



På sporet av kjøreveisavgiften

En økonometrisk studie av marginalkostnader i jernbanenettet

Vetle Dahl Gundersen

Håvard Thorsrud Karlsen

Veileder: Kenneth Fjell

Selvstendig arbeid, hovedprofil i økonomisk styring

NORGES HANDELSHØYSKOLE

Dette selvstendige arbeidet er gjennomført som ledd i masterstudiet i økonomi- og administrasjon ved Norges Handelshøyskole og godkjent som sådan. Godkjenningen innebærer ikke at Høyskolen eller sensorer innestår for de metoder som er anvendt, resultater som er fremkommet eller konklusjoner som er trukket i arbeidet.

I. Sammendrag

Denne masterutredningen benytter økonometrisk metode for å tallfeste den bedriftsøkonomiske delen av kjøreveisavgiften gjennom å estimere vedlikeholdets kostnadsfunksjon og finne de korttidsmarginale kostnadene knyttet til vedlikeholdsbehovet som oppstår ved økt trafikkbelastning. Vi følger tradisjonen for denne typen studier, og legger til grunn dobbel-logaritmisk transformerte regresjonsmodeller, som estimeres ved hjelp av Pooled OLS.

Vedlikeholdskostnadene som inngår i modellene bygger på kostnadsdata for korrektivt- og forebyggende vedlikehold i 2014 og 2015. Vi benytter datasett på to ulike aggregeringsnivå: banesjefnivå med 32 observasjoner og et konstruert datasett på strekningsnivå med 51 observasjoner. På grunn av et begrenset datagrunnlag har vi benyttet en partiell tilnærming for å undersøke effekten av å bruke forskjellige mål på trafikkbelastning i våre modeller. Som kontrollvariabler benyttes en rekke karakteristika ved infrastrukturen.

Modellene gir oss ikke grunnlag til å hevde at antall tog og gjennomsnittlig vekt pr. tog driver vedlikeholdskostnader ulikt. Vi kan heller ikke fastslå forskjellig kostnadseffekt fra person- eller godstrafikk. Ettersom datagrunnlaget er for begrenset til å estimere ikke-konstante kostnadselastisiteter, er vår foretrukne modell en enkel Cobb-Douglas-spesifikasjon med bruttotonn som produksjonsvariabel. Modellens forklaringsgrad for banesjefnivå og strekningsnivå er på henholdsvis 90% og 74%. Robusthetstester indikerer at de to er forventingsskjeve i hver sin retning, og vi benytter derfor et gjennomsnitt av aggregeringsnivåene. Dette gir en kostnadselastisitet på 0,36.

Gjennom å anta at vedlikeholds nivået i 2014 representerer et likevektsnivå, finner vi en marginal vedlikeholdskostnad for trafikkbelastningen i 2015 på 2,07 øre pr. bruttotonnkilometer (brtkm.) eller 2,25 EUR pr. 1000 brtkm. Tar vi hensyn til ulik kostnadsvariabilitet i kjøreveiens ulike bestanddeler, får vi en kostnadselastisitet på 0,20 som gir en marginalkostnad på 1,15 øre pr. brtkm., eller 1,25 EUR pr. 1000 brtkm. Begge resultatene er nokså høye sammenliknet med tilsvarende studier i andre land. Usikkerheten i våre marginalkostnader knytter seg først og fremst til de estimerte vedlikeholdskostnadene og kostnadselastisitetene, mens trafikkbelastningen trolig i mindre grad medfører usikkerhet.

II. Summary

This paper applies econometric methods to estimate marginal short-term track maintenance costs w.r.t. infrastructure usage in the Norwegian railway system, through estimation of the maintenance cost function. By utilizing a double logarithmic regression model with Pooled OLS, we follow the tradition of these types of studies.

The maintenance costs which are included in the model are based on figures for corrective and preventive maintenance in 2014 and 2015. We use data set on two different levels of aggregation: Maintenance Delivery Unit- (MDU-) level including 32 observations and a constructed data set on individual line level with 51 observations. Because of limited data, we have used a partial approach to investigate the effects of applying different measures of traffic load in our models. As control variables, a number of characteristics of the infrastructure are included.

Neither do the models give us evidence of asserting that the number of trains and the average weight pr. train drive maintenance costs differently, nor can we detect different cost effect of passenger or freight traffic. Since the data are too limited to estimate non-constant cost elasticities, a simple Cobb-Douglas specification with gross tonnage production variable is preferred. The model's explanatory power for MDU-level and line-level analysis is 90% and 74%, respectively. Robustness tests indicate that the two have biases in opposite directions. Thus, an average of the aggregation levels are used. This provides a cost elasticity of 0.36.

By assuming that the level of maintenance in 2014 represents steady state, we find marginal maintenance costs w.r.t. infrastructure usage in 2015 of 2.07 Norwegian øre¹ pr. gross ton kilometer (gtkm.), which corresponds to approximately EUR 2.25 pr. 1000 gtkm. By taking different cost variabilities in the infrastructure constituents into account, we get a cost elasticity of 0.20, which corresponds to a marginal cost of 1.15 cents pr. gtkm., or 1.25 euros pr. 1000 gtkm. Both results are fairly high compared with similar studies in other countries. The uncertainty in our marginal costs relate primarily to the estimated maintenance costs and cost elasticities, while traffic load probably introduces less uncertainty.

¹ Norwegian øre = 1/100 Norwegian krone (NOK)

III. Forord

Denne utredningen er et resultat av det selvstendige arbeidet på masterstudiet ved Norges Handelshøyskole, og er skrevet innenfor for fagområdet økonomisk styring. For en som nærmest vokste opp på Jernbanemuseet på Hamar og for en som brukte vesentlige deler av barndommen til å titte på bilder av damplokomotiv i diverse leksikon, var det naturlig at masteroppgaven måtte omhandle tog. Vi retter derfor en stor takk til Jernbaneverket som tok imot oss med åpne armer da vi uttrykte et ønske om å skrive om kostnader på den norske jernbanen.

Vi har med denne utredningen forsøkt å tallfeste den bedriftsøkonomiske delen av kjøreveisavgiften. Vi håper gjennom dette å være til nytte for Jernbaneverket og Samferdselsdepartementet ved utformingen av kjøreveisavgiften i den kommende jernbanereformen. Skriveprosessen har vært lang og til dels utfordrende, særlig med tanke på at datasettet som er lagt til grunn, aldri ble konstruert for å nyttiggjøres i denne typen studier. Vi føler likevel at vi, gjennom mange runder med revisjoner og epostkorrespondanse, kan stå inne for resultatene.

En særlig stor takk rettes til Ståle Hagen og Jo Menzony Appelqvist Bakken i Jernbaneverkets omstillingsenhet, som har fungert som våre kontaktpersoner, og som har vært aktiv i å sette oss i kontakt med de rette personene innad i organisasjonen. Vi ønsker også å takke Joanna Maria Kiepiela og Martin Sund i Jernbaneverkets infrastrukturdivisjon for å ha samlet datamaterialet som er lagt til grunn i utredningen. En takk rettes også til Accenture, samt gjengen på Transportøkonomisk institutt for innledningsvis å ha kommet med innspill til utredningens problemstilling. I tillegg ønsker vi å takke Arnt Ove Hopland ved NHH for økonomiske innspill.

Sist, men ikke minst, retter vi en stor takk til vår veileder, Kenneth Fjell, for god oppfølging, konstruktive tilbakemeldinger og inspirerende veiledningsmøter.

Bergen, 07.06.2016

Vetle Dahl Gundersen

Vetle Dahl Gundersen

Håvard T. Karlsen

Håvard Thorsrud Karlsen

IV. Innholdsfortegnelse

1. INNLEDNING	9
1.1 LITTERATUROVERSIKT	9
1.2 VÅRT BIDRAG OG PROBLEMSTILLING	11
1.3 ÛTREDNINGENS VIDERE STRUKTUR.....	12
1.4 NÆRMERE OM KJØREVEIEN	13
1.5 AVGRENSNING AV MARGINALKOSTNADSBEGREP	14
2. TEORI.....	16
2.1 PRODUKSJONEN I INFRASTRUKTURFORETAKET	16
2.2 ESTIMERING AV KOSTNADSFUNKSJONER.....	20
3. DATA.....	24
3.1 KOSTNADSDATA	24
3.2 TRAFIKKDATA.....	38
3.3 INFRASTRUKTURDATA	41
3.4 SAMMENSTILLING AV DATASETT	47
3.5 UTELATTE OBSERVASJONER.....	47
4. METODE	48
4.1 ØKONOMETRISK MODELL.....	48
4.2 ANTAKELSER FOR BRUK AV POOLED OLS	49
4.3 ANTAKELSER OM RESTLEDDET	50
4.4 HYPOTESETESTER	52
4.5 FUNKSJONSFORM	52

5. MODELLER	54
5.1 MODELLVALG	54
5.2 BEREGNING AV ELASTISITETER OG MARGINALKOSTNADER.....	58
6. RESULTATER	59
6.1 TOTALE VEDLIKEHOLDSKOSTNADER.....	59
6.2 VEDLIKEHOLDSKOSTNADER FOR KJØREVEIENS BESTANDDELER	63
7. DRØFTING	65
7.1 VALG AV EGNET MODELL	65
7.2 ESTIMERTE KOSTNADELASTISITETER.....	71
7.3 ESTIMERTE MARGINALKOSTNADER.....	74
7.4 ELASTISITETER FOR KJØREVEIENS BESTANDDELER	80
7.5 USIKKERHET I VÅRE ESTIMERTE MARGINALKOSTNADER	82
8. OPPSUMMERING OG KONKLUSJON	86
9. LITTERATURLISTE	89
10. APPENDIKS	95
10.1 OVERSIKT OVER MARGINALKOSTNADER PÅ STREKNINGER	95
10.2 HISTOGRAM FOR RESIDUALER I MODELL II	98
10.3 SALDOLISTER.....	99
10.4 R^2 OG JUSTERT R^2	102
10.5 TESTOBSERVATORER TIL RELEVANTE TESTER.....	102
10.6 ROBUSTHETSTESTING.....	104
10.7 UTLEDNING AV COBB-DOUGLAS SPESIFIKASJONEN	106

V. Figurliste

Figur 1: Tverrsnitt av kjøreveien.....	13
Figur 2: Marginalkostnader som inngår i infrastrukturavgift og kjøreveisavgift.....	15
Figur 3: Skisse av infrastrukturforetakets produksjonsprosess	17
Figur 4: Infrastrukturvedlikeholdets totalkostnadsfunksjon, enhetskostnadsfunksjon og marginalkostnad	21
Figur 5: Infrastrukturdivisjonenes organisasjons- og kostnadsoppbygning.....	26
Figur 6: Jernbaneverkets vedlikeholdsdefinisjoner	28
Figur 7: Typer av vedlikehold med tilhørende kostnadsutløsende faktorer	29
Figur 8: Totalkostnad i bruttotonn kilometer for alle banesjefområder i 2014 og 2015	37
Figur 9: Skjematisk fremstilling av måling av horisontal kurvatur i BaneData.....	44
Figur 10: Trafikktypeandeler på banesjefnivå og strekningsnivå	67
Figur 11: Kostnadselastisiteter for ulike bruttotonn i modell IV	69
Figur 12: Kostnadselastisiteter for ulike bruttotonn i modell V.....	70
Figur 13: Kostnadselastisiteter med 90%-konfidensintervall for modell I-V	72
Figur 14: Estimerte vedlikeholdskostnader for modell II.....	76
Figur 15: Trafikkbelastning i Norge sammenliknet med andre europeiske land	79
Figur 16: Marginalkostnadenes sensitivitet overfor andel korttidsmarginale vedlikeholdskostnader	83
Figur 17: Marginalkostnadenes sensitivitet overfor endring i total trafikkbelastning	84
Figur 18: Histogram for residualer i modell II på banesjefnivå	98
Figur 19: Histogram for residualer i modell II på strekningsnivå.....	98

VI. Tabelliste

Tabell 1: Kostnadselastisiteter og marginalkostnader fra tidligere studier	10
Tabell 2: Andeler av direkte kostnader av totale kostnader på nivå 50	27
Tabell 3: Summarisk statistikk for kostnader på banesjefnivå.....	34
Tabell 4: Utvelgelse av banesjefområder benyttet til fordeling på strekningsnivå	36
Tabell 5: Summarisk statistikk for kostnader på kjørevei basert på strekninger.....	38
Tabell 6: Summarisk statistikk for trafikk på banesjefnivå.....	40
Tabell 7: Summarisk statistikk for trafikk på strekningsnivå.....	41
Tabell 8: Andel av banelengde som ikke er elektrifisert.....	45
Tabell 9: Summarisk statistikk for infrastruktur på banesjefnivå	46
Tabell 10: Summarisk statistikk for infrastruktur på strekningsnivå	46
Tabell 11: Forutsetninger for Pooled OLS	49
Tabell 12: Modellspekifikasjoner	56
Tabell 13: Koeffisienter, gjennomsnittlige elastisiteter og robusthetstester for kjøreveien sett under ett.....	60
Tabell 14: Koeffisienter, gjennomsnittlige elastisiteter og robusthetstester for kjøreveiens bestanddeler.....	63
Tabell 15: Estimert vektet gjennomsnitt av marginalkostnad pr. bruttotonnkilometer for alle strekninger.....	75
Tabell 16: Variabel andel for ulike deler av kjøreveien.....	80
Tabell 17: Absolutte avvik mellom estimert og virkelig estimert kostnad i modell II	82
Tabell 18: Estimerte marginalkostnader, bruttotonnkilometer og forventet inntekt for banestrekninger	96
Tabell 19: Saldoliste for driftskostnader	99
Tabell 20: Saldoliste for forebyggende vedlikehold	100
Tabell 21: Saldoliste for korrektivt vedlikehold.....	101
Tabell 22: Saldoliste for fornyelse	101

1. Innledning

«*Gratis tilgang til knapp infrastruktur og mange tilleggstjenester samt at det mangler økonomiske incentiver mellom infrastrukturforvalter som leverandør og togselskapene, gir feil økonomiske signaler om bruken av jernbaneinfrastrukturen og gjør det vanskelig å etablere et tydelig kunde / leverandørforhold mellom infrastrukturforvalter og togselskap.*» (Meld. St. 27, 2015, s. 28).

Sitatet over er hentet fra Meld. St. 27 - «På rett spor», som ble offentliggjort 12. mai 2015. Meldingen til Stortinget markerte startpunktet for det vi i dag kjenner som Jernbanereformen: Jernbane-Norge skal etter dette bryte med tidligere konvensjoner som angår organisering, monopoler og økonomiske incentiver for å sørge for effektiv ressursbruk i norsk jernbane. Et av de mest sentrale punktene i reformen handler om at togselskapene, som etter reformen også kan være private for persontogtjenester, i større grad enn i dag må gis økonomiske signaler om hva det koster å produsere og vedlikeholde jernbaneinfrastrukturen.

EUs direktiver og norsk regelverk fastsetter at størrelsen på disse økonomiske signalene skal baseres på den kortsiktige marginale kostnaden av den økte trafikkbelastningen som et togselskap påfører infrastrukturselskapet og samfunnet for øvrig. Dette omtales gjerne som *kjøreveisavgift*. I denne utredningen skal vi ta utgangspunkt i disse bestemmelsene og estimere den marginale vedlikeholdskostnaden på de ulike delene av det norske jernbanenettet gjennom bruk av økonometrisk metode.

I den videre innledningen gir vi en oversikt over tidligere studier som benytter økonometrisk metode for å fastsette marginale kostnader ved økt trafikkbelastning i jernbanen, før vi presenterer utredningens problemstilling samt dens videre struktur.

1.1 Litteraturoversikt

Siden implementeringen av EU sine jernbanedirektiver på begynnelsen av 2000-tallet, har det i Nord- og Sentral-Europa blitt gjennomført en rekke studier som forsøker å fastsette de kortsiktige marginale vedlikeholdskostnadene for økt trafikkbelastning gjennom å benytte økonometriske metoder. Disse modellene tar sikte på å estimere en kostnadsfunksjon for å forklare de faktiske vedlikeholdskostnadene ved benytte karakteristika ved infrastrukturen og tilhørende trafikkbelastning.

Johansson & Nilsson (2002) var de første i Europa som foretok en økonometrisk studie av marginalkostnader i jernbanen. I ettertid har transportøkonomer i flere andre land bidratt med å utvide både datamaterialet og den konseptuelle tankegangen. Tabell 1 viser majoriteten av studiene som har blitt utført på dette området. Marginalkostnaden måles pr. bruttotonnkilometer, altså ett tonn fraktet en kilometer, der togets vekt inkluderes. Kostnadselastisiteten måler graden av stordriftsfordeler, der lavere elastisitet indikerer større grad av underproporsjonalitet i kostnadsutviklingen, og dermed mer fremtredende stordriftsfordeler.

Tabell 1:
Kostnadselastisiteter og marginalkostnader fra tidligere studier

Studie	Spesifikasjon	Land	Kostn.elasisitet	Marginalkostnad*
Daljord (2003)	Basis	Norge	0.68	1.13 (1)
Johansson & Nilsson (2002)	Alle linjer	Sverige	0.17	0.14 (2)
Andersson (2006)	Basis	Sverige	0.21	0.34 (3)
Andersson (2007a)	Vedlikehold	Sverige	0.27	0.80 (3)
Andersson (2008)	Modell IIIa	Sverige	0.34	1.00 (3)
Andersson (2011)	Box-Cox (pass.)	Sverige	0.05	0.16 (3)
Andersson (2011)	Box-Cox (goods)	Sverige	0.18	1.20 (3)
Johansson & Nilsson (2001)	Alle linjer	Finland	0.17	0.27 (2)
Tervonen & Idström (2004)	Gjennomsnitt år	Finland	0.15	0.22 (2)
Mundruch et. al. (2002)	Alle linjer	Østerrike	0.27 (2)	0.55
Marti et. al. (2009)	Contracting A	Sveits	Ikke oppgitt	0.39 (4)
Gaudry & Quinet (2003)	Basis	Frankrike	0.37 (2)	Ikke oppgitt
Wheat & Smith (2008)	Modell III (pass.)	Storbritannia	0.17	1.22
Wheat & Smith (2008)	Modell III (goods)	Storbritannia	0.08	1.07
Wheat & Smith (2008)	Model VI	Storbritannia	0.38	1.78

(Kostnadselastisiteter og marginalkostnader er angitt som vektet gjennomsnitt av estimerte strekninger)

* Marginalkostnad angitt som nominelle euro pr. 1000 bruttotonnkilometer

(1) Våre etterberegninger antyder en konverteringsfeil i resultatene. Vi kommer til EUR 11,3 / 1000 brtkm.

(2) Oppgis ikke direkte i opprinnelig rapport, men etterberegnet av Wheath & Smith (2008)

(3) SEK / EUR = 9.16 Basert på ECBs midtkurser for år 2002

(4) CHF / EUR = 1.55 Basert på ECBs midtkurser for år 2005

Tabell 1 viser at både den estimerte kostnadselastisiteten og marginalkostnaden varierer relativt mye fra studie til studie, også innad i land. De laveste kostnadselastisitetene og marginalkostnadene har blitt funnet i Sverige og Finland, av Johansson & Nilsson (2002) og av Tervonen & Idström (2004), som alle finner kostnadselastisiteter under 0,2 og marginalkostnader godt under 0,5 EUR pr. 1000 brtkm. I senere studier, finner man typisk en kostnadselastisitet mellom 0,2 og 0,4 og en tilhørende gjennomsnittlig marginalkostnad på mellom 0,5 og 1,5 EUR pr. 1000 brtkm. De definitivt høyeste kostnadselastisitetene i Europa, på 0,68 ble funnet i Norge av Daljord (2003). Daljord gjorde det imidlertid klart at datagrunnlaget han benyttet den gangen var preget av «*alvorlige inkonsistenser som kan*

resultere i både støy og skjevheter» (s. 3), og oppfordret Jernbaneverket til å forbedre datamaterialet dersom de hadde ambisjoner om å følge opp EUs direktiver.

1.2 Vårt bidrag og problemstilling

I denne masterutredningen skal vi, for første gang på 12 år, forsøke å avdekke hva ekstra trafikkbelastning koster infrastrukturforetaket i Norge, altså Jernbaneverket, ved å benytte et datasett for årene 2014 og 2015 i en Pooled OLS-modell. Vi tar utgangspunkt i den samme translogaritmiske spesifikasjonen som først ble foreslått av Berndt & Christensen (1973), og som er den klart foretrukne modellen for denne typen estimering i tidligere studier². Vi tar lærdom av andre studier som har etterfulgt Daljord (2003), og utvider trafikkbelastningsbegrepet til ikke kun å gjelde bruttotonnkilometer, men også belastning i form av flere avganger og tyngre tog, slik som blant annet Weath & Smith (2008). I tillegg forsøker vi å skille mellom persontrafikk og godstrafikk for å undersøke om de to trafikktypene driver vedlikeholdskostnader ulikt. Vi konstruerer også en egnet kontrollvariabel for togenes fart, som både i seg selv kan drive vedlikeholdskostnader, men som ifølge Wheat & Smith (2008), også kan fungere som et mål på infrastrukturens kvalitet, noe Daljord (2003) etterlyser.

Dataene som er benyttet i denne utredningen er trolig mer konsistente enn de Daljord (2003) jobbet med, med tanke på at systemene for kostnadsregistrering ser ut til å ha blitt noe bedre over tid. Våre data er likevel ikke produsert med et formål om nyttiggjøring i denne typen studier. Vi velger derfor å diskutere hvordan vi likevel kan sikre at modellene produserer marginalkostnader som representerer det underliggende vedlikeholdsbehovet. I Jernbaneverket registreres kostnadsdata i stor grad på et høyere aggregeringsnivå enn for banestrekningene som vi ønsker å knytte en marginalkostnad til. Dette er en helt ny problematikk for marginalkostnadsstudier på jernbanen, noe som har krevd at vi har måttet ha en innovativ og pragmatisk tilnærming til databehandlingen og modelleringen. Våre endelige modeller er i stor grad inspirert av Wheat & Smith (2008), men med et nytt formål: Å bidra til litteraturen med en diskusjon rundt marginalkostnader for land med lav trafikkbelastning.

² Modellen benyttes også for liknende studier for andre bransjer. Se for eksempel Martin & Voltes-Dorta (2010) for bruk av modellen innen studier av marginalkostnader på flyplasser.

Sammenliknet med tidligere studier er vårt datagrunnlag relativt begrenset. Modelleringen foregår derfor gjennom partiell analyse, der vi undersøker ulike effekter isolert for så å konkludere hvilken modell som er best egnet. I tillegg ønsker vi å analysere hvordan kjøreveiens ulike bestanddeler blir påvirket ulikt som følge av økt trafikkbelastning, noe som ikke er gjort i tidligere økonometriske studier. Resultatene fra denne modellen lar seg imidlertid sammenlikne med en ingeniørteknisk studie av Booz Allen Hamilton (2005).

På bakgrunn av dette, tar utredningen sikte på å besvare følgende problemstilling:

Hvor mye koster vedlikeholdsbehovet som oppstår ved økt trafikkbelastning for infrastrukturforetaket og som bør legges til grunn i beregningen av kjøreveisavgiften?

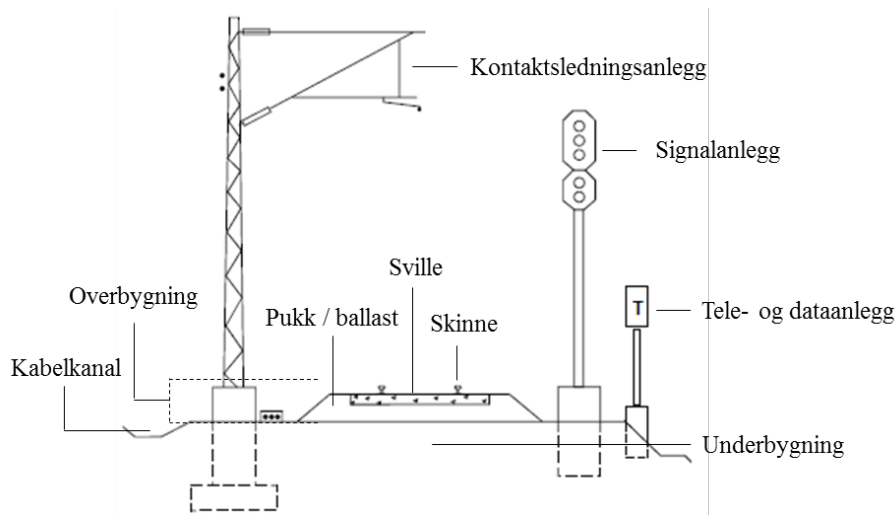
1.3 Utredningens videre struktur

I den videre innledningen forklares kjøreveisbegrepet nærmere før marginalkostnadsbegrepet avgrenses. I kapittel 2 presenteres den underliggende teorien som muliggjør estimering av marginalkostnader gjennom kostnadsfunksjoner. I Kapittel 3 vil relevante kostnader, kostnadsoppbygning, avgrensning av vedlikeholdskostnadsbegrepet og kostnadsmåling adresseres før summarisk statistikk for kostnadsdataene presenteres. Deretter vil vi ta for oss trafikkdataene, infrastrukturdataene og utelatte observasjoner.

I kapittel 4 introduseres den økonometriske metoden som legges til grunn gjennom å vise de grunnleggende forutsetningene i en regresjonsmodell utført på paneldata, samt konsekvenser av eventuelle brudd, og hvordan disse kan korrigeres. I tillegg vil relevante hypotesetester forklares. Våre modeller for kjøreveien samlet og for de ulike bestanddelene presenteres i kapittel 5, før resultatene fra disse modellene vises i kapittel 6. I kapittel 7 drøftes funnene fra modellene gjennom å besvare delspørsmål som ligger under utredningens problemstilling, og det trekkes i inn relevant teori og empiri for å belyse funnene ytterligere. Basert på drøftingen fremgår vår foretrukne modell, som vi benytter til å tallfeste de marginale vedlikeholdskostnadene ved økt trafikkbelastning i den norske jernbanen. Kapittel 8 gir en oppsummering og utredningens konklusjon.

1.4 Nærmere om kjøreveien

Jernbanelverket definerer kjøreveien som summen av dens bestanddeler: Overbygning, underbygning, signal- og teleanlegg, og elektrisk anlegg (Jernbanelverket, 2012). Figur 1 viser et karakteristisk tverrsnitt av jernbanens kjørevei.



Figur 1: Tverrsnitt av kjøreveien
(Statens Kartverk, 2012, s.11)

Overbygningen er det som i dagligtale ofte betegnes som «sporet», og omfatter hovedsakelig pukk/ballast, sviller, skinner, sporveksler/ -kryss samt plattformer og planoverganger. Underbygningen er det fundamentet som øvrige deler av jernbanens infrastruktur hviler på, og består av blant annet av skjæringer, fyllinger, bruer, kulverter, tunneler, støttemurer, drenering, gjerder, støyskjermer, kabelkanaler og takoverbygg. Signalanlegget består blant annet av signalskilt, lyssignaler, signalkabler og veisikringsanlegg på planoverganger. Telekommunikasjonsanlegget består av telekabler, telemaster, telefonapparater og anlegg for publikumsinformasjon, mens det elektriske anlegget blant annet består av kontaktledningsmaster, åk, kontaktledninger, returledninger, mateledninger, transformatorer og omformere (Statens Kartverk, 2012).

Fra tidligere studier, virker det å være en noe ulik oppfatning av hvordan man skal tolke begrepet «track maintenance». Vi vil imidlertid, i likhet med Daljord (2003), i hovedsak se på marginalkostnaden knyttet til et samlet kjøreveisbegrep. En utfordring knyttet til dette er at de ulike bestanddelene trolig slites ulikt ved økt trafikkbelastning. Det er for eksempel rimelig å forvente at kostnadene tilknyttet signal- og teleanlegg i mindre grad enn selve skinnene drives

av bruksrelatert slitasje. I delkapittel 7.4 vil vi dermed forsøke å analysere oss frem til i hvilken grad de ulike delene blir påvirket av økt trafikkbelastning.

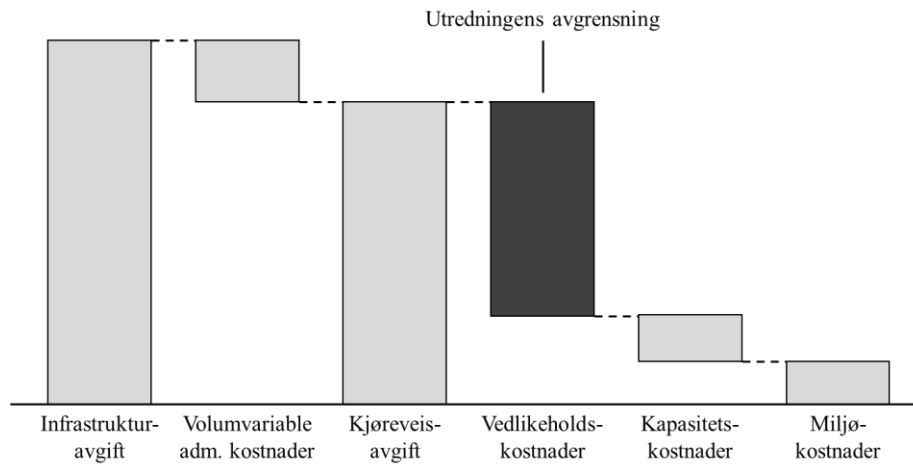
1.5 Avgrensning av marginalkostnadsbegrep

I «Fair Payment of Infrastructure Use» (1998) definerer EU-kommisjonen det de mener er det teoretisk korrekte grunnlaget for beregning av marginalkostnader på kjøreveien: «*Marginal costs are those variable costs that reflect the cost of an additional vehicle or transport unit using the infrastructure (...) they should reflect infrastructure damage, congestion and pollution costs, and so would vary according to factors like unit weight or number of axles, peak times, urban travel, and engine emissions*» (s. 8)

I sum utgjør disse kostnadene det EU omtaler som *samfunnsøkonomisk marginalkostnad på kort sikt*. Tilsvarende ordlyd finnes i «Forskrift for fordeling av jernbaneinfrastrukturkapasitet og innkreving av avgifter for bruk av det nasjonale jernbanenettet» (Fordelingsforskriften), der det i kapittel 4 vises «*til den kostnad som oppstår som en direkte følge av å drive jernbanetjenesten*». Fordelingsforskriften legger også opp til et tillegg som skal gjenspeile trengsels- og knappetskostnader og miljøvirkningene som følger av togdriften, og omtaler en avgift basert på disse prinsippene for *infrastrukturavgift* (Fordelingsforskriften, 2003).

Begrepene infrastrukturavgift og kjøreveisavgift brukes i mange tilfeller om hverandre, men i tidligere utredninger fra Jernbaneverket (2015a) og Transportøkonomisk institutt (Markussen & Pütz, 2000) holdes typisk volumvariable administrasjonskostnader³ utenfor kjøreveisavgiftsbegrepet. Basert på dette, viser figur 2 hvordan denne utredningen avgrenser seg med hensyn til infrastrukturavgiftens komponenter:

³ Volumvariable administrasjonskostnader defineres som kostnader som oppstår som følge av behandling av søknader om infrastrukturkapasitet, trafikkstyring, kontrollprosesser, togekspedering og fremskaffing av informasjon om togtrafikk eller andre opplysninger som er nødvendige for togselskapenes drift, jf. Fordelingsforskriften vedlegg I, pkt. 1 bokstav a, d og e.



Figur 2: Marginalkostnader som inngår i infrastrukturavgift og kjøreveisavgift

Som illustrert i figuren, vil vår utredning kun ta for seg den bedriftsøkonomiske delen av kjøreveisavgiften, altså inndekning av vedlikeholdskostnader. I Sverige utgjør denne komponenten over 60 % av kjøreveisavgiften (Banverket, 2007).

2. Teori

I dette kapittelet skal vi først se på produksjonsteorien som ligger til grunn for estimering av kostnadsfunksjoner. Deretter presenterer vi en teoretisk funksjonsform, og hvordan marginalkostnader og kostnadselastisiteter kan knyttes opp mot denne. Avslutningsvis introduserer vi forutsetningen om at jernbanens vedlikehold er i en likevektstilstand, og hvordan man i teorien kan ta høyde for et brudd av denne i forutsetningen ved beregning av marginalkostnadene.

