


Estimering av kostnadsdrivere for vedlikehold ved jernbanen



Estimering av kostnadsdrivere for vedlikehold på jernbanen

		08.2016	Mari Sandvik og Haakon Gjersum	Kontr. av	Godkj. av
Dokumentasjonsrapport	10 sider				
		Prosjekt			
		Saks.ref			
	Produsent				
	Prod. Dok. Nr.				
	Erstatning for				
	Erstattet av				
 Jernbaneverket		Dokument nr.		Rev.	

1.1 FORORD

Formålet med denne rapporten, i sammenheng med oppdatering av nyttekost-verktøyet Merklin, er å dokumentere og oppsummere arbeidet med å estimere effekten til de forskjellige attributtene ved jernbanen på vedlikeholdskostnadene. Rapporten inneholder en kort beskrivelse av datagrunnlaget samt arbeidet som er gjort med å utbedre dette. Videre forklares kort valg av modell og antagelser. Resultatene kan brukes som en del av nyttekostanalyser for bygging og nedlegging av jernbanestrekninger og/eller enkeltkomponenter på jernbanen.

Tidligere har vedlikeholdskostnader blitt inkludert i analysene ut i fra beregninger av slitasje per bruttotonnm og en antagelse om andelen kortidsmarginale kostnader av totale kostnader. Grunnberegningene var basert på gjennomsnittlig historisk trafikk og historiske løpende kostnader i perioden 2010-2012. Beregningene forutsatte at de kortidsmarginale kostnadene utgjør 20 % av totalkostnadene. I tillegg ble det korrigert med SSBs kostnadsindeks for vedlikehold av vei og endte opp med et estimat på 0,0201 nominelle 2012-kroner per bruttotonnm. I denne analysen kommer vi frem til et estimat på 0,0200 nominelle 2012-kroner per bruttotonnm.

Innholdsfortegnelse

1.1 FORORD	
2 Kostnadsmodellen	1
2.1 DATA	1
2.1.1 Variablene	1
2.1.2 antagelser og verktøy	2
2.2 USIKKERHET I ANALYSEN	3
2.3 RESULTATER	3
2.3.1 Forklaringskraft	3
2.3.2 Stasjoner og Sporvekslere	3
2.3.3 Daglinje	4
2.3.4 Diesel og elektrisk	4
2.3.5 Bruttotonnkm	4
2.3.6 Bro og Tunell	4
2.3.7 Hastighet	4
2.3.8 Kurvatur og dobbeltspor	4
2.3.9 stikkprøver	5
3 Oppsummering av satsene til Merklin	6
4 Kilder	7
5 Vedlegg	8
5.1 VEDLEGG 1; KALKULATORISK FORDELING PÅ STREKNING	8
5.2 VEDLEGG 2; REGRESJONSRESULTATER	9
5.3 VEDLEGG 3; UTVIKLING KOSTNADSIKKEDEKS DRIFT OG VEDLIKEHOLD VEG 2005-2015	10

2 Kostnadsmodellen

2.1 DATA

Utgangspunktet for datagrunnlaget er et paneldatasett med observasjoner for 52 geografiske områder over årene 2005 til 2011. De geografiske områdene er baneområder med tresifret baneområdenummer. Vedlikeholdskostnadene er oppgitt i løpende priser.

2.1.1 VARIABLENE

Fra Banedata har vi i tillegg supplert datasettet med følgende data:

Lengde per strekning(2012-2014), Sporlengde (2012-2014), Totale-,korrektive-, fornyende og forebyggende kostnader(2012-2014), Dieseldummy (2005-2014), Tunell km(2005-2014), Bro km(2005-2014), Dobbeltspor km(2005-2014) Og Antall stasjoner(2005-2014). Tabell 1 viser og forklarer variablene:

