere diskusjoner under del I.

Torsdager klokken 12:00 har i gjennomsnitt ca. 1 time forsinkelse per ankomst (sett figur 32 i sammenheng med antall forsinkelser i figur 30). Forsinkelsene er følgelig i mellomsjiktet mellom små og store. Tiltak rettet mot disse vil følgelig fordele seg i effekt på både punktlighetsmålet og samfunnsøkonomiske kostnader. Det samme kan sies om forsinkelsene sent på kvelden, med unntak av onsdag.

Avgangsforsinkelsene sent på kvelden for onsdager har i gjennomsnitt ca. 2 timer forsinkelse per forsinkelse, og er derfor å regne for store forsinkelser. Dette indikerer jf. diskusjoner under del I at en bedring av disse vil gi seg mer utslag på samfunnsøkonomiske kostnader enn punktlighetsmålet.

Det er vist at enkelte dager og tidspunkter er forbundet med flere avganger, forsinkelser, forsinkelsestimer og tilhørende dårligere punktlighet. Videre kan slike funn tjene som avgrensinger og lette omfattende søk etter rotårsaker til avgangsforsinkelsene. Gitt en sterk positiv sammenheng mellom avgang- og ankomstforsinkelse vil følgelig tiltak som forbedrer de aktuelle avgangene få direkte effekt på ankomstpunktligheten.

I tillegg er det utenfor PIMS metodikken, sett et potensiale for å benytte informasjon avdekt fra sammenhenger mellom avgang og ankomstforsinkelser som beslutningsgrunnlag ved avvikshåndtering. Mer spesifikt kan de kritiske avgangene for de enkelt tog som ble avdekt under hypotese 3 benyttes som en del av et beslutningsgrunnlag for prioriteringer ved avvik. Dette har i tilfelle størst potensiale for mindre forsinkelser da kritiske forsinkelser ikke er avdekt større enn 55 minutter, og det følgelig er begrenset hvor mye som lar seg ta inn.



## 6 Avslutning

---

### 6.1 Konklusjon

Det er avdekt en sterk positiv samvariasjon mellom avgangs- og ankomstforsinkelser. At punktlig avganger viser seg å være bedre enn ikke-punktlig avganger med hensyn til ankomstpunktligheten støtter også opp under denne samvariasjonen. Ankomstforsinkelser som ikke forklares av avgangsforsinkelser tilskrives støy under samlebetegnelsen underveisforsinkelser. Innlagt slakk i ruta og usystematiske prioriteringer ved avvik betyr i tillegg at det eksisterer en vis mengde *potensiell* støy i jernbanesystemet. Med potensiell menes at det eksisterer et handlingsrom ved avvik, slik at måling av sammenhengen mellom avgangs- og ankomstforsinkelser, i ulik grad påvirkes av hvordan dette handlingsrommet anvendes. Dersom det ikke er noe systematikk i praktiseringen av dette vil sammenhengen være vanskelig å definere da den typisk vil variere. Gitt noe systematikk i praktiseringen kan det avdekkes såkalte kritiske avgangsforsinkelser. Dette er grenser hvor avgangsforsinkelsene er forbundet med markert dårligere ankomstpunktlighet. I tillegg til å indikere hva som eksisterer av handlingsrom i systemet kan de kritiske forsinkelsene også anvendes som beslutningsgrunnlag for de enkelte tog ved avvikshåndtering.

Hva angår optimalt avgangstidspunkt på aggregert nivå med detaljeringsgrad utover punktlig, er det knyttet noe usikkerhet til. Et funn tilsier at avganger mellom 5 - 10 minutters forsinkelse er det mest optimal med hensyn til ankomstpunktligheten. Dette tilskrives imidlertid tilfeldigheter, men åpner likevel for en diskusjon om hvorvidt tolererende avvik fra teoretisk ruteplan for avganger og ankomster på bakgrunn av psykologisk adferd kan virke mot sin hensikt; som en hvilepute for operasjonelt personell i den daglige driften i stedet for en absorberende buffer ved avvikssituasjoner? Utover dette er det tendenser til at tidlige avganger er noe mer fordelaktig enn punktlig med hensyn til ankomstpunktligheten. Men funnene er totalt sett ikke tydelige nok til å kunne slå fast at det faktisk er slik. Dette spesielt når en er bevisst på de mulige konsekvensene av konflikt med møtende og passerende tog. Avganger i rute mellom -5 og 0 minutter forsinket, eller i det minste ikke-forsinkede avganger (inntil 0 minutters forsinkelse) er derfor anset for å være den optimale avgangen med hensyn til ankomstpunktlighet.