2.1 Produksjonen i infrastrukturforetaket

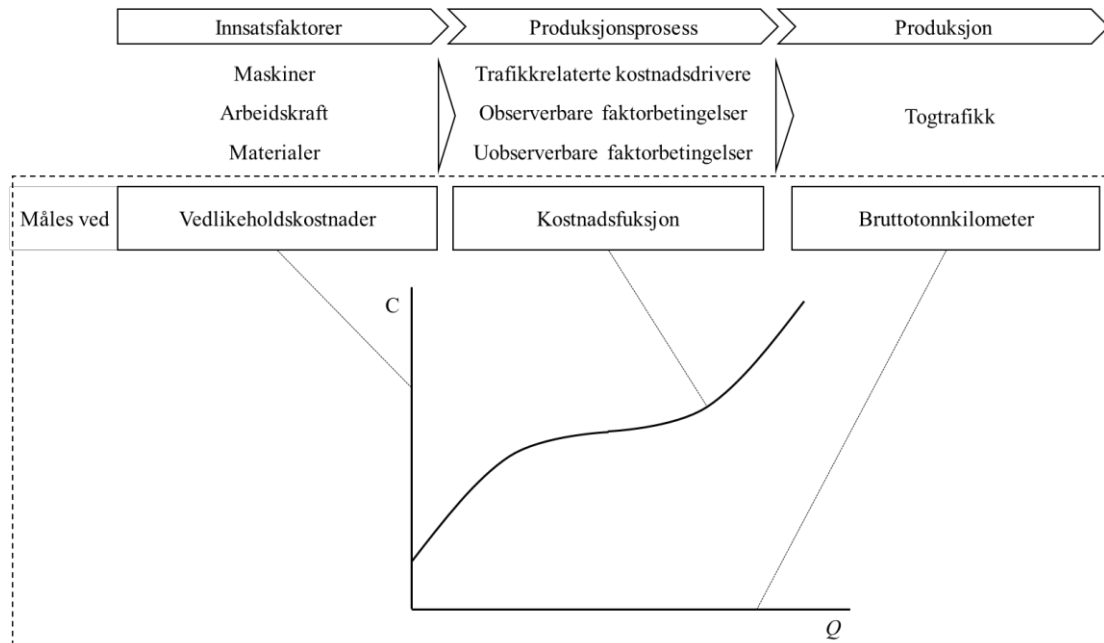
I en produksjonsprosess er sentrale spørsmål hva som produseres, hva som inngår i produksjonen, hvordan kostnadene i produksjonen drives og hvilke eksterne betingelser som ligger til grunn for produksjonen (Johnson, Whittington, & Scholes, 2011). Vi introduserer derfor teorien omkring produksjonsprosessen før vi videre drøfter ulike metoder for å identifisere potensielle kostnadsdrivere.

2.1.1 Infrastrukturforetakets produksjonsprosess

Jacobs & Chase (2013) trekker frem vedlikeholdstjenester som et klassisk eksempel på tjenesteproduksjon. Et av de mest sentrale kjennetegnene ved tjenesteproduksjon er at konsumpsjon skjer samtidig med produksjon - tjenester kan ikke lagres. Derfor, så lenge et togselskap benytter innsatsfaktorer som medfører økt trafikkbelastning på infrastrukturen for å yte tjenester til sine kunder, vil infrastrukturforetaket måtte produsere tjenesten simultant (Daljord, 2003).

Vi kan følgelig se for oss produksjonsprosessene i infrastrukturforetaket som en hvilken som helst annen produsent av tjenester, der de nederste nivåene i organisasjonshierarkiet fungerer som produksjonsenheter, hvor innsatsfaktorer som maskiner, arbeidskraft og materialer inngår i produksjonen av togtrafikk. Ressursforbruket måles i monetære verdier gjennom vedlikeholdskostnadene, mens produksjonen måles i bruttotonnkilometer. Sistnevnte er en forenkling, ettersom vedlikeholdskostnadene togselskapene påfører infrastrukturforetaket ikke nødvendigvis behøver å være drevet av trafikkbelastning målt i bruttotonnkilometer. Dalen & Fehr (2003) trekker frem at ulike forhold ved trafikken, som akseltrykk, antall avganger, tidspunkt for avgangene, kjørehastighet, last og lengden på togsettene, trolig driver

vedlikeholdskostnadene ulikt. En slik multidimensjonal tilnærming er den foretrukne i teorien, men i praksis benyttes typisk bruttotonnkilometer fordi dette er et enkelt mål på trafikkbelastning som tar høyde for flere dimensjoner samtidig. Basert på dette, viser figur 3 en skjematisk fremstilling av infrastrukturforetakets produksjonsprosess for togtrafikk.



Figur 3: Skisse av infrastrukturforetakets produksjonsprosess

Figur 3 viser at produksjonsprosessen måles ved hjelp av en kostnadsfunksjon. En kostnadsfunksjon er den matematiske beskrivelsen av forholdet mellom kostnader, som representerer innsatsfaktorene, på den ene siden, og produksjonen på den andre siden. Estimering av kostnadsfunksjonen hviler på forutsetningen om at det under betingelse om kostnadsminimerende produksjonsprosess for gitt produksjon, finnes dualitet mellom produkt- og kostnadsfunksjonen. På den måten kan all informasjon om produksjon og kostnadsstruktur utledes fra en fullstendig beskrivelse av én av funksjonene (McFadden, 1978). I følge Daljord (2003) virker det rimelig at det skal finnes et slikt dualt forhold i produksjonen av togtrafikk, ettersom produksjonskostnadene naturlig vil henge sammen med produksjonsprosessen og tilgjengelig teknologi.

For å finne den kostnadsfunksjonen som best beskriver forholdet mellom kostnader og produksjonen må kostnadsdriverne identifiseres. En kostnadsdriver vil si enhver faktor som påvirker produksjonskostnadene (Horngren, Datar, Foster, Rajan, & Itner, 2009). Ved estimering av kostnadsfunksjonen til vedlikehold av kjøreveien kan kostnadsdriverne klassifiseres som enten trafikkrelaterte kostnadsdrivere eller faktorbetingelser (e.g. Johansson

& Nilsson, (2002)). Trafikkrelaterte kostnadsdrivere kan knyttes direkte til produksjonen av togtrafikk, mens faktorbetingelsene knytter seg til kjøreveiens egenskaper og dens omgivelser. Faktorbetingelsene kan igjen deles i observerbare- og uobserverbare⁴ faktorbetingelser. For eksempel vil antall tog kunne være en trafikkrelatert kostnadsdriver, en banestrekningens lengde vil være en observerbar faktorbetingelse, mens en uobserverbar faktorbetingelse kan knytte seg til at enkelte områdesjefer har ineffektive ansatte.

2.1.2 Metoder for å identifisere kostnadsdrivere

Den økonometriske metoden er en top-down-metode, der det tas utgangspunkt i totalkostnaden for å identifisere kostnadsdrivere. Gjennom å estimere en kostnadsfunksjon kan metoden anslå trafikkbelastningens effekt på vedlikeholdskostnadene på kjøreveien ved å kontrollere for øvrige kostnadseffekter. Metoden er mye benyttet for estimering av marginalkostnader i jernbanenettet ettersom den er en relativt billig metode for å avdekke korrelasjonen mellom trafikkbelastningen og kostnadene til vedlikeholdet av jernbanen (Daljord, 2003). Metoden er også anbefalt av «The Expert Advisors on Infrastructure Charging, Working Group 1» som er et utvalg som ble nedsatt av EU for å utarbeidede mer detaljerte og standardiserte retningslinjer for utarbeiding av kjøreveisavgift på tvers av land i EU (Working Group 1, 1999).

En begrensning ved den økonometriske metoden er at den kun viser hvordan en avhengig variabel korrelerer med uavhengige variabler, men ikke nødvendigvis et kausalt forhold. I tillegg, dersom kostnadsregistreringen ikke skjer på bakgrunn av kausale forhold, kan modellen fange opp spuriøse sammenhenger. For eksempel vil man kunne finne fordelingsnøkklene som ligger til grunn for fordelingen i regnskapet fremfor de reelle kostnadsdriverne (Labro, 2006).

Til tross for at vi i denne utredningen benytter en økonometrisk metode finnes det, basert på Daljord (2003), Bjørnenak (2005) og Wheat & Smith (2008), to andre metoder for å identifisere kostnadsdrivere som er egnet for jernbanesektoren: Ingeniørteknisk metode og aktivitetsbasert kalkulasjon.

⁴ Merk at uobserverbar gjelder i praktisk forstand. I teorien vil man kunne observere og kontrollere for alle typer faktorbetingelser.

Både ingeniørtekniske metoder og aktivitetsbasert kalkulasjon er bottom-up-metoder der potensielle kostnadsdrivere avdekkes, før det gjennomføres fysiske målinger av kostnadsdriverens påvirkning på totalkostnadene. Ingeniørtekniske metoder er innen jernbanesektoren typisk assosiert med svært inngående målinger og eksperimenter knyttet til å finne detaljkunnskap om slitasje og vedlikehold av de enkelte bestanddelene (Daljord, 2003). I tillegg til å være svært dyrt⁵, er det ikke gitt at summen av detaljkostnadene er lik summen av de faktiske kostnadene. Dette ble ansett som et problem i England, der de benyttet seg av ingeniørtekniske estimeringer for marginalkostnaden ved å bruke kompliserte modeller. Det ble forsøkt en rekke forskjellige kalibreringsmetoder, men ingen av dem ble vurdert som tilfredsstillende (Link, et al., 2001).

Den aktivitetsbaserte tilnærmingen tar sikte på å fordele kostnader til aktiviteter ut ifra aktivitetens bruk av ressurser. Deretter fordeles kostnadene videre til kostnadsobjekter i forhold til kostnadsobjektets bruk av aktiviteter. Sammenhengen mellom ressurser, aktiviteter og kostnader avdekkes gjennom arbeidsstudier og intervjuer av nøkkelpersoner med god kjennskap til produksjonsprosessen, og er således en omfattende prosess. Fordelingsnøkklene som benyttes anses som kostnadsdrivere ettersom de viser hva som forårsaker kostandene gjennom aktiviteter (e.g. Cooper & Kaplan, (1999)). Metoden er godt egnet dersom de indirekte kostnadene utgjør en stor del av infrastrukturforetakets kostnader (Labro, 2006). Til tross for at Railcalc (Macario, et al., 2008), et prosjekt som hadde til formål å finne metoder for å harmonisere ulike tilnærminger for å beregne marginalkostnader i jernbanenettet på tvers av land i Europa, anbefaler bruk av aktivitetsbasert kalkulasjon, finnes det ingen kjente studier hvor en slik metode er benyttet⁶.

⁵ En kjent studie fra USA som ledet frem til den såkalte «forth-power-rule», et forholdstall mellom veislitasje og akselvekt, ble gjennomført ved å kjøre forskjellige kjøretøy med varierende vekt over ulike veidekker. Det er beregnet at lignende eksperiment ville kostet 300 millioner dollar å replisere i 1980-priser (Newbery, 1988).

⁶ Aktivitetsbasert kalkulasjon blir imidlertid benyttet for flere andre regulerte tjenester i Norge, herunder NSB. Se (Bjørndal, Bjørnenak, & Johnsen (2003).

2.2 Estimering av kostnadsfunksjoner

Når man har funnet *potensielle* kostnadsdrivere som skal inngå i estimeringen av jernbanevedlikeholdets totalkostnadsfunksjon, må disse omgjøres til relevante variabler i regresjonen. Målet er at man gjennom regresjonen avdekker de *faktiske* kostnadsdriverne.

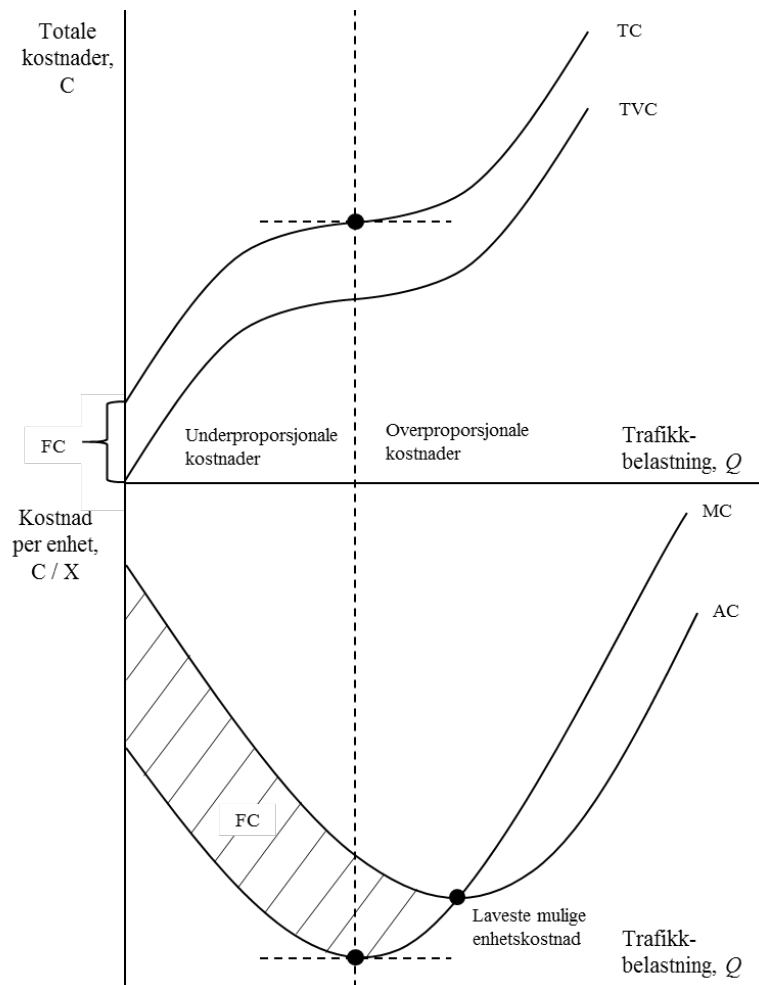
Trafikkrelaterte kostnadsdrivere måles gjennom produksjonsvariablene, mens observerbare faktorbetingelser inngår som kontrollvariabler. På bakgrunn av dette kan en kostnadsfunksjon spesifiseres som følger:

$$C_{it} = f(Q_{it}, S_{it}, P_{it}) \quad i = 1, 2, \dots, N \quad t = 1, 2, \dots, T$$

der C_{it} er vedlikeholdskostnaden for en gitt banestrekning, i , for et gitt år, t . Q_{it} er en vektor av trafikkbelastningen som følger av produksjonen, S_{it} er en vektor av kontrollvariablene, P_{it} er en vektor av faktorpriser.

2.2.1 Funksjonsform

Enhetskostnadsfunksjonen og marginalkostnadsfunksjonen kan utledes på bakgrunn av totalkostnadsfunksjonen slik som vist i figur 4.



Figur 4: Infrastrukturvedlikeholdets totalkostnadsfunksjon, enhetskostnadsfunksjon og marginalkostnad

I følge tradisjonell økonomisk teori vil enhetskostnadsfunksjonen (AC) på kort sikt være fallende ved lavt produksjonsnivå og stigende ved høyt produksjonsnivå. Bakgrunnen til fallende totale enhetskostnader er blant annet at de faste kostnadene blir fordelt ut på flere enheter. Ved høyt produksjonsnivå kan kompleksiteten øke ved at blant annet enkelte innsatsfaktorer på kort sikt kun tilbys i begrensede mengder. Et sted mellom lav og høy produksjon er enhetskostnaden minimert (Horngren et al., 2009). Marginalkostnaden (MC) er da minimert for et punkt der totalkostnadene går fra å være underproportjonale til å bli overproportjonale. Innenfor jernbanen antas det at det er kostnadsminimerende å la én produsent alene stå for produksjonen i stedet for å la produksjonen dekkes av en kombinasjon av flere produsenter. En slik markedsituasjon tilsvarer naturlig monopol og anses som rimelig fordi infrastrukturforetaket har høye sunkne faste kostnader og lave variable kostnader som gir opphav til stordriftsfordeler (e.g. Nilsson & Johansson (2002), Dalen & Fehr (2003), Daljord (2003) og Andersson (2007a)).

Til tross for at tidligere studier i liten grad foretar noen teoretisk drøfting av hvordan marginalkostnadene til vedlikehold av jernbane er forventet å variere med trafikkbelastning, synes det å være en målsetning i flere av disse å finne marginalkostnader som samsvarer med en fullstendig U-formet enhetskostnadskurve (e.g. Gaudry & Quinet (2003) og Wheat & Smith (2008)). Ifølge Dalen & Fehr (2003) kan man i Norge verken utelukke at jernbanen befinner seg på den fallende eller økende delen av enhetskostnadskurven.

2.2.2 Marginalkostnader og kostnadselastisiteter

For matematisk å beregne marginalkostnaden ved økt trafikkbelastning på kjøreveien, deriveres kostnadsfunksjonen for vedlikeholdskostnadene med hensyn på trafikkbelastningen, målt i bruttotonnkilometer Q_{it}^{brtkm} . Den estimerte marginalkostnaden blir da:

$$\widehat{MC}_{it} = \frac{\partial \hat{C}_{it}}{\partial Q_{it}^{brtkm}} = \frac{\partial \hat{C}_{it}}{\partial Q_{it}} \frac{1}{km_i} = \frac{\partial \ln(\hat{C}_{it})}{\partial \ln(Q_{it})} \frac{\hat{C}_{it}}{Q_{it}} \frac{1}{km_i} = \hat{\vartheta}_{it} \frac{\hat{C}_{it}}{Q_{it}^{brtkm}}$$

der $\hat{\vartheta}_{it}$ betegner de estimerte kostnadselastisitetene. Av uttrykket ovenfor fremkommer det at elastisiteten kan sees på som en andel av de totale gjennomsnittskostnadene $\hat{C}_{it}/Q_{it}^{brtkm}$, som er korttidsvariable på marginen. Vi kan følgelig benytte begrepene kostnadselastisiteter og «andel kortsiktige variable kostnader på marginen» om hverandre.

For å sammenlikne marginalkostnadene med tidligere studier, benyttes et vektet gjennomsnitt. I denne legges hver banestrekningens andel av den totale trafikkbelastningen, Q_{it}^{brtkm} , til grunn som vekter:

$$\text{vektet gjennomsnittlig } MC = \frac{\sum_i \widehat{MC}_{it} Q_{it}^{brtkm}}{\sum_i Q_{it}^{brtkm}}$$

2.2.3 Kalibrering av marginalkostnader

Estimering av kostnadsfunksjoner som skal gi grunnlag for beregning av marginale vedlikeholdskostnader i jernbanen, baserer seg på en forutsetning om at kjøreveien har konstant kvalitet. Det vil si at det verken foregår en økning eller reduksjon i vedlikeholdsetterslep i perioden man beregner marginalkostnaden for. Wheat & Smith (2008) omtaler dette som jernbanens likevektstilstand (steady-state). Bakgrunnen for at jernbanens likevektstilstand er viktig ved beregning av marginalkostnader, er at avvik fra en

likevektstilstand vil kunne gi skjevheter i estimatene: En reduksjon i vedlikeholdsetterslep innebærer at vedlikeholdskostnadene for det aktuelle året er høyere enn hva som er nødvendig for å opprettholde infrastrukturens kvalitet, og beregnede marginalkostnader ved trafikkbelastning blir tilsvarende for høye. I tilfellet hvor vedlikeholdsetterslepet øker, vil beregnede marginalkostnader være lavere enn de faktiske. For å hensyn ta et eventuelt brudd på forutsetningen om likevekt, oppmuntrer EUs ekspertutvalg Working Group 1 (1999) til kalibrering av marginalkostnadene. Dette vil si at man forsøker å skille ut kostnadseffekten som stammer fra endring i jernbanens kvalitet.

3. Data

I dette kapitlet vil vi se på de kvantitative dataene vi har benyttet til å tallfeste marginalkostnaden for økt trafikkbelastning på kjøreveien, som skal ligge til grunn for beregningen av kjøreveisavgiften. Dataene stammer i stor grad fra Jernbaneverkets egne databaser og gjelder for 2014 og 2015⁷. Vi begynner med å se på hvordan kostnadsdataene er bygget opp, hvilke kostnader som er relevante for våre beregninger og hvordan disse måles. Deretter tar vi for oss trafikkdataene og hvordan disse fremkommer. Vi ser så på infrastrukturdataene og motivasjonen bak utvelgelse av kontrollvariablene. Avslutningsvis diskuterer vi sammenstillingen av de ulike datasettene og hvilke observasjoner som er utelatt fra dataene som legges til grunn i våre modeller.

3.1 Kostnadsdata

Våre estimerte marginalkostnader påvirkes i stor grad av kostnadsdataene som legges til grunn. Det vil derfor være aktuelt å vurdere hva som anses som relevante kostnader, altså kostnader som bør belastes togselskapene gjennom kjøreveisavgiften, og hvordan disse måles. For å undersøke dette, må kostnadsstrukturen til infrastrukturdivisjonen til Jernbaneverket undersøkes før vi kan foreta en avgrensning av vedlikeholdskostnadene som er egnet for vårt formål. Avslutningsvis i delkapitlet presenteres vedlikeholdskostnader på banesjefnivå og strekningsnivå.

3.1.1 Relevante kostnader

Et sentralt spørsmål ved beregning av kortsiktige marginale vedlikeholdskostnader i jernbanenettet er hvilke kostnader som skal legges til grunn i estimeringen. EUs ekspertutvalg, Working Group 1 (1999), legger følgende prinsipp til grunn: *“In the short run, fixed costs (costs of existing infrastructure which are independent of traffic volumes) are regarded as sunk costs. From an efficiency point of view, these costs are not relevant for pricing. In regard*

⁷ Årsaken til at vi i denne utredningen ikke benytter en lengre tidsserie er at det ble foretatt en større omorganisering i Jernbaneverket i 2013 som medfører at kostnadsdata for tidligere år ikke sammenliknbare med kostnadsdataene for 2014 og 2015.

to the estimation of infrastructure costs, this principle is essential, since marginal costs and average costs differ considerably.” (s. 4).

Prinsippet kan overføres til våre kostnadsdata gjennom å studere definisjonene av de tre overordnede kostnadstypene som defineres av Jernbaneverkets vedlikeholdshåndbok (Jernbaneverket, 2011, s. 6):

- Vedlikehold: *«En kombinasjon av alle tekniske og administrative aktiviteter, inkludert ledelsesaktiviteter som har til hensikt å opprettholde eller gjenvinne en tilstand som gjør en enhet i stand til å utføre en krevd funksjon.»*
- Investering: *«Bygging av nye banestrekninger eller anlegg, samt tiltak i eksisterende infrastruktur for å heve standarden, og der den utløsende årsak er økte funksjonskrav.»*
- Drift: *«Sentral og desentral teknisk administrativ støtte, banestrømforsyning, sambandsleie, planlegging, drift av bygninger og publikumsområder, snørydding og trafikkstyring.»*

Ettersom vi ønsker å avdekke marginalkostnaden i henhold til vedlikeholdsbehovet som oppstår som følge av økt trafikkbelastning, skal utvilsomt vedlikeholdskostnadene inkluderes i den avhengige variabelen i kostnadsestimeringen.

Ettersom investeringsutgifter kun oppstår dersom *«den utløsende årsak er økte funksjonskrav»*, representerer slike kostnader en kvalitetsforbedring og anses derfor ikke relevante i denne sammenhengen. Avskrivningskostnader på selve kjøreveien er heller ikke relevante, da disse ikke driver kostnader ved økt belastning på kjøreveien på kort sikt.

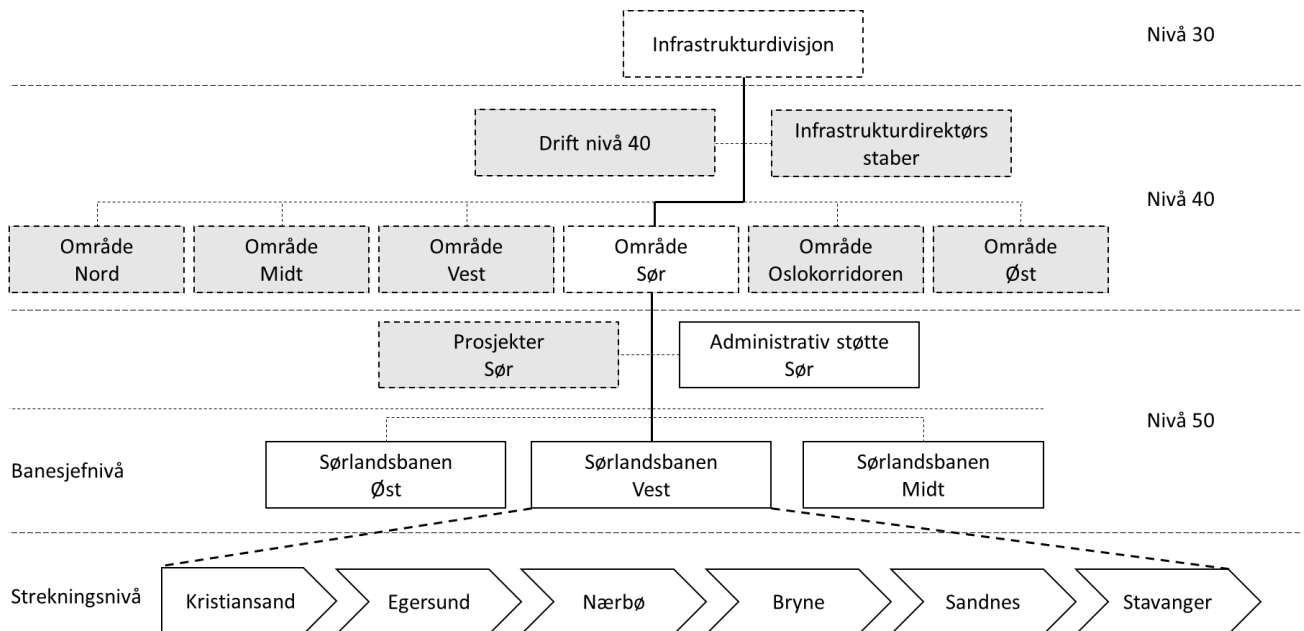
Hvorvidt *driftskostnader* skal medtas, kan imidlertid i større grad fremstå som et tvilstilfelle: Administrative aktiviteter med det formålet å drive vedlikehold på kjøreveien inngår allerede i vedlikeholdskostnadene, men fra definisjonen av driftskostnader virker det åpenbart at også kostnader som ligger under drift, for eksempel banestrømforsyning, kan variere med trafikkbelastningen på kjøreveien. Det er imidlertid tradisjon i tidligere studier å se bort fra driftskostnader, noe som støttes av Working Group 1 (1999) og Dalen & Fehr (2003). Bakgrunnen for ekskluderingen av driftskostnadene er at majoriteten av kostnadene som

inngår her⁸, typisk vil være faste for et gitt kapasitetsnivå, og dermed også sunkne i henhold til Working Group 1 sin definisjon. For eksempel knytter snøryddingskostnader seg til å holde kjøreveien åpen i første omgang - men når den først er åpnet, er kostnaden forventet å variere i liten grad med faktisk bruk⁹.

3.1.2 Kostnadsoppbygning

Det nåværende Jernbaneverket har omlag 4000 ansatte, hvor rundt 60 % av disse jobber i infrastrukturdivisjonen, som har ansvaret for vedlikehold og drift av kjøreveien.

I vår utredning antar vi at samtlige relevante kostnader for beregning av kjøreveisavgiften oppstår i infrastrukturdivisjonen. Figur 5 viser en skjematisk oversikt over infrastrukturdivisjonens kostnadsoppbygning:



Figur 5: Infrastrukturdivisjonenes organisasjons- og kostnadsoppbygning

Nivå 30 angir i hvilken divisjon kostnadene oppstår, mens nivå 40 viser om kostnadene oppstår i et gitt geografisk område eller i en av infrastrukturdivisjonens drifts- eller støttefunksjon på samme nivå. Hvert geografiske område har to eller flere banesjefer knyttet til seg, noe som

⁸ I appendiks 10.3 viser tabell 19 en fullstendig saldoliste over hvilke kostnader som inngår i «Drift».

⁹ Andersson (2006), som er en av få studier som inkluderer enkelte driftskostnader, finner imidlertid at snøryddingskostnader drives av antall tog, mens vedlikeholdskostnader drives av bruttotonn.

defineres på nivå 50. Hver banesjef har igjen ansvaret for et antall strekninger, som defineres som kjøreveien mellom to stasjoner.

I vår utredning, behandler vi kostnader for hvert av banesjefområdene på nivå 50 som en kostnadsobservasjon. Vi definerer dette som kostnader på banesjefnivå. Tilsvarende omtales kostnadsobservasjoner som oppstår på en gitt strekning for kostnader på strekningsnivå. Dersom økt aktivitetsnivå for et gitt banesjefområde også påvirker kostnader på et høyere nivå i hierarkiet, for eksempel i de administrative støttefunksjonene, blir disse kostnadene ansett for å være en indirekte kostnad. Disse kostnadene lar seg ikke uten videre fordele på strekningsnivå: For å fordele de indirekte kostnadene på en kausal måte blir man nødt til å utføre studier av aktivitetene og kostnadene i støttefunksjonene for å få vite i hvor stor grad disse drives av økt aktivitet i avdelingene de støtter. En måte å avdekke dette på er, som tidligere nevnt, å benytte seg av aktivitetsbasert kalkulasjon.

Problemer knyttet til ikke å kjenne det kausale forholdet mellom kostnader som oppstår i støtteaktivitetene og bruken av jernbanen vil være større, jo større andel av kostnadene som ikke er registrert direkte på banesjefområde.

Tabell 2:
Andeler av direkte kostnader av totale kostnader på nivå 50

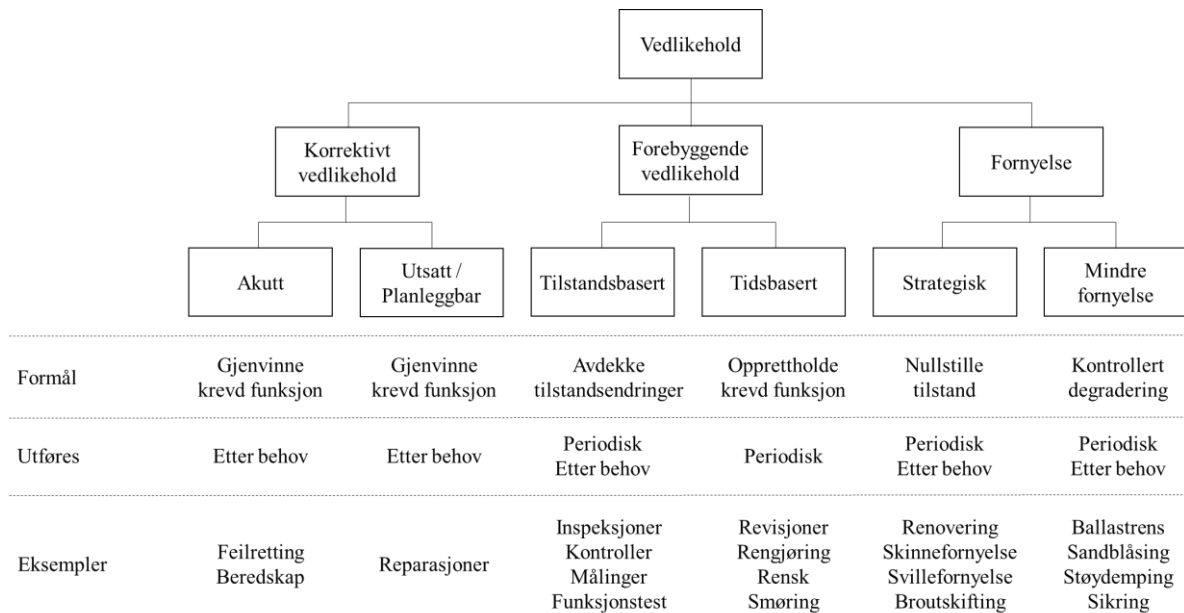
	2014	2015	Gjennomsnitt
Nord	70 %	82 %	78 %
Midt	77 %	86 %	83 %
Øst	61 %	76 %	71 %
Oslokorridoren	74 %	84 %	81 %
Sør	71 %	79 %	76 %
Vest	68 %	73 %	71 %
Samlet	71 %	82 %	78 %

(Prosjektkostnader er holdt utenfor)

Av tabell 2 fremgår det at den laveste andelen direkteregistrerte kostnader er 61%, og at majoriteten av andelene ligger mellom 70% og 80%. Enkelte av de indirekte kostnadene burde sannsynligvis vært kausalt fordelt ut på de respektive banesjefene, men på samme måte som Wheat & Smith (2008), kan vi argumentere for at vi trolig allerede har inkludert de mest volumvariable kostnadene gjennom kun å se på de nederste nivåene i hierarkiet. Inkludering av de indirekte kostnadene ville dermed ikke nødvendigvis ha ført til store endringer i våre estimerte marginalkostnader. Det er også sannsynlig at en andel av kostnadene faktisk er felleskostnader som det ikke er mulig å fordele ut på banesjefområdene på en kausal måte.