Tabell 1: Variabler og forklaringer

Variabelnavn	Forklaring	Benevning	Brukt i Modellen
<i>Baneomr</i>	3-sifret baneomr.kode f.eks 110		Individ-dimensjonen
<i>Year</i>	År 2005-2014	År	Tids-dimensjonen
<i>Daglinje</i>	Lengde per strekning utenom tunell	km	x
<i>antallstasjoner</i>	Antallet stasjoner/holdeplasser med og uten togstopp på baneområdet.	Stasjon	x
<i>Bruttotonnkm</i>	Sum Bruttotonn utkjørt per år	BTkm	x
<i>Dieseldummy</i>	Dummyvariabel=1 dersom diesel, =0 ellers		x
<i>Sporveksler</i>	Antall sporvekslere	Sporveksler	x
<i>Tuneller</i>	Antall km tunell på baneområdet	KM	x
<i>Snitthastighet</i>	Gjennomsnittlig hastighet iht skiltet hastighet	Km/t	x
<i>Kurvatur</i>	Meter kurvatur på baneområdet	Meter	x
<i>Bro</i>	Antall km med bro på baneområdet. Bro definert over 2,5m.	Km	x
<i>Dobbeltspor</i>	Antall km med dobbeltspor på baneområdet	Km	x
<i>Trend</i>	Trendvariabel	År	x
<i>KV_FV_totalt</i>	Kun korrektivt og forebyggende vedlikehold i løpende kr(i 1000)	Kr	x

2.1.2 ANTAGELSER OG VERKTØY

Estimering av de ulike komponentenes effekt på vedlikeholdskostnader er gjort som en regresjonsanalyse med minimering av kvadrerte restledd i STATA. Foruten forskjellen mellom dieselbaner og elektrifiserte er det antatt felles konstantledd slik at en bane med bestemte attributter og trafikkmengde vil ha lik vedlikeholdskostnad som en annen bane med like attributter og trafikkmengde.

Av-/tilkobling av strøm ved hvert vedlikeholdsarbeid og de ekstra elektriske komponentene som må vedlikeholdes ved elektrifisering, er indirekte og direkte årsaker til å inkludere forskjellige konstantledd for dieselbaner og elektrifiserte.

Vedlikeholdskostnadene har en omtrentlig konstant vekstrate slik at det er lagt til en linær tidstrend til log-modellen.

I den endelige modellen er korrektivt (KV) og forebyggende (FV) vedlikehold brukt som venstreside variabel. Den endelige modellen er en log-level modell som viser koeffisientene som semi-elastisiteter:

$$\text{Log}(KV + FV)_{it} = \alpha + \beta_1 \text{Sporveksler}_{it} + \beta_2 \text{Lengdeperstrekning}_{it} + \dots + U_{it}$$

Det er antatt ingen tidsvariasjon i datagrunnlaget for antall tunellkilometer, stasjoner eller sporvekslere per baneområde over de aktuelle årene. Vi har ekskludert tre grupper fra observasjonene ut i fra datasettet og anbefaling fra blant andre Odd Erik Berg ved Vedlikehold i Jernbaneverket; *Oslo-området prioritet 1, Oslo-området prioritet 4 og Ofotbanen*. De utelatte områdene anses som mindre representative for nivåene ellers i landet med tanke på trafikkmengde og infrastruktur samtidig som at Ofotbanen ikke er tilknyttet resten av nettverket.

For at estimatene skal representere marginalkostnadene på kort sikt ved endringer i trafikk- eller attributtvariabler er fornyelseskostnader utelatt slik at vi kun ser på korrektivt(KV) og Forebyggende(FV) vedlikehold.

2.2 USIKKERHET I ANALYSEN

En kilde til usikkerhet i datagrunnlaget er registreringen av kostnader i Agresso. En del av kostnadene fordeles kalkulatorisk ut i fra forholdstallene for den andelen som er korrekt fordelt. Det kan for eksempel være et baneområde hvor 30% av vedlikeholdskostnadene er fordelt geografisk riktig og de resterende 70% av vedlikeholdskostnadene er fordelt med samme forholdstall. Bildene vedlagt under [5.1](#) forklarer nærmere hvordan denne kalkulatoriske fordelingen på strekning fungerer.