Å beskrive sammenhengen mellom avgangs- og ankomstforsinkelser gjennom regresjoner viser seg å være utfordrende. Det blir nødvendig å skille mellom regresjonsberegningen og

det jernbanefaglige, herunder de mest betydningsfulle forsinkelsene fra et praktisk perspektiv. Sammenhengen regresjonen beskriver blir sterkt påvirket av få store forsinkelser. De resterende forsinkelsene, herunder mange små forsinkelser, vil følgelig baserer seg på dette. Med andre ord; dersom regresjonslinjen ( $y = 0,935x + 9,108$ ) legges til grunn som en beskrivelse av sammenhengen så virker den i liten grad å kunne forutsi ankomstene til små avgangsforsinkelser. Dette være seg både i tallverdi og praktisk betydning. Regresjonslinjen ser følgelig ut for å egne seg best for å beskrive større forsinkelser. Noe som innebærer at en beskrivelse av sammenhengen mellom avgangs- og ankomstforsinkelser med hensyn til den praktiske betydningen av forsinkelser tenderer å være ikke-lineær.

Beregninger av effekten på ankomstpunktlighet og forsinkelsestimer, gitt at alle avganger går optimalt, gir på bakgrunn av regresjonslinjens beskrivelse en 36% reduksjon i andelen forsinkelsestimer og tilnærmet ingen endring i ankomstpunktligheten. Dette bekrefter en dårlig egnethet til modellens beskrivelse av sammenhengen fra et praktisk ståsted.

Tilsvarende beregning med en annen fremgangsmåte gir en økt effekten på ankomstpunktligheten med 10%, fra 68% til 75%. Mens tilhørende reduksjon i forsinkelsestimer er ca. 50%.

Delingen mellom små og store forsinkelser, med hensyn til praktisk betydning, gjenspeiler seg også i hvordan konsekvensen av forsinkelser blir verdsatt gjennom samfunnsøkonomiske kostnader og punktighet. Det samfunnsøkonomiske målet baserer seg på antall forsinkelsestimer. Eliminering av store ankomstforsinkelser vil følgelig gi seg utslag her. Ikke-punktlige avganger er forbundet med slike ankomstforsinkelser. En bedring av disse avgangene vil følgelig slå mere ut i det samfunnsøkonomiske målet enn punktighetsmålet, jf. beregningen i forrige avsnitt.

Punktighetsmålet reflekterer andelen punktlige godstog til endestasjon. En bedring av mange små forsinkelser vil følgelig være mer effektivt for å bedre denne. De punktlige avgangene er forbundet med slike ankomstforsinkelser. Men siden de punktlige avgangene allerede avgår optimalt er det underveisforsinkelsene som må bedres for disse avgangene dersom ankomstpunktligheten skal øke.

Videre er det påpekt et dårlig samsvar mellom målsetninger om ønsket produksjon av kvalitet (punktighetsmål) og konsekvensene av å ikke levere denne produksjonen (samfunnsøkonomiske kostnader). Det virker til at eliminering av få store forsinkelser er viktigere for transportkjøperne enn eliminering av flere små. Punktighetsmålet evne til å



reflektere transportkjøpernes preferanser svekkes følgelig. Dette er en relevant diskusjon da det går direkte på oppgavens forutsetninger. Det er i oppgavens innledning og teori forutsatt at punktlighetsmålet reflekterer transportkjøpernes preferanser og en bedring av punktlighetsmålet følgelig vil ha direkte effekt på etterspørselen. Ved vurdering av kvalitet bør både ønsket, planlagt, produsert og opplevd punktlighet betraktes. Den *produserte* punktligheten for godstransporten på jernbane er utvilsomt dårligere enn den *ønskede* og *planlagte* punktligheten. Men det vesentlige er at dersom det ikke hadde vært et avvik her, så hadde transportkjøperne likevel kunne *opplevd* en ikke tilstrekkelig kvalitet, nettopp fordi punktlighetsmålet ikke reflekterer deres preferanser optimalt.