3.1.3 Avgrensning av vedlikeholdskostnadsbegrep

Jernbaneverkets vedlikeholdshåndbok (Jernbaneverket, 2011) definerer tre typer vedlikehold som er illustrert i figur 6.



Figur 6: Jernbaneverkets vedlikeholdsdefinisjoner

Korrektivt vedlikehold kan deles inn avhengig av om vedlikeholdet må foretas umiddelbart eller om det kan utsettes. Behovet for akutt korrektivt vedlikehold er relativt uforutsigbart og behøver en fleksibel beredskapsavdeling som kan rykke ut på kort varsel. Utsatt vedlikehold er gjerne mindre reparasjoner og utbedringer som kan planlegges, men som utføres for å bringe en enhet tilbake i en tilstand som gjør det mulig å utføre en krevd funksjon.

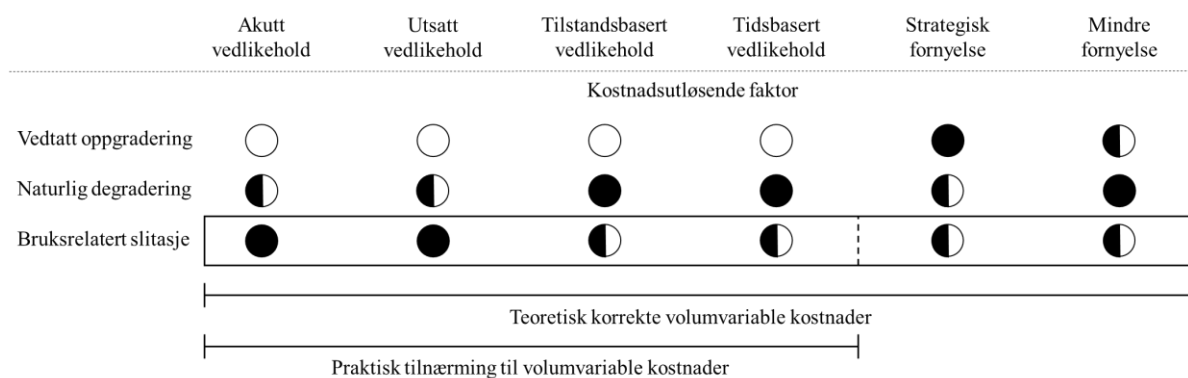
Forebyggende vedlikehold er vedlikehold som utføres etter forutbestemte intervaller eller kriterier, og har til hensikt å forlenge levetider og redusere sannsynligheten for svikt eller funksjonsnedsetting. Daljord (2003) bemerker at en kostnad kan drives av slitasje til tross for at den utføres periodisk. Dette skjer dersom økt bruk fører til kortere tidsintervaller for utføring av det periodiske vedlikeholdet.

Fornyelse defineres som «Utskifting av anlegg hvor det ikke lenger er økonomisk eller mulig å opprettholde en krevd funksjon ved hjelp av Forebyggende- eller Korrektivt vedlikehold, eller utbedring av større komponenter for å unngå akselerert degradering.» (Jernbaneverket, 2011, s. 6). Strategisk fornyelse tar for seg de store strekningsvise og systemmessige fornyelser der standarden løftes til tilfredsstillende nivå i henhold til tilgjengelig teknologi.

Fra definisjonene ovenfor forstås det at de ulike typene av vedlikehold oppstår som følge av forskjellige forhold, og det kan pekes på følgende kostnadsutløsende faktorer:

- Bruksrelatert slitasje er kostnader som utløses ved økt bruk, og som vil tilsvare de korttidsmarginale kostnadene. Togselskapene skal derfor belastes for disse kostnadene.
- Naturlig degradering er kostnader som utløses av elde eller naturfenomener. Eksempler kan være vindskjevheter, solslyng og plaskepartier. Dette er kostnader utenfor togselskapenes kontroll, og de skal derfor ikke belastes for disse.
- Vedtatt oppgradering er kostnader som oppstår fordi Jernbaneverket bevisst velger å prioritere vedlikeholdstiltak ut over det normale for å bringe delstrekningen i retning av det Jernbaneverket definerer som «god infrastruktur¹⁰». Togselskapene skal ikke belastes for vedlikehold ut over det som kreves for å komme til et nullnivå, og oppgraderinger skal derfor holdes utenfor kjøreveisavgiften.
- Vedlikeholdskostnader som ikke er drevet av disse forholdene, defineres som kapasitetskostnader. Disse er faste på kort sikt og er dermed ikke relevante i beregningen av kjøreveisavgiften.

Figur 7 gir et grovt bilde av hvordan de ulike vedlikeholdstypene er forskjellige med tanke på hva som er den kostnadsutløsende faktor:



Figur 7: Typer av vedlikehold med tilhørende kostnadsutløsende faktorer

¹⁰ Vedlikeholdshåndboken (Jernbaneverket, 2011, s. 9) definerer hva som legges i «God infrastruktur» gjennom å fastsette kvalitetskrav til sporkvalitet, sporutvidelser, skinnebrudd, solslyng, plaskepartier, signalanlegg, energiforsyning, tidstap osv.

Figuren viser at en kostnadstype kan utløses av flere faktorer. Et eksempel på dette kan være når NSB, ved utrulling av sine nye FLIRT-togsett i begynnelsen av tiårsskiftet, påførte kjøreledningen store skader. På den ene siden kan dette fremstå som en åpenbar bruksrelatert slitasjeskade, men på den annen side hadde ikke skadene oppstått dersom ikke kjøreledningen for lengst var utdatert¹¹. I Jernbaneverkets saldolister¹² står store deler av kostnadene på konti med svært generelle beskrivelser som «akutt feilretting» eller «forebyggende vedlikehold». Vi kan dermed ikke uten videre skille mellom kostnader som skyldes bruksrelatert slitasje fra naturlig degradering og vedtatt oppgradering.

Lite spesifiserte saldolister gjør det særlig utfordrende å analysere kostnadspostene for fornyelse. Fornyelse skjer gjennom prosjekter som først og fremst er et resultat av strategiske prioriteringer. Det kan likevel være tilfellet at strekningen er prioritert fordi den er nedslitt som følge av bruk, men denne årsakssammenhengen blir da så vag at den blir utfordrende å forsvare overfor togselskapene. I tillegg er fornyelse i stor grad drevet av trafikkbelastning som har vært, og kan i mindre grad sies å være et resultat av dagens trafikkbelastning. Prosjektene som inngår i fornyelse er dessuten større og utføres sjeldnere enn for de øvrige vedlikeholdstypene, og det kan derfor tilføre større grad av støy i datasettet. Sistnevnte poeng kan gjøres særlig gjeldende i perioder hvor jernbanen avviker fra en likevektstilstand, ettersom slike større fornyelser typisk neglisjeres i perioder med økende vedlikeholdsetterslep og prioriteres i perioder der etterslepet hentes inn.

Med unntak av Johansson & Nilssons (2002) modell benyttet på finske data, velger derfor samtlige andre studier å se bort fra fornyelse i marginalkostnadsestimeringene. Dette er også en anbefalt forenkling fra Working Group 1. Vi velger derfor også å se bort fra fornyelse i denne utredningen.

¹¹ Eksempelet er gjengitt fra en samtale med vår kontaktperson i Jernbaneverket, Ståle Hagen.

¹² En fullstendig oversikt over poster som inngår i «forebyggende vedlikehold», «korrektivt vedlikehold» og «fornyelse» finnes i appendiks 10.3 i henholdsvis tabell 20, 21 og 22

3.1.4 Kostnadsmåling

For at kostnadene i størst mulig grad skal gjenspeile det *underliggende ressursforbruket*, må kostnadene som registreres være en funksjon av det virkelige ressursforbruket. Kostnadsmålingen må imidlertid også sikre at likt arbeid har samme kostnader, uavhengig av om det er utført av interne eller eksterne ressurser. Dersom dette i realiteten ikke er tilfellet, er ikke driften effektiv i første omgang fordi man kunne ha fått utført like mye vedlikehold til en lavere kostnad gjennom i større grad å benytte seg av intern eller ekstern arbeidskraft. Ettersom en ekstern aktør alltid ville måtte sikre full kostnadsdekning for ikke å gå konkurs, bør Jernbaneverkets måling av kostnader baseres på det samme prinsippet. Prinsippet innebærer også at produksjonsavdelingene i Jernbaneverket må sørge for at kostnader som de påfører avdelinger høyere opp i organisasjonshierarkiet, bør kostnadsføres som vedlikeholdskostnader (Horngren et al. (2009)).

Antakelsen om kostnadsminimerende drift innebærer også at togselskapene ikke skal belastes for kostnader som oppstår som følge av ineffektiviteter i forvaltningen av infrastrukturen. I praksis betyr dette at kostnader som er uønsket, men påvirkbare, bør trekkes ut av produksjonsenhetens totale vedlikeholdskostnader (Bjørnenak, 2005).

Gjennom samtaler med Jernbaneverket har vi forsøkt å avdekke hvorvidt måling av Jernbaneverkets ressursforbruk og enhetsattsene som legges til grunn i kostnadsdataene er i tråd med prinsippene ovenfor.

Ressursforbruk

Kostnadsmålingen i Jernbaneverket følger en idé om at ressursforbruket baseres på faktisk forbruk gjennom at intern arbeidskraft som er budsjettert, men ikke utnyttet i løpet av året, heller ikke blir henført til vedlikeholdskostnadene. Dette følger av de alminnelige reglene i regnskapslovens kapittel 4 (Regnskapsloven, 1998), og innebærer at våre kostnadsdata skal være periodisert i det året kostnaden oppstod¹³. I tillegg blir arbeid som Jernbaneverket kjøper inn fra en ekstern aktør, registrert som vedlikeholdskostnader, noe som bidrar til å reflektere den faktiske vedlikeholdskostnaden.

¹³ Kostnadsdataene vi benytter er ganske unike i norsk sammenheng fordi Daljord (2003), som følge av kostnadsdata ført etter det såkalte kontantprinsippet (kostnader føres i samme periode som de utbetales), ble nødt til å snitte kostnadene over de tre årene han hadde tilgang til.

Kostnadsmålingen bryter likevel med prinsippene for egnet kostnadsmåling gjennom at bruk av interne ressurser fra støtteavdelingene ikke føres mot de enkelte produksjonsavdelingene, og støtteavdelingene fungerer derfor som et «fellesgode» for banesjefene. Tabell 2 viste at dette som regel gjelder mellom 20% og 30% av kostnadene. Dersom støtteavdelingene utfører vedlikeholdsarbeid som driver kostnader som er variable med økt trafikkbelastning på kort sikt, vil dette føre til at våre estimater for marginalkostnadene blir lavere enn de faktiske. I de tilfeller der Jernbaneverket selger ressurser til eksterne aktører, der arbeidet ikke angår kjøreveien (for eksempel reparasjon av NSB sine tog), trekkes ikke ressursforbruket ut fra vedlikeholdskostnadene. Isolert sett vil en slik praksis føre til for høye marginalkostnadsestimater, men i realiteten skjer slikt salg av ressurser i svært liten grad.

Når det gjelder maskintimer og arbeidstimer som ikke er i bruk, belastes disse beredskap innunder korrektivt vedlikehold, og Jernbaneverket skiller dermed ikke ut ledig kapasitet fra vedlikeholdskostnadene. For spesialmaskiner som i liten grad har en alternativ anvendelse vil den ledige kapasiteten ikke være påvirkbar, og det er derfor fornuftig at denne ledige kapasiteten ikke skilles ut. Når det derimot gjelder maskiner som har en alternativ anvendelse og arbeidskraft, burde ledig kapasitet i disse ikke inngå som en del av vedlikeholdskostnadene ettersom denne ledige kapasiteten i større grad er påvirkbar.

Enhetssatser

I Jernbaneverket beregnes timesatser for arbeidskraft på følgende måte:

$$\text{Timesats} = \frac{\text{Årslønn}}{1750 \text{ timer} - \text{interntid}} + \text{overtidstillegg} + \text{natttillegg} \\ + \text{tillegg for håndverktøy, bil, kurs og indirekte kostnader}$$

Interntid er tid som er avsatt til kurs, møter, opprydning av lager, vedlikehold av maskiner etc., og utgjør 20%-30% av de 1750 timeverkene. Å bygge timesatsen på et estimat basert på praktisk kapasitet er trolig hensiktsmessig av to grunner: For det første er dette tiltak som gjennomføres for at ansatte og maskiner skal yte maksimalt¹⁴ når de først benyttes til produksjon og derfor bør belastes vedlikeholdskostnadene. For det andre vil en ekstern, privat aktør måtte dekke inn disse kostnadene på samme måte, og man oppfyller dermed kravet til

¹⁴ I henhold til betingelsen om effektiv drift, må hver ansatt og maskin yte maksimalt av hva som er praktisk mulig når de faktisk er i arbeid. Slakk i produksjonsprosessene er definert som ineffektiviteter, og togselskapene skal ikke belastes for disse.

ikke-diskriminerende kostnadsmåling. Jernbaneverket presiserer imidlertid at timesatsene ikke inkluderer produktspesifikt utstyr, kurs- og kompetansekostnader for nye anlegg eller uforutsette hendelser som blant annet tapt sportilgang og maskinhavari. Dette måtte trolig en privat aktør ha krevd dekning for gjennom sine timesatser, eller som et fast påslag.

Jernbaneverkets enhetssatser for maskiner baseres på et prinsipp om at produksjonsenhetene betaler for leie av maskiner uavhengig av om leverandøren er intern eller ekstern. Leiekostnaden som betales til en intern leverandør, inneholder samme krav om kostnadsinndekning som en ekstern leverandør ville ha krevd. I tillegg til grunnprisen for leie, kostnadsføres i tillegg ca. 20% driftskostnader, som skal ta høyde for ekstra vedlikehold og drivstoff. En slik praksis virker å samsvare med det vi i vår sammenheng anser som egnet kostnadsmåling for estimering av vedlikeholdskostnader.

3.1.5 Summarisk statistikk for kostnader på banesjefnivå

Hver banesjef, i alt 17 stykker, har ansvaret for føring av kostnader for sitt respektive område. Banesjefene registrer kostnadene på ulike konti avhengig om de går inn under korrektivt vedlikehold eller forebyggende vedlikehold. De registrerer også hvilken bestanddel av kjøreveien kostnaden angår. Tabell 3 viser kostnader på banesjefnivå, målt i tusen nominelle kroner:

Tabell 3:
 Summarisk statistikk for kostnader på banesjefnivå

Overbygning	Kostnad i nominelle 1000 kroner for vedlikeholdstype					
	Korrektivt		Forebyggende		Totalt	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015
Gjennomsnitt	8 236	10 299	20 791	23 082	29 027	33 381
Minimum	4 379	4 068	9 396	8 191	17 321	16 919
Maksimum	13 659	20 673	43 260	38 486	52 307	50 597
Median	8 295	9 942	19 196	23 085	27 735	35 524
Underbygning						
Gjennomsnitt	672	948	6 512	8 076	7 184	9 024
Minimum	10	79	2 364	1 551	2 374	1 993
Maksimum	2 014	5 804	15 828	19 805	17 038	20 879
Median	557	515	5 748	6 813	5 846	7 078
Signal og tele						
Gjennomsnitt	6 497	8 921	8 319	11 782	14 816	20 704
Minimum	1 061	1 535	2 386	3 018	3 447	5 630
Maksimum	18 548	29 273	24 311	36 123	42 859	65 397
Median	4 983	7 145	6 927	9 639	12 080	17 795
El-anlegg						
Gjennomsnitt	3 923	5 205	5 991	9 287	9 914	14 492
Minimum	217	474	47	918	264	1 425
Maksimum	11 185	13 296	16 652	22 613	27 837	35 909
Median	3 584	4 782	5 298	8 545	9 004	12 624
Kjørevei*						
Gjennomsnitt	19 330	25 374	41 619	52 231	60 949	77 604
Minimum	6 970	6 943	18 282	23 189	30 411	32 951
Maksimum	39 056	56 116	91 637	116 670	130 693	172 785
Median	17 276	23 246	41 620	52 975	62 459	73 961

* Kjøreveien defineres som summen av dens bestanddeler

Av tabell 3 fremkommer det at korrektivt vedlikehold står for rundt 30% av vedlikeholdskostnadene, mens forebyggende vedlikehold står for rundt 70%. Når det gjelder kjøreveiens ulike bestanddeler, står overbygningen for nær halvparten av vedlikeholdskostnadene. Nest størst kostnadspost har signal- og teleanlegg med rundt 25% av kostnadene. Videre står el-anlegg og underbygning for henholdsvis rundt 18% og 11%.

Det er store forskjeller i beløpene mellom 2014 og 2015: For den gjennomsnittlige banesjef økte de totale vedlikeholdskostnadene på kjøreveien med over 25%. Mye av denne økningen skyldes trolig ikke økt trafikkbelastning, men kan være et utslag av et paradigmeskift når det gjelder satsning på jernbaneinfrastruktur i Norge. Regjeringen (2015a) har så langt i sin regjeringsperiode økt bevilgningene til vedlikehold av jernbanen kraftig, noe som, ifølge

Jernbaneverket (2015c), har ført til at vedlikeholdsetterslepet trolig stagnerte på rundt 17 milliarder i 2014, før det ble videre redusert i 2015¹⁵.

3.1.6 Kostnader på strekningsnivå

I Jernbaneverket er ikke registrering av kostnader på strekningsnivå en obligatorisk dimensjon, men banesjefene velger likevel, i varierende grad, å registrere kostnader på dette nivået. Ved å utnytte dette, konstruerer vi et datasett på strekningsnivå. Vi kan da benytte de registrerte kostnadene som en approksimasjon for de kostnadene som ikke er registrert, gjennom antakelsen om at det ikke finnes noen systematikk i at enkelte strekninger innenfor samme banesjefområde får registrert en høyere andel av sine påløpte kostnader. Vi har videre antatt at dette kun gjelder for strekninger som defineres som hovedspor i drift. Dette gjelder for 72 av de 92 banestrekningene vi har tilgang til i våre data og vi vil heretter omtale de 72 som våre strekninger eller banestrekninger.

Antakelsen ovenfor impliserer for det første at en gitt banesjef er like god eller dårlig til å registrere kostnader på alle strekninger han eller hun har ansvaret for. For det andre innebærer det at enkelte typer kostnader ikke har høyere sannsynlighet for å bli registrert enn andre. Sistnevnte implikasjon vil imidlertid falle bort så lenge kostnadsstrukturen er lik for alle strekninger innenfor hvert banesjefområde.

Dersom antakelsen holder, vil forholdstallet mellom registrerte kostnader og faktiske kostnader i forventning være likt for alle strekninger innenfor samme banesjefområde:

$$E\left(\frac{\text{registrerte kostnader}}{\text{totale kostnader}}\right)_{i|B} = E\left(\frac{\text{registrerte kostnader}}{\text{totale kostnader}}\right)_{j|B}$$

der i og j representerer strekninger, mens B representerer et gitt banesjefområde.

For å konstruere datasettet på strekningsnivå, tar vi utgangspunkt i de totale kostnadene til banesjefområdene som registrerer en relativt høy andel av sine kostnader på strekningsnivå. For disse benyttes den relative fordelingen mellom banestrekningenes registrerte kostnader som fordelingsnøkkel for å fordele kostnadene til strekningsnivå. Vi tar i tillegg høyde for at

¹⁵ Anslagene for vedlikeholdsetterslepet varierer noe. Grunnlagsdokumentet for Nasjonal transportplan 2018-2029 opererer med 18 milliarder, selv etter reduksjonen i 2015 (NTP, 2016).

jo flere baner en banesjef har ansvaret for, dess lavere presisjon får vi for gitt andel fordelte kostnader. Enkelte strekninger blir derfor ikke forsøkt disaggregert til tross for relativt høy samlet registreringsandel. Vi har i tillegg tatt en skjønnsmessig vurdering og utelatt å disaggregere strekninger der vår antakelse trolig er brutt¹⁶.

Tabell 4 viser andelen fordelte kostnader i prosent av totale kostnader i det respektive året, samt antall banestrekninger for de ulike banesjefområdene. Et kryss i høyrekolonnen indikerer at strekningene som inngår i banesjefområdet blir benyttet i vårt datasett på strekningsnivå.

Tabell 4:
Utvelgelse av banesjefområder benyttet til fordeling på strekningsnivå

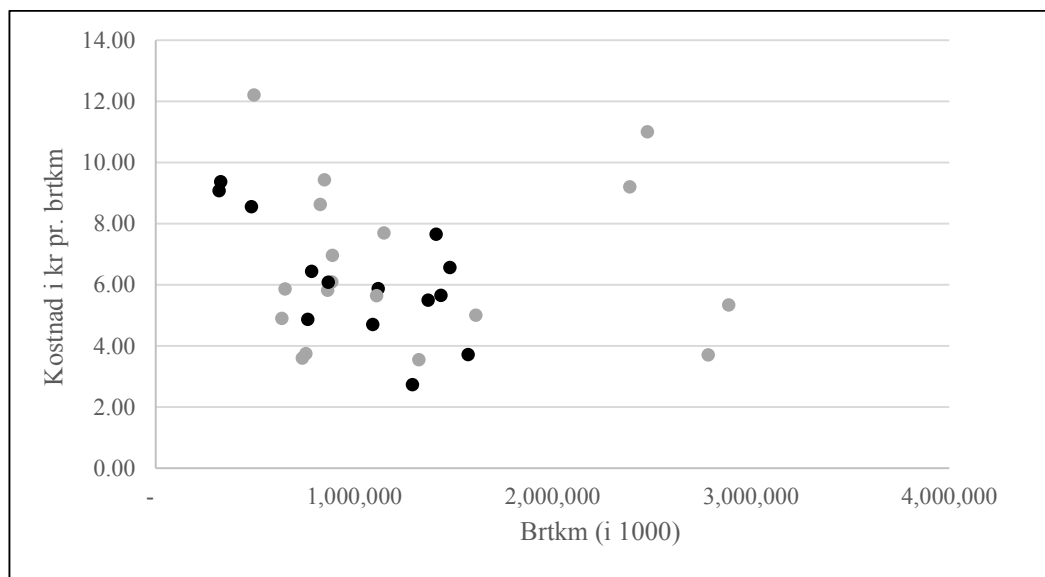
Banesjefområde	Strekninger	2014			2015		
		Korrektivt	Forebygg.	Fordelt	Korrektivt	Forebygg.	Fordelt
Bergensbanen Vest	5	16%	38%	x	19%	26%	x
Bergensbanen Øst	6	6%	48%		0%	5%	
Dovre- og Raumabanen	6	9%	23%	x	0%	6%	
Dovrebanen Sør	2	16%	12%	x	2%	10%	
Hoved- og Gardermobanen	3	5%	14%		4%	26%	
Kongsvinger- og Gjøvikbanen	6	6%	10%		2%	5%	
Nordlandsbanen Nord	3	5%	12%		0%	4%	
Nordlandsbanen Sør	4	4%	13%		0%	7%	
Oslo	6	11%	13%		10%	27%	
Røros- og Solørbanen	7	12%	25%	x	3%	7%	
Sørlandsbanen Midt	3	10%	46%	x	10%	16%	x
Sørlandsbanen Vest	2	15%	52%	x	3%	4%	
Sørlandsbanen Øst	6	22%	43%	x	8%	23%	x
Trønderbanen	4	7%	15%		1%	9%	
Vestfoldbanen	4	65%	79%	x	66%	85%	x
Østfoldbanen	5	28%	26%	x	26%	13%	x

Det er stor variasjon i andelen kostnader som er registrert på strekningsnivå: Mens Vestfoldbanen registrerer mellom 65% og 85% av sine kostnader direkte på banestrekning, registrerer Kongsvinger- og Gjøvikbanen kun mellom 2% og 10%. Det er også forskjell mellom de to årene: I 2014 ble totalt 24% av alle kostnader registret på strekningsnivå, mens andelen i 2015 var 18%.

¹⁶ Et eksempel er strekningen Larvik-Eidanger, som ligger under banesjefområde Sørlandsbanen Øst. I 2015 hadde denne strekningen registrert nest mest kostnader, mens den i 2014 hadde registrert tilnærmet null. Gjennom å studere trafikkbelastningen for strekningene innenfor banesjefområdet, valgte vi å se bort fra kostnadsobservasjonen i 2014.

Det er flere problematiske sider ved å basere estimeringen på strekningsnivå på et utvalg av banesjefer som registrerer en høy andel sine kostnader på strekningsnivå. For det første har man et seleksjonsproblem når det kommer til banesjefene som velges ut: På den ene siden kan det være at de banesjefene som registrerer kostnader på strekningsnivå, er de mest pliktoppfyllende, eller det kan på den andre siden være at disse banesjefene bruker uforholdsmessig mye ressurser på administrasjon i forhold til produksjon. I tillegg trenger ikke høy andel av registrerte kostnader nødvendigvis bety at registreringen som foretas er korrekt. Det kan også knytte seg problemer til i det hele tatt å fullfordele kostnadene fra banesjefnivå til strekningsnivå, ettersom enkelte kostnader kan være felleskostnader for hele banesjefområdet og dermed ikke tilhører noen spesiell strekning¹⁷.

For det andre kan det knytte seg utfordringer til at utvalget ikke er tilfeldig i form av størrelsen på banesjefområdet, målt i vedlikeholdskostnader og trafikkbelastning. I figur 8 er banesjefområder som er brukt som grunnlag til fordelingen på strekningsnivå markert i sort:



Figur 8: Totalkostnad i bruttotonn kilometer for alle banesjefområder i 2014 og 2015

Ut fra figuren ser vi at strekningene som inngår i vårt datasett stammer fra banesjefområder som utgjør et relativt representativt utvalg. Ved nærmere undersøkelser finner vi at gjennomsnittlig vedlikeholdskostnad for de utvalgte banesjefområdene er om lag 20 % lavere enn gjennomsnittlige vedlikeholdskostnader for samtlige banesjefområdene samlet. Dette

¹⁷ Det mest åpenbare eksempelet kunne ha vært banesjefens lønn, men denne ligger, så vidt vi vet, under drift.

indikerer at datasettet vi legger til grunn baserer seg på et skjevt utvalg. Figuren viser også et annet moment som kan gi grunn til bekymring: Det kan se ut som om de to observasjonene til høyre danner sin egen gruppe, og derigjennom har en annen kostnadsfunksjon enn øvrige banesjefer. Dette kalles et lineært parallellskift, og vil føre til ugyldige estimater dersom man estimerer én regresjonslinje for alle observasjonene (Keller, 2012). Det er likevel mer nærliggende å tro at banesjefene til høyre i figuren har observerbare eller uobserverbare effekter knyttet til seg, som tilfeldigvis fører til et slikt bilde.

3.1.7 Summarisk statistikk for kostnader på strekningsnivå

Basert på den beskrevne fremgangsmåten får vi kostnader på strekningsnivå, målt i tusen nominelle kroner, som vist i tabell 5. Merk at dataene ikke er gode nok til at vi kan inndele kostnadene ytterligere basert på kjøreveiens bestanddeler, slik som for banesjefnivå.

Tabell 5:
Summarisk statistikk for kostnader på kjørevei basert på strekninger

Kjørevei	Kostnad i nominelle 1000 kroner for vedlikeholdstype					
	Korrektivt		Forebyggende		Totalt	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015
Gjennomsnitt	5 177	6 459	10 936	11 842	16 113	18 301
Minimum	430	239	1 253	81	1 701	320
Maksimum	15 768	16 639	37 466	33 798	53 234	48 918
Median	5 197	4 763	6 481	8 278	11 279	14 114

Banestrekningene har en gjennomsnittlig kostnad på henholdsvis 16 og 18 millioner i 2014 og 2015, mot 61 og 77 millioner på banesjefnivå. En sammenlikning med kostnadsdataene på banesjefnivå viser også at tallene på strekningsnivå bærer preg av å ha høyere varians. For eksempel finnes den høyeste kostnaden for forebyggende vedlikehold i 2014, til tross for at gjennomsnittlig kostnad dette året er lavere.

3.2 Trafikkdata

Trafikkdataene måler belastningen kjøreveien blir utsatt for og vil dermed fungere som produksjonsvariablene i vår økonometriske modell. Trafikkdataene er samlet av Jernbaneverket gjennom at hvert enkelt togselskap rapporterer inn hvor mye de har benyttet de ulike strekningene etter at året er omme. Jernbaneverket gjør deretter enkelte antakelser knyttet til togenes vekt, målt i bruttotonnasje, for å beregne trafikkbelastningen målt i

bruttotonnkilometer. Trafikkdataene vi benytter har blitt oversendt direkte fra Jernbaneverkets infrastrukturdivisjon.

At trafikkdataene produseres i ettertid førte dessverre til at trafikkdataene for 2015 ikke ble produsert i tide til denne utredningen. Vi blir derfor nødt til beregne 2015-tallene ved å justere 2014-tallene med Jernbaneverkets forventede trafikkutvikling: På eksisterende strekninger innenfor Drammen, Moss, Kongsvinger og Hakadal forventes en trafikkøkning, målt i antall persontog, på 3,7%. Tilsvarende økning for resten av landet forventes å i gjennomsnitt utgjøre rundt 2,5% (NTP, 2014). Til tross for at det satses på å få gods fra vei til bane (Regjeringen, 2015b), mener Jernbaneverket at dette vil ta lang tid, og trolig har det ikke gitt utslag allerede i 2015. Det antas derfor ingen vekst i godstrafikken for 2015.

3.2.1 Mål på trafikkbelastning

Målet på trafikkbelastning, bruttotonnkilometer (brtkm.) består av en vektfaktor, bruttotonn, og en lengdefaktor, kilometer:

$$Brtkm_j = \sum_{i=1}^n Brtonn_i \times LengdeKm_i$$

der j er indikerer en gitt strekning, mens i indikerer delstrekninger som inngår i strekningen j .

Bruttotonn anses som tverrsnittsbeklastningen for hvert punkt på linjen. I henhold til tidligere studier, ønsker vi å ta utgangspunkt i bruttotonn som produksjonsvariabel. Det er særlig to grunner til at bruttotonn er mer egnet som mål på trafikkbelastning enn bruttotonnkilometer i dette tilfellet: For det første er lengden på en strekning en gitt faktorbetingelse: Togselskapene kan ikke tilpasse seg på en måte som gjør at de sliter mindre på kjøreveien gjennom å kjøre kortere enn det lengden på strekningen faktisk er. For det andre ønsker vi å skille mellom slitasje som oppstår av å frakte ett tonn to kilometer og slitasje som oppstår av å frakte to tonn en kilometer (Daljord, 2003).

Bruttotonn kan imidlertid dekomponeres ytterligere, ettersom variabelen kan anses som produktet av antall tog og togenes gjennomsnittlige vekt (Wheat & Smith, 2008):

$$\begin{aligned} Brtonn_i &= \frac{Brtkm_j}{\sum_{i=1}^n LengdeKm_i} = \frac{\sum_{i=1}^n TogKm_i}{\sum_{i=1}^n LengdeKm_i} \times \frac{Brtkm_j}{\sum_{i=1}^n TogKm_i} \\ &= \text{antall tog} \times \text{gjennomsnittlig vekt pr. tog} \end{aligned}$$

der $Togkm$ er antall tog på en gitt delstrekning i multiplisert med lengden til delstrekningen.

Ved å gjøre denne dekomponeringen vil vi være i stand til å gjøre analyser av hvorvidt økt trafikkbelastning i form av flere tog driver vedlikeholdskostnader i større eller mindre grad enn trafikkbelastning i form av tyngre tog. Antall avganger i våre datasett er imidlertid utledet fra trafikkbelastningen, målt i bruttotonn, gjennom Jernbaneverkets svært enkle antakelser knyttet til togenes vekt: Persontog veier 225 tonn, mens godstog veier 750 tonn. Effekten vi finner knyttet til togenes vekt, vil derfor snarere knytte seg til i hvilken grad høyere andel godstog medfører et økt vedlikeholdsbehov enn til togenes vekt som sådan.