2.3 RESULTATER

I resultatene evalueres koeffisientene fra modellen ut i fra gjennomsnittet. Dette gir satser som viser hvordan en marginal endring i variabel X i gjennomsnitt påvirker vedlikeholdskostnadene over tidsperioden 2005-2014. Videre er koeffisientene også evaluert ut i fra gjennomsnittet til de geografiske områdene i 2011 da 2011 er det seneste året med færrest manglende observasjoner. Dette gir satser som viser hvor stor påvirkningen av variabel X var på vedlikeholdskostnadene i nominelle 2011 kroner.

2.3.1 FORKLARINGSKRAFT

Uten ekstremverdier og noe manglende data er det 321 observasjoner til grunn for modellen. Modellen forklarer om lag 63 prosent av den totale variasjonen (adjustet r-squared). I følge modellen er estimert vedlikeholdskostnad på en gjennomsnittlig bane på 27,9 millioner kroner for årene 2005 til 2014, sammenliknet på datasettets faktiske gjennomsnitt på 21,2 millioner kroner.

2.3.2 STASJONER OG SPORVEKSLERE

Resultatene viser at å øke antall stasjoner på en strekning marginalt, gir en økning på 2,34 prosent i vedlikeholdskostnader i året. Noe som, evaluert i gjennomsnittet, tilsvarer en økning i vedlikeholdskostnadene på omlag 497 000 kroner i året ved å øke antall stasjoner med én stasjon, alt annet likt. Evaluert med gjennomsnitt i år 2011 vil en økning på én stasjon medføre en økning i årlig vedlikeholdskostnader på 573 000 nominelle kroner.

En marginal endring i antall sporveksler på strekningen vil øke vedlikeholdskostnadene med 2,51 prosent av det opprinnelige kostnadsnivået i året. Dette gir økt vedlikeholdskostnad på 533 000 nominelle kroner per år evaluert i gjennomsnitt for årlige vedlikeholdskostnader ved å øke antall sporveksler med én enhet, alt annet likt. Evaluert med gjennomsnitt i 2011 vil en økning på én sporveksel medføre en økning i årlig vedlikeholdskostnader på 615 000 nominelle kroner. Sporvekslene er utsatt for spesiell slitasje og da særlig krysspiss og tungeanordning. Men også befestigelse, sviller og ballast er mer utsatt enn på fri linje siden langsgående trykk og strekkrefter fra to spor blir overført til ett spor. På grunn av flere bevegelige og spesielle deler som er mer utsatt for slitasje kan vedlikeholds- og driftsoperasjoner som er uproblematisk på fri linje fort skade komponentene i en sporveksel. Sporveksler er også en sporkomponent som fører til brå endring i stivhet langsetter sporet som virker inn på nedbrytingshastigheten. Begge nevnte variabler viser seg å ha en signifikant effekt.

2.3.3 DAGLINJE

Alt annet likt vil den første kilometeren daglinje øke vedlikeholdskostnaden med 1,65 prosent. Effekten på vedlikeholdskostnadene ved økning i daglinjen er avtagende frem til en lengde på omtrent 93km. Det vil si at å øke strekningens lengde øker vedlikeholdskostnadene, men med mindre og mindre av gangen frem til strekningen er ca 93km lang. Fra omtrent 213km er økningen tiltagende. Ved en økning på 1km evaluert i datasettets gjennomsnittlige daglinje (77km) øker vedlikeholdskostnadene med om lag 0,22 prosent. 0,22 prosent av gjennomsnittlig vedlikehold er 46 000 kroner. En ekstra km bane vil altså i snitt koste 46 000 kroner ekstra i vedlikehold i året. Evaluert i gjennomsnittet for 2011 vil én ekstra km daglinje medføre en økning i årlig vedlikeholdskostnader på 54 000 kroner. Det ikke-linjære forholdet mellom Daglinje og vedlikeholdskostnader er signifikant.

2.3.4 DIESEL OG ELEKTRISK

Modellen er formulert slik at fastleddet er felles for alle områdene, men avhenger av om banen er dieseldrevet eller elektrifisert. Elektrifiserte baner har flere komponenter som behøver vedlikehold. Samtidig er det mer tidkrevende da strøm må kobles fra før hvert vedlikeholdsarbeid og på etter utført arbeid (Odd Erik Berg ved Drammen infrastruktur/prosjekter). Dette er både direkte og indirekte årsaker til å skille mellom elektrifiserte og dieseldrevne baner. Resultatene viser at påslaget for elektrifiserte baner er på omtrent 18,48 %. Det betyr at når man predikerer vedlikeholdskostnadene på en gitt bane kan man legge til 18,48 % dersom banen er elektrifisert.