Dette betyr ikke at små forsinkelsene er uten kostnad. Dersom de i større grad kunne vært unngått, ville jernbanesystemet vært mer presist og en kunne ha redusert slakk, redusert den planlagte kjøretiden og/eller økt frekvensene. Hvis det bare tilskriver nytte til å bli kvitt lange forsinkelser tar en følgelig ikke hensyn til nytten av økt kapasitetsutnyttelse.

Det er også vist at enkelte dager og tidspunkter er forbundet med flere avganger, forsinkelser, forsinkelsestimer og tilhørende dårligere punktlighet. Spesielt gjelder dette avganger sent på kvelden i hverdagene, samt noen interessante og konkrete dager og tidspunkter det vil være hensiktsmessig å se nærmere på ved eventuelle etterfølgende rotårsaksanalyser; mandager klokken 09:00, torsdager klokken 12:00 og onsdager mellom klokken 21:00 - 23:00. Slike resultater kan tjene som avgrensinger å lette de omfattende søkene etter rotårsaker til avgangsforsinkelsene.

Gitt at rotårsaksanalysene på bakgrunn av overnevnte avgrensinger og/eller alene identifiserer årsaksforhold som kan brytes ned til et nivå hvor det er mulig å foreslå tiltak. Og at disse utbedres slik at avgangene kan gå slik det er definert å være optimalt. Vil en sterk positiv sammenheng mellom avgang- og ankomstforsinkelse følgelig sørge for en direkte effekt på ankomstpunktlighet. Effekten vil i tilfelle slå mer ut i form av reduserte forsinkelsestimer enn det gir seg utslag i punktlighetsmålet. Dette som følger av at ikke-punktlige avganger er forbundet med få store ankomstforsinkelser. Effekten vil igjen påvirke transportkjøperne i form av økt eller opprettholdt etterspørsel, samt gi positive ringvirkninger til miljø og sikkerhet. Dog forventes det at påvirkningen på transportkjøperne tilfaller det som antas å være av størst betydning; nemlig reduserte forsinkelsestimer heller enn økning i punktlighet. Punktlighetsmålet virker derfor å være noe overflødig i denne sammenheng og ville hatt større praktisk betydning i et jernbanesystem med mindre variasjon, hvor små forsinkelser er desto viktigere. Som for eksempel ved persontogtrafikk.

### 6.1.1 Mulige svakheter med analysen/oppgaven

#### Forutsetninger

Det overordnede målet med oppgaven er å utarbeide et faktagrunnlag som i det videre kan benyttes i arbeidet mot å bedre punktligheten. Men dette er under forutsetninger om at punktlighetsmålet reflektere preferansene til transportkjøperne hva angår forsinkelser. Dette syntes å ikke være like optimalt som det har potensiale for å være, og regnes følgelig som en svakhet. Mer spesifikt vil en eventuell oppnåelse av ønsket produksjon, 90% punktlighet til endestasjon, ikke nødvendigvis redusere antall forsinkelsestimer tilsvarende. Som det er vist i resultater og analyse kan en liten andel av forsinkelsene stå for store deler av de totale forsinkelsestimene. Motsatt vil en også kunne si at en beskjeden økning i punktlighetsmålet vil kunne medføre en betydelig reduksjon i forsinkelsestimene. Men i begge tilfeller mangler punktlighetsmålet evnen til å reflektere transportkjøpernes preferanser, riktignok gitt at de verdsetter få store forsinkelser fremfor flere små.

I tillegg er regularitet en vel så viktig faktor som punktlighet. 100% ankomstpunktlighet er ikke til nytte dersom halvparten av togene ikke går. Det presiseres at punktligheten beregnes av andelen tog som ikke er hel- eller delinnstilt (regularitet). Effekten av innstilte tog vil ha mange av de samme negative innvirkningene som store forsinkelser. Det er derfor argumentert for at innstillinger kan ansees som (svært) store forsinkelser. Med en slik tilnærming vil også regulariteten kunne inkluderes i punktlighetsmålet, et mål som ville reflektert den praktiske betydningen av forsinkelser bedre.