Hvorvidt denne dekomponeringen er hensiktsmessig, avhenger av hva man ønsker å studere. Dersom man kun er interessert i å fordele korttidsvariable kostnader ut på et gitt antall bruttotonn, er Andersson (2007a) klar på at bruttotonn er et bruttotonn, uavhengig av om toget frakter passasjerer eller gods. Daljord (2003) på sin side, forsvarer en samlet produksjonsvariabel, altså bruttotonn, ved at godstog riktignok er tyngre lastet enn persontog, men at persontog i større grad sliter på skinnene gjennom høyere fart.

3.2.2 Summarisk statistikk for trafikkdata

Tabell 6 og 7 viser summarisk statistikk for trafikkdata i 2014 og 2015 på henholdsvis banesjef- og strekningsnivå:

Tabell 6:
Summarisk statistikk for trafikk på banesjefnivå

	Gjennomsnitt		Maksimum		Minimum		Median	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015
Brtonn persontrafikk	3 334	3 442	13 171	13 658	504	516	2 074	2 135
Brtonn godstrafikk	2 135	2 135	4 200	4 200	416	416	1 979	1 979
Brtonn samlet trafikk	5 470	5 577	16 712	17 199	986	1 000	4 473	4 547
Antall tog	137 898	142 044	768 995	795 753	9 860	9 939	62 538	63 761
Togvekt (1)	362	360	545	542	248	247	345	343

Brtonn oppgitt pr. 1000

(1) Vektet gjennomsnitt basert på persontogtrafikk og godstogtrafikk

Fra tabell 6 fremkommer det at det i gjennomsnitt var mer persontrafikk i 2015 enn i 2014, mens godstrafikken er konstant for hvert av årene. Dette følger av forventningen om trafikkvekst som er lagt til grunn i 2015. Som følge av at persontog har mindre vekt enn godstog, og at andelen persontrafikk er høyere i 2015 enn i 2014, er togenes gjennomsnittlige vekt lavere i 2015 enn i 2014.

Tabell 7:
Summarisk statistikk for trafikk på strekningsnivå

	Gjennomsnitt		Maksimum		Minimum		Median	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015
Brtonn persontrafikk	2 908	3 971	21 157	21 940	-	-	1 265	2 214
Brtonn godstrafikk	1 848	1 725	4 815	4 815	-	-	1 680	1 680
Brtonn samlet trafikk	4 756	5 696	25 972	26 755	624	775	3 883	3 812
Antall tog	15 390	19 948	100 452	103 931	1 680	3 444	9 144	10 137
Togvekt (1)	352	319	750	750	225	225	305	264

Brtonn oppgitt pr. 1000

(1) Vektet gjennomsnitt basert på persontogtrafikk og godstogtrafikk

Et banesjefområde vil typisk bestå av strekninger med både høy og lav trafikkbelastning. Som følge av dette, vil vi som i kostnadsdataene, få mer variasjon i dataene når vi ser på strekningsnivå enn banesjefnivå. Tabell 7 viser for eksempel at maksimal trafikkbelastning for både persontrafikk, godstrafikk og samlet trafikk har en høyere verdi enn i tabell 6. Tilsvarende ser vi at det finnes enkelte strekninger som kun fører én av trafikktypene

3.3 Infrastrukturdata

Infrastrukturdataene danner utgangspunktet for kontrollvariablene som legges til grunn i våre modeller. I følge Daljord (2003) virker variabelutvelgelsen i tidligere studier i stor grad motivert ut ifra hva Johansson & Nilsson (2002) benyttet, samt hva man hadde tilgang til i det enkelte land. I dette delkapittelet ønsker vi derfor å synliggjøre vår motivasjon rundt variabelutvelgelse.

Infrastrukturdataene er generert fra Jernbaneverkets database, BaneData. I motsetning til kostnadsdataene, kan man ikke uten videre hente ut historisk infrastrukturdata herfra. Infrastrukturdataen gir derfor et statisk bilde på hvordan infrastrukturen så ut på tidspunktet for uttaket av dataene (februar 2016), og vi blir derfor nødt til å anta at infrastrukturen har vært konstant for årene vi ser på. Til tross for at det gjøres enkelte endringer på eksisterende strekninger fra år til år (Jernbaneverket, 2016a), anser vi antakelsen om konstant infrastruktur for å være rimelig.

3.3.1 Lengdekilometer

Lengdekilometer er antall kilometer togskiner på en strekning. Variabelen er standard for alle økonometriske beregninger på jernbanen fordi det er antatt at en gitt punktbelastning vil påføre infrastrukturforetaket høyere kostnader jo lenger skinnegangen er.

Vi finner banestrekningenes lengde ved å utnytte at objekter i infrastrukturdataen, som blant annet stasjoner, sporvekslere og kurvatur, er oppgitt med en kilometeranvisning om hvor på strekningen objektet befinner seg. Ved å sammenlikne kilometeranvisninger for første og siste objekt på en strekning finner vi strekningens lengde. Det er imidlertid ikke alltid at antall lengdekilometer fra de ulike kildene samsvarer, og Daljord (2003) peker på to mulige årsaker til dette:

Den første feilkilden kan være at dobbeltspor i enkelte tilfeller ikke er inkludert. For å kontrollere for dette, må vi legge til doble kilometersatser for strekninger der det finnes dobbeltspor. Den andre feilkilden knytter seg til at kilometerskiltene som benyttes til å stedfeste objekter langs sporet, ikke alltid blir oppdatert ved omlegninger der en banes lengdekilometer endres. Jernbaneverket rapporterer da i stedet et «kjedebrudd», noe som indikerer at kilometerskiltingen starter på nytt.

3.3.2 Sporvekslere

Network Rail, infrastrukturforetaket i Storbritannia, oppga i 2012 at de brukte over 17% av sitt vedlikeholdsbudsjett på sporveksler, til tross for at disse kun utgjorde 5% av banestrekningene (Network Rail, 2012). Sporvekslere vil derfor trolig være en viktig kostnadsdriver også i Norge.

Det finnes flere ulike typer sporvekslere¹⁸ som trolig driver kostnader ulikt. Daljord (2003) argumenterer imidlertid for at arbeidet med å reparere en sporveksel ikke nødvendigvis er mer tidkrevende når vedlikeholdsmannskapet først er på stedet. Vi følger hans argument og legger til grunn *antall* sporvekslere som en egnet kontrollvariabel.

¹⁸ Se Lærebok i Jernbaneteknikk L533: Sporets komponenter, kap. 7

3.3.3 Tunneler

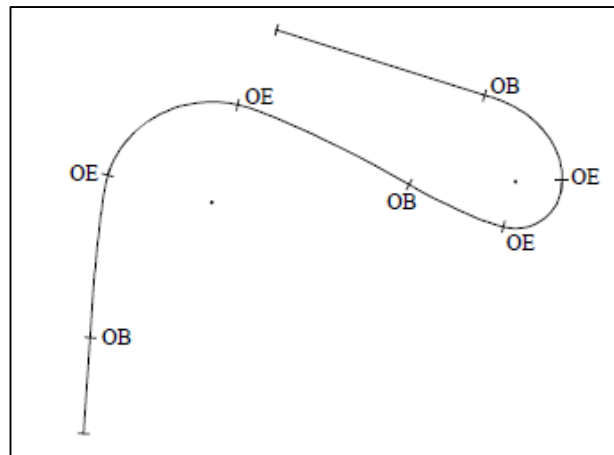
Etter Johansson & Nilsson (2002) sin første studie har det vært tradisjon å kontrollere for tunneler. Motivasjonen bak variabelutvelgelsen er lite drøftet i tidligere studier, men at dataene har vært enkelt tilgjengelig gjennom infrastrukturforetakene er en mulig forklaring. I tillegg er tunneler et vesentlig element i det som utgjør jernbanens underbygning, og det virker derfor hensiktsmessig å inkludere en variabel som kontrollerer for dette.

Ettersom det er stor variasjon i tunnelenes lengde, er det hensiktsmessig å se på andel av strekning fremfor antall. Av hensyn til modelltransformeringen, som vi kommer tilbake til i kapittel 4, velger vi i likhet med Daljord (2003), å definere variabelen som andel av strekningen som *ikke* er i tunnel. Vi ser bort fra enkle underganger, da vi anser at disse ikke er like kompliserte å vedlikeholde som lengre tunneler.

3.3.4 Horisontal kurvatur

Når det gjelder jernbanens horisontale kurvatur, antar man vanligvis at jo krappere svinger, jo mer krefter påføres yttersiden av skinnegangen, noe som igjen driver slitasje og behov for vedlikehold (Munduch, Pfister, Sögner, & Stiassny, 2002). Samtidig kan det tenkes at togene sliter mindre på disse strekningene fordi de er nødt til å senke farten for å forsere kurven trygt. Det virker derfor rimelig å medta et mål på horisontal kurvatur som kontrollvariabel.

Horisontal kurvatur tallfestes gjennom sirkelkurver og overgangskurver. Sirkelkurver er partier hvor linjen er i en sving med konstant radius, mens overgangskurver er partier hvor radiusen gradvis går fra uendelig til radiusen i den tilhørende sirkelkurven, eller motsatt. I figur 9 er overgangskurvens begynnelse (OB) og overgangskurvens ende (OE) markert, og figuren viser at sirkelkurver tilsvarer partiene mellom overgangskurvens ender, mens overgangskurver utgjør partiene mellom overgangskurvens begynnelse og ende.



Figur 9: Skjematisk fremstilling av måling av horisontal kurvatur i BaneData

I likhet med Daljord (2003) velger vi å se på andel av strekningen med kurveradius mindre enn 500 meter. Vi velger imidlertid en praktisk tilnærming, der vi kun medtar andelen av strekningen som inngår i sirkelkurven, til tross for at en andel av overgangskurven kan ha en radius som er mindre enn 500 meter.

3.3.5 Drivkraft

Når vi ser hele kjøreveien samlet, er det sannsynlig at kostnader som knytter seg til el-anlegg er svært forskjellige mellom elektrifiserte og ikke-elektrifiserte strekninger¹⁹. Det kan også tenkes at det finnes andre karakteristika ved elektrifiserte og ikke-elektrifiserte strekninger som driver kostnader ulikt, for eksempel ulik vekt og akselerasjon mellom dieseldrevne og elektriske tog. En variabel som tar hensyn til dette, har også vært vanlig i tidligere studier (eg. Daljord (2003) og Johansson & Nilsson (2002)).

Tabell 8 viser andelen av banesjefområdet, målt i lengdekilometer, som pr. januar 2015 ikke er elektrifisert (Jernbaneverket, 2015b). Vi følger tradisjonen fra tidligere studier og benytter disse andelenene som kontrollvariabler.

¹⁹ Ettersom det også er el-anlegg knyttet til andre elementer på kjøreveien enn togfremføring, vil imidlertid ikke kostnaden til el-anlegg være null for ikke-elektrifiserte strekninger.

Tabell 8:
Andel av banelengde som ikke er elektrifisert

Bane	Banesjefområde	Andel
Nordlandsbanen	Nordlandsbanen Sør	100 %
Nordlandsbanen	Nordlandsbanen Nord	100 %
Rørosbanen	Røros- og Solørbanen	100 %
Solørbanen	Røros- og Solørbanen	100 %
Trønderbanen	Trønderbanen (1)	70.79 %
Raumabanen	Dovre- og Raumabanen (2)	25.85 %

(1) Etter Jernbaneverkets kostnadsdata er Trønderbanen definert som strekningen Støren-Steinkjer. Støren-Trondheim er elektrifisert.

(2) Raumabanen fremfører kun dieseldrevne tog, og Dovrebanen er elektrifisert

3.3.6 Hastighet

En hastighetsvariabel vil, ifølge Weath & Smith (2008), kunne måle to motstridende effekter. På den ene siden kan det tenkes at tog som kjører raskere, sliter mer på infrastrukturen, mens togenes hastighet på den andre siden kan reflektere kvaliteten på jernbanen. En hastighetsvariabel vil dermed forhåpentligvis fungere som sporkvalitetsvariabelen Daljord (2003) etterspurte i sin studie.

Hastighetsdataene tar utgangspunkt i fartsgrensene på de ulike strekningene og stammer fra Jernbaneverkets Trafikkinformasjons- og oppfølgingssystem, som gjorde datainnsamlingen i 2011. På et vis er det en svakhet at hastighetsdataene ble innhentet for noen år tilbake, men samtidig er det ikke forventet at skiltede hastigheter har endret seg radikalt frem til i dag.

Ettersom en gitt strekning ofte har ulike fartsgrenser for persontog og godstog, mener vi at den beste approksimasjonen til faktisk oppnådd fart på strekningen, er et vektet gjennomsnitt av skiltet hastighet for de to trafikktypene, målt i antall tog av hver type i 2014.

3.3.7 Summarisk statistikk for infrastrukturdata

Tabell 9 og 10 viser summarisk statistikk for infrastruktur på henholdsvis banesjef- og strekningsnivå.

Tabell 9:
Summarisk statistikk for infrastruktur på banesjefnivå

Bane	Gjennomsnitt	Maksimum	Minimum	Median
Lengdekm	254	478	116	232.5
Sporvekslere	214	624	59	178
Andel ikke i tunnel	0.93	1	0.76	0.96
Andel kurvatur $r < 500$ m	0.18	0.39	0.03	0.17
Andel ikke-elektrifisert	0.25	1	0	0
Hastighet i km/t	100	157	87	97

Tabell 9 viser at et gjennomsnittlig banesjefområde er 254 km langt med en andel svinger med en radius på mindre enn 500 meter på 18%. Omtrent 25% av jernbanens lengdekilometer fremfører kun dieseldrevne tog. At hastighetene varierer mellom banesjefområdene skyldes blant annet ulik trafikksammensetning i de forskjellige banesjefområdene.

Tabell 10:
Summarisk statistikk for infrastruktur på strekningsnivå

	Gjennomsnitt	Maksimum	Minimum	Median
Lengdekm	75	241	9	58.0
Sporvekslere	53	190	2	48
Andel ikke i tunnel	0.95	1	0.72	0.98
Andel kurvatur $r < 500$ m	0.18	0.54	0.02	0.17
Andel ikke-elektrifisert	0.13	1	0	0
Hastighet i km/t	94	140	29	95

Tabell 10 viser at infrastrukturdataene på strekningsnivå, i likhet med kostnadene, inneholder stor grad av variasjon. For eksempel varierer lengdekilometer mellom 9 km og 241 km, mens antall sporvekslere varierer mellom 2 og 190. Dersom vårt datasett på strekningsnivå hadde inkludert samtlige banestrekninger, ville gjennomsnittsverdiene for andel kurvatur, andel av strekningen som kun fremfører dieseldrevne tog og hastighet i km/t vært identisk i tabell 9 og 10, men som følge av at strekningsnivådataene kun baserer seg på et utvalg, ser vi at dette ikke er tilfellet.

3.4 Sammenstilling av datasett

Våre datasett er ikke nødvendigvis konsistente i form av at kostnader for en gitt strekning kan være registrert mellom to lokasjoner som ikke samstemmer med strekningene som er registrert i infrastruktur- og trafikkdataene. Et eksempel kan være Bergensbanen, hvor Hønefoss – Haugastøl inngår som en strekning i kostnadsdataene, mens infrastruktur- og trafikkdataene er definert for Hønefoss – Geilo, og videre mellom Geilo – Voss. Ettersom Haugastøl ligger mellom Geilo og Voss, får vi derfor et problem med å sammenstille dataene. I tillegg går grensen i kostnadsdataene mellom banesjefområdene Bergensbanen Vest og Bergensbanen Øst på Finse, og vi blir derfor nødt til å foreta justeringer for å få kostnadsdata som korresponderer med infrastruktur- og trafikkdataene også i datasettet på banesjefnivå.

I slike tilfeller blir vi enten nødt til å se flere strekninger under ett, og definere en lengre strekning der lokasjonene i begge ender samstemmer, eller gjøre en pragmatisk avveining der lokasjonene er såpass nære at vi kan bruke dem om hverandre. Av våre opprinnelige 72 banestrekninger som er definert som hovedspor i drift, sitter vi dermed igjen med 56 banestrekninger. I appendiks 10.1 tabell 18 finnes en oversikt over hvilke strekninger vi har definert, med tilhørende strekningsnummer basert på kostnadsdataene.

3.5 Utelatte observasjoner

Ofofbanen er ikke sammenkoblet med resten av det norske jernbanenettet. På Ofofbanen går det i hovedsak tung malmtrafikk mellom Narvik og riksgrensen til Sverige, på skinner og med vogner som er særegne for akkurat denne banen (Jernbaneverket, 2016b). Disse forholdene fører til at banen fremstår som en uteligger i dataene. Ettersom inkludering av Ofofbanen vil påvirke kostnadsfunksjonen som har til hensikt å beskrive de generelle trekkene ved jernbanen, velger vi å utelate denne observasjonen. Følgelig vil dermed heller ikke marginalkostnaden for Ofofbanen beregnes.

4. Metode

I dette kapittelet presenterer vi den overordnede metoden som vi benytter i våre estimeringer, samt hvilke formelle forutsetninger som ligger til grunn for denne.

4.1 Økonometrisk modell

Våre data har både en tverrsnittsdimensjon og en tidsdimensjon gjennom at vi ser på flere strekninger og banesjefer over to år. Vi betrakter derfor følgende modell for paneldata:

$$C_{it} = \beta_0 + \beta_1 x_{1it} + \beta_2 x_{2it} + \dots + \beta_K x_{Kit} + \beta_T D_{it} + \varepsilon_{it} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad t = 1, 2$$

der C_{it} er vedlikeholdskostnaden for et gitt banesjefområde eller strekning (heretter *individ*) et gitt år, mens x_{Kit} er modellens forklaringsvariabler, som enten vil være produksjonsvariabler eller kontrollvariabler. β_K er forklaringsvariablenes koeffisient, som angir variabelens relative påvirkningskraft på vedlikeholdskostnadene. D_{it} er en indikatorvariabel for hvorvidt observasjonen gjelder for 2014 eller 2015, og β_T representerer variasjon i vedlikeholdskostnader som skyldes at man beveger seg fra det ene året til det andre. ε_{it} er modellens restledd, som fanger opp variasjon i C_{it} som ikke fanges opp av forklaringsvariablene.

Modellen ovenfor kan estimeres direkte ved å benytte minste kvadraters metode - *Pooled Ordinary Least Squares* (Pooled OLS). Metoden tar sikte på å minimere summen av de kvadratiske avvikene mellom en lineær regresjonslinje og observasjonene (Hill, Griffiths, Lim, & Lim, 2011). Selv om det finnes en sammenheng mellom modellens avhengige variabel og de uavhengige variablene, innebærer ikke dette at et kausalt forhold eksisterer. Når det er sagt, kan imidlertid korrelasjonen Pooled OLS avdekker danne grunnlaget for en videre drøfting av kausalitet.

Et vanlig mål på modellens evne til å beskrive observasjonene er modellens forklaringskraft, R^2 . Forklaringskraften til en modell vil variere mellom 0 og 1, hvor en høy (lav) forklaringskraft indikerer at modellen forklarer mye (lite) av variasjonen i observasjonene. R^2 vil øke etter hvert som flere forklaringsvariabler legges til selv om de nye forklaringsvariablene er av liten eller ingen betydning. Et alternativ er derfor *justert* R^2 som

reduseres dersom en uvesentlig forklaringsvariabel legges til (Hill, Griffiths, Lim, & Lim, 2011). Vi viser til appendiks 10.4 for en nærmere matematisk beskrivelse av R^2 .

4.2 Antakelser for bruk av Pooled OLS

Hvis forutsetningene for bruk av Pooled OLS er oppfylt, vil estimatoren være BLUE - Best Linear Unbiased Estimator, hvilket innebærer at den er *forventningsrett*, *effisient* samt at *inferens* er gyldig (Hill, Griffiths, Lim, & Lim, 2011). En estimator er forventningsrett dersom den har en forventningsverdi som er lik dens sanne verdi, og dersom estimatoren konvergerer mot den sanne parameteren når utvalget blir større, sies estimatoren å være konsistent. Effisient vil si at det ikke finnes en annen modell som er bedre egnet enn Pooled OLS, og inferens innebærer at standardtestene er gyldige. Forutsetningene for Pooled OLS er oppsummert i tabell 11.

Tabell 11:
Forutsetninger for Pooled OLS

#	Beskrivelse	Uttrykt matematisk
1	Den betingede forventningen til restleddet er lik null	$E(\varepsilon_{it} x_{it}) = 0$
2	Fravær av seriekorrelasjon	$cov(\varepsilon_{it}, \varepsilon_{is}) = 0, \forall t \neq s$
3	Variansen til restleddet antas å være konstant (homoskedastisk)	$var(\varepsilon_{it}) = \sigma^2$
4	Normalfordelte restledd	$\varepsilon_{it} \sim N(0, \sigma^2)$
5	Fravær av multikollinearitet	

Når det gjelder forutsetning 1, vil vi se nærmere på denne i delkapittel 4.3.

Brudd på forutsetning 2 medfører at man har seriekorrelasjon. Etersom tidsdimensjonen i våre paneldata kun består av to år²⁰, vil dette være et ikke-eksisterende problem. I tverrsnittsdimensjonen vil ikke seriekorrelasjon være et problem ettersom individenes rekkefølge i utvalget fritt kan endres.

²⁰Effekten fra t_0 til t_1 kan ikke korrelere med effekten fra t_1 til t_2 dersom man kun har to år med data tilgjengelig. Dette fremkommer tydelig av Durbin-Watson's test-observator som krever to eller flere observasjoner.

Ved å bruke robuste standardavvik i våre modeller sikrer vi at forutsetning 3 om homoskedastisitet holder. Ettersom vi har paneldata, vil det trolig finnes effekter som påvirker enkelte observasjoner likt, og vi betrakter derfor standardavvik i grupper av individer fremfor hver enkelt observasjon separat. Vi setter de årlige observasjonene for samme strekning eller banesjefområde i par ved å benytte *clustered* robuste standardavvik.

Ettersom signifikansen til koeffisientene baseres på at restleddene er normalfordelte, vil et brudd på forutsetning 4 medføre at inferens ikke lenger vil være gyldig. Vi tester hvorvidt denne forutsetningen holder gjennom å vurdere *kurtositet* og *skjevhet* til fordelingen av restleddene. Førstnevnte er et mål på hvordan spredningen er fordelt mellom ytterpunktene. Høy kurtose innebærer at fordelingen er «spiss», og at det er få av restleddene som er i ytterpunktene. Skjevhet knytter seg til de symmetriske egenskapene til fordelingen av restleddene. Vi benytter standardtesten for normalitet i Stata14 som bygger på Jarque-Bera-testen (Jarque & Bera, 1987). Se appendiks 10.6.2 for en matematisk beskrivelse av denne.

Multikollinearitet forekommer hvis det er høy korrelasjon mellom forklaringsvariablene. Korrelasjonen kan skyldes overparametrisering, som innebærer at modellen har mange parametere sammenliknet med observasjoner (Goldberger, 1991). Konsekvensen av dette er at modellen ikke klarer å skille effekten fra de ulike forklaringsvariablene. For å undersøke hvorvidt multikollinearitet forekommer i våre modeller, bruker vi Variance Inflation Factor (VIF). VIF gir et mål på hvor mye variansen til en koeffisient har økt som følge av multikollinearitet. I litteraturen benyttes det ulike grenser for hva som anses for høy VIF, men mest brukt er trolig 10 (O'Brien (2007)). Rogerson (2001) argumenterer for en lavere maksimal grense og hevder at multikollinearitet er problematisk dersom VIF overstiger 5. Vi viser til appendiks 10.6.1 for en matematisk beskrivelse av VIF.

4.3 Antakelser om restleddet

Problematiseringen rundt den betingede forventningen til restleddet, er for oss et spørsmål om det finnes uobserverbare effekter som gjør at denne fraviker fra null. Ettersom vår indikatorvariabel kontrollerer for alle effekter over tid, betyr det at de uobserverbare effektene eventuelt må opptre som individspesifikk variasjon. Nærmere bestemt innebærer dette at individene kan ha spesielle karakteristika ved seg som ikke lar seg kontrollere for i

regresjonen. Ved tilstedeværelse av uobserverbare effekter vil forutsetning 1 brytes, og konsekvensen er at koeffisientene i våre regresjonsmodeller ikke er forventningsrette.

I følge Andersson (2007a) er det sannsynlig at det finnes uobserverbare effekter i en modell som tar sikte på å estimere kostnader knyttet til vedlikehold på jernbanemodell, og han peker på tre årsaker til dette: For det første er det kun enkelte av egenskapene til infrastrukturen det finnes data for, og det er mange andre faktorer som trolig har en effekt på kostnadene. For det andre pekes det på at naturgitte forhold, som klima, er ulikt i de ulike delene av landet. For det tredje står hver banesjef fritt til å disponere sine budsjetter innenfor rammene som settes av infrastrukturforetaket, noe som fører til at de ansattes erfaring og kompetanse kan utgjøre en forskjell mellom banesjefområdene.

Enkelte tidligere studier (e.g. Andersson (2007a), Andersson (2008)) har derfor forsøkt å innføre indikatorvariabler for å fange opp all individspesifikk variasjon. En slik fremgangsmåte kalles Fixed Effects. En utfordring med denne modellen er at et stort antall parametere må estimeres dersom det finnes mange individer (Andersson 2007a), og i regresjoner gjort med begrensede dataomfang vil en slik reduksjon i antall frihetsgrader kunne medføre at estimatorene blir svært upresise. En alternativ tilnærming for å ta høyde for uobserverbare effekter er å benytte seg av Random Effects. Denne modellen gir forventningsrette estimatorer så lenge de individspesifikke effektene er tilfeldige og normalfordelte rundt null.

Ved å gjennomføre en Hausman-test²¹ på våre data, finner vi at RE-estimatorene og Pooled OLS-estimatorene er å foretrekke fremfor FE-estimatorene, ettersom FE-estimatorene, på grunn av vårt begrensede dataomfang, blir svært upresise. Det kunne videre ha blitt undersøkt hvorvidt Random Effects er foretrukket fremfor Pooled OLS, men i praksis er det sjelden man finner at Random Effects er mer effisient enn Pooled OLS, og det er derfor vanlig å benytte Pooled OLS for tidsserier helt opp til 7-8 år²². Vi antar derfor at forutsetning 1 om betinget forventning lik null er oppfylt. For å vurdere rimeligheten bak en slik antakelse, vil den tidligere nevnte normalitetstesten gi en indikasjon.

²¹ Se appendiks 10.5.3 for en nærmere beskrivelse av Hausman-test

²² Ifølge Arnt Ove Hopland, postdoktor ved NHH og kursansvarlig for «Økonometri for regnskap og økonomisk styring» våren 2015

4.4 Hypotesetester

Ved hjelp av våre regresjonsmodeller ønsker vi å avdekke om vi har statistisk grunnlag til å trekke slutninger om hva som driver vedlikeholdskostnadene i jernbanen, samt hvorvidt en kjøreveisavgift kan baseres på et annet mål enn samlet trafikkbelastning. For å gjøre dette, benytter vi oss av ulike hypotesetester:

Vi benytter T-test for å undersøke hvorvidt koeffisientene vi estimerer har en verdi som er signifikant forskjellig fra null. Vi tester dette for samtlige variabler og for konstantleddet. Alle T-testene vi gjennomfører er tosidige tester. Vi benytter Wald-test for å undersøke om to variabler har den samme effekten på den avhengige variabelen. Testen avdekker om koeffisientene til de to forklaringsvariablene er tilstrekkelig forskjellige til at man kan fastslå at de er signifikant ulike. Vi viser til appendiks 10.5 for testobservatorene til T-test og Wald-test.

4.5 Funksjonsform

Formålet med valg av funksjonsform er å finne den formen som best beskriver den underliggende kostnadsutviklingen. Nærmere bestemt må det foretas en vurdering av grad av fleksibilitet og egnet transformasjon.

Grad av fleksibilitet i funksjonsformen er en vurdering hvor man på den ene siden ønsker å innføre et minimum av restriksjoner på den estimerte kostnadsfunksjonen, mens datagrunnlaget på den andre siden setter begrensninger for hvor fleksibel funksjonsformen kan tillates å være. Årsaken er at en fleksibel funksjonsform krever at et stort antall parametere må estimeres, og dersom datagrunnlaget som benyttes består av relativt få observasjoner blir antall frihetsgrader redusert og estimatene tilsvarende upresise. Kostnadsutviklingen i vedlikeholdet av jernbanen anses for å være en kompleks prosess som trolig best beskrives gjennom en fleksibel funksjonsform (e.g. Johannson & Nilsson (2002), Gaudry & Quinet (2003)). En mer restriktiv spesifisering kan være at høyere-ordens ledd og interaksjonsledd holdes utenfor, og i studier hvor datagrunnlaget består av relativt få observasjoner, som for eksempel Daljord (2003) med 64 observasjoner, er det vanlig å benytte en slik spesifisering.

Når det gjelder hvorvidt variablene bør transformeres, har dobbel-logaritmisk²³ transformasjon hatt en dominerende stilling i tidligere studier. Bakgrunnen for at dobbel-log transformasjon er populær, knytter seg til at transformerte koeffisienter kan tolkes som elastisiteter, samtidig som man antar at residualene blir mer normalfordelt og mindre heteroskedastiske enn ved en lineær tilnærming.

For å teste hvilken transformasjon som best passer våre data, benytter vi oss, i likhet med Andersson (2011), av en Box-Cox-test²⁴. Nullhypotesene i denne testen er at hver av de tre funksjonsformene: lineær, logistisk og resiprok, ikke er den beste transformasjonen (StataCorp., 2013). Dersom alle tre nullhypotesene forkastes, betyr det at ingen av disse funksjonsformene er den mest egnede. Et slikt resultat er ikke uvanlig fordi modellen ikke finner noen systematikk, samtidig som den best egnede transformasjonen trolig ligger i mellom de tre funksjonsformene som det testes for.

²³ Dobbelt-logaritmisk transformasjon innebærer å ta den naturlige logaritmen av både avhengig variabel og transformerbare forklaringsvariabler.

²⁴ Det teoretiske grunnlaget ble lagt av Box & Cox (1964).

5. Modeller

Vi tar i dette kapittelet sikte på å presentere våre modeller som benyttes til å estimere de korttidsmarginale vedlikeholdskostnadene med hensyn på trafikkbelastning. Først presenteres de endelige modellene for estimering for kjøreveien sett under ett på banesjef- og strekningsnivå og for kjøreveiens ulike bestanddeler. Til slutt presenteres hvordan elastisiteter og gjennomsnittlige marginalkostnader fremkommer på bakgrunn av modellene.

5.1 Modellvalg

Den generelle modellen nedenfor tilsvarer Cobb-Douglas-spesifikasjonen som er den mest restriktive funksjonsformen ved bruk av dobbel-log transformasjon. Vi viser til appendiks 10.7 for hvordan denne spesifikasjonen kan utledes fra Johansson og Nilssons (2002) opprinnelige translog-modell.

$$\ln(\hat{C}_{it}) = \hat{\alpha} + \hat{\beta}_Q \ln(Q_{it}) + \hat{\beta}_S \ln(S_{it}) + \hat{\beta}_K K_{it} + \hat{\beta}_D D_{it} + \varepsilon_{it}$$

Vektoren Q_{it} illustrerer at produksjonsvariabelen som benyttes i den enkelte modell kan være én, eller en kombinasjon av produksjonsvariablene som ble presentert i 3.2. Vektoren S_{it} reflekterer de av kontrollvariablene som ble presentert i 3.3. som er transformerbare, mens vektoren K_{it} gjenspeiler ikke-transformerbare kontrollvariabler. D_{it} er indikatorvariabelen for år.

I likhet med flere tidligere studier (e.g. Johansson & Nilsson (2002), Daljord (2003) og Anderson (2007a)) antar vi konstante faktorpriser, altså at prisene fra arbeidsmarkedet og prisene forbundet med material- og maskinbruk verken endres over tid eller på tvers av individer. Antakelsen virker rimelig når det gjelder variasjon mellom individer, ettersom det er sannsynlig at alle banesjefområder står overfor de samme prisene. Hva angår faktorprisene over tid, opplyser Jernbaneverket at timesatser for intern arbeidskraft og maskinbruk ble oppjustert med 3,1 % fra 2014 til 2015. Samtidig viser Statistisk Sentralbyrås byggekostnadsindeks²⁵ at den prosentvise endringen i drift- og vedlikeholdskostnader har vært

²⁵ Kostnadsundersøkelsen er fulgt av en referansegruppe med representanter fra blant annet Jernbaneverket (SSB, 2016).

på -0,2% fra 2014 til 2015 (SSB, 2016). Dersom det i realiteten har vært en faktorprisendring over tid, vil denne effekten fanges opp av indikatorvariabelen for tid.