2.3.5 BRUTTOTONNKM

Det er funnet en signifikant positiv sammenheng mellom antall bruttotonnkm og vedlikeholdskostnader. Den første millionen bruttotonnkm påfører en økning i vedlikeholdskostnadene på 0,14%. Effekten av trafikkmengden målt i bruttotonnkm er avtagende. I gjennomsnitt for 2005-2015 var marginalkostnaden på vedlikehold omtrent 1,78 øre per bruttotonnkm, alt annet likt. Evaluert i gjennomsnitt for 2011 vil én ekstra bruttotonnkm medføre en økning i årlig vedlikeholdskostnader på 1,94 øre.

2.3.6 BRO OG TUNELL

Vi finner ingen signifikant effekt av å endre kilometer bro på en strekning på vedlikeholdskostnadene, alt annet likt. Dette kan komme av at det er i praksis lite som skiller vedlikeholdet på en km bro i forhold til vedlikehold på en vanlig daglinje-km som er kontrollert for i modellen, spesielt for broer med gjennomgående ballast. En endring på 1km tunell påfører en økning i vedlikeholdskostnadene på 3,22 prosent årlig. Evaluert i gjennomsnitt vil altså en ekstra tunnellkm koste 683 000 nominelle kroner ekstra i året i vedlikehold, alt annet likt. Evaluert i gjennomsnitt for 2011 vil én ekstra tunellkm medføre en økning i årlig vedlikeholdskostnader på 787 000 nominelle kroner. En tunellkm vil bestå av flere komponenter som driver opp vedlikeholdskostnaden. I tillegg til tak og vegger må tunnelen designes slik at RAMS-krav tilfredsstilles. Dette innebærer installasjoner rettet mot sikkerhets- og beredskapskrav som også behøver korrektivt og forebyggende vedlikehold. Samtidig er togtrafikk og sikkerhet en hindring for vedlikeholdsarbeidet i selve tunnelen.

2.3.7 HASTIGHET

Vi finner en positiv sammenheng mellom hastighet og kostnader. Høyere hastighet utsetter både overbygging og underbygning for større krefter og mer slitasje. Vi finner at den estimerte effekten av økt hastighet på en strekning er på 0,84 prosent i økte vedlikeholdskostnader ved en økning i snitthastigheten på 1 km/t. Evaluert i gjennomsnitt betyr det altså en økning i vedlikeholdskostnader på 178 000 nominelle kroner i året ved å øke hastigheten med 1km/t, alt annet likt. Evaluert i gjennomsnittet for 2011 vil én ekstra km/t i hastighet medføre en økning i årlig vedlikeholdskostnader på 206 000 nominelle kroner.

2.3.8 KURVATUR OG DOBBELTSPOR

Etter å ha kontrollert for variablene ovenfor finner vi ingen signifikant sammenheng mellom banens kurvatur og vedlikeholdskostnader. Høy kurvatur kan føre til økte vedlikeholdskostnader gjennom mer slitasje pga. økt belastning på skinnene. Samtidig er strekninger med høy kurvatur ofte strekninger hvor togene kjører i begge

retninger på samme spor. Dette fører til at ujevnheterne i skinneoverflaten som følge av slitasje blir mindre fordi et tog i f.eks. nordgående retning jevner ut ujevnheterne til et tog i sørgående retning. Vi finner ingen signifikant sammenheng mellom kilometer dobbeltspor og vedlikeholdskostnader. Dette kan komme av at vi har utelatt områdene Oslo prioritet 1 og Oslo prioritet 4.