#### Metode

Hva angår metoden kunne utvalget av data vært større, både i mengde og tid, for bedre samsvar med populasjonen for øvrig. For eksempel fremgår det at ankomstpunktligheten i datasettet fraviker med totalen fra tidligere års ankomststatistikker. Det kan selvsagt skyldes tilfeldigheter, men mest sannsynlig baserer resultatene seg på et utvalg som har flere forsinkelser enn hva som er reelt for populasjonen.

Det vites heller ikke hvor stor andel av avgangsforsinkelsen som egentlig er følgeforsinkelser. Potensielt kan et tog som ankommer endestasjon med en stor forsinkelse på grunn av infrastrukturfeil ende opp med å også returnere forsinket. Følgelig blir avgangsforsinkelsen registrert som en avgangsforsinkelse, selv om det i realiteten er en følgeforsinkelse av infrastrukturfeilen. Betydningen for sammenhenger målt ved korrelasjon er ikke så stor, men

dette arbeidet skal serve som faktagrunnlag for videre rotårsaksanalyser og dersom avgrensinger baserer seg på denne feilaktige informasjonen kan det ende opp med å lete etter rotårsaker til avgangsforsinkelser ved terminalen som i realiteten ikke eksisterer.

## 6.2 Videre arbeid

Først og fremst vil videre arbeid være en forlengelse av PIMS metodikken med rotårsaksanalyser, overlevering og implementering av tiltak, samt oppfølging av dette. Formålet vil være å bryte ned årsaksforholdene til et nivå hvor det er mulig å foreslå tiltak. Deretter utarbeide tiltaksliste som kan overleveres til linjeorganisasjonen med myndighet og tyngde til beslutning, prioritering og implementering av tiltakene. Etter dette er det viktig at implementerte tiltak inkluderes i oppfølgingen og at det utføres evalueringer underveis.

Der er også stilt spørsmål om andelen punktlig tog til endestasjon er et riktig mål. Dette på bakgrunn av at det bør reflektere preferansene til transportkjøperne hva angår forsinkelser. Det blir følgelig også et spørsmål om transportkjøperne favoriserer få store eller mange små forsinkelser. Inngående refleksjoner og analyser på dette er derfor ansett nødvendig.

Det er også interessant å se nærmere på om anvendelsen av innlagte buffertider og tolererende avvik fra rutetiden på bakgrunn av psykologiske aspekter gjør mer ugagn enn nytte. Dette er en diskusjon som berører strategiske valg vedrørende slakk vs presisjon for godstog.