5.1.1 Totale vedlikeholdskostnader

Ettersom vårt begrensede datagrunnlag i utgangspunktet medfører at modellene vi estimerer må være relativt restriktive, ønsker vi å benytte en partiell tilnærming for å drøfte ulike effekter isolert. Totalt benytter vi fem ulike varianter av den generelle modellspesifikasjonen til å estimere marginalkostnadene. I utgangspunktet ønsker vi også å benytte flest mulig kontrollvariabler, ettersom det reduserer sannsynligheten for skjevhet i estimatorene som skyldes utelatte variabler. Det betinger naturligvis at kontrollvariablene kontrollerer for ulike aspekter ved infrastrukturen, og at korrelasjonen mellom de ikke er av en slik grad at det innfører multikollinearitet.

På bakgrunn av Dalen & Fehrs (2003) teoretiske drøfting av hvordan ulike beslutninger hos togselskapene gir ulike utslag i infrastrukturforetakets vedlikeholdskostnader, ønsker vi å undersøke hvorvidt det er grunnlag til å skille effekten fra økt trafikkbelastning gjennom å benytte antall tog og gjennomsnittlig vekt per tog som produksjonsvariabler. Dette gjøres i modell I. Modell II representerer den tradisjonelle tilnærmingen med trafikkbelastning målt i bruttotonn. I modell III undersøker vi hvorvidt det er mulig å skille kostnadseffekter fra persontogtrafikk og godstogtrafikk. Modell IV og V er ment for å lette på restriksjonen om konstant kostnadselastisitet gjennom å tilføye henholdsvis kvadratledd og kubikkledd. Tabell 12 viser en oppsummering av modellspesifikasjonene for modell I-V.

Tabell 12:
Modellspesifikasjoner

Modell	Produksjonsvariabel	Kontrollvariabler
Modell I	Antall avganger	Lengdekm
	Gjennomsnittlig vekt pr. tog	Antall sporvekslere
		Andel ikke i tunnel
		Andel kurvatur radius < 500
		Vektet hastighet
		Andel ikke-elektrifisert
Årsindikator (2015=1)		
Modell II	Totalt bruttotonn	Tilsvarende som i modell I
Modell III	Passasjertogtrafikk bruttotonn	Tilsvarende som i modell I
	Godstogtrafikk bruttotonn	
Modell IV	Totalt bruttotonn	Tilsvarende som i modell I
	Totalt bruttotonn kvadrert	
Modell V	Totalt bruttotonn	Tilsvarende som i modell I
	Totalt bruttotonn kvadrert	
	Totalt bruttotonn kubikk	

5.1.2 Datasett på banesjefnivå og strekningsnivå

Ved estimering av modell I-V står vi overfor valget mellom å benytte kostnads-, infrastruktur og trafikkdata på banesjefnivå eller på strekningsnivå. Førstnevnte datasett består av observasjoner fra 16 banesjefområder for 2014 og 2015. Det konstruerte datasettet på strekningsnivå består av 32 observasjoner av unike strekninger, hvorav 19 av disse er observert for både 2014 og 2015, noe som fører til totalt 51 observasjoner.

Den klare fordelene ved å benytte seg av datasettet på banesjefnivå for å estimere vedlikeholdskostnadene som legges til grunn i marginalkostnadsberegningen, er at dette datasettet består av hele populasjonen. Man unngår dermed å måtte ta hensyn til alle former for utvalgsproblematikk. Utfordringen ved bruk av datasettet på banesjefnivå er imidlertid at modellene benyttes til å predikere vedlikeholdskostnader som ligger langt utenfor observasjonsintervallet - Det vil si at strekningene vi ønsker å beregne en marginalkostnad for, har vesentlig lavere verdier for produksjonsvariabelen enn den laveste verdien vi har observert på banesjefnivå. Dette kan være en særlig utfordring for logistiske modeller, ettersom kostnadene øker eksponentielt når vi beveger oss mot venstre langs den horisontale akse for produksjonsvariabelen. Vi vil da potensielt kraftig overvurdere stordriftsfordelene (og derigjennom smådriftsulempene), slik at de estimerte kostnadene for observasjoner til venstre for det opprinnelige observasjonsintervallet blir urimelig høye. En mulig tilnærming for å hensynta dette er å multiplisere de estimerte kostnadene med en faktor som sikrer at summen

av de estimerte strekningskostnadene tilsvarer de faktiske kostnadene. Man antar da at det relative forholdet mellom kostnadsobservasjonene forblir det samme.

Fordelen ved å benytte seg av data på strekningsnivå for å estimere vedlikeholdskostnadene er nøyaktig de samme som ulempene ved å benytte data på banesjefnivå: Det er kjente egenskaper ved regresjonsmodeller at de predikerer mest presist rundt utvalgets gjennomsnitt, og selv med en velspesifisert modell som oppfyller alle forutsetninger, vet man ikke om modellen kan benyttes til å predikere utenfor observasjonsintervallet. Ettersom vi tar sikte på å estimere marginalkostnadene på strekningsnivå, bør derfor dataene som legges til grunn i modellene i prinsippet også være på strekningsnivå.

En ulempe ved bruk av data på strekningsnivå er at vi ikke har tilgang til hele populasjonen, og som vi så i delkapittel 3.1.6., er utvalget skjevt i den forstand at det er basert på banesjefområder i det nedre kostnadssjiktet. I tillegg er observasjonene vi har tilgang til, konstruert på bakgrunn av fordelingsnøkler med en modig antakelse i bunn: Ikke-registrerte kostnader på strekningsnivå følger samme fordeling som de registrerte. Et brudd på denne antakelsen medfører at vedlikeholdskostnadene som legges til grunn for en strekning, kan være større eller mindre enn de faktiske, og modellen vil produsere tilsvarende skjeve estimater for marginalkostnaden. En tredje ulempe er at dataene på strekningsnivå har høyere relativ varians enn kostnadene på banesjefnivå, noe som innebærer større usikkerhet i våre estimerte marginalkostnader.

5.1.3 Vedlikeholdskostnader for kjøreveiens bestanddeler

Gjennom å kjøre regresjonen for vedlikeholdskostnader på hver av kjøreveiens ulike bestanddeler: overbygning, underbygning, signal- og teleanlegg og elektrisk anlegg, vil vi være i stand til å vurdere deres grad av variabilitet med hensyn på trafikkbelastningen. Forklaringsvariablene forblir i disse fire modellene de samme som for kjøreveien sett under ett. I disse modellene legger vi utelukkende til grunn den enkle og tradisjonelle Cobb-Douglas-spesifikasjonen i modell II på banesjefnivå.

5.2 Beregning av elastisiteter og marginalkostnader

Ved beregning av marginalkostnader, benytter vi de estimerte kostnadsfunksjonene vi finner på banesjef- og strekingsnivå, eventuelt med justering for overvurderte stordriftsfordeler, for å estimere vedlikeholdskostnadene for alle landets banestrekninger.

I delkapittel 2.1.5 ble det nevnt at den estimerte kostnadselastisiteten for produksjonsvariabelen, $\hat{\vartheta}_{it}$, kan benyttes som et mål på andelen kortidsmarginale vedlikeholdskostnader på marginen. Vi finner denne gjennom å derivere sumproduktet av den naturlige logaritmen til produksjonsvariabelen og den tilhørende koeffisienten, og multiplisere med verdien til produksjonsvariabelen:

$$\hat{\vartheta}_{it} = \frac{\partial \sum_{i=1}^N \hat{\beta}_{\ln(Q_{it})}^n \times \ln(Q_{it})^n}{\partial Q_{it}} \times Q_{it} = \sum_{i=1}^N n \times \hat{\beta}_{\ln(Q_{it})}^n \times \ln(Q_{it})^{n-1}$$

Så lenge vi kun har førstegradsledd, $n=1$, er uttrykket til høyre uavhengig av Q_{it} , og dermed konstant for alle produksjonsvolum. Elastisiteten er da lik $\hat{\beta}_{\ln(Q_{it})}$, hvilket er tilfellet for modell I – III. For modell IV og V er n henholdsvis 2 og 3, og elastisiteten vil dermed variere med trafikkbelastningen.

I alle tilfeller er det svært sentralt at $\hat{\beta}_{\ln(Q_{it})}$, er forventningsrett. Ved å redusere antall kontrollvariabler risikerer man å få et utelatt-variabel-problem som gjør at estimatoren ikke er forventningsrett, og derfor velger vi i våre endelige modeller å la være å fjerne kontrollvariabler som ikke er statistisk signifikante. Ulempen er at dette trolig medfører at estimatoren blir mindre presis, men i vår sammenheng anser vi dette som mindre alvorlig.

I et forsøk på å kalibrere marginalkostnadene, slik at de skal representere en jernbane i likevekt, utnytter vi informasjonen om at vedlikeholdsetterslepet stagnerte i 2014, og dermed ser ut til bedre å representere en likevektstilstand enn hva vedlikeholdsnivået i 2015 gjør. Vi ønsker likevel å beregne marginalkostnadene basert på trafikkbelastningen i 2015. En justering som tar hensyn til disse forholdene, kan foretas gjennom å utelate den rene tidseffekten, uttrykt ved tidsindikatoren koeffisient, fra de estimerte vedlikeholdskostnadene for 2015.

$$\widehat{MC}_i = \hat{\vartheta}_{i2015} \frac{\hat{C}_i}{Q_{i2015}^{km}} \quad \text{der} \quad \hat{C}_i = \frac{\hat{C}_{i2015}}{e^{\beta_D D_{it}}}$$

6. Resultater

I dette kapitlet presenteres resultatene fra modellene i delkapittel 5.1. Vi ser først på modellene for totale vedlikeholdskostnader, og deretter på modellene for kjøreveiens ulike bestanddeler. Vi benytter Stata14 (2016) til å utføre våre økonometriske beregninger.

6.1 Totale vedlikeholdskostnader

Tabell 13 viser regresjonskoeffisienter, gjennomsnittlige elastisiteter og robusthetstester for kjøreveien sett under ett.

Tabell 13:

Koeffisienter, gjennomsnittlige elastisiteter og robusthetstester for kjøreveien sett under ett

	Modell I		Modell II		Modell III		Modell IV		Modell V	
	Banesjef	Strekning	Banesjef	Strekning	Banesjef	Strekning	Banesjef	Strekning	Banesjef	Strekning
Nivå	12.8069	9.9514	14.2120	9.1780	13.1503	13.4037	-0.35578	44.3127	293.1615	-105.5259
Konstant	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.002)	(0.000)	(0.000)	(0.988)	(0.007)	(0.360)	(0.587)
Log Antall avganger	0.25870	0.50832								
	(0.016)	(0.000)								
Log Gjennomsnittlig vekt pr. tog	0.50553	-0.08536								
	(0.053)	(0.569)								
Log Totalt bruttotonn			0.32950	0.38266			2.3015	-4.5054	-55.1557	25.19581
			(0.003)	(0.002)			(0.481)	(0.044)	(0.381)	(0.511)
Log Totalt bruttotonn kvadrert							-0.06660	0.15884	3.6723	-1.7985
							(0.544)	(0.027)	(0.372)	(0.476)
Log Totalt bruttotonn kubikk									-0.08084	0.04287
									(0.366)	(0.437)
Log Passasjertrafikk bruttotonn					0.08045	0.06627				
					(0.344)	(0.007)				
Log Godstrafikk bruttotonn			0.24448	0.02292						
			(0.000)	(0.247)						
Gj.sn. Kostnadselastisitet (1)	0.26	0.51	0.33	0.38	0.33	0.09	0.25	0.26	0.30	0.29
Øvre 90% konf. Intervall	0.41	0.64	0.48	0.57	0.53	0.16	(2)	(2)	(2)	(2)
Nedre 90 % konf. Intervall	0.10	0.38	0.18	0.20	0.11	0.02	(2)	(2)	(2)	(2)
R-2	0.9014	0.7730	0.8989	0.7442	0.9131	0.7358	0.9015	0.7565	0.9078	0.7577
adj. R-2	0.8591	0.7219	0.8621	0.6943	0.8759	0.6764	0.8593	0.7017	0.8617	0.7104
N totalt (antall par i panel)	32 (16)	51 (19)	32 (16)	51 (19)	32 (16)	51 (19)	32 (16)	51 (19)	32 (16)	51 (19)

Log Lengde/km	0.00238 (0.987)	0.77982 (0.000)	0.09191 (0.460)	0.74823 (0.000)	0.05992 (0.670)	0.70238 (0.000)	0.03554 (0.799)	0.75873 (0.000)	.07585 (0.617)	0.76308 (0.000)
Log Antall sporvekslere	0.59968 (0.000)	0.21253 (0.002)	0.53089 (0.000)	0.26183 (0.005)	0.60297 (0.000)	0.23867 (0.017)	0.58825 (0.000)	0.29973 (0.000)	0.54104 (0.000)	0.30301 (0.000)
Log Andel ikke i tunnel	0.20222 (0.804)	-0.40412 (0.751)	0.30428 (0.703)	0.23707 (0.834)	0.27071 (0.723)	0.37199 (0.753)	0.02303 (0.983)	-0.33040 (0.803)	0.12685 (0.891)	-0.31377 (0.816)
Log Andel kurvatur radius < 500 m	-0.40712 (0.014)	0.01109 (0.918)	-0.37351 (0.015)	-0.06537 (0.638)	-0.46138 (0.007)	-0.19363 (0.173)	-0.46152 (0.043)	-0.00851 (0.945)	-0.38791 (0.114)	0.01073 (0.932)
Log Vektet hastighet	-0.94474 (0.151)	-0.38620 (0.298)	-1.18231 (0.089)	-0.59046 (0.154)	-0.96038 (0.142)	-0.49575 (0.245)	-1.22193 (0.082)	-0.09025 (0.855)	-1.21302 (0.077)	-0.07659 (0.882)
Andel ikke-elektrifisert	0.36662 (0.014)	0.09792 (0.678)	0.35460 (0.014)	-0.14504 (0.679)	0.38450 (0.007)	-0.56015 (0.020)	0.43324 (0.022)	-0.43376 (0.275)	0.39881 (0.040)	-0.41703 (0.285)
Årsindikator (2015 = 1)	0.23032 (0.000)	0.05430 (0.813)	0.22777 (0.000)	0.08776 (0.704)	0.23040 (0.000)	0.07719 (0.733)	0.22918 (0.000)	0.07636 (0.743)	0.22872 (0.000)	0.07467 (0.753)
Funksjonsform	3.37 (0.067)	9.05 (0.003)	0.41 (0.523)	11.78 (0.001)	0.63 (0.428)	(3)	2.77 (0.096)	9.85 (0.002)	3.88 (0.049)	9.93 (0.002)
Normalitet for restledd	2.75 (0.253)	0.2 (0.907)	2.79 (0.248)	1.6 (0.448)	1.1 (0.577)	0.31 (0.854)	2.64 (0.268)	0.47 (0.791)	0.37 (0.833)	0.41 (0.813)
Gjennomsnittlig VIF	4.21	2.41	3.40	2.43	3.69	2.25	(4)	(4)	(4)	(4)
Maksimal VIF	12.39	3.52	7.62	3.43	10.90	3.69	(4)	(4)	(4)	(4)
Wald-test for H0: Like koef- fisienter for produksjonsvariabler	0.85 (0.372)	21.84 (0.000)	2.61 (0.127)	7.75 (0.009)						

(p-verdier basert på clustered, robuste standardavvik i parentes)

(1) Gjennomsnitt av alle observasjoner som inngår på banesjef- eller strekningsnivå

(2) Produserer høyst urimelige verdier og utelates fra fremstillingen

(3) Ikke mulig å gjennomføre Box-cox test i Stata dersom noen av produksjonsvariablene har verdien 0 for en observasjon

(4) Ettersom u -kvadrert og u -kubikk er funksjoner av u blir VIF-verdiene for modell IV-V svært høye. Ikke oppgitt i tabellen da korrelasjon mellom høyere ordens ledd ikke medfører et problem knyttet til multikollinearitet (Allison, 2012). Se derfor i stedet VIF-verdiene til modell III.

Modell I-V har gjennomgående høy forklaringsgrad med en R^2 på mellom 74% og 90%. Forklaringsgraden er i tråd med tidligere studier, og Johansson & Nilsson (2002) omtaler sin modell med en forklaringsgrad på 77% som en «excellent fit». R^2 er generelt høyere når datasettet på banesjefnivå legges til grunn.

Koeffisientene til produksjonsvariablene har stort sett fortegn som forventet ut fra tidligere studier: økende vedlikeholdskostnader for økt trafikkbelastning. Unntakene er modell I på strekningsnivå og modell V på banesjefnivå, hvor vi finner motsatt fortegn av tidligere studier for alle tre produksjonsvariabler. Dette virker urimelig, og skyldes trolig datagrunnlaget.

Tabell 13 viser at produksjonsvariabelen for antall avganger er statistisk signifikant på 5%-nivå på både banesjef- og strekningsnivå i modell I, mens variabelen for vekt pr. tog ikke er det. I modell II er bruttotonn signifikant for begge nivåer. Modell III har signifikante produksjonsvariabler for godstog på banesjefnivå, mens strekningsnivå har signifikant variabel for persontog. I modell IV og V er det kun modell IV på strekningsnivå som har statistisk signifikante variabler på 5%-nivå.

Koeffisientene til kontrollvariablene har stort sett forventede fortegn, og indikerer at en mer kompleks infrastruktur medfører høyere vedlikeholdskostnader. Her finnes det imidlertid flere eksempler på at koeffisienten til den samme forklaringsvariabelen endrer seg avhengig av modellspesifikasjon og datasett lagt til grunn. At koeffisientenes fortegn viser en slik følsomhet, svekker relabiliteten til modellene. Hastighetsvariabelen er negativ for alle modellvarianter, hvilket trolig innebærer at kvalitetsmålingseffekten vi omtalte i delkapittel 3.3.6, i likhet med Wheat & Smith (2008), er større enn effekten av økt slitasje ved høyere fart.

Når det gjelder robustheten til modellene, kan en nullhypotese om at restleddet er normalfordelt forkastes for alle våre modeller. Modell I-III på strekningsnivå har maksimale VIF-verdier lavere enn 5, noe som antyder at verken multikollinearitet eller overparametrisering er et problem i disse modellene. Blant modellene på banesjefnivå er det kun modell II som har en maksimal VIF-verdi lavere enn 10.

Testing av funksjonsform viser at en nullhypotese om at logaritmisk transformasjon er den mest egnede funksjonsformen ikke kan forkastes for modell I-IV på banesjefnivå for 5%-signifikansnivå, mens tilsvarende hypotese kan forkastes i øvrige modeller. Imidlertid kan en

nullhypotese om at en lineær funksjonsform er best egnet, forkastes for samtlige modeller, og det virker derfor hensiktsmessig å benytte logaritmisk transformasjon.

6.2 Vedlikeholdskostnader for kjøreveiens bestanddeler

Tabell 14 viser regresjonskoeffisienter, gjennomsnittlige elastisiteter og robusthetstester for kjøreveiens bestanddeler.

Tabell 14:
Koeffisienter, gjennomsnittlige elastisiteter og robusthetstester for kjøreveiens bestanddeler

	Overbygg	Underbygg	Signal og Tele	El-anlegg
Konstant	15.4904 (0.000)	27.9912 (0.010)	5.6653 (0.133)	3.1075 (0.599)
Log Totalt bruttotonn	0.36283 (0.000)	0.08918 (0.766)	0.28377 (0.106)	0.33313 (0.356)
Gjsn. Kostnadselastisitet (1)	0.36	0.09	0.28	0.33
Øvre 90% konf. Intervall	0.46	0.58	0.56	0.91
Nedre 90 % konf. Intervall	0.26	-0.49	0.01	-0.58
R-2	0.8074	0.3972	0.9065	0.8651
adj. R-2	0.7374	0.1780	0.8725	0.8160
N totalt (antall par i panel)	32 (16)	32 (16)	32 (16)	32 (16)
Log Lengdekm	0.14163 (0.089)	-0.22728 (0.683)	0.21245 (0.192)	-0.05937 (0.873)
Log Antall sporvekslere	0.36987 (0.000)	0.50419 (0.033)	0.85540 (0.000)	0.62525 (0.004)
Log Andel ikke i tunnel	0.84070 (0.199)	-1.00715 (0.672)	-1.25301 (0.189)	2.44422 (0.044)
Log Andel kurvatur radius < 500 m	-0.33522 (0.009)	-1.18718 (0.011)	-0.21946 (0.293)	0.19210 (0.493)
Log Vektet hastighet	-1.58227 (0.002)	-3.84822 (0.068)	0.02143 (0.980)	1.19132 (0.359)
Andel ikke-elektrifisert	0.47990 (0.001)	0.95057 (0.020)	0.34758 (0.113)	-1.50384 (0.003)
Årsindikator (2015 = 1)	0.12521 (0.025)	0.22065 (0.087)	0.33478 (0.000)	0.53168 (0.003)
Funksjonsform	1.76 (0.185)	0.57 (0.450)	2.08 (0.149)	29.58 (0.000)
Normalitet for restledd <i>it</i>	2.32 (0.313)	3.4 (0.183)	1.48 (0.477)	12.43 (0.002)
Gjennomsnittlig VIF	3.40	3.40	3.40	3.40
Maksimal VIF	6.62	6.62	6.62	6.62

(p-verdier basert på clustered, robuste standardavvik i parentes)

(1) Gjennomsnitt av alle observasjoner som inngår på banesjef- eller strekningsnivå

Tabell 14 viser at modellene har varierende forklaringsgrad: Modellen for underbygning har en R^2 på 40%, mens modellene for de øvrige bestanddelene har en forklaringsgrad på linje med modell I-V.

Koeffisienten til produksjonsvariabelen, bruttotonn, varierer mellom 0,09 og 0,36. Fortegnet viser, som forventet, økende vedlikeholdskostnader for økt trafikkbelastning. Det er imidlertid kun modellen for overbygning som har en koeffisient signifikant forskjellig fra null på 5%-nivå.

Når det gjelder koeffisientene til kontrollvariablene, varierer fortegnene for en del av koeffisientene mellom de ulike modellene. Ettersom vi ser på ulike deler av infrastrukturen i disse modellene, er ikke dette uventet. Kun variablene for antall sporvekslere og årsindikatorvariabelen har koeffisienter med samme fortegn for alle modellene. Disse viser at antall sporvekslere i stor grad øker vedlikeholdskostnadene og at modellen fanger opp det høyere kostnadsnivået i 2015.

Som i modell I-V er problematikken rundt forutsetninger for Pooled OLS størst rundt antakelsen om normalfordelte restledd, som heller ikke i modellene for kjøreveiens bestanddeler ser ut til å holde. Ettersom forklaringsvariablene er identiske for alle modellene i tabell 14 er VIF-verdiene de samme. Maksimal VIF-verdi på 6,62 antyder at multikollinearitet ikke er et problem i disse modellene. Ved testing av funksjonsform kan ikke nullhypotesen om at logaritmisk transformasjon er den best egnede transformasjonen, forkastes på et 5%-signifikansnivå verken for modellen for overbygning, underbygning eller signal og tele. Når det gjelder modellen for El-anlegg, indikerer box-cox testen at den best egnede funksjonsformen ligger et sted mellom funksjonsformene som det testes for.

7. Drøfting

Med bakgrunn i vår overordnede problemstilling om hvor mye *vedlikeholdsbehovet som oppstår ved økt trafikkbelastning koster for infrastrukturforetaket og som bør legges til grunn i beregningen av kjøreveisavgiften*, vil vi gjennom drøftingen av våre resultater spesifisere delspørsmål og delkonklusjoner som kan bidra til å besvare dette.

Vi vil først se på hvilken av modellene presentert i tabell 13 som er mest egnet for bruk i videre drøftinger. Deretter vil vi se nærmere på våre estimerte kostnadselastisiteter og hvordan disse samstemmer med funn fra tidligere studier, før vi, på tilsvarende måte, ser på marginalkostnadsestimatene. Basert på tabell 14 undersøker vi så hvorvidt kjøreveiens ulike bestanddeler slites ulikt ved økt trafikkbelastning, og i hvilken grad dette eventuelt påvirker marginalkostnadsestimatene. Til slutt ser vi på hvilken usikkerhet som knytter seg til våre marginalkostnadsestimater.

Med mindre annet er nevnt, tales det om signifikansnivå på 5%.

7.1 Valg av egnet modell

Modell II representerer, som tidligere nevnt, den tradisjonelle og enkleste måten å måle slitasje som følge av trafikkbelastning på: kun én produksjonsvariabel kreves, og elastisitetene er konstante og kan tolkes direkte fra regresjonsutskriften.

Gjennom modellen på både banesjef- og strekningsnivå, finner vi koeffisienter som er statistisk signifikante, med elastisiteter på henholdsvis 0,33 og 0,38 og med forklaringsgrader, målt i R^2 på 90% og 74%. En ulempe ved modellen er imidlertid at vi ikke er i stand til å skille mellom ekstra belastning som skyldes tyngre tog og flere avganger, og at vi ikke kan si noe om andelen kortidsmarginale vedlikeholdskostnader er forventet å øke eller reduseres når vi endrer trafikkbelastningen. I tillegg gir ikke modellen mulighet for å vurdere hvorvidt ulike typer togtrafikk driver vedlikeholdskostnader ulikt. Som Dalen & Fehr (2003) påpeker, bør kjøreveisavgiften legges tettest mulig opp mot den faktiske kostnadsdriveren, da dette medfører at togselskapene har incentiv til å innrette seg på en måte som er kostnadsminimerende for infrastrukturforetaket. Vi ønsker derfor å besvare følgende delspørsmål:

Er det statistisk grunnlag for å påstå at modell I, som skiller mellom antall avganger og togenes vekt, er mer egnet for estimering av marginalkostnader enn modell II?

Er det, basert på modell III, statistisk grunnlag for å påstå at person- eller godstog driver kostnader ulikt?

Er det, gjennom å studere modell IV og V, statistisk grunnlag for å påstå at elastisitetene ikke er konstante for alle produksjonsvolum?

7.1.1 Antall togavganger og gjennomsnittlig vekt per tog

I modell I på banesjefnivå finner vi at antall togavganger og gjennomsnittlig vekt per tog har signifikante kostnadselastisiteter på henholdsvis 0,26 og 0,51. Disse resultatene tyder på at vedlikeholdskostnadene er mer sensitive for en endring i gjennomsnittlig vekt per tog enn for antall avganger, og tilsvarende funn ble gjort av Wheat & Smith (2008). Dette virker rimelig, ettersom en økning i gjennomsnittlig togvekt gir større slitasje på togsjennene, blant annet gjennom at bremsekraften øker, noe som etter uformelle samtaler med personer i Jernbaneverket, tyder på at dette er en vesentlig slitasjedriver. I følge SINTEF (2015) er også belastning pr. meter avgjørende for den geotekniske stabiliteten, og økt gjennomsnittlig vekt kan medføre at fyllinger oftere må forsterkes.

Ved å gjennomføre Wald-test undersøker vi nærmere om de to koeffisientene virkelig er statistisk forskjellig fra hverandre. Vi finner da at nullhypotesen ikke kan forkastes for noen rimelige signifikansnivåer, og vi har derfor ikke statistisk grunnlag for å hevde at de to produksjonsvariablene har ulike kostnadseffekter. Den statistiske konklusjonen blir derfor at vedlikeholdskostnader ikke drives ulikt av en økning i antall tog enn av tyngre tog.

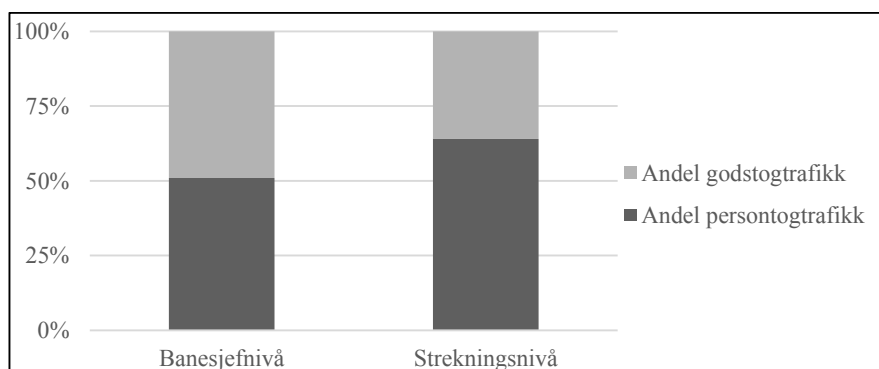
Når datasettet på strekningsnivå legges til grunn i modell I, finner vi koeffisienter for antall togavganger og gjennomsnittlig vekt per tog på henholdsvis 0,51 og $-0,09$. Det virker mildt sagt urimelig at gjennomsnittlig vekt pr. tog har en negativ elastisitet siden det tilsier at en økning i gjennomsnittlig togvekt fører til en lavere vedlikeholdskostnad. Det må imidlertid bemerkes at koeffisienten ikke er statistisk signifikant forskjellig fra null.

Ved gjennomføring av Wald-test finner vi nå at det er statistisk grunnlag for å hevde at elastisitetene for de to produksjonsvariablene er signifikant forskjellige. Trolig skyldes et slikt resultat at koeffisientene har ulike fortegn. Siden det ikke kan gis en intuitiv rimelig forklaring

til den negative koeffisienten til gjennomsnittlig vekt per tog, legger vi mindre vekt på dette resultatet.

7.1.2 Persontogtrafikk og godstogtrafikk

I modell III undersøker vi om persontogtrafikk og godstogtrafikk driver vedlikeholdskostnader ulikt. Kostnadselastisitetene som fremkommer av denne modellen må imidlertid tolkes med varsomhet: Ettersom kostnadselastisiteter i teorien uttrykker andelen av de totale vedlikeholdskostnadene hver av trafikktypene står ansvarlig for, er det forventelig at trafikktypen med høyest trafikkbeklastning, målt i bruttotonn, også har relativt høyere kostnadselastisitet (Wheat & Smith, 2008). Figur 10 viser hvordan trafikktypenes andeler fordeler seg i våre to datasett:



Figur 10: Trafikktypeandeler på banesjefnivå og strekningsnivå

Figur 10 viser at persontrafikkens andel av totale bruttotonn er på 51 % for alle banesjefområder som inngår i vårt datasett, mens andelen persontrafikk er på 64 % i datasettet på strekningsnivå. Dette innebærer for det første at våre utvalgte observasjoner på strekningsnivå ikke er en fullgod representasjon av trafikken for landet sett under ett, og at vi forventer en høyere elastisitet for persontogtrafikk på strekningsnivå. For det andre innebærer dette at vi, ved å studere resultatene på banesjefnivå, der andelen mellom trafikktypene er omtrent 50/50, kan være i stand til objektivt å konkludere hvorvidt persontrafikk eller godstrafikk driver en overproporsjonal andel av vedlikeholdskostnadene.

Ved å legge datasettet på banesjefnivå til grunn i modell III, finner vi at kostnadselastisiteten til persontogtrafikken er 0,08 og at kostnadselastisiteten til godstrafikken er 0,25. Samlet tilsvarer dette en gjennomsnittlig kostnadselastisitet på 0,33, noe som ligger tett opp til resultatene i modell I og II. Med tanke på at andelen persontrafikk og godstrafikk fordeler seg relativt likt for gjennomsnittet av banesjefområdene, tyder vårt funn på at en marginal økning

i godstogtrafikken målt i bruttotonn, har større betydning enn en tilsvarende økning i persontogtrafikken. Samtidig kan vi ikke slå fast at koeffisienten til persontogtrafikken er signifikant forskjellig fra null.

For å undersøke om vi kan finne en signifikant forskjell mellom kostnadseffekten fra godstrafikk og persontrafikk, benytter vi oss av en tilsvarende Wald-test som i modell I. Vi kan da ikke konkludere med at koeffisientene er signifikant forskjellige, noe som innebærer at passasjertog og godstog, statistisk sett i våre data, ikke driver kostnader ulikt. Et slikt funn samsvar med blant annet Andersson (2007a) og Wheat & Smith (2008).