2.3.9 STIKKPRØVER

Vi har utført enkelte stikkprøver for å illustrere modellens tilpasning. Et utdrag av stikkprøve-resultatene er i tabell 2. Vi har valgt ut distanser med ulik strekningslengde og med ulike attributter. For å unngå systematisk underestimert av de predikerte verdiene på vedlikeholdskostnadene har vi multiplisert den eksponentielle av funksjonen med en gjennomsnittlig restleddsfaktor, $\hat{\alpha}$. $\hat{\alpha} = n^{-1} \sum_{i=1}^n \exp(\hat{u}_i)$

Strekning	ESTIMERT	Faktisk	Differanse
Lys-ask (2005)	11,6	20,7	-9,1
aln-lst(2008)	23,3	14,3	9,0
Rør-str(2009)	10,2	11,4	-1,2
Grg-Mir(2011)	73,6	40,5	33,2
Trheim pri2(2007)	20,6	54,8	-34,2
Myr-flå(2014)	9,8	1,9	7,9
brg 2(2011)	16,5	11,3	5,2
Snitt			1,5

Tabell 2: Stikkprøver. Tall målt i millioner kr.

3 Oppsummering av satsene til Merklin

Variabel	Endring	Sats evaluert i gjennomsnitt	Sats evaluert ut i fra 2011	
Sporveksler	1 stk	533 000	615 000	Kroner økning i årlig vedlikehold
Stasjon	1 stasjon	497 000	573 000	Kroner økning i årlig vedlikehold
Daglinje	1 km	46 000	54 000	Kroner økning i årlig vedlikehold
Tunellkm	1 tunellkm	683 000	787 000	Kroner økning i årlig vedlikehold
Bruttotonnkm	1 000 BTkm	17,8 (1,78 øre per BTkm)	19,4 (1,94 øre per BTkm)	Kroner økning i årlig vedlikehold
Diesel/elektrisk	1/0	18,48%	18,48%	Påslag på vedlikeholdet på banen dersom banen er elektrisk.
Snitthastighet	1 km/t	178 000	206 000	Kroner økning i årlig vedlikehold

- *Alle satsene er beregnet ut i fra gjennomsnittlig vedlikeholdskostnader.*
- *Daglinje og bruttotonnkm er variabler med andre og tredjegradsledd hvor satsene da er beregnet med utgangspunkt i hhv. gjennomsnittlig Daglinje og bruttotonnkm.*

4 Kilder

<http://www.jernbanekompetanse.no/wiki/Nedbrytningsmekanismer>

(2015) Bye Sagen T. "Tunnelsikkerhet" Jernbaneverket Teknologi

http://arbeidsrom/fagrom/Undervisningsmaterieell/Undervisningsmaterieell/HiOA_Tunnelsikkerhet_2015.pdf

Jernbaneverket (2016): «Banedata Innsyn», hentet fra: <http://innsyn.banedata.no/Innsyn/>. 18.07.2016.

Jernbaneverket (2016): Jernbanestatistikk 2015

Jernbaneverket: PN-tall for 2012, 2013 og 2014.

Jernbaneverket (2016): «Banene», hentet fra: <http://www.jernbaneverket.no/Jernbanen/Banene/>. 18.07.2016.

Jernbaneverket(2015): «Jernbaneverket Infrastrukturdivisjon Produknøkkeltall 2015. Med angivelse av kostnader ved God Praksis». Versjon 1.0 Juni 2016, IV.

(2015).UIC Asset Management Working Group. International Union of Railways. "Key Cost Drivers in Railway Asset Management. Publication of Short list"

Woolridge, J.M. (2015) "Introductory Econometrics, A Modern Approach" 6.utgave. Michigan State Universityedlegg

5 Vedlegg

5.1 VEDLEGG 1; KALKULATORISK FORDELING PÅ STREKNING

Vedlegg

Eksempler på hvordan den kalkulatoriske fordelingen på strekninger fungerer.

I tabellen nedenfor ligger fordeling på 4-sifret banenummer slik denne er i Agresso. De 19 mil. (og resten av kostnader) som ikke er fordelt blir fordelt % - vis i forhold til de belastninger som er gjort direkte i Agresso.

sjekk JBVINTER		
Prosjekt	Geografi_Agresso	SumAvBelop
837026		20 001 164,94
837026	1100	32 109,00
837026	1110	280
837026	1111	31 135,50
837026	1120	62 895,00
837026	1200	520
837026	1210	63 624,10
837026	1300	17 947,40
837026 8286 (tilhører 1120)		7 193,61
837026 8308 (tilhører 1120)		99 531,89

Etter kalkulatorisk fordeling:

I kolonnen F – ligger det info om hvordan fordelingen skjer dvs. «1» betyr direkte kontering i Agresso, «3» betyr fordeling basert på %-vis, «8» betyr motpost til «3».

sjekk JBVREGN			
Prosjekt	Bane	SumAvBelop	F
837026		-19 697 260,94	8
837026	1100	32 109,00	1
837026	1100	2 008 532,32	3
837026	1110	7 473,61	1
837026	1110	467 500,92	3
837026	1111	31 135,50	1
837026	1111	1 947 636,43	3
837026	1120	162 426,89	1
837026	1120	10 160 380,61	3
837026	1200	520	1
837026	1200	32 527,85	3
837026	1210	63 624,10	1
837026	1210	3 958 009,05	3
837026	1300	17 947,40	1
837026	1300	1 122 673,81	3

Direkte kontering i Agresso ser slik ut.

sjekk JBVINTER aktivitet prosjekt			
Prosjekt	Koststed	Geografi_Agresso	SumAvBelop
960260	37500		47 785 332,84
960260	64500		56 480 425,90
960260	64500	8131 (tilhører 0580)	2 500,00
			104 268 258,74

Etter kalkulatorisk fordeling:

I kolonnen F – ligger det info om hvordan fordelingen skjer dvs. «1» betyr direkte kontering i Agresso, «3» betyr fordeling basert på %-vis, «8» betyr motpost til «3».
«4» betyr kontering på bane basert på %-fordeling av kostnader innenfor koststed og «9» er motpost til «4». Dette kan forstås at de kostandene som er belastet på koststed 37500 og prosjektet 960260 uten bane (47,7 mill. kr) blir fordelt på de banene som koststedet 37500 har kontert på ellers.

sjekk JBVREGN aktivitet prosjekt				
Prosjekt	Koststed	Bane	SumAvBelop	F
960260	37500		47 785 332,84	
960260	37500		-47 785 332,84	9
960260	37500	0010	370 028,54	4
960260	37500	0580	27 598 692,12	4
960260	37500	1420	171 739,84	4
960260	37500	1600	1 395 711,19	4
960260	37500	2220	18 249 160,82	4
960260	64500		56 480 425,90	
960260	64500		-56 480 425,90	8
960260	64500		0	9
960260	64500	0540	0	4
960260	64500	0580	2 500,00	1
960260	64500	0580	56 480 425,90	3
960260	64500	0580	0	4
960260	64500	2220	0	4
			104 268 258,41	

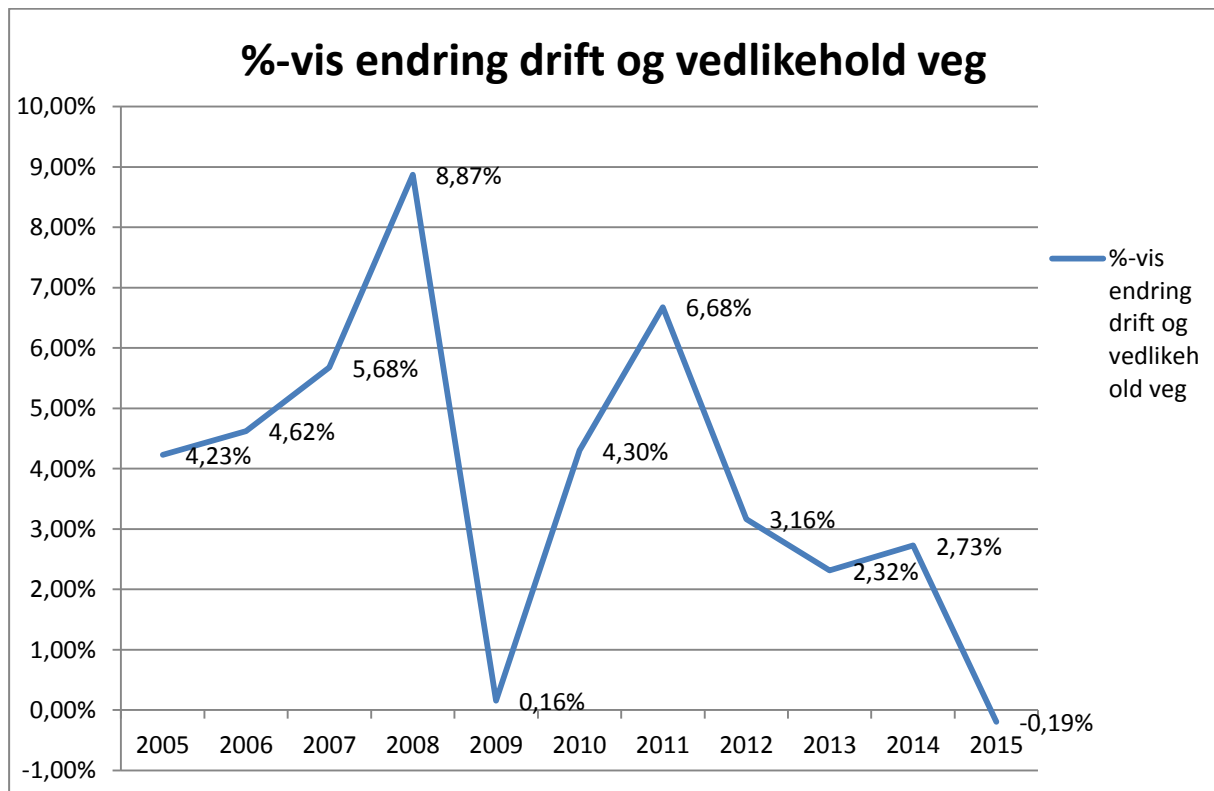
Kilde; Drammen infrastruktur/prosjekt

5.2 VEDLEGG 2; REGRESJONSRESULTATER

Source	SS	df	MS	Number of obs =	321
Model	144.075681	16	9.00473007	F(16, 304) =	36.48
Residual	75.0355531	304	.246827477	Prob > F =	0.0000
Total	219.111234	320	.684722607	R-squared =	0.6575
				Adj R-squared =	0.6395
				Root MSE =	.49682

ln_kv_fv_totalt	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
Sporveksler	.0248345	.0044156	5.62	0.000	.0161455 .0335235
antallstasjoner	.0231627	.0072048	3.21	0.001	.008985 .0373403
daglinje	.0164126	.003738	4.39	0.000	.009057 .0237681
daglinje_2	-.000127	.0000345	-3.68	0.000	-.0001949 -.0000591
daglinje_3	2.77e-07	9.17e-08	3.02	0.003	9.63e-08 4.57e-07
Bro	-.0446363	.1097446	-0.41	0.684	-.2605915 .171319
Bro_2	.0006395	.0122006	0.05	0.958	-.0233687 .0246478
Tuneller	.0409281	.0094859	4.31	0.000	.0222618 .0595945
Tunell_2	-.0008031	.0002167	-3.71	0.000	-.0012295 -.0003766
Kurvatur	5.27e-06	.000066	0.08	0.936	-.0001247 .0001352
Bruttotonnkm	1.42e-09	5.47e-10	2.60	0.010	3.43e-10 2.50e-09
Bruttotonnkm_2	-1.08e-18	4.94e-19	-2.18	0.030	-2.05e-18 -1.04e-19
Dieseldummy	-.2044239	.0964446	-2.12	0.035	-.3942074 -.0146404
Snitthastighet	.0083804	.0028371	2.95	0.003	.0027976 .0139633
Dobbeltspor	.0089309	.0053318	1.68	0.095	-.001561 .0194229
trend	.1190689	.014091	8.45	0.000	.0913406 .1467972
_cons	6.791053	.2505445	27.11	0.000	6.298032 7.284074

Kilde; STATA

5.3 VEDLEGG 3; UTVIKLING KOSTNADSIINDEKS DRIFT OG VEDLIKEHOLD VEG 2005-2015

Kilde; SSB