## 7 Referanser

---

- Anscombe, F. J. (1973). Graphs in statistical analysis. *The American Statistician*, 27(1), 17-21.
- Bayissa, T. F. (2013). *How do Delays Along the Way Influence Delays to Final Destination?* (Master thesis), Trondheim: Norges teknologiske- og naturvitenskapelige universitet.
- Bryne, B., Skovdahl, O., & Salicath, C. F. (2014). Sørvestbanen Godspotensial. Retrieved from <http://www.sorvestbanen.no/files/SVB-Gods-Rapport-200614.pdf>
- Bustinduy, J. (1995). *More quality in regional transport. Public Transport '95, 51st International Congress Paris 1995*. Paper presented at the International Commission on Regional Transport Paris.
- Enger, E. (2015). *Strakstiltak for gods på jernbanen. Jernbaneverkets godssatsning for 2016 - 2018*. Retrieved from Jernbaneverket: [http://www.jernbaneverket.no/contentassets/8e8bd852255243d58ca27c1ef2f181a9/presentation\\_lansering-strakstiltak-gods\\_17--desember-2015.pdf](http://www.jernbaneverket.no/contentassets/8e8bd852255243d58ca27c1ef2f181a9/presentation_lansering-strakstiltak-gods_17--desember-2015.pdf):
- Engeseth, M. (2015). *"Punktlighetsplanen". Funn og foreslåtte tiltak*. Retrieved from Jernbaneverket: <http://www.jernbaneverket.no/contentassets/4e5bf7216d5f4c9aaad6a9507c2380be/11-jernbaneverkets-punktlighetsplan.pdf>:
- Evers, P. T., Harper, D. V., & Needham, P. M. (1996). "The determinants of shipper perceptions of modes". *Transportation journal*, 13-25.
- Fagerhaug, T., & Olsson, N. (2005). *PEMRO Arbeidspakke 1.2. State of the art innenfor prestasjonsmåling*. Retrieved from Trondheim, SINTEF Teknologi og samfunn: <http://www.sintef.no/globalassets/project/pemro/rapporter/prestasjonsmalning-pemro-ap1.2.pdf>:
- Fahlén, J., & Jonsson, B. (2005). "Train punctuality in a new perspective". *European Railway Review*, 11(1), 60-63.
- Granström, R. (2005). *Maintenance for improved punctuality – a study of condition monitoring technology for the Swedish railway sector*. (Licentiate thesis), Luleå University of Technology, Luleå, Sweden.
- Gylee, M. (1994). *Punctuality analyses – a basis for monitoring and investment in a liberalized railway systems*. Paper presented at the Proceedings of Seminars held at the 22nd European Transport Conference P384, 9, pp. 153–165.
- Halse, A. H., & Killi, M. (2012). *Verdsetting av tid og pålitelighet for godstransport på jernbane*. Retrieved from Transport økonomisk institutt: <https://www.toi.no/publikasjoner/verdsetting-av-tid-og-palitelighet-for-godstransport-pa-jernbane-article30909-8.html>:

- Landmark, A. D. (2014 i Olsson et al. 2015). *Analyseverktøy for Togtrafikk*.
- Lindfeldt, O. (2001). *Tidtabellskonstruksjon, trafikledning og tåttidighet på Svealandsbanan*. (Licentiate thesis), Institutt for infrastruktur og samhøllsplanering, KTH, Stockholm, Sverige.
- Marskar, E. M., Askildsen, T. C., Presstun, T., & Markussen, G. (2015). NTP Godsanalyse, Hoverapport. Retrieved from <http://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/299389/1/Hovedrapport.pdf>
- Nyström, B. (2005). *Punctuality and railway maintenance*. (Licentiate thesis), Luleå University of Technology, Luleå, Sweden. .
- Nyström, B. (2008). *Aspects of improving punctuality*. (PhD thesis), Luleå University of Technology.
- Ohno, T. (1988). *Toyota production system: beyond large-scale production*: crc Press.
- Olsson, N., Halse, A. H., Hegglund, P. M., Killi, M., Landmark, A. D., Seim, A. R., . . . Østli, V. (2015). *Punktlighet i jernbanen - hvert sekund teller*. Trondheim: SINTEF akademisk forlag.
- Olsson, N., & Haugland, H. (2004). Influencing factors on train punctuality—results from some Norwegian studies. *Transport Policy*, 11(4), 387-397.
- Olsson, N., Sætermo, I. A. F., & Røstad, C. C. (2002). *Konsekvensvurdering av anleggsarbeid i Vestkorridoren*. Retrieved from SINTEF teknologiledelse: <http://jernbaneforskning.no/files/pages/555/2002-konsekvensvurdering-av-anleggsarbeid-i-vestkorridoren.pdf>:
- Olsson, N., & Veiseth, M. (2011). *Jernbanetrafikk*. Trondheim: Tapir akademisk forlag.
- Olsson, N., & Økland, A. (2011). *Notat tog nr. 5793 Oppsummering av arbeidsmøte 5. Mai 2011*. Retrieved from Upublisert:
- Redman, T. C. (2001). *Data quality: the field guide*: Digital press.
- Rietveld, P., Bruinsma, F. R., & Van Vuuren, D. J. (2001). "Coping with unreliability in public transport chains: A case study for Netherlands". *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 35(6), 539-559.
- Rudnicki, A. (1997). *Measures of regularity and punctuality in public transport operation*. Retrieved from Proceedings volume from the IFAC symposium, Chania, Greece 16-18 June 1997, pp. 661–666.:
- Seco, A. J. M., & Goncalves, J. H. G. (2007). "The quality of public transport: relative importance of different performance indicators and their potential to explain modal choice". In C. A. Brebbia (Ed.), *Urban transport 13 - urban transport and the environment in the 21st century*. Southampton, UK: WIT press.
- Sætermo, I. F., Olsson, N., & Veiseth, M. (2006). *Pemro aktivitet 2.1: Analyser av infrastruktur-relaterte forsinkelser på strekningen*. Retrieved from SINTEF Teknologi