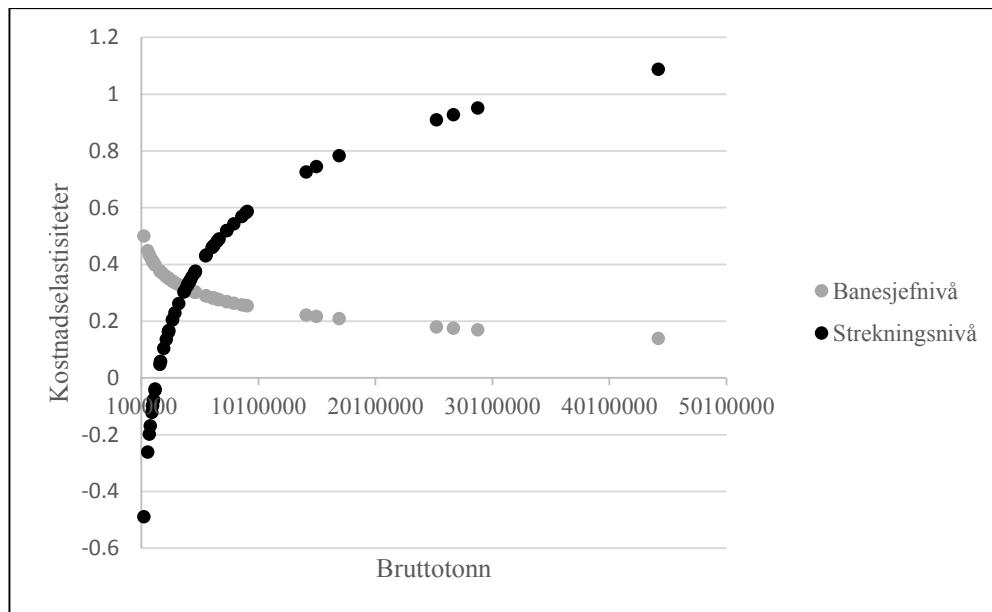
Koeffisientene til persontogtrafikk og godstogtrafikk for Modell III på strekningsnivå er på henholdsvis 0,07 og 0,02. Dette tilsvarer en total gjennomsnittlig elastisitet på under 0,09, noe som er den klart laveste gjennomsnittlige kostnadselastisiteten vi finner for alle våre modeller og under hva tidligere studier har funnet. Resultatene antyder at en marginal økning i persontogtrafikken påvirker vedlikeholdskostnadene mer enn en tilsvarende økning i godstrafikken. Hypotesen bekreftes av Wald-testen, som forkaster hullhypotesen om like koeffisienter. Det er likevel to faktorer som trekker i retning av at vi likevel ikke er fortrolige med denne konklusjonen: For det første har utvalgets strekninger mer persontogtrafikk enn gjennomsnittet, noe medfører at persontrafikken naturlig vil ha høyere elastisitet. For det andre er produksjonsvariabelen for godstogtrafikk ikke statistisk signifikant, noe som virker urimelig.

7.1.3 Ikke-konstante kostnadselastisiter

Strengt fallende eller stigende kostnadselastisiteter

Modeller som tillater ikke-konstante kostnadselastisiteter, kan gi innsikt i hvordan kostnadselastisitetene endrer seg etter hvert som trafikkvolumet endres. I modell IV inkluderes et kvadratledd, noe som fører til at kostnadselastisiteten vil være strengt stigende eller fallende.

Gjennomsnittet av kostnadselastisitetene for banestrekningene i modell IV er 0,25 når datasettet på banesjefnivå legges til grunn og på 0,26 når datasettet på strekningsnivå benyttes. Figur 11 illustrerer hvordan kostnadselastisitetene avhenger av hvilket datasett som legges til grunn.



Figur 11: Kostnadselastisiteter for ulike bruttotonn i modell IV

I tilfellet hvor banesjefdataene benyttes, finner vi, som følge av negativt kvadratledd, fallende kostnadselastisiteter. Dette innebærer at marginalkostnaden faller raskere enn gjennomsnittlig kostnad når trafikkvolumet øker. Et slikt funn samsvarer med studier av Johansson & Nilsson (2002), Andersson (2007a) og Wheat & Smith (2008). Sistnevnte gjorde sin studie på den britiske jernbanen, og poengterer at et slikt funn indikerer at man befinner seg på første del av den U-formede enhetskostnadskurven. De finner det lite sannsynlig at Storbritannia faktisk befinner seg på denne delen av kurven med tanke på trafikkbelastningen på britisk jernbane. Det er derimot ikke urimelig at et relativt lite land som Norge operer på denne delen av kurven. Produksjonsvariablene er imidlertid ikke signifikant forskjellig fra null i denne modellen.

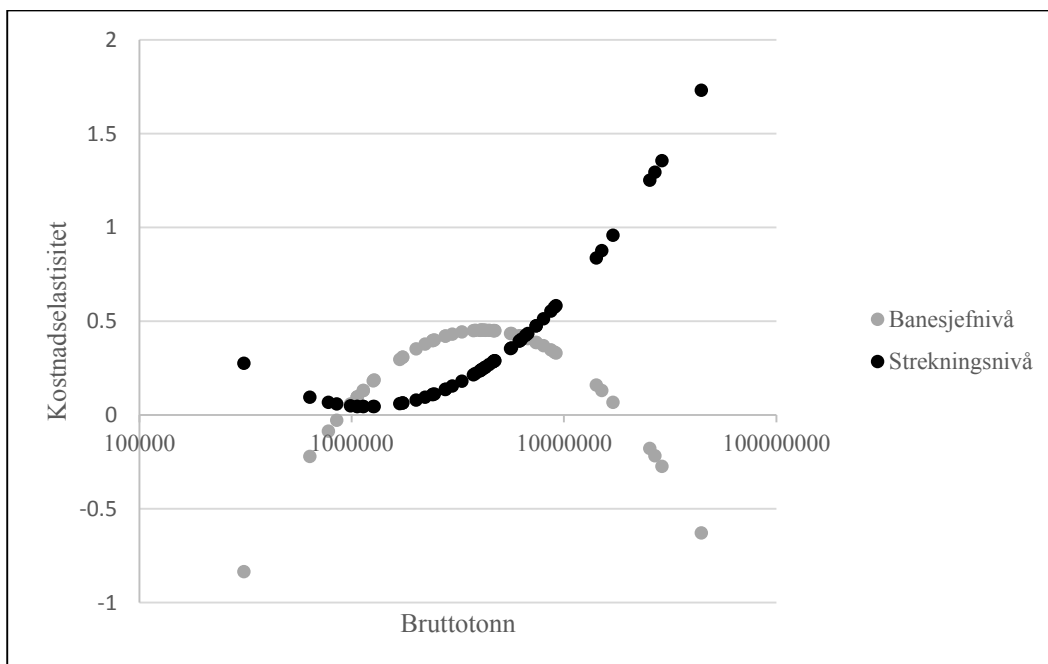
Når strekningsdataene legges til grunn, finner vi økende kostnadselastisiteter og signifikante produksjonsvariabler. Økende kostnadselastisiteter indikerer at vedlikeholdskostnadene befinner seg på den stigende delen av U-kurven, hvilket innebærer at marginalkostnaden øker raskere enn gjennomsnittlig kostnad når trafikkvolumet øker. Dette resultatet samsvarer med Gaudry & Quinet (2003) sitt funn for den franske jernbanen.

Modell IV gir oss ikke et entydig svar på hvor på enhetskostnadskurven vedlikeholdskostnadene befinner seg i Norge, ettersom modellen gir motsatte indikasjoner avhengig av hvilket datasett som legges til grunn. Tvetydigheten er besynderlig, men årsaken kan trolig knyttes mot det begrensede datagrunnlaget.

Konveks eller konkav funksjonsform for kostnadselastisiteter

I modell V, hvor kubikkledd også inkluderes, vil man kunne estimere marginalkostnader som følger en annengradsfunksjon. I prinsippet kan man dermed estimere fallende kostnadselastisitet ved lav trafikkbelastning og økende kostnadselastisitet for høy trafikkbelastning i tråd med konsensus om U-formet enhetskostnadskurve.

Modellen gir gjennomsnittlige kostnadselastisiteter på 0,30 og 0,29 når henholdsvis banesjefnivådata og strekningsnivådata legges til grunn. Figur 12 viser hvordan kostnadselastisitetene varierer med trafikkbelastning målt i bruttotonn.



Figur 12: Kostnadselastisiteter for ulike bruttotonn i modell V

Som i modell IV finner vi at de to datasettene gir motstridende resultater: Mens kostnadselastisiteten når strekningsnivådata legges til grunn, estimeres som en konveks elastisitetskurve, som er i tråd med en U-formet enhetskostnadskurve (Gaudry & Quinet, 2003), estimeres en konkav kurve for kostnadselastisitetene når banesjefnivådataene benyttes.

Vi kan imidlertid ikke konkludere hvilken av de to som er mest egnet for å beskrive våre data, ettersom ingen av produksjonsvariablene er signifikant forskjellige fra null. En årsak til dette kan være den tidligere nevnte problematikken ved å estimere en fleksibel funksjonsform ved et relativt tynt datagrunnlag.

7.1.4 Delkonklusjon

Gjennom drøftingen av hvilken eller hvilke produksjonsvariabler som bør ligge til grunn i beregningen av marginalkostnader, finner vi i modell I ikke grunnlag til å disaggregere produksjonsvariablene basert på antall tog og gjennomsnittlig vekt per tog. På bakgrunn av drøfting av modell III kan vi heller ikke slå fast at de ulike trafikktypene har ulik kostnadseffekt. Vi finner også at resultatene i modell IV og modell V tyder på at våre data ikke tilfredsstiller kravene som stilles for estimering av modeller med ikke-konstante kostnadselastisiteter.

Konklusjonen på alle delspørsmålene blir dermed at modell I, III, IV og V ikke er bedre egnet til vårt formål enn den tradisjonelle Cobb-Douglas-spesifikasjonen i modell II. Modell II er derfor vår foretrukne modell.

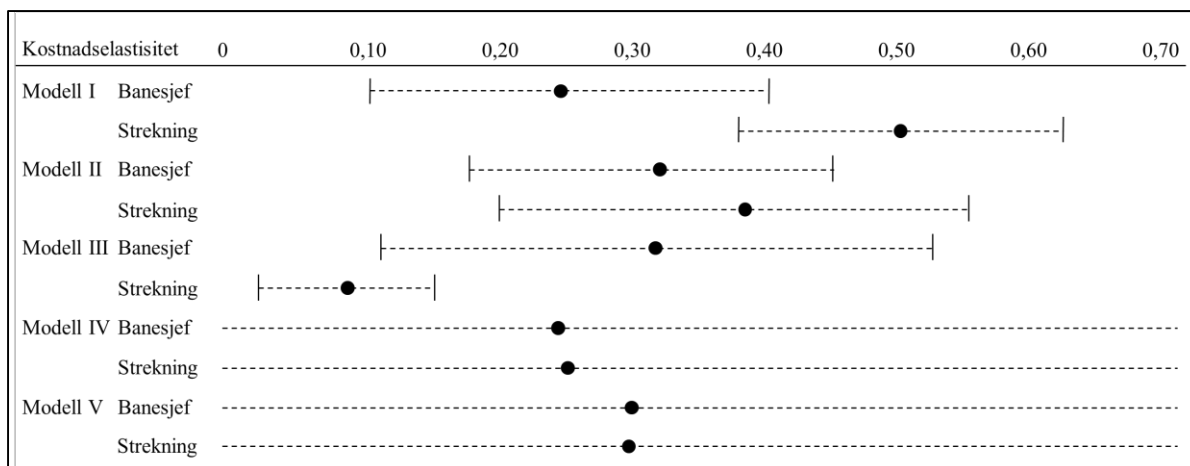
7.2 Estimerte kostnadselastisiteter

I dette delkapitlet vil vi se nærmere på våre estimerte kostnadselastisiteter og hvordan disse skiller seg fra tidligere studier, og vi vil besvare følgende delspørsmål:

Hvordan er våre estimerte kostnadselastisiteter i forhold til de som er funnet i tidligere studier, og hva kan avvikene skyldes?

7.2.1 Elastisiteter for våre modeller

Figuren under viser gjennomsnittselastisiteten i våre modeller med tilhørende 90%-konfidensintervall.



Figur 13: Kostnadselastisiteter med 90%-konfidensintervall for modell I-V

De estimerte kostnadselastisitetene ligger i hovedsak mellom i overkant av 0,20 og i underkant av 0,40. Til tross for at det er en viss spredning mellom disse, ligger begge innenfor det som anses som rimelige resultater (Daljord, 2003). For modell II, som vi anser som vår foretrukne modell, finner vi kostnadselastisiteter på henholdsvis 0,33 og 0,38 på banesjef- og strekningsnivå.

7.2.2 Våre funn sammenliknet med tidligere tidlige studier

Ifølge Wheat & Smith (2008) er kostnadselastisiteter praktiske å sammenlikne mellom ulike studier og på tvers av land fordi landspesifikke faktorer ofte påvirker marginalkostnad og gjennomsnittlig kostnad likt, slik at forholdet mellom dem, altså kostnadselastisiteten, ikke påvirkes. Våre estimer ligger i det øvre sjiktet i forhold til kostnadselastisitetene som er funnet i øvrige europeiske studier, som vist i tabell 1. Dette indikerer at det norske jernbanenettet har en større andel korttidsvariable kostnader enn andre land. I den videre drøftingen skal vi imidlertid forsøke å på peke på andre årsaker til at kostnadselastisiteten varierer mellom studier.

Daljord (2003) postulerer at en årsak til forskjeller i estimerte kostnadselastisiteter, kan være at ulike definisjoner av vedlikeholdskostnader legges til grunn i beregningene. Vi har forsøkt å følge samme definisjon som tidligere studier, der kun kostnader knyttet til korrektivt og forebyggende vedlikehold inngår. Ettersom vi benytter en smal definisjon av vedlikeholdskostnader, forventes det at en høy andel av kostnadene vi predikerer er variable med hensyn på trafikkbelastning, noe som medfører relativt høye kostnadselastisiteter. Daljord (2003) argumenterer også for at ulike regnskapspraksiser mellom land kan være med å forklare forskjellene.

I følge Wheat & Smith (2008) vil faktorprisene som inngår i modellene sannsynligvis variere mellom ulike land. Ettersom faktorprisene påvirker både marginalkostnader og gjennomsnittskostnader, vil kostnadselastisiteten være upåvirket, og derfor kan ikke variasjon i faktorprisene være med på å forklare forskjellene i gjennomsnittlige kostnadselastisiteter. På samme måte vil heller ikke kostnadselastisitetene påvirkes av effektivitetsforskjeller mellom ulike lands infrastrukturforetak.

Problematikken rundt en jernbane i likevekt er sentral her, gjennom såkalte tilbakedaterte-elementer. Disse oppstår dersom bevilgningen til jernbanen tidligere har vært for lav til å opprettholde et likevektsnivå, og vedlikeholdsarbeidet som burde vært gjennomført ett år, gjennomføres i et senere år. Hvorvidt vi da vil modellere skjeve kostnadselastisiteter vil avhenge av i hvilken grad tilbakedaterte-elementene knytter seg til volumvariabelt vedlikehold: Dersom andelen av volumvariabelt vedlikehold i tilbakedaterte-elementene er større (mindre) enn andelen volumvariabelt vedlikehold utgjør av vedlikeholdskostnadene i 2014, vil vi få høyere (lavere) gjennomsnittselastisitet enn det vi ville fått i en likevektstilstand. Det er vanskelig på et generelt grunnlag å si noe om hva som er mest volumvariabelt av tilbakedaterte-elementene og vedlikehold som holder jernbanens kvalitet på et stabilt nivå (Wheat & Smith, 2008). På den ene siden vil korrektivt vedlikehold, som typisk følger av vedlikeholdsetterslep, sjelden kunne utsettes. Men på den annen side er det rimelig å se for seg at infrastrukturforetaket har prioritert de mest kritiske delene for togfremførsel når de er redde for å ha et økt vedlikeholdsetterslep ved slutten av året, og at de dermed utsetter mindre volumvariable elementer ved jernbanen.

7.2.3 Delkonklusjon

De estimerte kostnadselastisitetene ligger i hovedsak mellom i overkant av 0,20 og i underkant av 0,40, noe som ligger innenfor det som anses som rimelige resultater. Modell II gir en kostnadselastisitet på henholdsvis 0,33 og 0,38 på banesjef- og strekningsnivå, noe som er i det øvre sjiktet sammenliknet med tidligere studier. I tillegg til faktiske forskjeller i kjøreveiens kostnadsvariabilitet på tvers av land, kan forskjellene trolig forklares med ulike kostnadsdefinisjoner eller at det finnes tilbakedaterte-elementer som er mer eller mindre variable enn vedlikeholdskostnadene i en likevektstilstand.

7.3 Estimerte marginalkostnader

I dette delkapittelet skal vi se på størrelsesordenen til de estimerte korttidsmarginale kostnadene på kjøreveien. Vi vil først studere variasjonen mellom resultatene for de ulike modellene, før vi konkluderer hvilket estimat som vi mener best representerer de marginale kostnadene for økt trafikkbelastning på jernbanen. Til slutt sammenlikner vi dette estimatet med de tidligere europeiske studiene. Gjennom dette, vil vi besvare følgende delspørsmål:

Hvor høye er de estimerte korttidsmarginale vedlikeholdskostnadene i Norge, og hva kan avvik fra tidligere studier skyldes?

7.3.1 Marginalkostnader for alle modeller

Tabell 15 viser våre marginalkostnader pr. bruttotonnkilometer for alle modeller som et vektet gjennomsnitt av alle 56 strekninger for 2014-vedlikeholdsnivå med 2015-trafikkbelastning. Marginalkostnadene for banesjefnivå er justert for overvurderte stordriftsfordeler gjennom å multiplisere de estimerte vedlikeholdskostnadene med en faktor som tilsvarer forholdstallet mellom summen av estimerte kostnader og faktiske kostnader, i henhold til beskrivelsen i punkt 5.1.2²⁶.

²⁶ Effekten av overvurderte stordriftsfordeler fører til en overvurderingsfaktor på mellom og 1,53 og 1,84, avhengig av modell.

Tabell 15:
Estimert vektet gjennomsnitt av marginalkostnad pr.
bruttotonnkilometer for alle strekninger

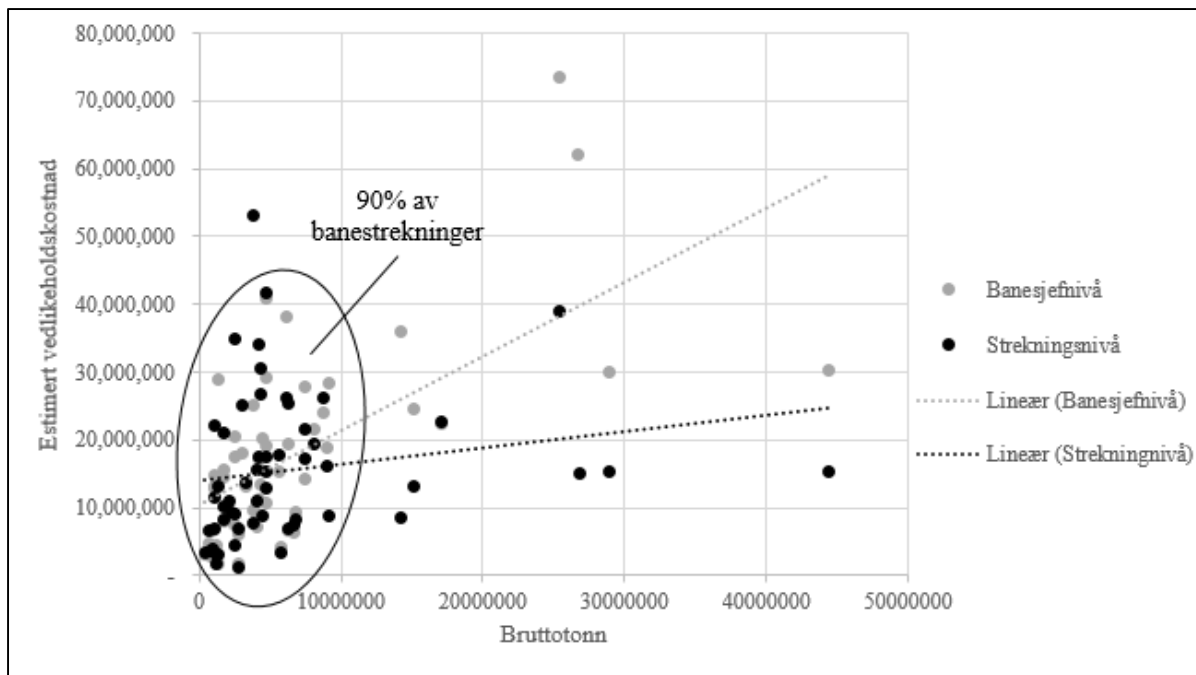
Modell	Nivå	Type	Sats pr. bruttotonnkilometer	
			NOK-øre	(EUR pr. 1000)
Modell I	Banesjef	Totalt	1.579	(1.717)
	Strekning	Totalt	2.854	(3.102)
Modell II	Banesjef	Totalt	2.015	(2.191)
	Strekning	Totalt	2.065	(2.244)
Modell III	Banesjef	Passasjer	0.880	(0.956)
		Goods	3.266	(3.550)
		Totalt	1.982	(2.154)
	Strekning	Passasjer	0.617	(0.670)
		Goods	0.231	(0.252)
		Totalt	0.459	(0.499)
Modell IV	Banesjef	Totalt	1.344	(1.461)
	Strekning	Totalt	2.334	(2.537)
Modell V	Banesjef	Totalt	1.078	(1.172)
	Strekning	Totalt	2.786	(3.028)

* Basert på vedlikeholds nivå i 2014 for 2015-trafikkvolum
EUR/NOK = 9.20, tilsvarer Norges Banks midtkurser siste år

Tabellen viser at de ulike modellene estimerer marginalkostnader med noe variasjon: Mens modell III på strekningsnivå estimerer en kostnad på 0,5 øre pr. brtkm, estimerer modell I på strekningsnivå en marginalkostnad som er nesten seks ganger så høy. For vår foretrukne modell, modell II, estimeres marginalkostnaden i øre pr. brtkm. til 2,015 og 2,065 for data basert på henholdsvis banesjef- og strekningsnivå. At satsen ikke endrer seg vesentlig avhengig av hvilket datasett som ligger til grunn, kan tyde på at denne modellen gir robuste resultater.

7.3.2 Vedlikeholds- og marginalkostnader for foretrukket modell

Figur 14 viser de estimerte vedlikeholdskostnadene mot produksjonsvariabelen, bruttotonn, for modell II på banesjef- og strekningsnivå.



Figur 14: Estimerte vedlikeholdskostnader for modell II

I figuren er hvert plott en av de 56 banestrekningene vi ønsker å finne marginalkostnaden for. Som vi ser, er rundt 90% av alle banestrekninger samlet nederst til venstre i figuren, noe som fører til at marginalkostnadene i gjennomsnitt nærmest blir identiske. Banestrekninger som i stor grad er med på å bestemme en (her lineær) regresjonslinjes stigningstall, ligger midlertid utenfor denne klyngen. Blant disse merker vi oss at kostnadsestimatene som er beregnet ved hjelp av observasjoner på banesjefnivå i alle tilfeller ligger over estimatene beregnet ved hjelp av observasjoner på strekningsnivå.

For modellen basert på banesjefdata, kan det, ut fra en visuell vurdering, se ut til at enkelte banestrekninger har karakteristika ved seg som fører til at modellen estimerer urimelig høye vedlikeholdskostnader. For å illustrere, estimerer modellen en vedlikeholdskostnad for strekningen Asker - Drammen på over 62 millioner, mens totale vedlikeholdskostnader for banesjefområde Vestfoldbanen, der strekningen inngår som en av fire banestrekninger, var på totalt 77 millioner i 2014. Tilsvarende tilfeldigheter i karakteristika på strekningsnivå kan føre til at disse estimatene undervurderer vedlikeholdskostnadene, men noe av effekten vil her også komme av at utvalget strekningsnivåobservasjonene er basert på har en lavere kostnad pr. bruttotonn enn populasjonen for øvrig.

I appendiks 10.2 kan man fra histogrammet til residualene på banesjefnivå se at denne har sin «hale» mot høyre, mens halen på strekningsnivå ligger mot venstre. Dette impliserer at regresjonslinjen på banesjefnivå systematisk vil overvurdere kostnader for høy

trafikkbelastning, målt i bruttotonn, mens regresjonslinjen på strekningsnivå systematisk vil undervurdere de samme kostnadene. Et slikt funn tyder på at den betingede forventningen til restleddene i forventning ikke er lik null, og vi har derfor trolig et problem knyttet til uobserverbare effekter som nevnt i delkapittel 4.3.

Når dataene antyder at kostnadsestimatene for de to modellene er forventingsskjeve i hver sin retning, mener vi at det beste estimatet på hver enkelt banestrekningens vedlikeholdskostnader fremkommer ved å ta gjennomsnittet av vedlikeholdskostnadene til hver banestrekning for de to modellene. En fullstendig liste over alle våre estimerte vedlikeholdskostnader basert på denne metoden finnes i appendiks 10.1. tabell 18. Av tabellen fremkommer også estimerte marginalkostnader for hver av våre 56 banestrekninger når vi legger et bredt kjøreveisbegrep til grunn.

Benyttes en avrundet kostnadselastisitet på 0,36, blir vårt endelige estimat for marginalkostnadene på den norske kjøreveien på 2,07 øre pr. bruttotonnkilometer i gjennomsnitt. Dette tilsvarer 2,25 EUR pr. 1000 brtkm.

7.3.3 Marginalkostnadsestimater sammenliket med andre land

I tidligere studier har det blitt estimert gjennomsnittlige marginalkostnader fra 0,14 EUR pr. brtkm (Johansson & Nilsson, 2002) til 1,78 EUR pr. brtkm. (Wheat & Smith, 2008), målt i nominell valuta. I følge Wheat & Smith (2008) er det imidlertid grunn til å tro at marginalkostnader i større grad vil variere mellom land, enn hva kostnadselastisitetene gjør:

I delkapittel 2.2.2 ble de kortidsmarginale kostnadene definert gjennom forholdet mellom andelen korttidsvariable kostnader på marginen, de totale vedlikeholdskostnadene og banestrekningens trafikkbelastning. Ettersom vi allerede har diskutert korttidsvariable andeler i delkapittel 7.2 om kostnadselastisiteter, skal vi i den videre drøftingen se hva på som skaper ulikheter i kostnadsnivå og hvordan ulikheter i trafikkbelastning kan forklare forskjeller i marginalkostnadsestimater mellom ulike studier.

Totalkostnad for vedlikehold

Forskjeller i faktorpriser kan være en årsak til at vi finner marginalkostnader som skiller seg fra tidligere studier. Wheat & Smith (2008) peker imidlertid på at alle landene i deres sammenlikningsgrunnlag er europeiske, og det vil derfor være overraskende om faktorprisvariasjon kan forklare vesentlige forskjeller mellom ulike studier. Til tross for at

Norge står utenfor EU (men innenfor EØS), anser vi det som lite sannsynlig at ulike faktorpriser alene kan forklare forskjellen fra våre marginalkostnader, og det man har funnet i tidligere studier.

I likhet med som for kostnadselastisitetene, peker Daljord (2003) og Wheat & Smith (2008) på at ulike kostnadsdefinisjoner mellom land kan påvirke marginalkostnadene, der en bredere kostnadsdefinisjon trolig ville ha resultert i høyere marginalkostnader. Det er imidlertid ikke sikkert at infrastrukturforetakene i de ulike landene legger de samme definisjonene til grunn for hva som er vedlikehold, og hva som er fornyelse. Retningen på denne effekten er derfor vanskelig å forutse, men ifølge Wheat & Smith (2008) har denne årsaken trolig liten påvirkning.

Wheat & Smith (2008) peker på at en annen årsak til at beregnede marginalkostnader kan variere mellom ulike land, er at det stilles ulike krav til sikkerhetsstandarder. I følge en BCG-rapport (2012) ligger Norge foran både Sverige, Finland, Frankrike og Østerrike når det gjelder sikkerhet²⁷. Dette trekker i retning av en høyere marginalkostnad i Norge.

Dersom det finnes ineffektiviteter i forvaltningen av infrastrukturen, vil man få skjevheter i marginalkostnadsestimatene. I Riksrevisjonens undersøkelse av effektivitet i vedlikehold av jernbanenettet (Riksrevisjonen, 2016) pekes det på at Jernbaneverket har svak oppfølging av vedlikeholdsarbeidet og at departementet derfor har lite informasjon om hvorvidt bevilgningene brukes effektivt. Samtidig finner riksrevisjonen det kritikkverdig at driftsstabiliteten²⁸ er lavere i 2014 enn i 2006 til tross for økte bevilgninger til vedlikehold. Dette kan tyde på at vedlikeholdsarbeidet i Jernbaneverket ikke utføres effektivt.

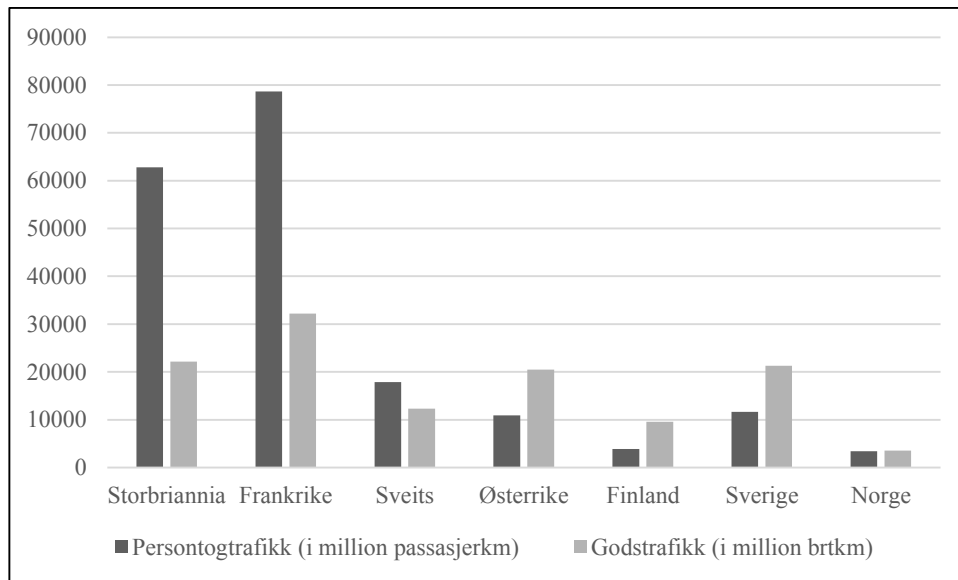
Til slutt kan trolig også likevektsproblematikken bidra til å forklare hvorfor våre marginalkostnader avviker fra tidligere studier, gjennom at det er svært lite sannsynlig at etterslepet i 2014 økte nøyaktig like mye som det ble redusert i løpet av året. Wheat & Smith (2008) påpeker dessuten at jernbanene i andre hvor det har blitt utført studier, trolig heller ikke har vært i likevektstilstand. Hvilken retning skjevheten eventuelt trekker i, kan derfor ikke sies med sikkerhet.

²⁷ BCG (2012) måler sikkerhetsnivå i antall ulykker per togkilometer og antall dødsfall per togkilometer

²⁸ Samferdselsdepartementet benytter driftsstabilitet som mål på infrastrukturens kvalitet.

Trafikkbelastning

Ettersom størrelsen på jernbanen, og dermed trafikkbelastningen, varierer mellom land, kan dette være med på å forklare forskjeller i marginalkostnadsestimater i ulike studier. Av figur 15 fremgår det at Norge har en vesentlig lavere trafikkbelastning sammenliknet med andre europeiske land.



Figur 15: Trafikkbelastning i Norge sammenliknet med andre europeiske land (Eurostat (2016) og (2015))

Trolig befinner den norske jernbanen seg på den første halvdel av den velkjente U-formede enhetskostnadskurven. Dersom dette er tilfellet, vil vi forvente å finne marginalkostnader som også er høyere enn i øvrige europeiske studier, ettersom nevneren i marginalkostnadsuttrykket er relativt lav.

7.3.4 Delkonklusjon

Vår endelige modell opererer med en kostnadselastisitet med hensyn på bruttotonn på 0,36, noe som gir et estimat for marginalkostnadene på den norske kjøreveien på 2,07 øre pr. bruttotonnkilometer i gjennomsnitt. Dette tilsvarer 2,25 EUR pr. 1000 brtkm. Dette er høyere enn marginalkostnadsestimatene fra sammenliknbare studier, riktignok målt i nominell valuta. Dette kan forklares gjennom et lavt trafikkgrunnlag og et høyere kostnadsnivå. Høyt kostnadsnivå kan videre skyldes ulikheter i faktorpriser, sikkerhetsstandarder eller kostnadsdefinisjoner, samt ineffektiviteter i forvaltningen, eller at kostnadsnivået som måles ikke representerer en uendret standard på kjøreveien.

7.4 Elastisiteter for kjøreveiens bestanddeler

Trolig vil vedlikeholdskostnadene til kjøreveiens ulike bestanddel ha ulik grad av variabilitet med hensyn på trafikkbelastning, og vi vil derfor utnytte at vi har vært i stand til å skille mellom kostnader som angår kjøreveiens overbygning, underbygning, signal- og teleanlegg og el-anlegg. Drøftingen tar utgangspunkt i resultatene fra tabell 15, og vi vil besvare følgende delspørsmål:

I hvilken grad er det ulikheter i kostnadselastisiteten knyttet til de fire bestanddelene, og hvordan påvirker eventuelle ulikheter den estimerte marginalkostnaden?

7.4.1 Kostnadselastisiteter for kjøreveiens bestanddeler

Den firedelte inndelingen av kjøreveiens bestanddeler samsvarer med en studie av Booz Allen Hamilton (2005), som benytter både ingeniørteknisk metode for å beregne andelen korttidsmarginale kostnader. Tabell 16 sammenlikner våre resultater, basert på den enkle Cobb-Douglas-spesifikasjonen i modell II på banesjefnivå, med denne studien:

Tabell 16:
Variabel andel for ulike deler av kjøreveien

Studie	Overbygning	Underbygning	Signal og tele	El-anlegg
Booz Allen & Hamilton (2005)	33%	10%	5%	10%
Våre funn (1)	36% (2)	9%	28%	33%

(1) Basert på Cobb-Douglas-spesifikasjon

(2) Statistisk signifikant forskjellig fra null på 5%- nivå

De korttidsvariable andelene i våre funn baserer seg på den estimerte kostnadselastisiteten gjennom koeffisienten til bruttotonn. Ved å se på størrelsen til koeffisientene isolert, tyder resultatene på at overbygning, signal- og teleanlegg og el-anlegg er omtrent like volumvariable, til tross for at Booz Allen Hamilton (2005) finner at overbygningen, som belastes direkte med hele togets vekt og friksjon, vil være den klart mest volumvariable. Dersom vi også hensyntar våre funns signifikansnivåer, merker vi oss at koeffisientene for de øvrige bestanddelenes produksjonsvariabel ikke er statistisk forskjellig fra null. Under betingelse av at disse bestanddelene virkelig har en kostnadselastisitet på null, mens overbygningen har en elastisitet på 0,36, kan marginalkostnadsestimatene tilnærmes gjennom å dividere vårt estimat på 2,07 øre pr brtkm. på to. Årsaken til dette er, at det fra den summariske statistikken i tabell 3, fremkommer at overbygningen står for litt under halvparten

(48% i 2014 og 43% i 2015) av vedlikeholdskostnadene på kjøreveien. Ved å benytte andelen fra 2014, estimeres marginalkostnadene til ett øre pr. brtkm. (1,08 EUR pr. 1000 brtkm.).

Dersom man ønsker å ta hensyn til at kostnadene knyttet til de øvrige bestanddelene også varierer med bruk, dog i mindre grad, beregnes en kostnadsvektet elasticitet som tar hensyn til bestanddelens andel av de totale vedlikeholdskostnadene. Benyttes 36% som estimat på overbygningens variable andel, mens øvrige bestanddeler følger resultatene til Booz Allen Hamilton (2005), finnes den kostnadsvektede elasticiteten i 2014 slik:

$$36\% \frac{29\,027'}{60\,949'} + 10\% \frac{7\,148'}{60\,949'} + 5\% \frac{14\,816'}{60\,949'} + 10\% \frac{9\,914'}{60\,949'} = 21\%$$

Resultatet ligger svært nært 20%, som er den variable andelen som historisk har vært benyttet for beregning av variable gjennomsnittskostnader i både Jernbaneverket, TØI og i NSB før infrastrukturen ble skilt ut fra togdriften i 1996 (Markussen & Pütz, 2000). Legger man denne satsen til grunn for de estimerte kostnadene i modell II på banesjefnivå, blir marginalkostnaden for 2015-belastning 1,15 øre pr. brtkm., eller 1,25 EUR pr. 1000 brtkm. I tabell 18 fremkommer beregnede marginalkostnader for de 56 banestrekningene når dette smale kjøreveisbegrepet legges til grunn.

7.4.2 Delkonklusjon

Resultatene fra regresjonene som beregner kostnadselasticitetene for hver av de fire bestanddelene som inngår i kjøreveien, indikerer at vedlikeholdskostnader knyttet til kjøreveiens overbygning er mest volumvariabel, noe som også er funnet i en kjent studie av Booz Allen Hamilton (2005). Resultatene kan også tyde på at å se alle delene under ett, kan overvurdere kjøreveiens kostnadselasticitet. For å justere for dette, kan man beregne en kostnadsvektet elasticitet for å hensynta hvor stor av de totale vedlikeholdskostnadene som knytter seg til hver enkelt bestanddel. Ved å gjøre dette, finner vi gjennomsnittlige korttidsvariable kostnader på rundt 20%, som er lik den sedvanlige satsen for variable gjennomsnittsmoeller i Norge (Markussen & Pütz, 2000). Ved å legge denne andelen til grunn, finner vi en marginalkostnad for 2015-belastning 1,15 øre pr. brtkm., eller 1,25 EUR pr. 1000 brtkm.

7.5 Usikkerhet i våre estimerte marginalkostnader

I dette delkapittelet undersøker vi usikkerheten knyttet til våre estimerte marginalkostnader. Fra utledningen av marginalkostnader for vedlikeholdet av jernbanen i 2.2.2, fremkommer det at de estimerte marginalkostnadene avhenger av følgende tre forhold: *andelen kortidsvariable kostnader*, *den estimerte totalkostnaden for vedlikehold* og *trafikkbelastningen*. I dette delkapittelet skal vi se på usikkerheten i hver og en av disse faktorene for modell II, gitt at de to øvrige holdes uendres, gjennom å besvare følgende delspørsmål:

Hvilken usikkerhet knytter seg til henholdsvis den estimerte totalkostnaden for vedlikehold, andel av variable kostnader og trafikkbelastningen, og hvordan påvirker usikkerheten våre estimerte marginalkostnader?

7.5.1 Usikkerhet i estimert totalkostnad for vedlikehold

Usikkerhet i den estimerte totale vedlikeholdskostnaden kan vurderes ved å undersøke avviket mellom modellens estimerte vedlikeholdskostnader for 2014 og 2015 mot den totale vedlikeholdskostnaden i datasettene på banesjef- og strekningsnivå de samme årene. Den enkleste måten å undersøke hvor nære estimert totalkostnad for vedlikehold ligger den virkelige totalkostnaden for vedlikehold, er å se på modellenes forklaringskraft (Keller, 2012). Til tross for at våre modeller gjennomgående har høy forklaringskraft sammenliknet med tidligere studier (e.g. Daljord (2003), Johansson & Nilsson (2002) og Weath & Smith (2008)), kan det likevel være store avvik mellom virkelig og estimert kostnad på individnivå. Tabell 17 demonstrerer dette for våre data.

Tabell 17:
Absolutte avvik mellom estimert og virkelig estimert kostnad i modell II

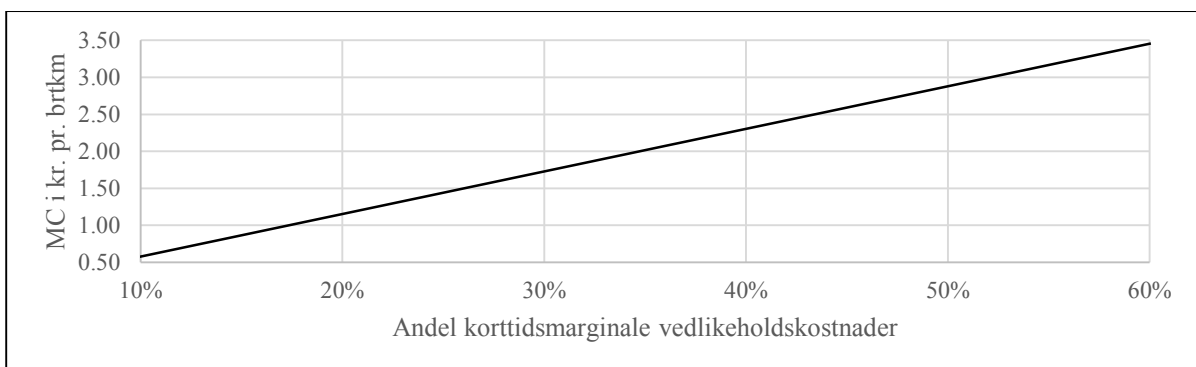
	Banesjefnivå	Strekingsnivå
1-R ²	10.11%	25.58%
Gjennomsnittlig avvik	10.83%	75.93%
Maksimalt avvik	25.19%	385.53%

Tabellen viser at differansen mellom 1 og R², som representerer den uforklarte variasjonen i kostnader, er relativt lav for både banesjef- og strekningsnivå. De maksimale og gjennomsnittlige absolutte avvikene er likevel langt høyere, særlig på strekningsnivå, der R² er lavere. Av uttrykket for beregning av marginalkostnaden i delkapittel 2.2.2, kan vi fastslå at ett prosents avvik i de estimerte vedlikeholdskostnadene, også fører til ett prosent avvik i de estimerte marginalkostnadene.

For vår del er avvikene spesielt bekymringsfulle av to årsaker: For det første indikerer normalitetstesten i tabell 13 og 14, samt histogrammene i appendiks 10.2. at forutsetningen om normalfordelte restledd er brutt, slik at avvikene ikke nettes mot hverandre i gjennomsnitt. For det andre estimerer vi vedlikeholdskostnader for andre observasjoner enn dem vi baserer modellen på. Som vi har sett, kan dette føre til at enkelte strekninger har karakteristika ved seg som fører til urealistisk høye eller lave kostnadsestimater, og vi har dessuten ikke mulighet til å kontrollere hvor mye vedlikeholdskostnadene avviker med. Feilestimering av vedlikeholdskostnadene utgjør derfor en betydelig risiko.

7.5.2 Usikkerhet i andel variable kostnader

Et velegnet mål for å vurdere usikkerheten knyttet til den variable andelen av totale vedlikeholdskostnader er standardavviket til produksjonsvariablenes koeffisienter (Keller, 2012). På grunn av relativt få observasjoner i våre datasett, er standardavvikene høye: Tabell 13 viser at et 90% konfidensintervall for produksjonsvariabelen for modell II går fra 0,18 til 0,48 på banesjefnivå og fra 0,20 til 0,57 på strekningsnivå. Figur 16 viser hvordan den gjennomsnittlige marginalkostnaden utvikler seg for et elastisitetsintervall mellom 0,1 og 0,6.



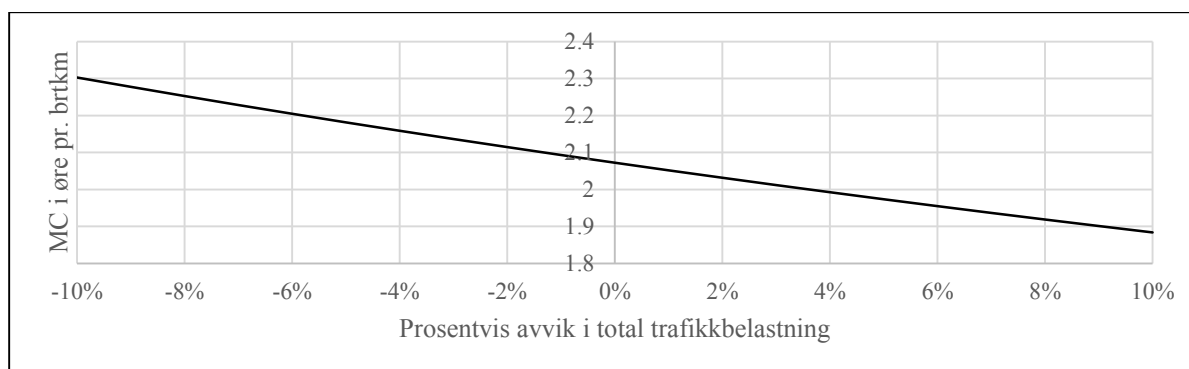
Figur 16: Marginalkostnadenes sensitivitet overfor andel korttidsmarginale vedlikeholdskostnader

De estimerte marginalkostnadene er relativt sensitive for endring: En variabel andel på rundt 20%, ville ha gitt en marginalkostnad på 1,15 øre pr. brtkm., mens en variabel andel på 50% gir 2,9 øre. pr. brtkm. Trolig vil et avvik i denne størrelsesordenen ha vesentlig betydning for hvordan togselskapene tilpasser sin produksjon. Avvik i andelen korttidsmarginale vedlikeholdskostnader på marginen utgjør dermed en betydelig risiko.

7.5.3 Usikkerhet i trafikkbelastning

Trafikkbelastningen lagt til grunn er oppgitt fra Jernbaneverket, og er generert fra innrapportert belastning fra togselskapene for 2014. Når det gjelder trafikkdataene for 2015, hviler disse på Jernbaneverkets forventede trafikkvekst, og det kan derfor tenkes at forventet vekst for trafikkbelastningen er større eller lavere enn den virkelige veksten for 2015. En for høy vekstrate vil føre til at estimerte marginalkostnader blir lavere, mens dersom en for lav vekstrate legges til grunn, vil det føre til at våre estimerte marginalkostnader blir skjeve i positiv retning når alt annet holdes likt.

Figur 17 viser konsekvensene av å legge en feilaktig vekstrate til grunn for 2015 gjennom å betrakte hvordan estimerte marginalkostnader endrer seg som følge av en prosentvis endring i trafikkbelastningen i 2015.



Figur 17: Marginalkostnadenes sensitivitet overfor endring i total trafikkbelastning

Av figur 17 fremgår det at de gjennomsnittlige marginalkostnadene er nokså sensitive for en økning eller reduksjon av trafikkbelastningen, målt i bruttotonnkilometer, i 2015 for et intervall -10% til +10%. Likevel, med tanke på at trafikkbelastningen som legges til grunn, er basert på virkelige trafikk tall for 2014, samt Jernbaneverkets beste estimer for trafikkvekst, fremstår det som lite sannsynlig at trafikkbelastningen for 2015 avviker i så stor grad som 10% i den ene eller den andre retningen.

7.5.4 Delkonklusjon

Usikkerheten i de estimerte marginalkostnadene kan trekkes tilbake til usikkerhet i enten estimerte vedlikeholdskostnader, andelen korttidvariable kostnader på marginen eller antatt trafikkbelastning.

Regresjonsdiagnostikk viser at de estimerte vedlikeholdskostnadene kan avvike vesentlig fra de virkelige. At forutsetningen om normalfordelte restledd er brutt, samt at vi estimerer vedlikeholdskostnader for andre observasjoner enn dem vi baserer modellen på, medfører at de estimerte vedlikeholdskostnadene har vesentlige usikkerhetsmomenter knyttet til seg. Andelen kortidsvariable kostnader på marginen har et 90% konfidensintervall mellom ca. 20% og 50%, hvilket også medfører vesentlig usikkerhet. Usikkerheten i trafikkbelastningen er trolig av mindre betydning.

8. Oppsummering og konklusjon

Vi har i denne utredningen sett på hvor høy kjøreveisavgiften i Norge bør være for ulike strekninger, gitt føringene som legges til grunn fra Samferdselsdepartementet gjennom melding til Stortinget 27 - «På rett spor», Fordelingsforskriften og EUs jernbanedirektiver.

Utredningen avgrensers seg til å behandle inndekning av vedlikeholdskostnader på kjøreveien etter prinsippet om korttidsmarginale kostnader ved bruk av økonometrisk metode. Som mål på vedlikeholdskostnader benyttes kostnadsdata for korrektivt og forebyggende vedlikehold i 2014 og 2015, mens vi ser bort fra kostnader til fornyelse, investering og drift, i tillegg til indirekte kostnader som oppstår i et høyere nivå i organisasjonshierarkiet enn hos de ulike banesjefene.

Gjennom en teoretisk drøfting av produksjonsprosessen i infrastrukturforetaket fremgår det at kostnadsfunksjonen kan beskrive forholdet mellom vedlikeholdskostnader, som representerer innsatsfaktorene, på den ene siden, og produksjonen, målt i trafikkbelastning, på den andre siden. Ved å estimere en kostnadsfunksjon forsøker vi dermed beregne *infrastrukturforetakets kostnader knyttet til vedlikeholdsbehovet som oppstår ved økt trafikkbelastning*. Ettersom vedlikeholdsetterslepet trolig stagnerte i 2014, beregner vi marginalkostnader basert på dette årets vedlikeholds nivå, mens trafikkbelastningen baseres på data for 2015

Til estimeringen av kostnadsfunksjonen benytter vi, i henhold til tidligere studier, en dobbellogaritmisk transformert modell der kostnadselastisitetene kan tolkes direkte ut fra produksjonsvariablenes koeffisienter. På grunn av et begrenset datagrunnlag har vi benyttet en partiell tilnærming for å undersøke effekten av å benytte forskjellige mål på trafikkbelastning i våre modeller ved å variere produksjonsvariablene. Estimeringen foregår ved å bruke Pooled OLS, og vi benytter både et datasett på banesjefnivå og et konstruert datasett på strekningsnivå bestående av henholdsvis 32 og 51 observasjoner. I modellene kontrollerer vi for en rekke karakteristika ved infrastrukturen, og konstruerer en hastighetsvariabel som en tilnærming for å fange opp kvalitetsforskjeller på kjøreveien, slik Daljord (2003) etterlyste i den forrige, og foreløpig eneste, økonometriske studien av vedlikeholdskostnader på det norske jernbanenettet.

Vi finner ikke statistisk grunnlag til å hevde at antall tog og gjennomsnittlig vekt pr. tog driver kostnader ulikt. Tilsvarende kan vi ikke forsvare at det er forskjell mellom person- og

godstrafikkens påvirkning på vedlikeholdskostnadene. På bakgrunn av estimering av modeller med kvadrat- og kubikkeledd fremkommer det at våre data ikke tilfredsstillende kravene som stilles for estimering av modeller med ikke-konstante kostnadselastisiteter. Vår foretrukne modell er derfor at en enkel Cobb-Douglas-spesifikasjon med bruttotonn som produksjonsvariabel, er best egnet til å forklare vedlikeholdskostnadene som togselskapene påfører infrastrukturforetaket gjennom økt trafikkbelastning. Modellens forklaringsgrad er på 90% for banesjefnivå og 74% på strekningsnivå, hvilket som anses som høyt sammenliknet med tidligere studier. Robusthetstestene indikerer imidlertid at modellene basert på de to aggregeringsnivåene er forventingsskjevne i hver sin retning. Vi velger derfor å benytte et gjennomsnitt av de to aggregeringsnivåene. Dette gir en kostnadselastisitet på 0,36, noe som er i det øvre sjiktet av majoriteten av tidligere studier. Variasjonen i kostnadselastisitetene mellom studier kan skyldes ulike kostnadsdefinisjoner, samt problematikk knyttet til at jernbanen ikke befinner seg i en likevektstilstand.

En fullstendig tabell med estimerte marginalkostnader for alle våre definerte banestrekninger finnes i figur 18 i appendiks 10.1. I gjennomsnitt utgjør satsen pr. brtkm. 2,07 øre, noe som tilsvarer 2,25 EUR pr. 1000 brtkm. Dette er høyere enn hva som er beregnet i sammenliknbare studier. Gitt at vår foretrukne modell er velspesifisert, og at dataene er valide, kan forskjellen mellom våre marginalkostnader og tidligere studier, utover forskjeller i kostnadselastisiteter, forklares gjennom lav trafikkbelastning og høyt kostnadsnivå. Den norske jernbanen har en lav trafikkbelastning sammenliknet med andre europeiske land, noe som indikerer at den trolig befinner seg på første halvdel av den velkjente U-formede enhetskostnadsfunksjonen. Et høyt kostnadsnivå kan skyldes høye faktorpriser, strenge sikkerhetsstandarder, brede kostnadsdefinisjoner, ineffektiviteter i forvaltningen, eller at kostnadsnivået som måles, ikke representerer en uendret standard på kjøreveien.

Gjennom å hensynta at kjøreveiens ulike bestanddeler kan ha ulike grad av kostnadsvariabilitet med hensyn på trafikkbelastning, finner vi at våre modeller trolig overvurderer kostnadsvariabiliteten til underbygning, signal- og teleanlegg og el-anlegg. Antar vi at disse i stedet følger variabiliteten vi finner fra en studie av Booz Allen Hamilton (2005), finner vi en vektet kostnadselastisitet på rundt 20%, hvilket tilsvarer satsen som Markussen & Pütz (2000) foreslår for den norske jernbanen, og som er ganske typisk for Europa. Tilhørende gjennomsnittlige sats blir 1,15 øre pr brtkm., eller 1,25 EUR pr. 1000 brtkm. Dette estimatet er i det øvre midtsjiktet sammenliknet med de øvrige resultatene fra Europa.

Den avsluttende analysen av usikkerhet i våre beregnede marginalkostnader viser at det er vesentlige usikkerhetsmomenter knyttet til de estimerte vedlikeholdskostnadene og kostnadselastisitetene, mens usikkerhet knyttet til trafikkbelastning trolig er av mindre betydning. Usikkerheten kan reduseres ved å sikre forventningsrette estimater gjennom bruk av Fixed Effects eller Random Effects for å unngå potensiell utelatt-variabel-problematikk. Dette fordrer et datasett som innehar en lengre tidsdimensjon enn hva som var tilgjengelig for denne utredningen. Usikkerheten i våre estimerte marginalkostnader ville også blitt vesentlig redusert dersom gode data var tilgjengelig på strekningsnivå. Et forslag til videre studier ville derfor være å gjennomføre tilsvarende beregninger for den det norske jernbanenettet med et fullverdig datasett. Dette forutsetter selvfølgelig at slike disaggregerte data er tilgjengelige fra infrastrukturforetakets side i fremtiden. Det kunne også ha vært interessant å foretatt aktivitetsbaserte analyser av hvordan trafikkbelastning påfører infrastrukturforetaket vedlikeholdskostnader.

Til tross for usikkerhetsmomentene nevnt over, har vi i denne utredningen fulgt forskningstradisjonene fra tidligere studier og oppnådd sammenliknbare resultater. Ettersom flere av disse studiene har lagt grunnlaget for faktiske kjøreveisavgifter, hevder vi at utredningen definitivt er *på sporet av kjøreveisavgiften*.

9. Litteraturliste

- Allison, P. (2012, 10 10). *When Can You Safely Ignore Multicollinearity?* Retrieved from Statical Horizons: <http://statisticalhorizons.com/multicollinearity>
- Andersson, M. (2006). Marginal Cost Pricing of Railway Infrastructure Operation, Maintenance and Renewal in Sweden: From Policy to Practice Through Existing Data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1-11.
- Andersson, M. (2007a). *Fixed Effects Estimation of Marginal Railway Infrastructure Costs in Sweden*. SWoPEc Working paper 2007: 11, Department of Transport Economics, VTI, Borlänge.
- Andersson, M. (2007b). *Marginal Railway Renewal Costs: A Survival Data Approach*. SWoPEc Working paper 2007: 10, Department of Transport Economics, VTI, Borlänge.
- Andersson, M. (2008). Marginal Railway Infrastructure Costs in a Dynamic Context. *European Journal of Transport Infrastructure Research*, 8(4), 268-286.
- Andersson, M. (2011). Marginal cost of railway infrastructure wear and tear for freight and passenger trains in Sweden. *European Transport n. 48 (2011)*, 3-23.
- Banverket. (2007). *Annual Report 2006*. Sverige, Borlänge: Banverket, Financial Division.
- Berndt, E. R., & Christensen, L. R. (1973). The translog function and the substitution of equipment, structures, and labor in US manufacturing 1929-68. *Journal of econometrics*, 1(1), 81-113.
- Bjørndal, M., Bjørnenak, T., & Johnsen, T. (2003). *Aktivitetsbasert kalkulasjon for regulerte tjenester*. Bergen: Samfunns- og næringslivsforskning (SNF).
- Bjørnenak, T. (2005). Kapittel 3 Produktregnskap. In T. Bjørnenak, D. M. Dalen, N.-H. M. von der Fehr, T. E. Olsen, & G. Torsvik, *På like vilkår? En analyse av konkurranse mellom offentlig og private foretak* (pp. 38-67). Oslo/Bergen: Skrifter fra Konkurransetilsynet 1-2005.

- Booz Allen Hamilton . (2005). *Review of Variable Usage and Electrification Asset Usage Charges: Final Report: Report to the Office of Rail Regulation*. London: TTCI UK.
- Box, G. E., & Cox, D. R. (1964). An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B* 26, 211–252.
- Cooper, R., & Kaplan, R. S. (1999). *The design of cost management systems: text and cases*. Prentice Hall.
- D’Agostino, R. B., & Belanger, A. J. (1990). A suggestion for using powerful and informative tests of normality. *American Statistician* 44, 316–321.
- Dalen, D. M., & Fehr, N.-H. M. (2003). *Økonomiske prinsipper for fastsettelse av priser for jernbaneinfrastruktur (Rapport 3/2003)*. Oslo: Stiftelsen Frischsenteret for samfunnsøkonomisk forskning.
- Daljord, Ø. (2003). *Marginalkostnader i Jernbanenettet (Rapport 2/2003)*. Oslo: Stiftelsen Frischsenteret for samfunnsøkonomisk forskning.
- European Commission. (1998). Fair payment for infrastructure use: a phased approach to a common transport infrastructure charging framework in the EU. *White Paper COM (98) 446 Final*.
- Eurostat. (2015, Desember). *Eurostat*. Retrieved from Railway freight transport statistics: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Railway_freight_transport_statistics
- Eurostat. (2016, Januar). *Eurostat*. Retrieved from Passenger transport statistics: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Passenger_transport_statistics
- Fordelingsforskriften. (2003). *Forskrift for fordeling av jernbaneinfrastrukturkapasitet og innkreving av avgifter for bruk av det nasjonale jernbanenettet*. Oslo: Samferdselsdepartementet.
- Gaudry, M., & Quinet, E. (2003). *Rail track wear-and-tear costs by traffic class in France*. Universite de Montreal, AJD-66.

-
- Goldberger, A. S. (1991). *A Course in Econometrics*. Harvard University Press, Cambridge MA.
- Hill, R. C., Griffiths, W. E., Lim, G. C., & Lim, M. A. (2011). *Principles of Econometrics (4. utg)*. John Wiley and Sons Ltd.
- Horngren, C. T., Datar, S. M., Foster, G., Rajan, M., & Ittner, C. (2009). *Cost accounting: A managerial emphasis (13. utgave)*. Pearson Prentice Hall.
- Jacobs, F. R., & Chase, R. B. (2013). *Operations and Supply Chain Management: The Core*. McGraw-Hill.
- Jarque, C. M., & Bera, A. K. (1987). A test for normality of observations and regression residuals. *International Statistical Review* 55 (2), 163–172.
- Jernbaneverket. (1999). *Lærebok i Jernbaneteknikk L533: Sporets komponenter*. Oslo: Jernbaneverket.
- Jernbaneverket. (2011). *Håndbok for Vedlikehold*. Oslo: Jernbaneverket.
- Jernbaneverket. (2012, Oktober). *Slik fungerer Jernbanen*. Retrieved from Jernbaneverket: http://www.jernbaneverket.no/contentassets/55a947e1337748beaee3839e8f34f806/slikfungererjernbanen_2012_web_oppsl.pdf
- Jernbaneverket. (2015a, Oktober 12). *Regjeringen: Jernbanereformen*. Retrieved from Utredning av brukerbetaling, kjøreveisavgift og ytelsesordning: http://jernbanereformen.regjeringen.no/files/2015/11/JBV_kj%C3%B8reveisavgift-brukerbetaling-og-ytelsesordning_12.10.2015.pdf
- Jernbaneverket. (2015b, Mai 28). *Jernbanen i tall*. Retrieved from Jernbaneverket: <http://www.jernbaneverket.no/Jernbanen/Jernbanen-i-tall/>
- Jernbaneverket. (2015c, mars 31). *Det første store vedlikeholdsåret*. Retrieved from <http://www.jernbaneverket.no/Nyheter/Nyhetsarkiv/2015/Det-forste-store-vedlikeholdsaret/>
- Jernbaneverket. (2016a, februar 10). *Prosjektoversikt*. Retrieved from <http://www.jernbaneverket.no/Prosjekter/prosjekter/>

-
- Jernbaneverket. (2016b, juni 7). *Ofofbanen*. Retrieved from <http://www.jernbaneverket.no/Jernbanen/Banene/Ofofbanen/>
- Johansson, P., & Nilsson, J.-E. (2002). Deliverable 10: Infrastructure Cost Case Studies, Annex 3: An Economic Analysis of Track Maintenance. *Funded by 5th Framework RTD Programme, Institute for Transport Studies, University of Leeds*.
- Johnson, G., Whittington, R., & Scholes, K. (2011). *Exploring Strategy (9. utg.)*. PrenticeHall.
- Keller, G. (2012). *Managerial Statistics (9. utg.)*. South-Western, Cengage Learning.
- Labro, E. (2006). Analytics of costing system design. In A. Bhimani, *Contemporary Issues in Management Accounting* (pp. 217-243). Oxford: Oxford University press. ISBN 9780199283361.
- Link, H., Herry, M., Sedlacek, N., Lindberg, G., Johansson, P., Nilsson, J.-E., . . . Kopsacheili, A. (2001). *Case Studies on Marginal Infrastructure Costs*. UNITE, University of Leeds, Leeds.
- Macario, R., Marques, C., Teixeira, P., Lopez, D., Rothengatter, W., & Herry, M. (2008). A renewed approach to rail infrastructure charges. *Paper from The Association for European Transport Conference held in Leeuwenhorst Conference Centre*. The Association for European Transport.
- Markussen, T. E., & Pütz, K. (2000). *Jernbanens kjørevegsavgift: Dokumentasjonsrapport*. Oslo: Transportøkonomisk Institutt (TØI).
- Marti, M., Neuenschwander, R., & Walker, P. (2008). *Deliverable 8, Rail Cost Allocation for Europe – Annex 1B – Track maintenance and renewal costs in Switzerland*. Bern: CATRIN (Cost Allocation of TRansport INfrastructure cost).
- Martín, J. C., & Voltes-Dorta, A. (2010). *The econometric estimation of airports' cost function*. Las Palmas: Transportation Research Part B.
- McFadden, D. L. (1978). Cost, Revenue and Profit Functions. In D. L. McFadden, & M. Fuss, *Production Economics: A dual Approach to Theory and Applications*. Amsterdam: North-Holland Publishing Company.

-
- Meld. St. 27. (2015). *På rett spor*. Oslo: Samferdelsdepartementet.
- Munduch, G., Pfister, A., Sögner, L., & Stiassny, A. (2002). *Estimating Marginal Costs for the Austrian Railway System*. Working Paper, 78, Vienna University of Economics and B.A., Department of Economics, Vienna.
- Network Rail. (2012, mars 27). *An Introduction to Switches & Crossings - Network Rail engineering education*. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=ZuR5QTlfOzk>
- NTP. (2014, Januar 6). *Vedlikeholdsetterslep: Analyse- og strategifase, Hovednotat*. Retrieved from Dokumentliste: http://www.ntp.dep.no/dokumentliste/_attachment/702943/binary/988564?_ts=14918a99ba8
- NTP. (2016, juni 7). *Grunnlagsdokument Nasjonal Transportplan (revidert 12. mai)*. Retrieved from Forslag til Nasjonal Transportplan: http://www.ntp.dep.no/Forside/_attachment/1355550/binary/1108800?_ts=154a5190910
- O'Brien, R. M. (2007). A Caution Regarding Rules of Thumb for Variance Inflation Factors. *Quality & Quantity: International Journal of Methodology*, 41: 673–690.
- Regjeringen. (2015a, oktober 8). *Veg og jernbane – styrket innsats til drift og vedlikehold*. Retrieved from Statsbudsjettet 2015: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/Veg-og-jernbane--styrket-innsats-til-drift-og-vedlikehold-/id2005545/>
- Regjeringen. (2015b, Oktober 17). *Regjeringen*. Retrieved from Mer gods på bane: https://www.regjeringen.no/no/tema/transport-og-kommunikasjon/jernbane_og_jernbanetransport/gods-pa-bane/id2344802/
- Regnskapsloven. (1998). *Lov om årsregnskap m.v.* Oslo: Finansdepartementet.
- Riksrevisjonen. (2016). *Riksrevisjonens undersøkelse av effektivitet i vedlikehold av jernbanenettet*. Oslo.
- Rogerson, P. (2001). *Statistical methods for geography*. Sage.

- Royston, P. (1991). General Statistics 3.2: Shapiro–Wilk and Shapiro–Francia tests. *Stata Technical Bulletin* 3, 19.
- SINTEF. (2015, Januar 6). *Økt aksellast gir effektiv jernbane* . Retrieved from SINTEF: <http://www.sintef.no/siste-nytt/okt-aksellast-gir-effektiv-jernbane/>
- SSB. (2016, Mars 15). *Statistisk Sentralbyrå*. Retrieved from Byggekostnadsindeks for veganlegg: <https://www.ssb.no/priser-og-prisindekser/statistikker/bkianl/kvartal>
- StataCorp. (2013). *Stata Manual Version 13*. Texas: Published by Stata Press, 2167-2171.
- StataCorp. (2016). *Stata Statistical Software: Release 14*. College Station, Tx.
- Statens Kartverk. (2012, April). *SOSI standard - Fagområde: Bane*. Retrieved from Kartverket: http://www.kartverket.no/globalassets/standard/sosi-standarden-del-1-og-2/sosi-standarden/sosi-standarden-4.5/sosi_bane_45_20120427.pdf
- Tervonen, J., & Idström, T. (2004). *Marginal Rail Infrastructure Costs in Finland 1997-2002, Publication A 6/2004*. Finnish Rail Administration, Helsinki.
- Wheat, P., & Smith, A. S. (2008). Assessing the Marginal Infrastructure Maintenance Wear and Tear Costs for Britain’s Railway Network. *Journal of Transport Economics and Policy*, 42(2), 189-224.
- Working Group 1. (1999). *Calculating Transport Infrastructure Costs: Final report of the expert advisors to the high level group on infrastructure charging (Working Group 1)*. Brussel, Belgia: High Level Group on Transport Infrastructure Charging.

10. Appendiks

10.1 Oversikt over marginalkostnader på strekninger

Tabell 18 gir en fullstendig oversikt over estimerte vedlikeholds- og marginalkostnader samt forventet inntekt for henholdsvis bred og smal tolkning av kjøreveisbegrep for alle banestrekninger.

Tabell 18:

Estimerede marginalkostnader, bruttotonnkilometer og forventet inntekt for banestrekninger

Banenr.	Strekning (1)	Banesjef (2)	Estimert kostnad (3)		Brtonnkilometer		Øre/brtkm		Bred tolkning (4)		Smal tolkning (5)	
							Øre	brtkm	Forv.	Inntekt	Forv.	Inntekt
0720, 0721	Fåberg (Lillehammer) - Dombås	Dovre- og Rauma banen	35,688,268	747,990,855	1.718	12,847,776	0.954	7,137,654				
1100, 1109	Dombås - Oppdal	Dovre- og Rauma banen	11,554,014	456,549,135	0.911	4,159,445	0.506	2,310,803				
1111	Oppdal - Støren	Dovre- og Rauma banen	14,478,433	339,704,783	1.534	5,212,236	0.852	2,895,687				
0800	Dombås - Åndalsnes	Dovre- og Rauma banen	12,245,406	112,451,310	3.920	4,408,346	2.178	2,449,081				
0910, 0920, 1000	Elverum - Røros	Røros- og Solør banen	18,599,129	255,369,023	2.622	6,695,686	1.457	3,719,826				
0900	Hamar - Elverum	Røros- og Solør banen	10,146,334	33,907,920	10.772	3,652,680	5.985	2,029,267				
1010, 1011	Røros - Støren	Røros- og Solør banen	5,863,273	70,464,049	2.996	2,110,778	1.664	1,172,655				
0400	Kongsvinger - Elverum	Røros- og Solør banen	21,170,971	118,440,000	6.435	7,621,550	3.575	4,234,194				
1210	Hell - Storlien	Trønderbanen	3,311,137	22,937,040	5.197	1,192,009	2.887	662,227				
1200	Trondheim - Hell (Stjørdal)	Trønderbanen	14,595,895	154,894,556	3.392	5,254,522	1.885	2,919,179				
1300	Hell (Stjørdal)- Steinkjer	Trønderbanen	11,888,658	420,365,846	1.018	4,279,917	0.566	2,377,732				
1120	Støren - Trondheim	Trønderbanen	29,273,444	244,951,770	4.302	10,538,440	2.390	5,854,689				
1310	Steinkjer - Grong	Nordlandsbanen Sør	9,232,982	163,098,225	2.038	3,323,874	1.132	1,846,596				
1320, 1321	Grong - Mosjøen	Nordlandsbanen Sør	18,496,559	322,726,275	2.063	6,658,761	1.146	3,699,312				
1330, 1340, 1341	Mosjøen - Fauske	Nordlandsbanen Sør / Nord	27,854,064	656,218,050	1.528	10,027,463	0.849	5,570,813				
1350	Fauske - Bodø	Nordlandsbanen Nord	6,697,676	151,291,800	1.594	2,411,164	0.885	1,339,535				
0710	Hamar - Fåberg (Lillehammer)	Dovrebanen Sør	15,828,113	428,620,290	1.329	5,698,121	0.739	3,165,623				
0700	Eidsvoll - Hamar	Dovrebanen Sør	24,764,122	428,620,290	2.080	8,915,084	1.156	4,952,824				
0230	Lillestrøm - Eidsvoll	Hoved- og Gardermobanen	17,592,592	423,050,141	1.497	6,333,333	0.832	3,518,518				
0270	Oslo S - Gardermoen (GMB)	Hoved- og Gardermobanen	56,393,949	1,214,983,366	1.671	20,301,821	0.928	11,278,790				
0280	Gardermoen - Eidsvoll (GMB)	Hoved- og Gardermobanen	6,800,905	111,716,010	2.192	2,448,326	1.218	1,360,181				
1400	Oslo S - Lysaker	Oslo	22,994,082	360,032,851	2.299	8,277,870	1.277	4,598,816				
1410	Lysaker - Asker	Oslo	7,023,863	105,365,837	2.400	2,528,591	1.333	1,404,773				
0210	Oslo S - Aker	Oslo	22,293,196	113,408,114	7.077	8,025,551	3.931	4,458,639				
0220	Aker - Lillestrøm	Oslo	18,945,634	195,598,186	3.487	6,820,428	1.937	3,789,127				
1460	Asker - Spikkestad	Oslo	3,875,108	95,958,173	1.454	1,395,039	0.808	775,022				
1414	Lysaker - Asker (Askerbanen)	Oslo	22,769,432	432,656,582	1.895	8,196,996	1.053	4,553,886				
1420	Asker - Gulsjøen (Drammen)	Vestfoldbanen	38,630,664	454,833,537	3.058	13,907,039	1.699	7,726,133				
1600	Gulsjøen (Drammen) - Hokksund	Vestfoldbanen	18,673,641	155,501,121	4.323	6,722,511	2.402	3,734,728				
1650	Hokksund - Kongsberg	Vestfoldbanen	8,944,284	195,482,720	1.647	3,219,942	0.915	1,788,857				
1510	Drammen - Larvik	Vestfoldbanen	21,694,686	315,209,948	2.478	7,810,087	1.377	4,338,937				

0610, 0620	Oslo S - Roa	Kongsvinger- og Gjøvikbanen	16,677,513	324,557,604	1.850	6,003,905	1.028	3,335,503
0630, 0640	Roa - Gjøvik	Kongsvinger- og Gjøvikbanen	9,750,821	132,340,005	2.652	3,510,296	1.474	1,950,164
0300	Lillestrøm - Kongsvinger	Kongsvinger- og Gjøvikbanen	32,357,570	485,156,301	2.401	11,648,725	1.334	6,471,514
0310	Kongsvinger - Riksgrensen	Kongsvinger- og Gjøvikbanen	8,844,760	156,955,680	2.029	3,184,114	1.127	1,768,952
0540	Oslo S - Ski	Østfoldbanen	22,617,470	407,767,676	1.997	8,142,289	1.109	4,523,494
0550	Ski - Moss	Østfoldbanen	20,666,877	279,422,787	2.663	7,440,076	1.479	4,133,375
0560	Moss - Sarpsborg	Østfoldbanen	17,390,437	228,030,259	2.745	6,260,557	1.525	3,478,087
0570	Sarpsborg - Kornsjø	Østfoldbanen	13,549,852	197,656,965	2.468	4,877,947	1.371	2,709,970
0580	Ski - Rakkestad (østre linje)	Østfoldbanen	9,184,289	121,779,225	2.715	3,306,344	1.508	1,836,858
2000, 2120	Nordagutu - Kristiansand	Sørlandsbanen Midt	39,315,542	830,907,000	1.703	14,153,595	0.946	7,863,108
2160	Nelaug - Arendal	Sørlandsbanen Midt	3,275,417	27,896,400	4.227	1,179,150	2.348	655,083
1660	Kongsberg - Nordagutu	Sørlandsbanen Øst	10,183,731	190,102,638	1.929	3,666,143	1.071	2,036,746
1820	Nordagutu - Skien	Sørlandsbanen Øst	2,572,890	38,516,220	2.405	926,240	1.336	514,578
1560	Eidanger - Brevik	Sørlandsbanen Øst	1,623,309	24,840,000	2.353	584,391	1.307	324,662
1830	Skien - Eidanger	Sørlandsbanen Øst	11,118,888	31,294,429	12.791	4,002,800	7.106	2,223,778
1520	Larvik - Eidanger	Sørlandsbanen Øst	2,443,424	43,330,748	2.030	879,633	1.128	488,685
1800	Hjukeboe - Tinnoset (Notodden)	Sørlandsbanen Øst	3,247,235	10,195,470	11.466	1,169,005	6.370	649,447
2130	Kristiansand - Egersund	Sørlandsbanen Vest	22,025,113	682,968,900	1.161	7,929,041	0.645	4,405,023
2220	Egersund - Stavanger	Sørlandsbanen Vest	25,227,411	632,727,471	1.435	9,081,868	0.797	5,045,482
0670	Roa - Hønefoss	Bergensbanen Øst	11,481,419	53,760,000	7.688	4,133,311	4.271	2,296,284
1680, 2301, 2310	Hønefoss - Haugastøl (Geilo)	Bergensbanen Øst	25,859,140	665,718,488	1.398	9,309,291	0.777	5,171,828
1610	Hokksund - Hønefoss	Bergensbanen Øst	8,465,018	129,824,775	2.347	3,047,406	1.304	1,693,004
2311, 2312, 2320	Haugastøl (Geilo) - Voss	Bergensbanen Vest	21,202,711	537,386,535	1.420	7,632,976	0.789	4,240,542
2330, 2340	Voss - Bergen	Bergensbanen Vest	22,488,599	522,016,868	1.551	8,095,896	0.862	4,497,720
2313	Myrdal - Flåm	Bergensbanen Vest	5,410,198	16,992,450	11.462	1,947,671	6.368	1,082,040
Sum / Vektet gjennomsnitt			925,300,151	16,074,542,693	2.072	333,108,054	1.151	185,060,030

(1) Lokasjoner som brukes er oppgitt i infrastruktur- og bruksdataene og som brukes som substitutt for lokasjonen i kostnadsdataene står i parentes. Uthevet parentes angir linje der det kan være tvil.

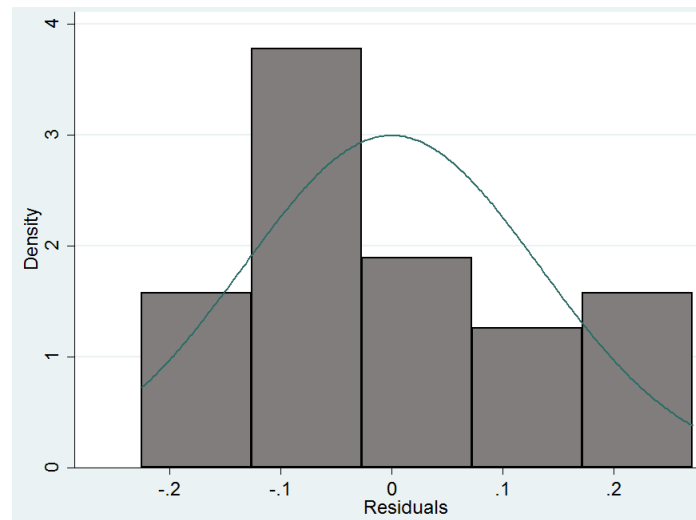
(2) Banesjefområde er definert etter hvilken banesjef som har registrert majoriteten av kostnader på strekningen. Dette kan avvike fra hva Jernbaneverket definerer.

(3) Estimert kostnad er funnet på basis av enkel cobb-douglas på banesjefnivå (Modell II B) justert for overvurdering av stordriftsfordeler gjennom multiplikasjon med forholdstall mellom sum av estimerte kostnader før justering og sum av kostnader på banesjefnivå.

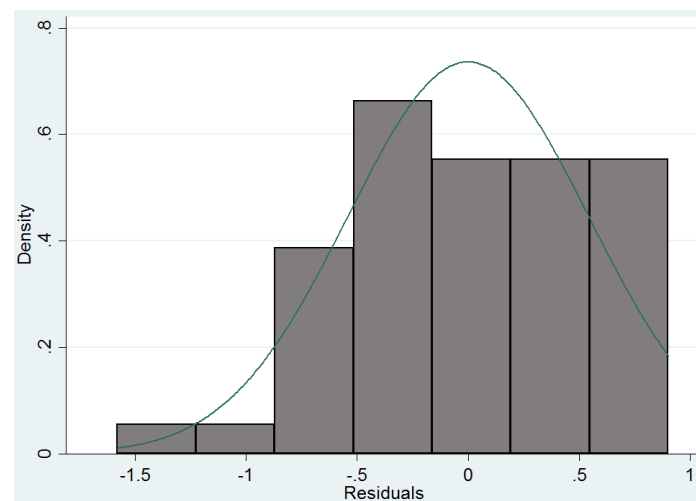
(4) Bred tolkning av kjøreveien antar en kostnadselastisitet for kjøreveien sett under ett på 36%

(5) Smal tolkning av kjøreveien antar en vektet kostnadselastisitet for kjøreveiens ulike bestanddeler på 20%

10.2 Histogram for residualer i modell II



Figur 18: Histogram for residualer i modell II på banesjefnivå



Figur 19: Histogram for residualer i modell II på strekningsnivå

10.3 Saldolister

Tabell 19: Saldoliste for driftskostnader

Administrative kostnader	Markedsføring
Annen administrasjon	Maskiner
Anskaffelse og innkjøp	Maskinskade (Bane Transport)
Arbeid for eksterne	Medarbeidersamtaler
Banedrift	Måleverdihåndtering
Butikk	Naturskader - utbedring (ras mv) - Elkraft
Daglig drift, Jernbaneskolen	Naturskader - utbedring (ras mv) - Linjen
Dokumenthåndtering, administrativt og teknisk	Naturskader - utbedring (ras mv) - Signal
Drift av tekniske installasjoner	Naturskader - utbedring (ras mv) - tverrfaglig
Drift grøntanlegg	NIFS
Drift, Bane Transport	Offentlige gebyrer og avgifter
Drift, eiendom	Operativ drift
Drift, lager	Operativ planlegging/VPL
Drift, stasjoner	Oppgradering av systemer
Driftskostnader (Bane Nett)	Opplæring av toglederaspiranter
Driftsoppgaver	Opplæring Elkraft
Ekstraordinært maskinvedlikehold	Opplæring i Trafikkregler
Energihandel	Oppussing av lokaler
Entrepriser infrastrukturbygging	Ordinært maskinvedlikehold
ENØK-Tiltak	Planer og utredninger
Eress forum	P-oblater
Fagforeningsarbeid	Produksjonsteknisk Telerom/innplassering
Felleskostnader	Påkjørsel dyr
FoU	Renhold
Fravær	Repetisjonskurs for montører, Jernbaneskolen
Generell planlegging	Repetisjonskurs, Jernbaneskolen
Grunnkurs for montører, Jernbaneskolen	Saksbehandling, rådgivning og forvaltning
Grunnoppfølging, Jernbaneskolen	Sam-trafikk/Roaming
GSM-R Teknisk Infrastruktur	Seminar, konferanser, møter
Helse, miljø og sikkerhet (HMS) og Vernetjeneste	Service, støtte, administrativ drift, IKT
HR personal	Sikkerhet- og kvalitetsarbeid
Husleie selvkost	Snø- og isrydding (kjørevei)
Instruktørvirksomhet Norsk Jernbaneskole	Standard for kommunikasjon
Is og snørydding, publikumsarealer	Stasjonsdrift
Is- og snørydding, publikumsarealer	Strategisk planlegging/langtidsplanlegging
Jernbanefagavdeling, Jernbaneskolen	Strøm
Kjørevegsavgift	Supportavtaler
Kompetanse, egenutvikling	Systemadministrasjon og vedlikehold
Kompetanse, opplæring av andre	Teleteknisk infrastruktur
Kontinuitetsarbeid i GSM-R nettstrukturen	Terminaldrift
Kontinuitetsarbeid i KV IKT infrastrukturen	Tiltak etter driftsuhell - Signal
Kontinuitetsarbeid i transmisjonsnett	Tiltak etter driftsuhell (avsporinger mv) - Elkraft
Kunderelatert arbeid	Tiltak etter driftsuhell (avsporinger mv) - Linjen
Kursutvikling, Jernbaneskolen	Tiltak etter driftsuhell (avsporinger mv) - tverrfaglig
Lagerdrift (Bane Nett)	Trafikk avdeling, Jernbaneskolen
Ledelse	Transmisjonsleie
Lokomotivførerutdanning, Jernbaneskolen	Utvikling av nye løsninger
Læremiddelutvikling, Jernbaneskolen	Vakthold
Læringer	Vårfeiling
Lønn, regnskap, økonomistyring	Øvrige driftsrelaterte aktiviteter

Tabell 20: Saldoliste for forebyggende vedlikehold

Arbeidsplasspakking	Plaskeparti
Avskjerming av master	Rengjøring
Ballastprofilering	Rensk av grøfter
Ballastsupplering	Rensk av stikkrenner
Belysning	Revisjon av sporfeltreleer
Betongarbeid	Revisjon av sporvekseldrivmaskiner
Bruarbeid - reparasjon av mindre feil	Skinner - stikkbytte
Bytte mellomlegg og sideisolator	Skinnesliping og skinnehøvling
Dokumentasjon	Skinnesmøring
Fjell- og tunnelrensk	Skinnespyling
Fjellsikring	Skogrydding
Fordelingsskap	Snøoverbygg
Forebyggende aktiviteter på stasjoner	Sporutbedring
Forebyggende vedlikehold generelt	Sporvekseljustering
Generisk kontroll	Sporvekselsliping
Generiske arbeidsrutiner GSM-R	Sporvekselvarme
Generiske arbeidsrutiner Informasjonsanlegg	Sporveksler - komponentbytte
Generiske arbeidsrutiner Transmisjonsanlegg	Sviller - stikkbytte
Gjennomgående sporjustering	Tegningsretting Signal
Gjerding	Togvarmeanlegg
Kabelpåvisning	Trafikkstyringssentral
KL-brytere - utskifting	Transformatorer utbedring
Komponentbytte Elkraft	Ultralydkontroll
Kontroll ihht generiske arbeidsrutiner	Utskiftning av isolerte skjøter
Kulturminnevern	Varmekabler
Maling	Vedlikehold - lokaler og bygninger
Master - stikkbytte	Vedlikehold av isolerte skjøter
Målevognkjøring geometri	Vegetasjonstiltak
Nøytralisering	Veiutbedring, grøfter og stikkrenner
Oljeprøver, regenerering og oljerensning	Øvrig forebyggende vedlikehold
Omformerstasjoner utbedring	Åpne/laskede skjøter

Tabell 21: Saldoliste for korrektivt vedlikehold

Akutt feilretting GSM-R	Beredskap, Elkraft KL (høyspenning)
Akutt feilretting Kabelanlegg	Beredskap, Linjen - Overbygning
Akutt feilretting KV-IKT/Informasjonsanlegg	Beredskap, Linjen - Underbygning
Akutt feilretting MIT	Beredskap, Signal
Akutt feilretting Signal/ETCS/CTC etc	Beredskap, Tele
Akutt feilretting Transmisjon	Korrektivt vedlikehold generelt
Akutt feilretting øvrig teleanlegg	KV endring byggt teknisk felt
Akutt feilretting, Elkraft (lavspenning)	Tracemålinger GSM-R
Akutt feilretting, Elkraft KL (høyspenning)	Utbedring av hærverk
Akutt feilretting, Linjen - Overbygning	Utsatt korrektivt vedlikehold, Elkraft (lavspenning)
Akutt feilretting, Linjen - Underbygning	Utsatt korrektivt vedlikehold, Elkraft KL (høyspenning)
Akutt feilretting, Signal	Utsatt korrektivt vedlikehold, Linjen - Overbygning
Akutt feilretting, Tele	Utsatt korrektivt vedlikehold, Linjen - Underbygning
Beredskap (Bane Nett)	Utsatt korrektivt vedlikehold, Signal
Beredskap, Elkraft (lavspenning)	Utsatt korrektivt vedlikehold, Tele

Tabell 22: Saldoliste for fornyelse

Akseltellere - Fornyelse	Publikumsområder, tekniske installasjoner
Arealbelysning - Fornyelse	Reisetid
Ballastrens	Signalkabler - Fornyelse
Bruer – generell renovering	Skinnefornyelse
Bruer - sandblåsing og maling	Snøoverbygg, snøskjermer - fornyelse
Bruer - utskifting	Sporfornyelse - samtidig skinne- og svillebytte
Bygging	Sporveksselfornyelse
Dokumentasjon	Strekingsvis fornyelse av isolerte skjøter
Dreneringsanlegg - fornyelse	Strekingsvis nøytralisering
Egne driftsbygninger - fornyelse	Støttemurer - fornyelse
Fjell- og rassikring	Svillefornyelse - bruer
Fjernstyring- og betjeningsanlegg - Fornyelse	Svillefornyelse - fri linje
Forberedelse ballastrens	Svillefornyelse - sporveksler
Fornyelse av plattformer og dekker	Svillefornyelse - tunneler
Fornyelse generelt	Telefon- og datakommunikasjonsanlegg - togfremføring
Føringsveger	Telekabelanlegg
Gjerder - systematisk fornyelse	Transformatorstasjoner - Fornyelse
Grunnerverv	Transmisjonsanlegg og -systemer for togfremføring
Innkjøp/lageruttak	Tunnelsikring - brann og vann
Innvendig sikringsanlegg - Fornyelse	Utvending signal-/sikringsanlegg - Fornyelse
Jord- / overspenningvern - systematisk fornyelse	Veisikringsanlegg - Fornyelse
Kontrollanlegg og omformerstasjoner - Fornyelse	Verkstedfornyelser (Bane Transport)
Maskinfornyelser (Bane Transport)	Øvrig fornyelse - Elkraft
Master- / utliggerskifte - systematisk fornyelse	Øvrig fornyelse - Overbygning
Overlevering/mottak	Øvrig fornyelse - Signal
Planlegging	Øvrig fornyelse - Stasjoner
Prosjektering	Øvrig fornyelse - Tele
Prosjektorganisasjon	Øvrig fornyelse - Underbygning
Publikumsinformasjonsanlegg	Øvrige fornyelser

10.4 R^2 og justert R^2

Den totale variasjonen i dataene (SST) kan dekomponeres i en forklart del (SSE) og en uforklart del (SSR):

$$SST = SSE + SSR$$

Forklaringskraften til en modell er dermed gitt ved forholdet mellom forklart variasjon og total variasjon:

$$R^2 = \frac{SSE}{SST} = \frac{SST - SSR}{SST} = 1 - \frac{SSR}{SST}$$

$$R_{justert}^2 = 1 - \frac{(1 - R^2)(n - 1)}{n - k - 1}$$

Hvor n er antall observasjoner og k antall parametere som estimert.

10.5 Testobservatorer til relevante tester

10.5.1 T-test

T-testen undersøker hvorvidt en koeffisient er signifikant forskjellig fra null:

$$H_0: \beta_k = 0$$

$$H_1: \beta_k \neq 0$$

Gitt at forutsetningene for OLS holder, har vi at

$$E(\hat{\beta}_1) = \beta_1$$

og

$$var(\hat{\beta}_1) = \frac{\sigma^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Videre følger det da at

$$\frac{\hat{\beta}_1 - \beta_1}{\sqrt{\frac{\sigma^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}} = \frac{\hat{\beta}_1 - \beta_1}{\frac{\sigma}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}} \sim N(0,1)$$

Ettersom standardavviket, σ , er ukjent og må estimeres, bruker vi derfor følgende testobservator:

$$t = \frac{\hat{\beta}_1 - \beta_1}{\frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}} = \frac{\hat{\beta}_1 - \beta_1}{se(\hat{\beta}_1)} \sim t_{n-2}$$

Testobservatoren er t-fordelt, og vi benytter derfor t-fordelingen²⁹ for å finne kritisk verdi. Hvis testobservatoren er større en kritisk verdi forkastes nullhypotesen om at koeffisient er lik null.

10.5.2 Wald-test

Parameterlikhet testes ved Wald-testen:

$$H_0: \beta_1 = \beta_2$$

$$H_1: \beta_1 \neq \beta_2$$

Testobservatoren er gitt ved:

$$F_{1, N-K-1} = \left(\frac{(b_1 - b_2) - (\beta_1 - \beta_2)}{\sqrt{s_{b_1}^2 + s_{b_2}^2 - 2s_{b_1, b_2}}} \right)^2 = \left(\frac{(b_1 - b_2)}{\sqrt{s_{b_1}^2 + s_{b_2}^2 - 2s_{b_1, b_2}}} \right)^2$$

Hvor b-ene presenterer observerte verdier og β -ene er koeffisienter. Siden nullhypotesen er ekvivalent med at forskjellen mellom koeffisientene er lik null kan uttrykket forenkles som vist ovenfor. Testobservatorenes nevner tilsvare det estimerte standardavviket til estimatoren.

²⁹ Merk at «sentralgrenseteoremet» sier at dersom antall observasjoner er tilstrekkelig mange vil testobservatoren være tilnærmet normalfordelt. I slike tilfeller kan normalfordelingen benyttes for å finne kritisk verdi.

10.5.3 Hausman-test

H_0 : Begge estimatorene er konsistente og RE-estimatoren er effisient

H_1 : RE-estimatoren er ikke konsistent

Testobservator er gitt ved:

$$W = \frac{(\hat{\beta}^{FE} - \hat{\beta}^{RE})^2}{Var(\hat{\beta}^{RE}) - Var(\hat{\beta}^{FE})} \sim \chi^2$$

der $\hat{\beta}^{FE}$ er en konsistent estimator (FE-estimatoren) og $\hat{\beta}^{RE}$ er en mer effisient estimator (RE-estimatoren).

Testobservatoren, W , er kji-kvadratfordelt med antall frihetsgrader lik antall forklaringsvariabler. En lav W innebærer at forskjellen mellom RE-estimatoren og den konsistente RE-estimatoren er liten i forhold til hvor mye mindre varians RE-estimatoren har. Kan ikke nullhypotesen forkastes vil det være best å benytte RE-estimatoren ettersom denne er effisient og tilnærmet konsistent. Dersom RE-estimatoren er tilnærmet konsistent innebærer det at Pooled OLS-estimatoren også vil være tilnærmet konsistent (Torres-Reyna, 2007).

10.6 Robusthetstesting

10.6.1 Multikollinearitet

Variance Inflation Factor (VIF) gir et mål på hvor mye variansen til en koeffisient har økt som følge av multikollinearitet:

$$VIF = \frac{1}{(1 - R^2)}$$

R^2 er forklaringskraften til en regresjonsmodell hvor en av forklaringsvariablene i vår opprinnelige modell settes som avhengigvariabel og de resterende forklaringsvariablene settes som uavhengige variabler. Dersom en variabel i stor grad kan forklares ved de resterende forklaringsvariablene vil det resultere i en høy VIF.

10.6.2 Normalitetstesting

Vi presenterer her Jarque-Bera testen (1987) som benyttes som et utgangspunkt for standardtesten for normalitet i Stata14. Selve testen i Stata14 inneholder i tillegg justeringer av D'Agostino & Belanger (1990) og Royston (1991), og for en mer detaljert gjennomgang av disse justeringene viser vi til StataCorp. (2013).

Jarque-Bera testen undersøker kurtositet og skjevhet for å avgjøre hvorvidt restleddene er normalfordelt. Nullhypotesen er at restleddene er normalfordelt.

Testobservatoren er gitt ved:

$$JB = \frac{n - k + 1}{6} \left(S^2 + \frac{1}{4} (C - 3)^2 \right)$$

Hvor S er utvalgets skjevhet, C er utvalgets kurtositet, k er antall koeffisienter:

$$S = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right)^{3/2}}$$

$$C = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right)^2}$$

Hvor x -ene representerer restledd og \bar{x} er utvalgets gjennomsnittlige verdi.

Dersom nullhypotesen kan forkastes innebærer det at restleddene ikke kan sies å følge en normalfordeling.

10.7 Utledning av Cobb-Douglas spesifikasjonen

Daljord (2003) tok utgangspunkt i Johansson og Nilssons (2002) dobbel-log³⁰ modell for å forklare hvordan konstante faktorpriser kan forenkle modellen. Johansson og Nilssons opprinnelige modell:

$$c_{it} = \alpha + \beta_v v_i + \beta_u u_{it} + \beta_{vv} v_i^2 + \beta_{uu} u_{it}^2 + \beta_{vu} v_i u_{it} + \sum_{k=1}^K \beta_k p_{kt} \\ + \sum_{k=1}^K \gamma_{kv} v_i p_{kt} + \sum_{k=1}^K \gamma_{ku} u_{it} p_{kt} + \frac{1}{2} \left[\sum_{k=1}^K \sum_{h=1}^K \gamma_{kh} p_{kt} p_{ht} \right] + \beta_s s_{it} + \varepsilon$$

Vedlikeholdskostnadene c_{it} for banesjefområdet i på tidspunkt t fremgår som en funksjon av bruk målt i bruttotonn u , lengdekilometer v , øvrige kontrollvariabler s og faktorpriser p . Ved å anta at faktorprisene er konstante kan modellen uttrykkes som følger:

$$c_{it} = \alpha^* + \beta_v^* v_i + \beta_u^* u_{it} + \beta_{vv} v_i^2 + \beta_{uu} u_{it}^2 + \beta_{vu} v_i u_{it} + \beta_s s_{it} + \varepsilon$$

der

$$\alpha^* = \alpha + \frac{1}{2} \left[\sum_{k=1}^K \sum_{h=1}^K \gamma_{kh} p_{kt} p_{ht} \right] + \sum_{k=1}^K \beta_k p_{kt}$$

$$\beta_v^* = \beta_v + \sum_{k=1}^K \gamma_{kv} v_i p_{kt}$$

$$\beta_u^* = \beta_u + \sum_{k=1}^K \gamma_{ku} u_{it} p_{kt}$$

Ved å sette høyere-ordens leddene og interaksjonsleddet i modellen lik null ender vi opp med Cobb-Douglas spesifikasjonen:

$$\ln C_{it} = \alpha + \beta_v v_i + \beta_u u_{it} + \beta_s s_{it} + \varepsilon$$

Denne modellen ligner på vår generelle modell, men skiller seg ut ved at samtlige av kontrollvariablene transformeres.

³⁰ for enkelhetsskyld benyttes små bokstaver for illustrere dette. For eksempel er vedlikeholdskostnaden C_{it} og i modellen er $c = \ln(C_{it})$.