og samfunn: [http://www.sintef.no/globalassets/project/pemro/rapporter/pemro-ap2\\_1-infrastrukturtilstand.pdf](http://www.sintef.no/globalassets/project/pemro/rapporter/pemro-ap2_1-infrastrukturtilstand.pdf):

- UIC. (2004). *Capacity*. Retrieved from Paris, International Union of Railways: <http://banportalen.banverket.se/Banportalen/upload/1753/HandbokUIC406.pdf>:
- Weiseth, M. (2009). *Forbedring av punktlighet i jernbanedrift: Utvikling av punktlighetsprosessen*. (PhD thesis), Trondheim, Norges teknologiske- og naturvitenskapelige universitet.
- Weiseth, M., & Bititci, U. (2005). *Performance measurement in railway operations - improvment of punctuality and reliability*. Paper presented at the Proceedings of the PMA conference, London, UK.
- Weiseth, M., Hegglund, P. M., Wien, I., Olsson, N., & Stokland, Ø. (2011). "Development of a punctuality improvement method". *The TQM journal*, 23(3), 268-283.
- Weiseth, M., Olsson, N., & Stokland, Ø. (2008). *Metodehåndbok PIMS (Punctuality Improvement Method System)*. Retrieved from SINTEF Teknologi og Samfunn: <http://www.sintef.no/globalassets/upload/pims-metodehandbok-til-web.pdf>:
- Vromans, M. (2005). *Reliability of railway systems*. Rotterdam: Erasmus University.
- Wapole, R. E., Myers, R. H., & Myers, S. L. (1998). *Probability and Statistics for engineers and scientists*. Boston: Pearson Education, Inc.
- Yuan, J., & Hansen, I. A. (2007). "Optimizing capacity utilization of stations by estimating knock-on train delays". *Transportation Research Part B: Methodological*, 41(2), 202-217.
- Økland, A., & Ekambaram, A. (2010). *Beregning av punktlighet og pålitelighet for godstransport på jernbane – PUSAM teorigrunnlag*. Retrieved from SINTEF Teknologi og samfunn: [https://www.sintef.no/contentassets/ec528130f46c4271b41fdc69236a51fc/d1\\_1\\_1\\_punktligheit.pdf](https://www.sintef.no/contentassets/ec528130f46c4271b41fdc69236a51fc/d1_1_1_punktligheit.pdf):

#### **Andre:**

Bugge, Stella (2016). VG:

<http://www.vg.no/nyheter/innenriks/jernbanen/uenighet-med-jernbanetilsynet-bidro-til-at-cargolink-avvikler/a/23615605/> (hentet 02.05.2016)

CargoNet (2016):

<http://www.cargonet.no/> (hentet 02.05.2016)

Jernbaneverket (2012):

<http://www.jernbaneverket.no/contentassets/b9ade1303f42474eabf16099c7dd2182/slik-fungerer-jernbanen-versjon-191213.pdf> (hentet 07.03.2016)

Jernbaneverket (2015):

<http://www.jernbaneverket.no/Nyheter/Nyhetsarkiv/2015/1120-meters-kryssingsspor-pa-12-uker/> (hentet 07.03.2016)

Jernbaneverket (2016a):

<http://www.jernbaneverket.no/Nyheter/Togenes-punktlighet-og-regularitet/punktighet-persontog-2015> (hentet 07.03.2016)

Jernbaneverket (2016b):

<http://www.jernbaneverket.no/contentassets/3279c389ae78493793ebaf3592f493d2/arsrapport-2015.pdf> (hentet 02.05.2016)

NSB (2016):

<http://www.nsbkonsernet.no/no/om-oss/godstog> (hentet 25.02.2016)



Norges miljø- og biovitenskapelig universitet  
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet  
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway