



LCC for ballastert jernbanespor

Øyvind Hunding Hofgaard

Master i veg og jernbane

Innlevert: mai 2016

Hovedveileder: Elias Kassa, BAT

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



Oppgavens tittel: LCC for ballastert jernbanespor	Dato: 11. mai 2016		
	Antall sider (inkl. bilag): 152		
	Masteroppgave	X	Prosjektoppgave
Navn: Øyvind Hunding Hofgaard			
Faglærer/veileder: Professor Elias Kassa			

Ekstrakt:

I denne masteroppgaven er sporløsningen på Gardermobanen studert og det er utført en analyse av levetidskostnader (LCC-analyse) for utvalgte elementer. Analysen har tatt for seg fasene bygging og vedlikehold. I tillegg har kostnader relatert til forsinkelser for passasjerer på banen blitt inkludert. Det er kun kostnader knyttet til utvalgte komponenter i overbygningen og tilhørende sentrale vedlikeholdsaktiviteter som er inkludert i analysen. De utvalgte sporoverbygningskomponentene er skinner, sviller, befestigelser og ballast. Analysen har begrenset seg til overbygningen på fri linje. Spesielle forhold knyttet til stasjoner, bruer og tunneler er ikke inkludert.

Analysen viser at vedlikeholdskostnadene utgjør 64 % av de totale levetidskostnadene. Byggekostnadene utgjør nesten 35 % mens kostnadene knyttet til forsinkelser for passasjerene bare utgjør drøyt 1 %.

Arbeidet med oppgaven har bestått av litteraturstudium, informasjonsinnhenting, beregninger, analyse og diskusjon av resultatene. Underlagsinformasjon er innhentet fra gjennom spørreskjemaer, møter og intervjuer, samt gjennom søk i databaser og blant åpne kilder på internett. Flere nøkkelpersoner i Jernbaneverket har vært sentrale bidragsyttere.

Oppgaven konkluderer med at bruk av LCC-metodikk er sentralt ved valg mellom alternative løsninger.

Stikkord:

1. Levetidskostnader (LCC)
2. Jernbane
3. Ballastert spor
4. Vedlikehold



Forord

For 3 år siden ble jeg oppfordret til å gå i gang med NTNU sitt Erfaringsbaserte masterutdanning innenfor veg og jernbane. Det var muligheter for oss som ikke var ansatt i Jernbaneverket å gjennomføre studiet og jeg fikk etter søknad dekket studieavgiften av Jernbaneverket. Det har ikke bare vært enkelt å gjennomføre studiet ved siden av full jobb, men takket være noe tilrettelegging både profesjonelt og privat har jeg gjennomført 3 svært lærerike år, som kulminerer med denne masteroppgaven.

Masteroppgaven er en videreføring av prosjektoppgaven *LCC for jernbane – Forstudium om LCC for ballastert jernbanespor* (Hofgaard, 2015) som jeg skrev i fjor. Med basis i denne og gode diskusjoner med Elias Kassa kom vi til enighet om masteroppgavens tema om levetidskostnader for jernbanespor og case-studie av utvalgte overbygningskomponenter på Gardermobanen. Jeg opplever at oppgaven har vært både utfordrende og omfattende, men mener jeg har fått grundig innblikk i temaet og håper at resultatet kan være til nytte.

Jeg vil takke Dagfinn Berge som oppfordret og motiverte meg til å gå i gang med arbeidet, min sjef Nils-Petter Aspestrand og kollegaer i Rejlers Norge, divisjon Railconsult, for god støtte, bidrag og innspill. Videre vil jeg takke alle jeg har vært i kontakt med i Jernbaneverket som har hjulpet meg med informasjon underveis, og ikke minst min hovedveileder Elias Kassa ved NTNU.

Til slutt vil jeg takke spesielt min ektefelle Turid, mine sønner Magnus og Viktor samt Tone for deres utrolige tålmodighet og gode støtte. Dere har vist forståelse for at jeg har jobbet med studiet døgnet rundt og i helger og ferier, og dere har gitt meg motivasjonen jeg har trengt gjennom hele denne masterutdanningen. Jeg er stolt av å ha gjennomført dette studiet, men aller mest stolt av dere.



Øyvind H Hofgaard,

Oslo, 11. mai 2016

Sammendrag

Gardermobanen omtales som en suksess og er en av de jernbanestrekningene i Norge der det kjøres flest tog i døgnet. Banen, som er en dobbeltsporet høyhastighets jernbane, har høy oppetid, punktlighet og kvalitet sammenlignet med andre nyere dobbeltsporstrekninger i landet. Jeg ønsket å studere om denne suksessen kunne begrunnes med valg som ble gjort før bygging kombinert med valg som har blitt gjort i drifts- og vedlikeholdsfasen.

Levetidskostnader (life cycle cost – LCC) er en betegnelse på alle kostnader som påløper for et system eller anlegg på forskjellige tidspunkter gjennom hele livsløpet. En LCC-analyse kan være et hjelpemiddel når ulike alternativer skal vurderes i forhold til total kostnad i hele levetiden. For en jernbanestrekning kan dette inkludere investeringskostnader, drifts- og vedlikeholdskostnader, kostnader for fornyelse, demontering og avhending, samt risikokostnader. I oppgaven har jeg studert utvalgte elementer i en slik analyse, og gjennomført en beregning av LCC på Gardermobanen.

Jeg har avgrenset oppgaven til noen av elementene i en total LCC-analyse. Dette ble gjort fordi jeg ønsket å studere overbygningen spesielt. Samtidig ville det vært svært omfattende å finne reelle kostnadstall for alle elementer. Jeg har derfor inkludert livsfasene bygging og vedlikehold, valgt komponentene skinne, sville, befestigelse og ballast i infrastrukturens overbygning, samt inkludert forsinkelseskonsekvenser for passasjerer. I tillegg har jeg kun tatt for meg den delen banen som er på fri linje, altså ikke stasjoner, bruer, tunneler eller annen infrastruktur knyttet til spor.

For en analyseperiode på 60 år viser resultatene fra analysen at vedlikeholdskostnadene utgjør 64 % av de totale levetidskostnadene. Byggekostnadene utgjør nesten 35 % mens kostnadene knyttet til forsinkelser for passasjerene bare utgjør drøyt 1 %. De to største kostnadsdriverne innenfor vedlikehold er ballastrensing og korrektivt vedlikehold i form av feilsøking og reparasjoner i sporet. Innenfor byggingen er det kostnadene knyttet til selve anleggsarbeidet som er kostdriveren. Komponentene utgjør bare omtrent 1/3 av byggekostnadene.

Oppgaven viser eksempler på at valg av andre inngående komponenter eller alternative byggemåter for overbygningen, får konsekvenser for vedlikeholdet og derfor har stor påvirkning på total levetidskostnad.

Selv om avgrensningene som er gjort i oppgaven medfører at analysen ikke viser den hele og fulle sannhet, gir resultatene likevel gir gode indikasjoner på at investeringskostnader for en jernbaneinfrastruktur ikke bør være utslagsgivende alene ved valg mellom alternativer.

Summary

The railway line Gardermobanen is referred to as a success and is one of the railway lines in Norway with the highest number of trains per day. The line is a doubletrack highspeed railway line with high availability, punctuality and travel quality compared to other doubletrack lines in this country. I wanted to study whether this success could be justified by selections made before in the early phases prior to construction, combined with decisions made during the operational and maintenance phase.

The term lifecycle cost (LCC) includes all costs applied to system at various times throughout the life cycle. A LCC analysis can be useful when different alternatives are considered, related to the total cost throughout the system's life. For a railway line LCC may include investment costs, operation and maintenance costs, and cost for renewals, dismantling and disposal, as well as risk costs. In this thesis I have limited my studies to selected track superstructure components for the analysis, and carried out a LCC-calculation for Gardermobanen.

The scope of work considers only some aspects of a LCC analysis. This was done because I wanted to have special focus on the superstructure. It would also be very extensive to collect actual costs for all elements. Therefore, the analysis included the construction- and maintenance-phases, as well as the passengers' consequences due to delays. The selected components for the analysis are the superstructure components; rails, sleepers, fastenings and ballast. The parts of the track included in the study are only through open areas and plain lines, excluding stations, bridges, tunnels and other track infrastructure.

The results from the analysis show that maintenance costs accounts for 64% of total lifecycle cost over a 60-year period. Construction costs are nearly 35% while costs related to passenger delays represents only about 1%. The two major cost drivers within maintenance are ballast cleaning and corrective maintenance in terms of faultfinding and track repairs. The cost driver within the construction costs is everything related to the actual construction work. The cost of components represents only about 1/3 of the construction costs.

The thesis includes examples showing that selections of other components or alternative construction methods, could have consequences for the maintenance phases and also influences the total lifecycle cost.

The limitations I made in the scope of the analysis means that the study does not show the complete picture of LCC. However, when considering alternatives for a railway infrastructure the results from this study still indicate that the investment costs alone should not be decisive.

Innholdsfortegnelse

Forord	i
Sammendrag	iii
Summary	v
Innholdsfortegnelse	vii
Tabelloversikt	ix
Figuroversikt	x
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Jernbanens livsløp.....	2
1.3 Inndeling av jernbaneinfrastrukturen	7
1.4 Mål med arbeidet	9
1.5 Oppgavens disposisjon	10
2 Teori og litteraturstudie	11
2.1 Livsløp, levetidskostnader og analyser	11
2.1.1 Life cycle analysis (LCA)	12
2.1.2 Life cycle cost (LCC)	13
2.2 Litteraturstudie	16
2.2.1 Generelt om litteraturstudiet gjennomført i prosjektoppgaven	16
2.2.2 Struktur / inndeling av litteraturstudiet	17
2.2.3 Viktige funn fra litteraturstudiet	18
2.2.4 Jernbaneverkets tilnærming og bruk av LCC	20
2.2.5 Jernbaneverkets krav og litteratur om spor	22
2.3 Parametere i beregninger	23
2.3.1 Nåverdiberegning	23
2.3.2 Kalkulasjonsrente	25
2.3.3 Analyseperiode og levetider	26
2.3.4 Usikkerhet i analysene	26
2.4 Komponenter i overbygningen.....	28
2.5 Vedlikehold av jernbane	36
3 Metoder	43
3.1 Metoder for informasjonsinnhenting	43
3.1.1 Spørreskjema	44
3.1.2 Møter og intervjuer.....	45
3.1.3 Banedata	47
3.1.4 Søk i databaser og andre kilder.....	47
3.2 Valgt LCC-metode	48

4	Case-studie Gardermobanen	50
4.1	Strekning Gardermobanen	51
4.1.1	Historie om banen.....	51
4.1.2	Fakta om banen.....	53
4.1.3	Trafikk på banen.....	55
4.2	Overbygningskomponenter på Gardermobanen.....	56
4.3	Avgrensninger.....	59
4.3.1	LCC-elementer	59
4.3.2	Strekningen.....	61
4.3.3	Komponenter	62
4.3.4	Vedlikeholdsaktiviteter	63
4.4	Datainnsamling.....	67
4.4.1	Kostnader for bygging	68
4.4.2	Kostnader for komponenter	74
4.4.3	Kostnader for vedlikehold	76
4.4.4	Kostnader ved forsinkelser	79
5	LCC analyse Gardermobanen	82
5.1	Benyttede data for strekningen.....	82
5.2	Beregning av LCC	84
5.3	Resultater og kostnadsdrivere.....	87
6	Vurdering og sammenligning av alternativer	91
6.1	Elementer med størst påvirkning på LCC	91
6.2	Jernbaneteknikk	91
6.3	Skinner.....	92
6.4	Sviller og befestigelse.....	93
6.5	Ballast og ballastrensing.....	93
6.6	Fastspor.....	94
6.7	Forebyggende og korrektivt vedlikehold.....	96
6.8	Forsinkelser	99
7	Diskusjon.....	101
8	Konklusjoner og anbefalinger	106
8.1	Konklusjon	106
8.2	Videre arbeid	108
9	Referanser	111
10	Liste over vedlegg	117

Tabelloversikt

Tabell 1 – Levetid på forskjellige deler av infrastrukturen	26
Tabell 2 – Komponenter i overbygningen.....	28
Tabell 3 – Tillatt hastighet og maksimal aksellast for overbygningsklasser	29
Tabell 4 – Skinneprofil med tilhørende største svilleavstand for overbygningsklasser.....	30
Tabell 5 – Kvalitetsklasser.....	30
Tabell 6 – Sporvekseltyper	34
Tabell 7 – Vedlikeholdsaktiviteter i sporet, Banverket Sverige (Patra et al., 2009)	37
Tabell 8 – Generiske arbeidsrutiner - Overbygning	41
Tabell 9 – Overbygningskomponenter på Gardermobanen	58
Tabell 10 – Visitasjonsaktiviteter på utvalgte overbygningskomponenter (Pettersen, 2002).....	64
Tabell 11 – Gardermobanen FV-rapporter, kontrollaktiviteter (Banedata)	65
Tabell 12 – Gardermobanen KV-rapporter, registreringer av feil (Banedata), (KO = Overbygning).....	65
Tabell 13 – Kilde-personer	67
Tabell 14 – Utbyggingskostnader estimert i Høyhastighetsutredningen, Jernbaneverket 2012.....	69
Tabell 15 – Kostnadsklasse fra KVV Intercity Dovrebanen Kostnadsberegninger	71
Tabell 16 – Kostnader bygging jernbane dobbeltspor.....	72
Tabell 17 – Fordeling av kostnader for komponenter i Jernbaneteknikk (angitt i mill kr)	73
Tabell 18 – Fordeling av byggekostnader, andel av investeringskostnad	73
Tabell 19 – Kostnader for komponenter	74
Tabell 20 – Kostnader for vedlikehold (2015).....	79
Tabell 21 – Levetider overbygningskomponenter	83
Tabell 22 – Gardermobanen levetidskostnader overbygning.....	85
Tabell 23 – LCC Gardermobanen oppsummert	86
Tabell 24 – De 5 største kostnadsdriverne i LCC	91
Tabell 25 – Baner for sammenligning av FV og KV fra Banedata.....	96
Tabell 26 – FV-kontroller pr komponent og bane	97
Tabell 27 – KV-rapporter pr komponent og bane	97
Tabell 28 – Hensikt med tilstandsovervåkning, Smart vedlikehold	99

Figuroversikt

Figur 1 – Jernbaneverkets hovedprosesser	3
Figur 2 – V-modell som viser RAMS-fasene EN50126	4
Figur 3 – Fordeling av RAMS-faser gjennom livsløpet til jernbaneinfrastrukturen.....	5
Figur 4 – Forskjellige trinn i utredningsfasen.....	6
Figur 5 – Kostnadselementer i LCC, 3-dimensjonal matrise (INNOTRACK, 2006).....	14
Figur 6 – Illustrasjon av prinsippet om optimale levetidskostnader (Sund, 1998).....	16
Figur 7 – Sammenheng mellom kostnadsbegreper	24
Figur 8 – Kalkulasjonsrentens innvirkning på nåverdiens størrelse (Sund, 1998).....	25
Figur 9 – Elementer i kjørevegen. Illustrasjon <i>Slik fungerer jernbanen</i> , (Jernbaneverket, 2012c)	28
Figur 10 – Pandrol Fastclip FE	31
Figur 11 – Fastspor	32
Figur 12 – Sporveksel.....	33
Figur 13 – Klotoidesporveksel på Gardermobanen ved Lillestrøm stasjon.....	34
Figur 14 – Jernbaneverkets modell for vedlikehold (Jernbaneverket, 2011)	36
Figur 15 – Ballastrensing. Foto: Baneservice.....	39
Figur 16 – Målevogn ROGER1000 Foto: Jernbaneverket	40
Figur 17 – Skjerm bilde fra Banadata Innsyn (utsnitt)	45
Figur 18 – Sporet på Gardermobanen (NSB_Gardermobanen_AS, 1998b)	50
Figur 19 – Gardermobanen; traseføring, høydeprofil, hastighetsprofil	54
Figur 20 – Skinneprofil 60E1	56
Figur 21 – Sville Betong JBV60.....	57
Figur 22 – Befestigelse Pandrol FE Fastclip	57
Figur 23 – Standard ballastprofil som skal anvendes for dobbeltspor	58
Figur 24 – Bruk av LCC i forskjellige prosjektfaser(IEC, 2004).....	59
Figur 25 – Gardermobanen ved Venjar. Foto: Njål Svingheim Jernbaneverket	61
Figur 26 – Standard ballastprofil som skal anvendes for dobbeltspor	76
Figur 27 – Fordeling av LCC-elementer Gardermobanen.....	87
Figur 28 – Livssyklus kostnader over 60 år på Gardermobanen, med utsnitt.....	88
Figur 29 – Fordeling av vedlikeholdselementene i LCC for Gardermobanen	89
Figur 30 – Akkumulert LCC for ballastspor og fastspor (Michas, 2012)	95
Figur 31 – Antall FV-kontroller pr år og komponenttype på Gardermobanen og Østfoldbanen	97
Figur 32 – Antall KV-rapporter pr år og komponenttype på Gardermobanen og Østfoldbanen	98

1 Innledning

Som innledning i denne masteroppgaven tar jeg for meg litt bakgrunn for hvorfor jeg har skrevet denne oppgaven. Videre er det redegjort kort for jernbanens livsløp, fra behovet blir definert, via utredning, planlegging og bygging, gjennom hele driftsfasen og frem til banen legges ned og fjernes, alternativt utvikles videre. Jeg har også beskrevet hvordan jernbaneinfrastrukturen er bygget opp med spesiell fokus på deler av denne. Jeg har omtalt hvilke mål jeg har hatt i arbeidet mitt med denne oppgaven, og jeg har redegjort for hvordan oppgaven er bygget opp.

1.1 Bakgrunn

I forarbeidet før masteroppgaven vurderte jeg flere mulige problemstillinger som kunne være aktuelle å undersøke nærmere. Jeg hadde lyst til å studere forhold knyttet til en moderne jernbanestrekning i Norge. Etter hvert valgte jeg å ta utgangspunkt i en antagelse om at Gardermobanen har en bedre (høyere) oppetid¹, punktlighet og kvalitet enn andre nye dobbeltsporstreknings på jernbanen i Norge. Samtidig er Gardermobanen er en av de strekningene i landet der det kjøres flest tog i døgnet.

Jeg fant det nærliggende å spørre om årsaken til dette er at Gardermobanen, i forhold til andre dobbeltsporstreknings, ble bygget med litt bedre kvalitet, med litt dyrere komponenter som ikke slites like fort og at det ble etablert et regime for vedlikehold som skulle ivareta banen på en slik måte at trafikken alltid skulle kunne kjøre som planlagt. Førte dette i så fall til høyere investeringskostnader, og hvordan har dette påvirket kostnadene for drift og vedlikehold på strekningen?

Gardermobanen omtales som en suksess fra mange hold². Kan denne suksessen delvis begrunnes med valg som ble gjort før bygging av strekningen, kombinert med valg som har blitt gjort i drifts- og vedlikeholdsfasen frem til i dag?

¹ Oppetid defineres i et punktlighetsperspektiv ut fra antall forsinkelsestimer som har oppstått på en strekning på grunn av infrastrukturen i forhold til sum planlagte togtimer (sum person og godstog) pr år på strekningen i samme periode: $\text{Oppetid} = (\text{Togtimer} - \text{Forsinkelsestimer}) / \text{Togtimer} \times 100$

² Eksempler fra media (Aftenposten: «Suksess-toget» tux1.aftenposten.no/nyheter/iriks/d103602.htm), politikere (Sverre Myrli (A) på Stortinget 12.05.2015: www.stortinget.no/no/Saker-og-publikasjoner/Publikasjoner/Referater/Stortinget/2014-2015/150512/2/) og Jernbaneverket (Jernbanemagasinet 2013: «Jernbanens mønsterbruk» www.jernbaneverket.no/Nyheter/Jernbanemagasinet/Nyheter/2013/Jernbanens-monsterbruk/) (20.04.2016)

Med dette som bakgrunn ble jeg enig med min veileder Elias Kassa om oppgave og omfang for masteroppgaven. I forprosjektet *LCC for jernbane – Forstudium om LCC for ballastert jernbanespor* (Hofgaard, 2015) gjennomførte jeg et litteraturstudium og gjorde forberedende vurderinger knyttet til valg av strekning, komponenter og LCC-elementer som jeg skulle se nærmere på.

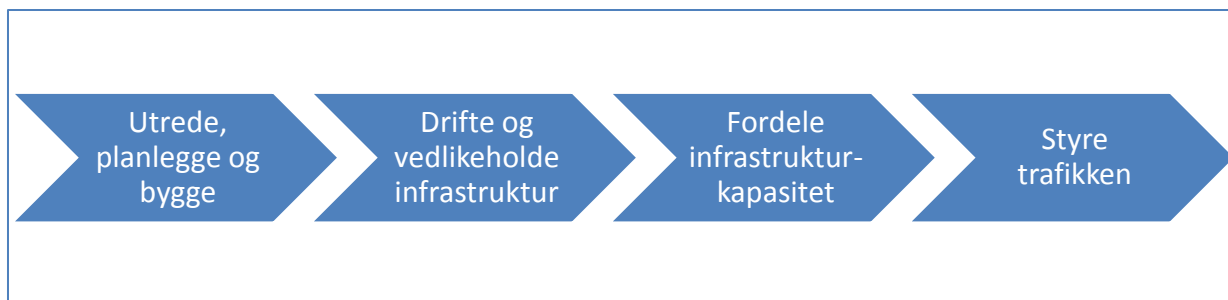
Arbeidet med masteroppgaven fikk en litt treg start. Det tok mer enn fem måneder å få sensur på prosjektoppgaven som skulle danne grunnlag for arbeidet med masteroppgaven. Jeg påbegynte derfor arbeidet ut ifra forutsetningene jeg hadde lagt i prosjektoppgaven, men opplevde en del usikkerhet om dette var riktig. Etter hvert fikk jeg greie på at det hadde oppstått en spesiell situasjon på instituttet, noe som medførte at veileder ikke var tilgjengelig og at sensuren på prosjektoppgaven var så forsinket. Heldigvis ordnet dette seg, og det siste halvåret har jeg hatt en god prosess med gode råd og veiledning både på form, innhold og avgrensninger.

Aktivitetsplanen som jeg la opp for arbeidet har blitt oppdatert på flere områder underveis i prosessen. Jeg har gjort noen avgrensninger i omfanget og tydeliggjort aktivitetene etter hvert som jeg har hatt behov for å holde arbeidet innenfor rammene.

Når det gjelder tidsplanen for de forskjellige aktivitetene så har denne dessverre blitt forskjøvet flere ganger. Hovedårsaken til dette er etter min oppfatning at jeg i all hovedsak har utført arbeidet med masteroppgaven på fritiden ved siden av full jobb. Dette har ikke vært optimalt, og selv om det har vært utvist fleksibilitet fra arbeidsgivers side, hadde det vært ønskelig med en bedre løsning på fordelingen av arbeid for arbeidsgiver og masterstudie/oppgaveskriving. Andre årsaker til forskyvninger i tidsplanen har vært at informasjonsbehovet og arbeidsomfanget har økt i forhold til opprinnelig plan, samt den nevnte sene oppstarten av veiledning.

1.2 Jernbanens livsløp

Livsløpet til en jernbane består av mange faser. De to første av Jernbaneverkets fire hovedprosesser, som angitt på figuren nedenfor, inneholder de sentrale delene av infrastrukturens livsløp.



Figur 1 – Jernbanelinjenets hovedprosesser

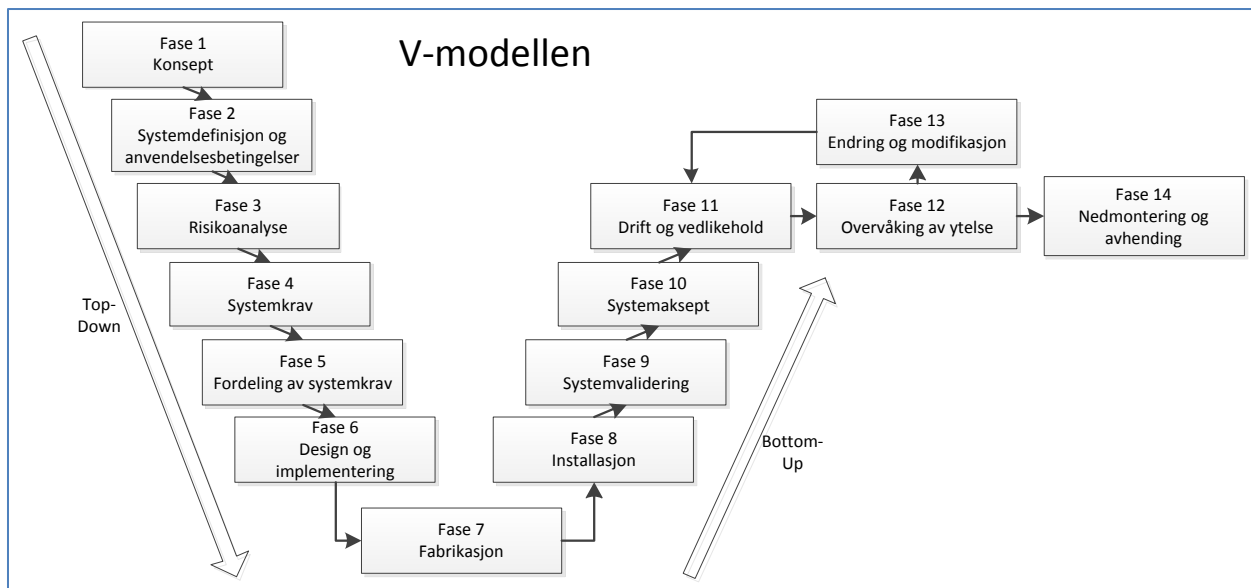
RAMS

Bruk av RAMS³ er hjemlet i *jernbaneinfrastrukturforskriften*, §3-1 sier:

«Infrastrukturforvalter skal benytte prosessstandardEN 50126 (1999) ved bygging av ny jernbaneinfrastruktur og ved endring av programmerbare tekniske systemer samt ved utvikling og endring av STM-enheter. Ved andre endringer av jernbaneinfrastruktur skal infrastrukturforvalter vurdere om endringen er av en slik karakter at bruk av EN 50126 (1999) er hensiktsmessig. Vurderingen skal dokumenteres.» (Samferdselsdepartementet, 2011)

Et av formålene med RAMS-standarden *EN50126 Railway applications - Specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS)* (CENELEC, 1999) er å oppnå en optimal kombinasjon av RAMS og kostnader. Standarden er prosessbasert og fokuserer på hele systemets livsløp. Sikkerhet og tilgjengelighet skal ivaretas fra tidlige konseptfaser, byggeplanfaser, bygging, drift og vedlikehold og avhending av systemet. Livsløpet illustreres i figuren nedenfor (V-modellen), hvor fase 1-7 i hovedsak innebærer elementer knyttet til analyse og utarbeidelse av dokumentasjon. I fasene 8-10 (høyre halvdel av V-en) er oppgavene mer konkret og relatert til fysisk implementering. Fase 11 og 12 beskriver driftsperioden, fase 13 beskriver endring og modifikasjoner og fase 14 beskriver hensynet når levetiden er oppnådd og systemet skal avhendes. Med en LCC-tilnærming i prosjektet kan RAMS-ytelsen betraktes som parametere som styrer kostnadene under levetiden til systemet.

³ RAMS er forkortelse for Reliability (pålitelighet), Availability (tilgjengelighet), Maintainability (vedlikeholdsvennlighet) og Safety (sikkerhet).



Figur 2 – V-modell som viser RAMS-fasene EN50126

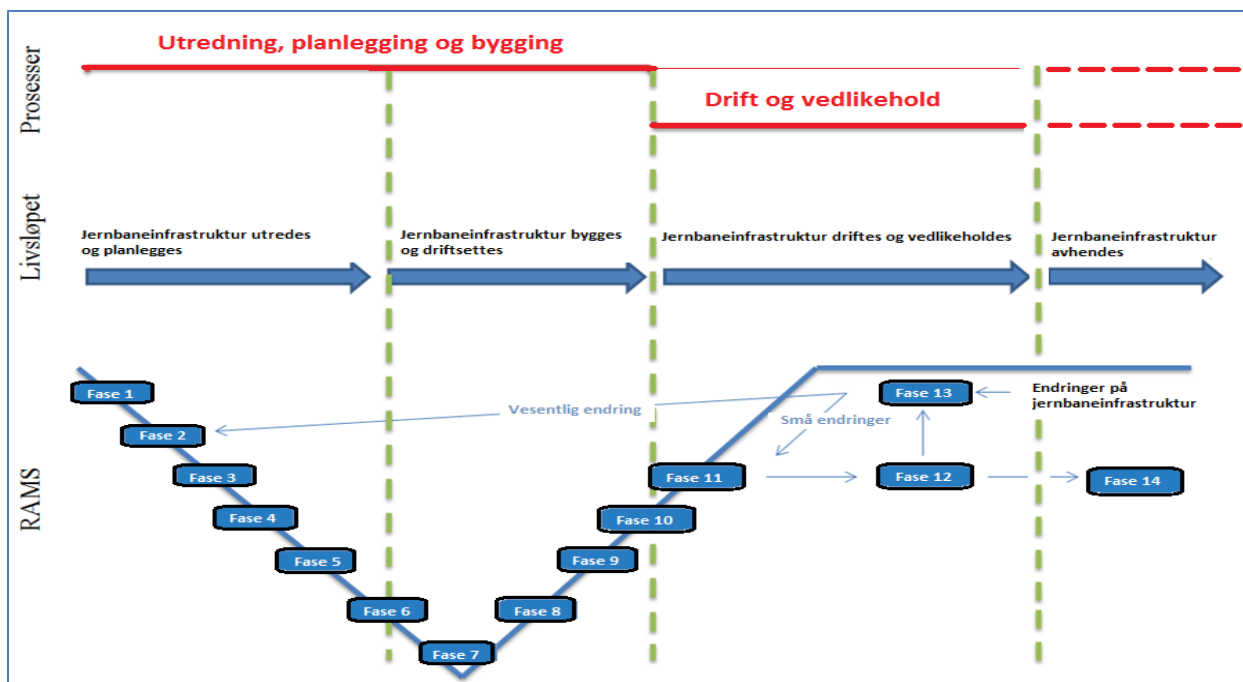
RAMS-arbeidet i Jernbaneverket bygger på et overordnet prinsipp om fordeling av relevante RAMS aktiviteter over livsløpsfasene og hovedprosessene gitt i UPB- og D&V prosessene⁴:

For å sikre at komponentene oppnår forventet levetid må det utføres vedlikehold.

Jernbaneverket deler vedlikeholdet inn i Forebyggende vedlikehold og Korrektivt vedlikehold, samt Fornyelse. I Jernbaneverkets vedlikeholdshåndbok defineres vedlikehold som:

«En kombinasjon av alle tekniske og administrative aktiviteter, inkludert ledelsesaktiviteter som har til hensikt å opprettholde eller gjenvinne en tilstand som gjør en enhet i stand til å utføre en krevd funksjon.» (Jernbaneverket, 2011).

⁴ UPB står for Utrede, planlegge og bygge. D&V står for Drifte og vedlikeholde infrastruktur.



Figur 3 – Fordeling av RAMS-faser gjennom livsløpet til jernbaneinfrastrukturen.

Planprosessen

Når det oppstår et transportbehov gjennomføres det en mulighetsstudie eller konseptvalgutredning (KVU). Jernbaneverket utarbeider så et forslag til planprogram som berørte lokale planmyndigheter (kommuner) til slutt vedtar⁵. Store utbyggingsprosjekter behandles så vanligvis gjennom en kommunedelplan som gjelder for bestemte deler eller temaer i aktuelle kommuners kommuneplan. Kommunedelplanen omhandler da valg av trasekorridorer og prinsipper for utbyggingen. Det gjennomføres så en konsekvensutredning (KU) der konsekvenser for samfunnet og miljøet beskrives, etterfulgt av reguleringsplanfasen der ytterligere optimalisering av valgt trase gjøres. Jernbaneverket utarbeider forslag til reguleringsplan, men det er de berørte kommunene som vedtar denne.

⁵ Kilde: www.jernbaneverket.no/Prosjekter/Inter-City-/Planprosessen/ (22.04.2016)



Figur 4 – Forskjellige trinn i utredningsfasen⁶

⁶ www.jernbaneverket.no/Prosjekter/Inter-City-/Planprosessen

1.3 Inndeling av jernbaneinfrastrukturen

I dette del-kapittelet har jeg beskrevet hvilke deler jernbaneinfrastrukturen er bygget opp av, og forskjellige kilders inndeling av denne.

Det som normalt omtales som jernbanens infrastruktur er i **jernbaneloven** definert som kjørevei «kjørevei: sporanlegg med tilhørende grunn og innretninger, signal- og sikringsanlegg, strømforsyningsanlegg og kommunikasjonsanlegg».
(Samferdselsdepartementet, 1993)

I **jernbaneinfrastrukturforskriften** defineres jernbaneinfrastruktur som «delsystemet infrastruktur, de faste innretninger av delsystemet energi, samt de faste innretninger av delsystemet styring, kontroll og signalering» (Samferdselsdepartementet, 2011), og delsystemene defineres videre som:

«**infrastruktur**: spor, sporveksler, byggverk (broer, tunneler osv.), infrastruktur knyttet til jernbanestasjoner (plattformer, ganganlegg, herunder anlegg som er tilpasset bevegelseshemmedes behov osv.), sikkerhets- og verneutstyr»,

«**energi**: elektrisitetsforsyningssystemet, herunder luftledninger og deler av utstyret for måling av elektrisitetsforbruket om bord i toget», og

«**styring, kontroll og signal**: alt utstyr som er nødvendig for å kunne garantere sikkerhet og for å kunne styre og kontrollere bevegelsene til tog som har tillatelse til å trafikkere jernbanenettet».

I forbindelse med **punktlighetsoppfølging** registrerer Jernbaneverket årsakskoder knyttet til forsinkelser i sin punktlighetsdatabase «Tog Informasjon og Oppfølging System» (TIOS). I TIOS er det 4 koder knyttet til infrastrukturen:

1. Bane
2. Sikringsanlegg, signalanlegg, fjernstyring
3. Elkraft, kontaktledningsanlegg
4. Tele og transmisjonsfeil

Jernbaneverkets **tekniske regelverk**⁷ (Jernbaneverket, 2016b) skal sikre harmoniserte tekniske løsninger ved prosjektering og bygging og et forsvarlig vedlikehold av det statlige

⁷ Jernbaneverket Teknisk regelverk: https://trv.jbv.no/wiki/Felles_bestemmelser/Forord (22.04.2016)

jernbanenettet i Norge. Jernbaneinfrastrukturen slik den er omtalt i teknisk regelverk gjelder kjørevei (som definert i jernbaneloven), og jeg har valgt å forholde meg til inndelingen som er beskrevet i forordet regelverket:

- Overbygning
- Underbygning
- Elkraft
- Signal
- Tele
- Felles behov
- Skilt, og
- Rullende materiell

Jernbanens tekniske regelverk har følgende beskrivelse av de inngående delene:

Overbygning

Sporets overbygning omfatter sporets trasé, skinner, sviller, sporveksler, skinnebefestigelse, skjøter, ballast og planoverganger. I kapittel 2.4 er komponenter i overbygningen beskrevet nærmere.

Underbygning

Sporets underbygning omfatter krav til planeringen slik denne legges i terrenget i fylling og/eller skjæring, på bru eller i tunnel inklusive dreneringsanlegg. I tillegg stilles også krav til konstruksjonsprofiler og miljø.

Elkraft

Elkraft omfatter banestrømforsyning, kontaktledningsanlegg og lavspenningsanlegg.

Signal

Signalanlegg omfatter fjernstyringsanlegg, sikringsanlegg og hastighetsovervåknings-systemer.

Tele

Tele omfatter den del av telekommunikasjonssystemet, transmisjonssystemer (transmisjonsmedier og transmisjonsutstyr), telefoni, radio og informasjonssystemer, som er relatert til togframføring.

Felles elektro

Felles elektro omfatter områder som er felles for alle elektroanleggene ved jernbanen (elkraft, tele, signal) og som er avgjørende for elektromagnetisk sameksistens (EMC).

Skilt

Skilt omfatter regler for plassering av skilt og stolper som gjelder for kjørende personell, vedlikeholdspersonell og tredjeperson.

Rullende materiell

Supplementary information and regulations gir en beskrivelse av den infrastruktur som er en del av det statlige jernbanenettet. Dokumentets primære målgruppe er de som spesifiserer, konstruerer, bygger, drifter og vedlikeholder rullende materiell for bruk på dette nettet.

De forskjellige delene av et jernbaneanlegg har svært ulik levetid. Mens enkeltkomponenter må skiftes med få års mellomrom, kan andre deler av infrastrukturen vare i svært mange år. Skinner og sviller har normalt levetid på 40-50 år forutsatt normalt vedlikehold, mens nye tunneler bygges for en levetid på minst 100 år. Levetider på forskjellige komponenter er nærmere omtalt i kapittel 5.1.

1.4 Mål med arbeidet

Målet med denne masteroppgaven var å studere sporløsningen og utvalgte komponenter på Gardermobanen. Jeg ville ta for meg ulike kostnader knyttet til forskjellige faser i banens livsløp og, basert på bestemte avgrensninger, gjennomføre analyser for å kunne vurdere levetidskostnaden (LCC) for den valgte løsningen på strekningen. Jeg ville også se på kostnadsdriverne i analysen og om det var grunnlag for å hevde at det var riktig å benytte de valgte komponenttypene eller om andre kombinasjoner ville gitt en bedre LCC.

For å kunne studere dette var det et mål for oppgaven å innhente informasjon om komponenter, mengder, og kostnader, samt aktiviteter og på hvilke tidspunkt de gjennomføres.

Jeg ønsket å avgrense oppgaven til å studere en strekningsdel på Gardermobanen. Videre var det et mål å avgrense hvilke komponenter i jernbaneinfrastrukturen som skulle inngå, og hvilke elementer jeg skulle inkludere i levetidskostnaden. Hensikten med avgrensningene var å redusere mengden informasjon som måtte samles inn, samt å begrense kompleksiteten i analysearbeidet. Avgrensningene i oppgaven er nærmere beskrevet i kapittel 4.3.

1.5 Oppgavens disposisjon

Denne masteroppgaven er bygget opp med inneholder 9 hovedkapitler med følgende innhold:

Kapittel 1 inneholder bakgrunnen for oppgaven, informasjon om jernbanens livsløp og infrastrukturens inndeling, samt målet med arbeidet og rapportens disposisjon.

Kapittel 2 beskriver hva som inngår i begrepet levetidskostnader (LCC), gjennomføringen og resultater fra litteraturstudiet, og hvordan Jernbaneverket forholder seg til LCC. Videre er de sentrale parameterne som inngår i LCC-analyser omtalt. Det samme er komponenter i jernbanens overbygning og sentrale forhold knyttet til vedlikehold.

Kapittel 3 tar for seg de metodene som er benyttet i arbeidet, både for innhenting av informasjon og for beregning av LCC.

Kapittel 4 omhandler case-studiet som er utført på Gardermobanen. Her er fakta om banen, dagens trafikk, og aktuelle overbygningskomponenter på banen beskrevet. Videre er det redegjort for avgrensningene innenfor LCC-elementer, strekningsdeler, komponenter og vedlikeholdsaktiviteter, og for resultatet fra innhenting av kostnader for de forskjellige elementene.

Kapittel 5 inneholder beskrivelse av utførte LCC-beregninger og resultater.

Kapittel 6 tar for seg elementene med størst påvirkning på LCC, vurderer disse og sammenligner med noen alternativer.

Kapittel 7 inneholder diskusjon av metoder, resultater, relasjoner til litteratur, forskjellige usikkerheter og feilkilder, samt styrker og svakheter.

Kapittel 8 oppsummerer konklusjoner og angir områder som kan være aktuelle for videre studier.

Kapittel 9 er oversikt over referansene jeg har henvist til i rapporten.

I tillegg er det 4 vedlegg som inneholder avtale om gjennomføring av masteroppgave, spørreskjema, utdrag fra Banedata og utdrag fra beregninger.

2 Teori og litteraturstudie

Dette kapitlet beskriver hva som inngår i begrepet levetidskostnader (LCC), og gjennomføringen og resultater fra litteraturstudiet. Videre redegjøres det for hvordan Jernbaneverket forholder seg til LCC, og de sentrale parameterne som inngår i LCC-analyser omtalt. Det samme er komponenter i jernbanens overbygning og sentrale forhold knyttet til vedlikehold.

2.1 Livsløp, levetidskostnader og analyser

I Store norske leksikon defineres *Livsløpsanalyse* som en «systematisk analyse for å evaluere miljømessige konsekvenser knyttet til et produkt, et produktsystem eller en aktivitet ved å identifisere og beskrive energi- og materialforbruket (kvantitativt og kvalitativt) samt avfall og forurensninger til miljøet, og ved å analysere konsekvensene av dette. Analysen inkluderer hele livssyklusen til produktet eller aktiviteten, fra uttak av råmaterialer, produksjon, distribusjon, bruk, gjenbruk, vedlikehold, resirkulering – til endelig kassering; inkludert all transport involvert.» (Nestaas, 2014).

Levetidskostnader (Life Cycle Cost – LCC) er en betegnelse på alle kostnader som påløper for et system eller anlegg på forskjellige tidspunkter gjennom hele livsløpet. Det gjennomføres ofte en levetidskostnadsanalyse (Life-cycle cost analysis – LCCA) for å kunne foreta vurderinger om hvilket alternativ som har lavest kostnad på lang sikt. Andre begreper som benyttes på levetidskostnad er bl.a. totalkostnad, livsløpskostnad og livssyklus-kostnad. Alle begrepene innebærer samme tilnærming, at alle kostnadene som påløper for et anlegg gjennom hele levetiden skal tas med i beregningen.

I dokumentet *Guideline for LCC and RAMS Analysis* (INNOTRACK, 2006) omtales de klassiske LCC-fasene som:

- Konsept og utredning
- Design og planlegging
- Produksjon
- Installasjon
- Drift og vedlikehold
- Avhending

For et infrastrukturanlegg på jernbane vil de mest åpenbare kostnadselementene som inngår i LCC være investeringskostnader, drifts- og vedlikeholdskostnader, samt kostnader for demontering og avhending når anlegget skal tas ut av bruk og fjernes ved slutten av levetiden. Også andre kostnader kan inkluderes og dette er omtalt senere i denne oppgaven.

Levetidsanalyser (Life cycle assessment – LCA) tar for seg et anlegg i et bredere perspektiv. Her inkluderes normalt også miljøkostnader som anlegget påfører samfunnet i alle livsfasene, som for eksempel forbruk av råvarer, naturinngrep, forurensning og andre miljøeffekter. Dette inkluderes normalt ikke i en LCCA.

I avsnittene nedenfor har jeg kort omtalt Levetidsanalyser (Life Cycle Analysis – LCA) og Levetidskostnader (Life Cycle Cost – LCC) relatert til jernbane. Jeg velger å benytte uttrykket LCC-analyse når jeg omtaler arbeidet med analyser av kostnader i denne oppgaven.

2.1.1 Life cycle analysis (LCA)

Levetidsanalyser (LCA) inkluderer kostnadene for miljøeffekter som en jernbanestrekning påfører samfunnet generelt og området der banen går spesielt. En jernbane vil påvirke miljøet i flere livsfaser:

Generelt anser man at jernbane er positivt for miljøet i det store og hele. Bygging av en jernbane vil imidlertid medføre støy fra anleggsarbeid, maskiner og transport av masser, utstyr og personell. Videre vil det kunne medføre utslipp til naturen av støv, vann og eventuelt andre stoffer. Det kan bli behov for omlegging av veier og elver, samt flytting eller oppkjøp av bygninger og eiendommer berøres. Byggefase vil kunne påføre lokalmiljøer belastninger og redusert livskvalitet.

Når jernbanen settes i drift vil det også kunne medføre negative miljøeffekter. For eksempel vibrasjoner og støy fra trafikken, økt fare for ulykker eller utslipp, og reduserte eiendomspriser på grunn av nærhet til banen.

Dersom en jernbane legges ned vil det på slutten av levetiden gi noen negative effekter først, for eksempel ved fjerning av jernbanetekniske anlegg og frigjøring av traseen til andre formål. Men deretter vil nedleggingen kunne medføre positive miljøeffekter for et lokalsamfunn.

Energiforbruk ved bygging, for drift og vedlikehold, og for demontering vil også være med å påvirke i en levetidsanalyse.

Hvordan kan så alle miljøeffektene beskrives og omsettes til kostnader? Det er et stort og omfattende arbeid, og vanskelig å beregne i kroneverdier for et anlegg. Dette kunne vært verdt å gjennomføre som en egen oppgave for seg, og jeg har valgt å ikke inkludere LCA eller kostnader for dette videre i denne oppgaven.

2.1.2 Life cycle cost (LCC)

Hovedprinsippet med levetidskostnader er at alle kostnadene for bygging av et anlegg, kostnader for drift og vedlikehold, trafikantkostnader og miljøkostnader samles. Hensikten med å beregne levetidskostnadene (LCC) for et prosjekt er å kunne sammenligne forskjellige alternativer i et prosjekt slik at man bygger det som er best (billigst) for samfunnet over hele levetiden. For å kunne sammenligne forskjellige LCC-verdier må fremtidige kostnader (f.eks. fremtidig vedlikehold) omregnes til Nåverdi. Mer om det kommer i kapittel 2.3.

Levetidskostnader (LCC) for jernbanen skal inkludere kostnader gjennom hele livsløpet. Som tidligere nevnt inkluderer dette investeringskostnader, drifts- og vedlikeholdskostnader, samt kostnader for demontering og avhending av jernbane infrastrukturen. En total levetidskostnadsanalyse vil også inkludere forhold i perioden før bygging som inkluderer utredning og planlegging, valg mellom alternative traseer, tekniske løsninger og komponenter, samt strategier for bygging. For driftsfasen vil det også inkludere testing og oppstart av planlagt trafikk på banen, tilgjengelighet på banen (oppetid), kostnader ved endringer, og kostnader for støttefunksjoner til drift og vedlikehold.

For passasjerene kan man også inkludere billettpriser og kostnader eller besparelser knyttet til forskjeller i reisetid og reisekostnad i forhold til alternative transportmidler. Forsinkelses- og farekostnader (kostnader ved ulykker) omtales ofte som risikokostnader.

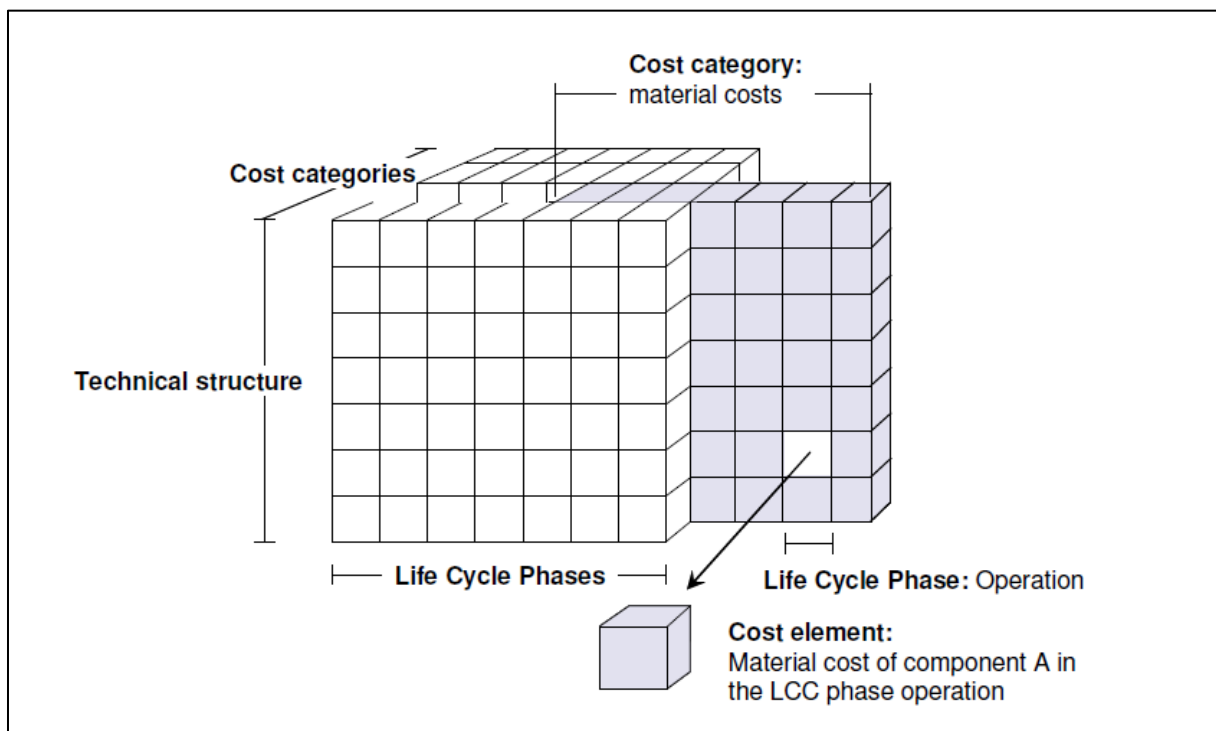
I et utbyggingsprosjekt med stramme kostnadsrammer kan det være fristende og naturlig å velge det alternativet som har lavest anleggskostnad (investering/bygge-kostnad) så lenge alternativet tilfredsstillende funksjonskravene. Dette er imidlertid ikke nødvendigvis den beste løsningen. Derfor må man også se på andre forhold for de aktuelle alternativene, som de fremtidige drifts- og vedlikeholdskostnadene, trafikantenes kostnader (kostnader forbundet med kjøretøy, tid, ulykker, forsinkelser) og miljøkonsekvenser (støy, støv, forurensning, estetikk, oa).

For et helt jernbanesystem vil kostnader forbundet med anskaffelse, drift og vedlikehold av togene også inkluderes. Som en kuriositet kan nevnes at jeg i 1996-1997 jobbet med LCC-

beregninger av Flytogene (type 71). Kunden⁸ stilte krav om dette i kontrakten og togleverandøren⁹ måtte ut ifra «gitte forutsetninger gi garantier om totale levetidskostnader for togene. I den forbindelse ble det også utarbeidet en detaljert «skrotningsinstruks» som redegjorde for hvilke materialer som var benyttet i toget, hvordan dette skulle demonteres og resirkuleres, og kostnadene med dette inklusiv verdi av gjenvinnbare råmaterialer.

Dokumentet *Guideline for LCC and RAMS Analysis* (INNOTRACK, 2006) beskriver en modell som deler opp kostnadselementene i et infrastrukturanlegg i forskjellige kategorier som angitt på figuren nedenfor:

- Kostnadskategori (materialer, byggearbeid, vedlikeholdsarbeid, forsinkelse, fare, etc)
- Teknisk struktur (anleggets sammensetning av forskjellige komponenter)
- Livssyklus-fase (investering, drift og vedlikehold, avhending)



Figur 5 – Kostnadselementer i LCC, 3-dimensjonal matrise (INNOTRACK, 2006)

Det er ofte aktuelt å avgrense en LCC-analyse til kun å inneholde de mest relevante kostnadselementene. Dette vil selvfølgelig avhenge av hvor vesentlige disse elementene er i

⁸ NSB Gardermobanen AS. Fikk navnet Flytoget AS i 2001 som datterselskap til NSB. Fra 2003 direkte eid av Samferdselsdepartementet og fra 2004 av Nærings- og handelsdepartementet.

⁹ ABB Strømmen AS inngikk kontrakt med NSB Gardermobanen om togleveransen i 1995. Selskapet ble i 1996 innlemmet i Adtranz ved en fusjon mellom Daimler-Benz' og ABBs jernbaneselskaper. Adtranz ble i 2001 kjøpt opp av Bombardier Transportation som da ble den største produsenten av lokomotiver, motorvognsett, t-baner og trikker i verden.

beregningene samt om det finnes tilgjengelige data eller estimerer for kostnadene. Avgrensninger gjøres også for å sette fokus på spesielle områder der man ønsker å vurdere av forskjellige løsninger eller alternativer.

SINTEF-rapporten *Life Cycle Cost Analysis in Railway Systems* (Hokstad, 1998) definerer begrepene Life Cycle og Life Cycle Cost slik:

Life Cycle: Time interval between product conception and its disposal.

Life Cycle Cost: The total cost to the user of the purchase and installation, and the use and the maintenance during the life cycle.

Formler for beregning av LCC

Levetidskostnader (LCC) kan beregnes ved å definere og finne verdier for følgende elementer:

$$\begin{aligned}
 & \text{Anleggskostnader (AK}_0\text{)} \\
 + & \text{ Nåverdi (Vedlikeholdskostnader VK + Trafikantkostnader TK + Miljøkostnader MK)}^{(*)} \\
 - & \text{ Nåverdi (Restverdi anleggskost RV}_{AK}\text{ + Restverdi vedlikeholdskost RV}_{VK}\text{)}^{(**)} \\
 \hline
 = & \text{ Levetidskostnad (LCC)}
 \end{aligned}$$

^(*) i levetiden N

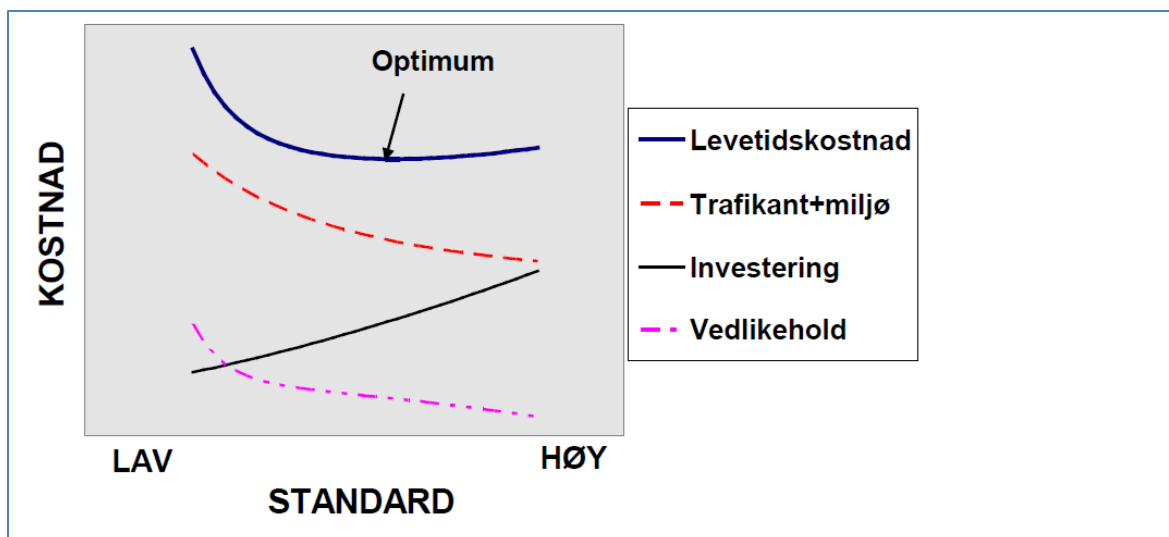
^(**) ved slutten av levetiden N

Dette kan settes opp som følgende formel:

$$LCC = AK_0 + \sum_{i=1}^N [(VK_i + TK_i + MK_i) * (1 + r)^{-i}] - [(RV_{AK} + RV_{VK}) * (1 + r)^{-N}]$$

Der r = kalkulasjonsrenten, N = analyseperiodens lengde, og i = angivelse av år. Eventuell restverdi etter angitt levetid, knyttet til anleggskost og til vedlikeholdskost, er angitt som RV.

Optimale levetidskostnader kan illustreres ved følgende figur:



Figur 6 – Illustrasjon av prinsippet om optimale levetidskostnader (Sund, 1998)

Investeringskostnadene (anleggskostnad) (hel sort sterk) øker jo høyere standard som bygges. Vedlikeholdskostnader (delstiplet lilla strek) og trafikantkostnader (helstiplet rød strek) reduseres normalt ved høyere standard. Summen av disse utgjør Levetidskostnad, og det punktet på kurven for total LCC som er lavest angir den standarden som gir optimale levetidskostnader.

Ved sammenligning av ulike alternativer tar en vanligvis bare med kostnader som er forskjellige mellom de ulike alternativene.

2.2 Litteraturstudie

I dette delkapittelet omtales studiet jeg har gjennomført for å få oversikt over relevant litteratur samt for å skaffe informasjon jeg kunne bruke videre i oppgaven.

2.2.1 Generelt om litteraturstudiet gjennomført i prosjektoppgaven

En stor del av arbeidet med prosjektoppgaven *LCC for jernbane – Forstudium om LCC for ballastert jernbanespor* (Hofgaard, 2015) var å gjennomføre et litteraturstudium, som et forberedende arbeid knyttet til denne masteroppgaven. Fokus for litteraturstudiet var i utgangspunktet å finne litteratur som omhandler LCC og LCC-metoder generelt og mer spesifikt knyttet til jernbane. Videre ville jeg finne litteratur som beskrev Jernbaneverkets tilnærming til LCC.

Arbeidet med litteraturstudiet ble delt inn i to hovedfaser; i) litteratursøk og ii) litteraturstudie. I litteratursøk-fasen gjennomførte jeg selve søket av relevant litteratur, mens jeg i

litteraturstudie-fasen leste den litteraturen jeg hadde funnet, eller relevante deler av denne. Hensikten var å øke min kunnskap innenfor området, samt å danne meg et bilde av omfanget av litteratur som finnes om temaet.

2.2.2 Struktur / inndeling av litteraturstudiet

I prosjektoppgaven (Hofgaard, 2015) planla jeg å bruke forskjellige kilder til å søke etter relevant litteratur for oppgaven, og jeg fokuserte på generell overordnet litteratur, litteratur om metoder, og litteratur knyttet til jernbanespor og komponenter i sporet. Hensikten var å finne relevante kilder som jeg kunne studere nærmere.

Basert på disse avgrensingene søkte jeg litteratur via forskjellige verktøy. Både internett, Jernbaneverkets intranett (Banenettet) og systemene til NTNU's og Jernbaneverkets bibliotek har blitt benyttet. Jeg fikk også oppgitt referanselitteratur fra forskjellige kontaktpersoner i Jernbaneverket og fra veileder. De fleste av litteraturkildene som jeg har funnet inneholder referanselister eller andre litteraturhenvisninger. Disse har vært til stor nytte for å søke videre etter relevant litteratur.

Søkeverktøy og kilder til litteratur har vært:

- Google Scholar og Google
- Bibliotekbasen BIBSYS
- Research Gate
- Web of science
- Brage
- DiVA (Digitala Vetenskapliga Arkivet)
- Alt i norske vitenarkiv i én tjeneste (NORA); [<http://nora.openaccess.no/?siteLanguage=nor>]

Følgende var søkeord som jeg har benyttet, både alene og i forskjellige kombinasjoner:

- LCC
- Life cycle cost
- Levetidskostnad
- Livsløpskostnad
- Railway
- Track
- Jernbane
- Spor

2.2.3 Viktige funn fra litteraturstudiet

Fra litteraturen jeg har studert vil jeg nedenfor fremheve de mest relevante funnene som beskriver fremgangsmåter og metodikk for LCC-analyser.

Standard

Standardene, spesielt IEC 60300-3-3 *Dependability management – Part 3-3: Application guide – Life cycle costing* (IEC, 2004), er nyttige for planlegging og gjennomføring av LCC-analyser, samt for analysering av resultatene. Standarden omhandler en rekke områder knyttet til praktisk anvendelse av LCC. Standarden inneholder bl.a. beskrivelse av LCC-konseptet og hensikten med LCC, timing av LCC-analyser, kostnadsavhengigheter og -konsekvenser, selve LCC-prosessen for å gjennomføre analyser, og usikkerhet og risiko knyttet til LCC. Det finnes en god beskrivelse av standarden i rapporten *Renewal decisions from a Life-cycle Cost (LCC) Perspective in Railway Infrastructure*. (Andrade, 2008).

Rapporter og utredninger

Per Hokstad ved SINTEF var i 1998 forfatter av en rapport *Life Cycle Cost Analysis in Railway Systems* (Hokstad, 1998) som beskrev en modell for LCC-analyse for jernbanesystemer. Modellen tar for seg struktur for nedbrytning av input-data i kostnadskategorier, fysisk komponentstruktur, formler for diskontering og for LCC-beregning, samt definisjoner og forkortelser. Modellen er ganske enkel da bl.a. diskonteringsraten holdes konstant i levetiden, de årlige kostnadene for drift og vedlikehold er konstante, og avhendingskostnadene ved slutten av levetiden er ikke tatt med. Den fokuserer på kostnadsforskjeller mellom alternativer, og inkluderer bare grov beregning av totale kostnader. Rapporten omhandler også hvor sensitive konklusjonene er til variasjoner i input-data.

Innotrack-prosjektet ble lansert av EU i 2006 med formål bl.a. å komme med anbefalinger knyttet til redusert LCC for bygging og vedlikehold av jernbaneinfrastruktur. Innotrack-dokumentene inneholder veldig mye nyttig informasjon om metodikk, datainnsamling, nøkkelparametre og verktøy. To viktige leveranser derfra er:

1. *Innotrack (D6.5.4) Guideline for LCC and RAMS Analysis* (INNOTRACK, 2006) er et omfattende dokument som omhandler prinsippene for LCC- og RAMS-analyser og forholdet mellom dem. LCC-metodikk, kostnadselementer, diskonteringsprinsipper, håndtering av input-data og usikkerhet er områder som omtales, i tillegg til beskrivelser av

gjennomføring av LCC-analyse, behandling av resultater, samt bl.a. et eksempel på analyse av forskjellige stålkvaliteter for skinner.

2. I rapporten *Innotrack (D6.4.1) Key values for LCC and RAMS* (INNTRACK, 2009) har arbeidsgruppen kartlagt hvilke nøkkelverdier 9 forskjellige aktører (infrastrukturforvaltninger, system- og komponentleverandører) har oppgitt som vesentlige for bruk i LCC- og RAMS-analyser.

Fra Portugal har jeg funnet rapporten *Renewal decisions from a Life-cycle Cost (LCC) Perspective in Railway Infrastructure: An integrative approach using separate LCC models for rail and ballast components* (Andrade, 2008) som beskriver LCC som et verktøy for å skape en mer effektiv jernbanesektor. Andrade beskriver også det han omtaler som Zoeteman-modellen for beslutningsstøtte knyttet til vedlikehold av elementene i en komplett jernbaneinfrastruktur. I Jernbaneverket benyttes PriFo (se neste delkapittel) som beslutningsverktøy for denne typen beslutninger når det gjelder fornyelse. Videre beskriver han komponenter i et spor, nedbrytningsmodeller for de forskjellige elementene og relevante vedlikeholdsaktiviteter. Andrade har også noen praktiske eksempler på modeller for LCC-beregninger av skinne og ballast.

Artikler og presentasjoner

Artikkelen *Improved maintenance system for concrete sleeper track – For low Life Cycle Cost* (Kumar, 2002) beskriver jernbanen i India sine forventninger om at LCC for spor blir vesentlig redusert ved omfattende bruk av betongsviller på grunn av i) betongsviller er billigere enn alle andre svilletyper i India, ii) økt levetid på svillene, og iii) reduserte krav til vedlikehold. I tillegg beskrives nye vedlikeholds-strategier som implementeres for ytterligere å bygge opp under mer kostnadseffektivt vedlikehold og lavere LCC for sporet.

I artikkelen *Comparing the life-cycle costs of standard and head-hardened rail* (Girsch et al., 2005) beskrives forskning som den tyske jernbanen (DB) og skinnefabrikanten Voestalpine Schienen GmbH har gjennomført knyttet til LCC for forskjellig skinnehardhet. Det fremkommer at en skinnetype med høy hardhet, R350HT, både har redusert slitasje som medfører mindre vedlikehold og lengre vedlikeholdsintervaller, og redusert behov for å fjerne metall ved skinnerliping. Dette gjør at skinnelevetiden er opptil 3 ganger så lang som andre skinnetyper. Til tross for høyere anskaffelseskostnad for R350HT-skinne, så ble LCC i testeksempelet redusert med omtrent 35 %.

En artikkel i *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers; Uncertainty estimation in railway track life-cycle cost: a case study from Swedish National Rail Administration* (Patra et al., 2009) beskriver at en vesentlig del av usikkerheten knyttet til LCC forårsakes av pålitelighets- og vedlikeholdsbarhets-parametrene. Artikkelen presenterer en metode for å estimere usikkerheten. Metoden er prøvd ut på en case i samarbeid med Banverket i Sverige på Malmbanen mellom Luleå og Narvik.

Jeg har benyttet resultatene fra litteraturstudiet i forprosjektet (Hofgaard, 2015) videre i denne oppgaven. I mitt arbeid har det vært nødvendig å gjøre tilpasninger, avgrensninger og justeringer i forhold til omtalte metoder og modeller. I tillegg har jeg i etterkant av forprosjektet funnet ytterligere litteratur som jeg har hatt bruk for i arbeidet med denne oppgaven.

2.2.4 Jernbaneverkets tilnærming og bruk av LCC

På generell basis kan en jernbane-infrastrukturforvaltning anvende LCC for forskjellige formål; Langtidsplanlegging (strategiske vurderinger), Produkt og Systemdesign, Vedlikeholdsstrategier, og Operasjonelle beslutninger i prosjekter (*The asset management club project: phase 3: asset registers & RAMS/ LCC : final report*, 2011). Jernbaneverket forholder seg til kravene i *anskaffelsesloven* (Nærings- og fiskeridepartementet, 1999) om å ta hensyn til livssyklus kostnader. Jernbaneverket har videre utarbeidet *Vedlikeholdshåndboken* (Jernbaneverket, 2011) og *Jernbaneverkets Metodehåndbok for samfunnsøkonomiske analyser* (Siedler og Voss, 2015) som omhandler hvordan organisasjonen forholder seg til vedlikehold av infrastrukturen og til økonomiske beregninger, bl.a. nåverdiberegninger som er sentrale i LCC.

Måten Jernbaneverket praktiserer LCC ved anskaffelser på i dag at utstyrsleverandører må gi innspill til drifts- og vedlikeholdskostnader. Dette inkluderer informasjon om for eksempel gjennomsnittlig tid mellom feil (MTBF¹⁰), gjennomsnittlig tid for reparasjon (MTTR¹¹), gjennomsnittlig tid for forebyggende vedlikehold pr år (personaltimer), og gjennomsnittlig årlig forbruk av reservedeler til forebyggende vedlikehold (Jernbaneverket, 2013b). Gjennom dette fokuserer Jernbaneverket på pålitelighetsstyrt vedlikehold (RCM – Reliability Centered

¹⁰ MTBF – Mean Time Between Failure

¹¹ MTTR – Mean Time To Repair

Maintenance) for det «daglige vedlikeholdet». Dette inkluderes i RAMS-arbeidet i prosjektene og resultatene benyttes i enkelt-tilfeller for valg mellom to eller tre aktuelle løsninger.

Jernbaneverket Utbygging gjennomførte i 2012 og 2013 et prosjekt som ledet frem til utredningen *Utredning LCC i JBV*. Oppgaven for prosjektet er beskrevet som:

«Jernbaneverket utbygging skal sammen med P, B og E etablere mål og strategier for hvordan totalkostnaden med å bygge/drifte Jernbaneverkets anlegg skal holdes lavest mulig. Det innebærer at Jernbaneverket utbygging sammen med P, B og E skal levere MÅL, STRATEGI og PLAN for fortsatt arbeide med hvordan Jernbaneverket skal levere kvalitet innenfor et livsløpsperspektiv.» (Jernbaneverket, 2013b).

I utredningen er LCC beskrevet og knyttet til forskjellige begreper som RAMS og nytte/kost. Det er omtalt hva som er innholdet i LCC og forskjellige metoder og tilnærminger i forskjellige organisasjoner i Norge, bl.a. Jernbaneverket, NTNU, SINTEF, Statsbygg, Forsvarsbygg og Forsvaret, samt internasjonale fora. Rapporten inneholder også beskrivelse av PriFo som er nærmere omtalt nedenfor. Prosjektgruppen som utarbeidet utredningen har gjennomført et litteratursøk, og den gir en god oversikt over Jernbaneverkets tilnærming til LCC. Rapporten legger frem forslag for en enkel og praktisk tilnærming til LCC i Jernbaneverket. Den versjonen av utredningen som jeg har fått tak i, er ikke en endelig godkjent (signert) versjon.

Jernbaneverket benytter LCC-tilnærmingen aktivt i forbindelse med større vedlikeholds- og fornyelsesprosjekter. Notatet *A Life Cycle Cost model for prioritisation of track maintenance and renewal* (Vatn, 2002) beskriver LCC-modellen som Jernbaneverket har fått utviklet for å være et verktøy for beslutningsstøtte ved prioritering og oppfølging av strategiske fornyelsesprosjekter (PRIoritering av FORnyelsesprosjekter - PriFo). Verktøyet inkluderer følgende elementer i LCC-modellen:

- sikkerhetsmessige kostnader,
- punktlighetsmessige kostnader,
- drifts- og vedlikeholdskostnader,
- kostnader på grunn av økt restlevetid (residual life length – RLL), og
- prosjektkostnader

(Vatn, 2002)

Jernbaneverket har testet denne modellen og benytter den for å beregne kost/nytte-forholdet for et prosjekt. Fordelene ved å benytte denne modellen er at alle vedlikeholds- og fornyelsesprosjekter blir evaluert med samme metode etter kriterier som det er enighet om i organisasjonen. Videre gir metoden Jernbaneverket et godt grunnlag for å prioritere de beste prosjektene når det ikke er ressurser til å gjennomføre alle, og dessuten vil metoden, når man får mer erfaring med den, kunne benyttes til å argumentere og forklare behov og prioriteringer overfor bevilgende myndigheter og togoperatører.

2.2.5 Jernbaneverkets krav og litteratur om spor

Jeg har hentet mye informasjon om jernbanens oppbygging i *Jernbanens tekniske regelverk*¹² (Jernbaneverket, 2016b). Regelverket er et viktig styringsverktøy og et viktig hjelpemiddel ved utforming, bygging og dimensjonering av jernbaneanlegg, samt at det inneholder regler for vedlikehold. Jeg har også hentet mye informasjon fra *Jernbaneverkets lærebøker i jernbaneteknikk*¹³ (jernbanekompetanse) som omfatter en samling og oppdatering av tidligere utarbeidet læremateriell for ulike kurs og seminarer innen jernbanetekniske emner.

Teknisk regelverk

Teknisk regelverk er et viktig styringsverktøy og et viktig hjelpemiddel ved utforming, bygging, dimensjonering og vedlikehold av jernbaneanlegg. Regelverket er også en samlebetegnelse for normaler innenfor de ulike jernbanetekniske fagområder. Jernbaneverkets tekniske regelverk stiller krav til komponenter og kombinasjoner av komponenter i forhold til overbygningssklasse og kvalitetsklasse. Dette gir begrensninger i valg av kombinasjoner av komponenter.

Jernbanekompetanse

Lærebøker i jernbaneteknikk (jernbanekompetanse) er et nyttig hjelpemiddel ved kompetanseoppbygging og -vedlikehold for alle som arbeider med jernbanetekniske problemstillinger. Her finnes mye bra informasjon om sporets oppbygning, inklusiv skinner, sviller, befestigelse og ballast. Både for prosjektering og for vedlikehold av komponentene i sporet.

¹² Jernbaneverkets tekniske regelverk omtales ofte bare som Teknisk regelverk, og finner på følgende URL: <https://trv.jbv.no/wiki/Forside>

¹³ Lærebøker i jernbaneteknikk (jernbanekompetanse) finnes på følgende URL: www.jernbanekompetanse.no/wiki/Hovedside

2.3 Parametere i beregninger

Dette delkapittelet beskriver forskjellige parametere og begreper som benyttes i beregninger av levetidskostnader. Det som er beskrevet nærmere er nåverdi, kalkulasjonsrente, analyseperiode og usikkerhet i analyser.

Noen verdier har blitt oppgitt i Euro, og jeg har regnet om disse verdiene til Norske kroner (kr) ved å benytte årlig gjennomsnittskurs for Euro som angitt i Norges Bank sin oversikt (Norges_Bank, 2016). For 2015 oppgis kursen til 1 EUR = 8,953 NOK.

2.3.1 Nåverdiberegning

Tusen kroner i dag er ikke det samme som tusen kroner om 10 år. For å kunne beregne alle kostnader og inntekter som kommer på forskjellige tidspunkter i løpet av bygging og levetid for et anlegg, bruker vi Nåverdibegrepet. Dette er en metode for å beregne verdien i dag (eller til et annet angitt år) av alle tidligere eller kommende kostnader og inntekter. På denne måten kan det gjøres en økonomisk sammenligning av forskjellige prosjekter. For å regne med dette benyttes en kalkulasjonsrente (r) og en analyseperiode (N) år, og Nåverdien for en fremtidig kostnadsrekke vil da være gitt som:

$$NV = \sum_{\text{alle}} B_i \times (1 + p)^{-T_i}$$

NV = Nåverdi

B = Beløp (kostnad eller inntekt)

p = Rente (%)

T = Tid fra nåverdi tidspunktet (år)

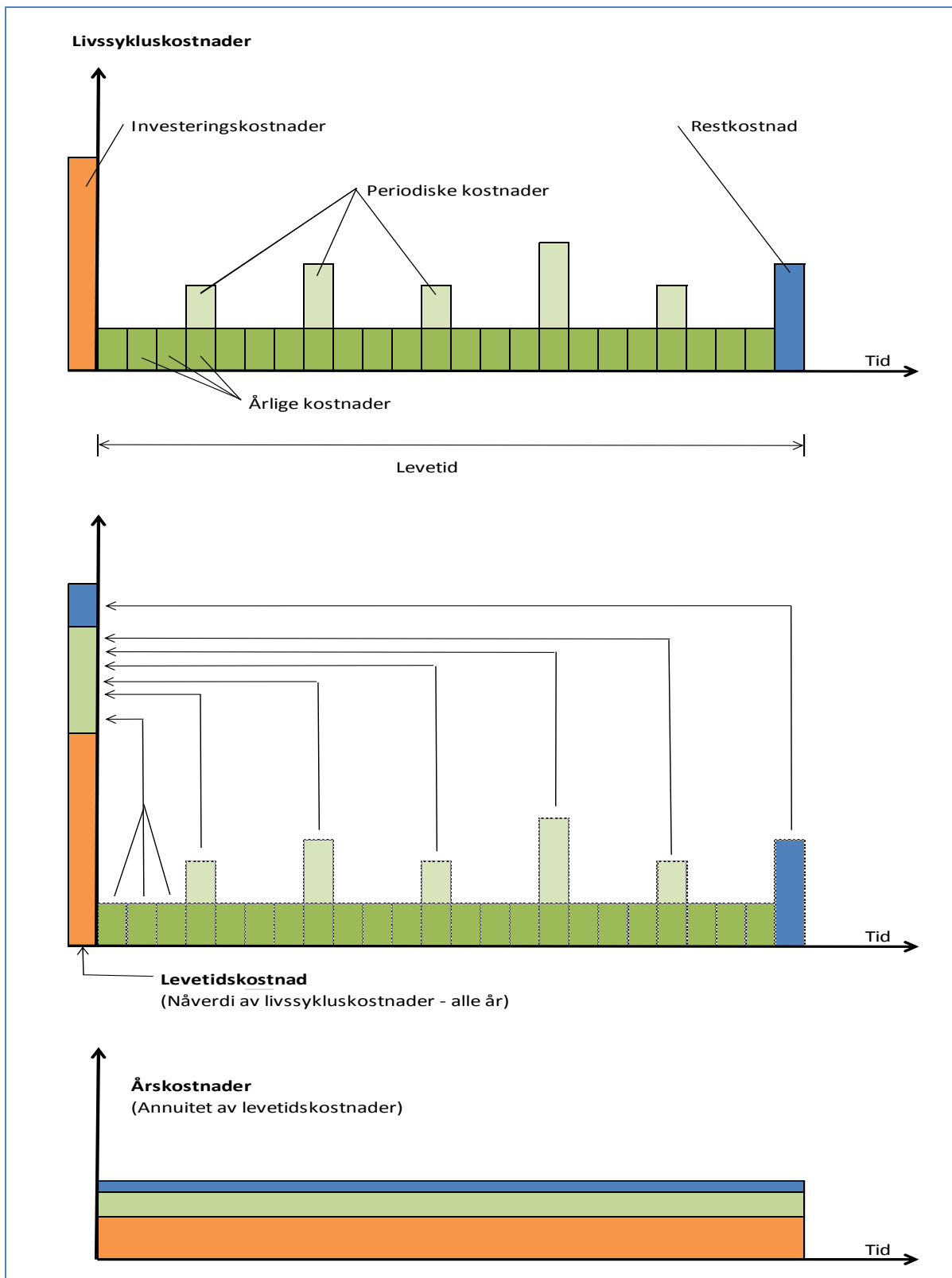
i = År nr

Uttrykket $(1 + p)^{-T_i}$ kalles diskonteringsfaktoren.

Hvis alle de prissatte konsekvensene av et tiltak tas med i formelen, så vil NV tilsvare levetidskostnaden LCC for tiltaket.

I Jernbaneverkets veileder (metodehåndbok) for samfunnsøkonomiske analyser av tiltak i jernbanesektoren (Siedler og Voss, 2015) beskrives forhold som må tas med i betraktning når man skal gjøre analyser av prosjekter som gir konsekvenser over en lang tidsperiode.

Investeringskostnadene i et jernbaneprosjekt påløper tidlig og relativt konsentrert, mens nytten for samfunnet kommer gjennom en lengre periode i levetiden til anlegget. For å sammenligne konsekvenser på ulike tidspunkter, omregnes de til verdi på ett felles tidspunkt, henføringsåret. Når henføringsåret er starten av tiltakets levetid, kalles dette nåverdiberegninger. Nåverdien beregnes ved å redusere verdien av fremtidig nytte og kostnader med en faktor som øker over tid.



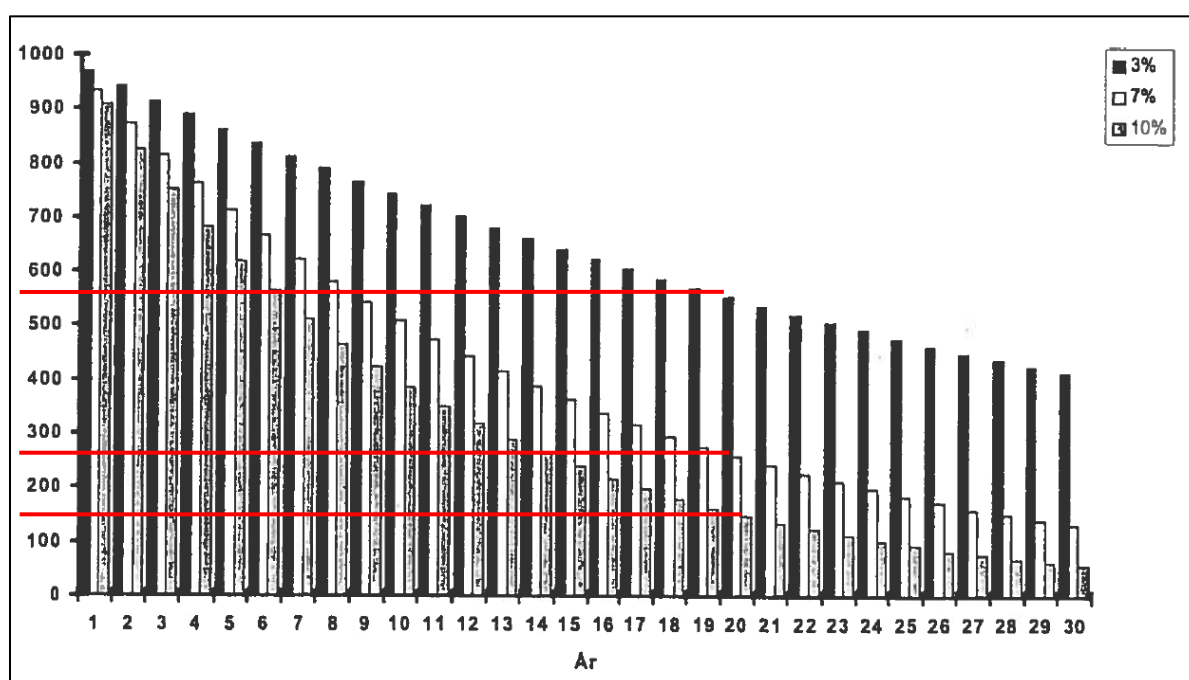
Figur 7 – Sammenheng mellom kostnadsbegreper¹⁴

¹⁴ Figuren er basert på beskrivelse av LCC, nåverdi og årlig verdi fra *Innotrack – Guideline for LCC and RAMS Analysis* (kap 3.2.3) (INNOTRACK, 2006).

2.3.2 Kalkulasjonsrente

Kapittelet om nåverdiberegning ovenfor beskrev omregning av kostnader til et felles tidspunkt ved hjelp av kalkulasjonsrenten. Kalkulasjonsrenten skal representere den realrenten vi kunne oppnådd ved en alternativ pengeplassering. Men i praksis er det bedre å se på størrelsen av kalkulasjonsrente (r) som et valg av tidspreferanse / effektiv planleggingshorisont;

Dersom r settes høyt vil kostnader som inntreffer sent i analyseperioden få relativt liten innvirkning på nåverdien, mens dersom r settes lavt vil fremtidige kostnader få relativt større innvirkning på nåverdien.



Figur 8 – Kalkulasjonsrentens innvirkning på nåverdiens størrelse (Sund, 1998)

Som det fremgår av figuren vil en kostnad på kr 1000 om 20 år bli omregnet til nåverdi lik:

$$NV_3 = 1000 * (1,03)^{-20} = 554 \text{ kr} \quad \text{dersom } r = 3 \%$$

$$NV_7 = 1000 * (1,07)^{-20} = 258 \text{ kr} \quad \text{dersom } r = 7 \%$$

$$NV_{10} = 1000 * (1,10)^{-20} = 149 \text{ kr} \quad \text{dersom } r = 10 \%$$

Kalkulasjonsrenten (r) vil altså være avgjørende for hvilket alternativ som kommer best ut ved sammenligning av forskjellige planleggingsalternativer. Lav rente vil fremme investerings-tunge prosjekter med lavere fremtidig vedlikeholdskostnader, mens en høyere rente vil gjøre det mer attraktivt å kjøpe billigere nå, da fremtidig vedlikehold vil ha lav nåverdi i dag.

Metodehåndboken angir at kalkulasjonsrenten normalt settes til 4 % for de første 40 år (Siedler og Voss, 2015).

2.3.3 Analyseperiode og levetider

Ved planlegging av jernbaneinfrastruktur må man ha en langsiktig horisont. I boken *Jernbanetraffikk* (Olsson og Veiseth, 2011) angis et tidsperspektiv for planlagt bruk av baner på 50 – 150 år. Jernbaneverkets *Metodehåndbok Samfunnsøkonomiske analyser* (Siedler og Voss, 2015) angir at det normalt benyttes en analyseperiode på 40 år for investeringer i kjøreveien. Det må imidlertid gjøres forutsetninger om prosjektets levetid. I denne oppgaven har jeg, etter anbefaling fra veileder, valgt å benytte analyseperiode på 60 år. Anleggets levetid antas å være enda lenger enn denne analyseperioden, og det er da mulig å angi en restverdi ved utløpt analyseperiode.

Forskjellige deler av jernbane-infrastrukturen har forskjellig levetid. I metodehåndboken (Siedler og Voss, 2015) angis at følgende tekniske levetider legges til grunn for ulike typer investeringer:

Infrastruktur-del	Levetid
Underbygning	100 år
Overbygning	40 år
Elektroanlegg	40 år
Signalanlegg	25 år
Kontaktledningsanlegg	75 år

Tabell 1 – Levetid på forskjellige deler av infrastrukturen

Også innenfor hver hoveddel, vil de ulike komponentene ha ulik levetid. Spesifikke levetider på inngående komponenter i analysen i denne oppgaven er angitt i kapittel 5.1.

2.3.4 Usikkerhet i analysene

Det er et faktum at store deler av grunnlaget for LCC blir fastlagt tidlig i et prosjekt, når løsninger blir planlagt og valgt, og det er i den fasen det er størst potensial for å gjøre besparelser. Det burde derfor være stort fokus på å gjøre de riktige besparelsene i denne fasen, da valgene som gjøres tidlig vil få konsekvenser for anleggets totalt LCC. I senere livsfaser for anlegget er det vanskeligere å gjøre valg som i like stor grad innvirker på LCC.

En utfordring man kan ha tidlig i et prosjekt er imidlertid at noen parametere ikke er kjente. For eksempel vil nye systemer og komponenter som introduseres mangle data knyttet til levetid, feilrater og vedlikeholdsbehov og kostnader, og det kan også mangle erfaringsdata om eksisterende systemer.

I rapporten *Uncertainty estimation in railway track life-cycle cost: a case study from Swedish National Rail Administration* (Patra et al., 2009) omtales to former for usikkerhet knyttet til LCC for spor; ekstern og intern usikkerhet. Den eksterne usikkerheten er kostnader som påføres infrastruktur-eieren fra togselskap, passasjerer eller eiere av gods som transporteres, på grunn av faktorer som forsinkelser, kanselleringer, og ulykker og hendelser. Slike forhold kan være forårsaket av planlagte eller akutte vedlikeholdsaktiviteter, men kan også oppstå dersom nødvendig vedlikehold ikke blir utført. Intern usikkerhet knyttet til LCC forårsakes av forhold knyttet til valgte komponenter og løsninger i forhold til anskaffelse og bygging, samt vedlikeholds-behov og -kostnader, feilfrekvens og oppetid (parametere for pålitelighet og vedlikeholdbarhet).

I arbeidet med denne oppgaven har jeg benyttet uttrekk av registreringer i Banedata. Kvaliteten på informasjonen i Banedata omtales i *Riksrevisjonens undersøkelse av effektivitet i vedlikehold av jernbanenettet* (Riksrevisjonen, 2016) der det blant annet skrives i kapittel 6.2.2: «Undersøkelsene viser at manglende registreringer i BaneData bidrar til å svekke kvaliteten på styringsinformasjonen, som blant annet benyttes for å beregne vedlikeholdsetterslep og prioritere og følge opp vedlikeholdet.» Jeg har observert at det er noen mangler i registreringene når det gjelder tidspunkt for Feilretting startet og Feilretting avsluttet. Jeg har imidlertid i denne oppgaven valgt å benytte dataene jeg har fått fra Banedata, da jeg ut ifra hvordan jeg har brukt informasjonen vurderer at mine observasjoner ikke påvirker resultatene. Videre har jeg ingen andre konkrete innspill på forhold som svekker påliteligheten.

Det er forbundet en viss usikkerhet med alle kostnadene for de forskjellige elementene i LCC-beregninger. Noen kilder til usikkerhet om kostnader kan være: Kvalitet på informasjon, grad av samsvar mellom historiske data og den aktuelle analysen, forutsetninger og omregninger til sammenlignbare størrelser.

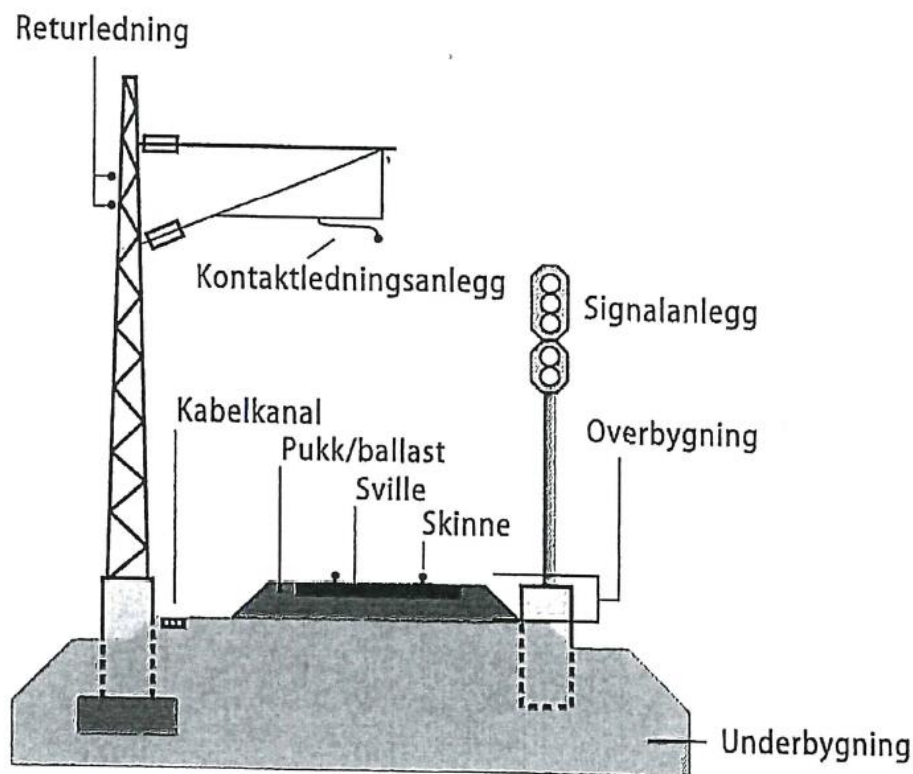
Jeg har nedenfor angitt noen andre generelle forhold som kan medføre usikkerhet knyttet til beregninger av LCC og vurdering av resultater.

- Teknisk levetid for de ulike komponentene. Avvik i levetid vil kunne medføre at komponenten feiler for tidlig, før den blir vedlikeholdt eller byttet, eller at den har gjenværende levetid (restlevetid) når den vedlikeholdes / byttes. Begge tilfeller vil ha tilknyttede kostnader som kan gi usikkerhet.
- Omfanget av vedlikehold på riktig nivå. Er dette for høyt eller lavt i forhold til trafikkmengde og kvaliteten på infrastrukturen, vil det medføre usikkerhet.

- Organisering av vedlikehold. Er kravet til oppetid og høy teknisk standard på banen medvirkende til høyere kostnader for vedlikehold enn det kunne ha vært?
- Reell teknisk kvalitet på komponenter, materialer, vedlikeholdsorganisasjonenes kompetanse og kvalitet på utføring.
- I hvilken grad har banens kvalitet innvirkning på driftskostnadene for infrastruktureier (JBV), togoperatører (Flytoget og NSB) og ikke minst for brukerne.
- Kalkulasjonsrente og analyseperiode, som omtalt i kapitlene 2.3.2 og 2.3.3 ovenfor.

2.4 Komponenter i overbygningen

Jernbanens kjøreveg består av hovedelementene strømforsyningsanlegg, signalanlegg, underbygning, teleanlegg og overbygning.



Figur 9 – Elementer i kjørevegen. Illustrasjon *Slik fungerer jernbanen*, (Jernbaneverket, 2012c)

Sporet på en jernbane inngår i banens overbygning hvor følgende komponenter kan finnes:

Skinner	Sviller	Befestigelse	Ballast
Skjøter	Sporveksler	Sporstoppere	Fastspor

Tabell 2 – Komponenter i overbygningen

Sporets overbygning omfatter sporets trasé, skinner, sviller, sporveksler, skinnbefestigelse, skjøter, ballast og planoverganger. Sporet deles inn i overbygningsklasser og kvalitetsklasser. I Norge har vi 6 overbygningsklasser som hver har sine egne respektive tillatte hastigheter og maksimale aksellaster for henholdsvis vogner i persontog, motorvognsett og godstog/arbeidsmaskiner. For hver overbygningsklasse angir regelverket hvilke skinneprofiler som er tillatt og tilhørende største svilleavstand. Tabellene¹⁵ nedenfor viser henholdsvis tillatt hastighet og maksimal aksellast for overbygningsklassene, og skinneprofil med tilhørende største svilleavstand for overbygningsklasser.

Overbygnings -klasse	Vogner i		Motorvognsett		Godstog/arbeidsmaskiner		
	Nominel 1 aksellast (tonn)	Maks hastighe t (km/t)	Nominel 1 aksellast (tonn)	Maks hastighe t (km/t)	Nominel 1 aksellast (tonn)	Maks hastighe t (km/t)	Maks hastighe t boggier
A	16	90	16	90	22,5 16,5	30 70	30 70
B	18	100	18	100	22,5 20,5 18	30 70 80	30 70 80
C	18	160	20,5 18	130 160	22,5 20,5 18	80 90 100	80 90 100
c+	18	160	20,5	160	24 ^A 22,5 18	50 90 110	50 90 110
D	18	230	20,5 20 18	160 200 250	25 22,5 18	70 100 110	70 120 120
Oftobanen	18	130	20,5	130	30 22,5	50 70 ^B	50 70 ^B

Tabell 3 – Tillatt hastighet og maksimal aksellast for overbygningsklasser

A) Gjelder bare Nordlandsbanen mellom Guldsmedvik (km 499,517) og Ørtfjell (km 534,630)

B) Maksimal hastighet for tomme malmvogner er 60 km/h

¹⁵ Kilde: Teknisk regelverk; «Overbygning/Prosjektering/Generelle tekniske krav», Kap 2 Overbygningsklasser

Overbygningsklasse	Skinneprofil	Største svilleavstand
A	35,7 kg	730 mm
	S41	750 mm
	49E1 (S49)	750 mm
B	35,7 kg	610 mm
	NSB40	610 mm
	S41	660 mm
C	49E1 (S49)	660 mm
	54E3 (S54)	660 mm
	54E2 (UIC54E)	650 mm
	54E1 (UIC54)	670 mm
	S64	750 mm
C+	49E1 (S49)	600 mm
	54E3 (S54)	600 mm
	54E1 (UIC54)	600 mm
	54E2 (UIC54E)	600 mm
D	60E1 (UIC60)	600 mm
Ofotbanen	54E1 (S54)	520 mm
	60E2	520 mm

Tabell 4 – Skinneprofil med tilhørende største svilleavstand for overbygningsklasser

Sporet er også delt inn i kvalitetsklasser med hensyn til strekningshastighet¹⁶. Innenfor hver kvalitetsklasse stilles det krav til sporgeometri, sporets beliggenhet samt utforming av geodetisk fastmerkenett. Parameterne det stilles krav til er sporvidde, høydebeliggenhet (relativ og absolutt), ujevnheter i overhøyde, sidebeliggenhet (pilhøydefeil og absolutt beliggenhet), vindskjevhet, kvalitetstall og utforming av fastmerkenett.

Kvalitetsklasse	Hastighet (km/t)
K0	145 -
K1	125 - 140
K2	105 – 120
K3	75 – 100
K4	45 – 70
K5	- 40

Tabell 5 – Kvalitetsklasser

¹⁶ Kilde: Teknisk regelverk; «Overbygning/Prosjektering/Generelle tekniske krav», Kap 3 Kvalitetsklasser

Skinner

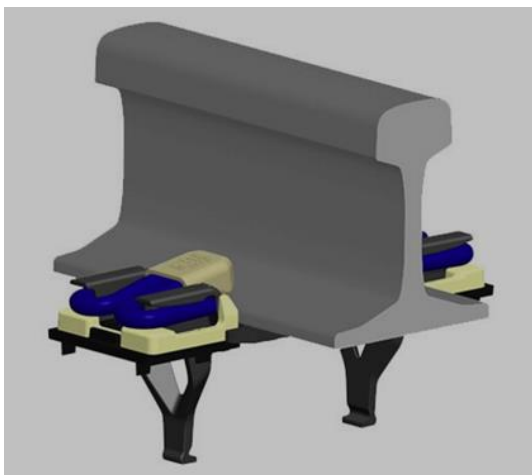
Det stilles strenge krav til dagens moderne skinner. Kravene er beskrevet i teknisk regelverk og i jernbanekompetanse, og omfatter bl.a. krav til skinneproduksjon, stålqualität og metallurgi, skinneprofil, mekaniske egenskaper og til slitasje og feil-utvikling og vedlikehold. Flere av kravene virker mot hverandre, spesielt er det vanskelig å forene kravet til god sveisbarhet med kravet til høy slitasjemotstand¹⁷.

Sviller

På samme måte som for skinner er det en rekke krav til svillene og faktorer ved bygging og vedlikehold som spiller inn når svilletype (tre- eller betongsviller) skal velges.¹⁸ Faktorene er bl.a. enhetspriser, sidemotstand (sikkerhet mot solsløng), tidspunkt for fornyelse, mulighet for stikkbytter før total fornyelse og levetid på sville. I tillegg er det enkelte steder mindre aktuelt å benytte betongsviller på steder med lav ballasthøyde på grunn av stor nedknusning.

Befestigelse

Montering og utbytting av komponenter i befestigelsen skal kunne skje enkelt og rasjonelt. De kravene som stilles, avhenger bl.a. hvilken byggemetode som brukes og av sporet. Det ideelle er naturligvis å finne komponenter med samme livslengde som skinnene, men det er uoppnåelig. Problemet i dag er først og fremst mellomlegget, som er komplisert å bytte. Å finne et mellomlegg som for det første klarer de sportekniske kravene og for det andre har en livstid på 20–30 år er ikke enkelt. Skinnebefestigelsens komponenter skal også tåle det andre vedlikeholdet som forekommer i sporet, f.eks. sveising, nøytralisering, pakking og baksing.¹⁹



Figur 10 – Pandrol Fastclip FE²⁰

¹⁷ Kilde: www.jernbanekompetanse.no; «Overbygning/533 Sporets komponenter/Skinner»

¹⁸ Kilde: www.jernbanekompetanse.no; «Overbygning/533 Sporets komponenter/Sviller»

¹⁹ Kilde: www.jernbanekompetanse.no; «Overbygning/533 Sporets komponenter/Befestigelse»

²⁰ Kilde: www.pandrol.com/product/pandrol-fastclip-fe/ (04.02.2016)

Ballast

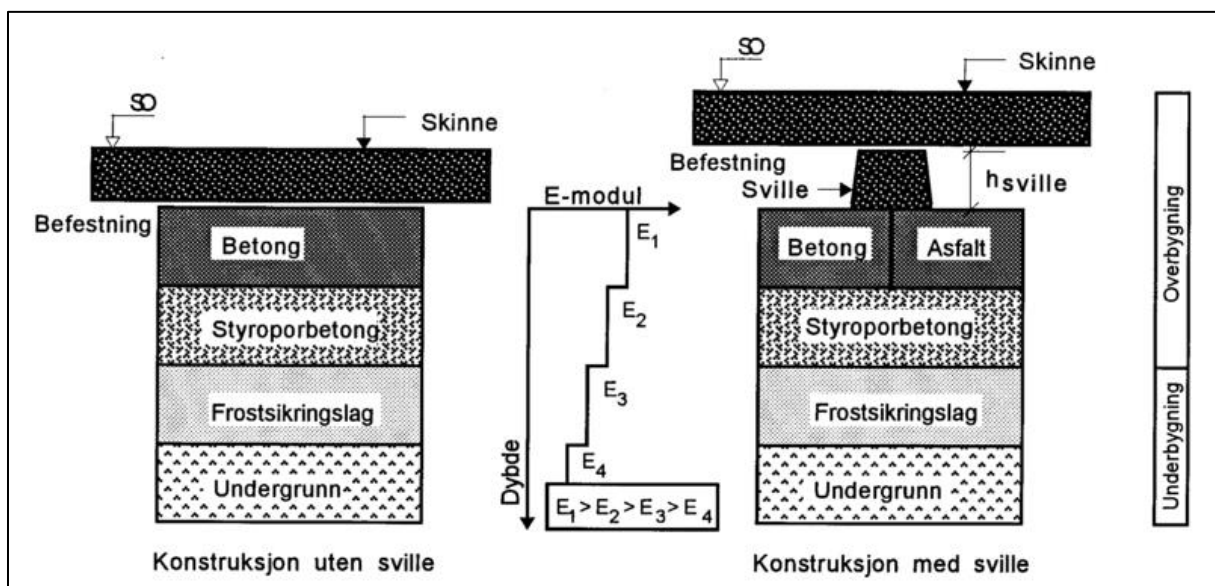
Ballastpukk er en meget viktig del av en jernbanekonstruksjon. Ballastens viktigste oppgaver er å være fundament for svillene og skape vertikal og horisontal støtte for disse. Videre skal ballasten spre lastene fra toget slik at belastningen på undergrunnen ikke blir for stor.

Ballasten skal også drenere bort vann fra konstruksjonen, og bidra til en telesikker konstruksjon.

For at ballasten skal oppfylle sin funksjon må den ha tilstrekkelig slitestyrke og motstand mot nedknusning. Derfor er det angitt krav til ballasten som omhandler bl.a. kornfordeling og finstoffinnhold, renhet, kornform, slitestyrke, bergart, produksjon og lagring²¹.

Fastspor

Fastspor (slab track), også kalt ballastfritt spor, finnes som et alternativ til bruk av ballast og sviller. I stedet for sviller og ballast festes skinnene direkte med befestigelser i en plass-støpt såle av betong, eventuelt med støpte sville-elementer. Fastspor kan også lages med ferdige betong-elementer som er prefabrikert utenfor byggeplassen.



Figur 11 – Fastspor²²

Fastspor har både lavere byggehøyde og egenvekt enn for spor med ballast, og vil derfor være fordelaktig i mange sammenhenger. Metoden er mer kostbar å bygge enn normalt ballast spor, men gir mye lenger levetid på sporet og har et mindre vedlikeholdsbehov. Dette har gjort at man for eksempel i Tyskland har vurdert at det bør legges fastspor på baner der det er

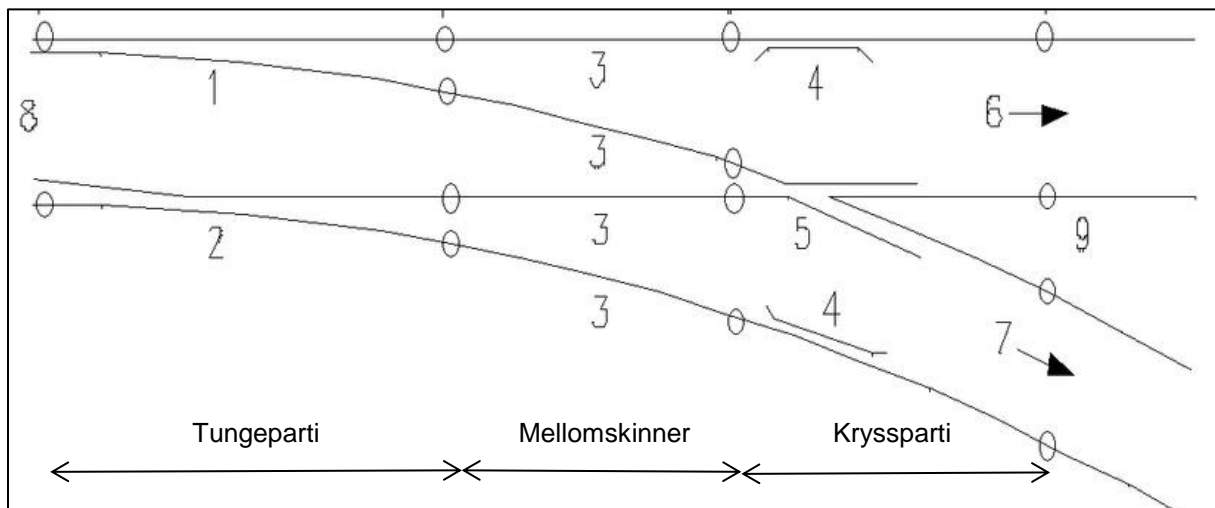
²¹ Kilde: www.jernbanekompetanse.no; «Overbygning/533 Sporets komponenter/Ballast»

²² Kilde: www.jernbanekompetanse.no/wiki/Fil:Fast_sporFig8.1.png/ (08.05.2016)

vanskelig å få tilgang til tilstrekkelig tid for vedlikehold, som bl.a. på høyhastighetsbaner og nye baner i tunnel på mer enn 500m.

Sporveksler

En sporveksel er en viktig komponent i overbygningen som gjør det mulig for toget å bytte fra et spor til et annet. Sporveksler er nødvendige for å avvikle trafikken der jernbanen har avgreninger, der tog skal kjøre forbi hverandre eller krysse, og den gir fleksibilitet i systemet.



Figur 12 – Sporveksel²³

En sporveksel består av følgende hoveddeler:

1. Krum tunge og rett stokkskinne
2. Rett tunge og krum stokkskinne
3. Mellomskinner
4. Ledeskinner
5. Skinnekryss
6. Hovedspor
7. Spor i avvik
8. Stokkskinneskjøt
9. Sporvekselens bakkant

Type sporveksel avhenger av ønsket hastighet i avvikesporet og tilgjengelig plass. Følgende typer anskaffes av Jernbaneverket:

²³ www.jernbanekompetanse.no/wiki/Fil:Fig533-710.png/ (08.05.2016)

Sporvekseltype	Stigning / radius	Største hastighet i avvik (km/t)	Byggelengde (m)
Enkel veksler–kort kurve	1:9 R190	35	27,1
Enkle veksler–lang kurve	1:9 R300	40	33,2
	1:12 R300	65	41,5
	1:14 R760	80	54,2
	1:15 R760	80	54,2
Enkle veksler–klotoide	1:18,4 R1200	100	65,4
	1:26,1 R2500	140	94,6
Dobbel kryssveksler	1:9 R190	40	34,9

Tabell 6 – Sporvekseltyper²⁴



Figur 13 – Klotoidesporveksler på Gardermobanen ved Lillestrøm stasjon²⁵

²⁴ www.jernbanekompetanse.no/wiki/Sporets_komponenter/Sporveksler (08.05.2016)

²⁵ www.jernbanekompetanse.no/wiki/Fil:Fig533-704.png/ (08.05.2016)

Skjøter

I dag helsveises normalt skinnene sammen til lange skinnestrenger og skinneskjøter er derfor i stor grad eliminert. Det finnes imidlertid noen spesialskjøter som det fortsatt er behov for, og som er beskrevet i *Jernbanekompetanse*²⁶. Dette er isolerte skjøter for elektrisk isolering mellom to skinner, som er nødvendige for å seksjonere i sporfelt som kan belegges av togene og gi informasjon til signalsystemet, samt glideskjøter som brukes for å ta opp lengdebevegelser i forbindelse med lange bruer.

Sporstoppere

Sporstoppere er konstruksjoner ved enden av sporet, som har til funksjon å bremse eller stoppe rullende materiell (*Jernbanekompetanse*²⁷). Sporstoppere er normalt ikke dimensjonert til å stoppe store tog uten å skade dette. Vogner som ruller sakte vil kunne bli stoppet av sporstoppere, men de er mer som en angivelse av at sporet slutter.

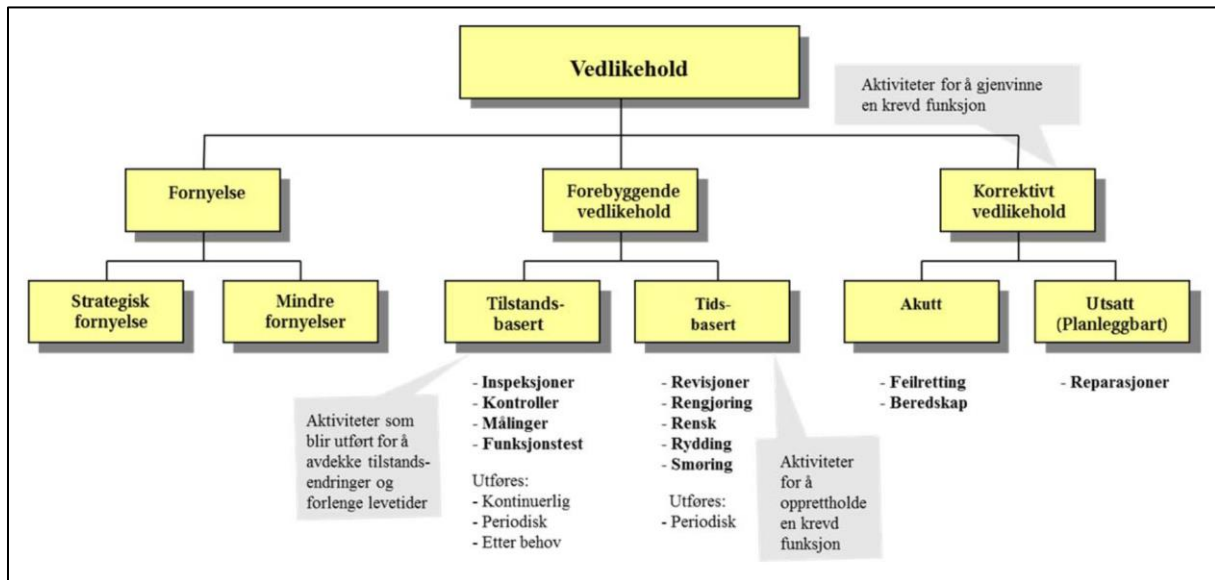
²⁶ www.jernbanekompetanse.no/wiki/Skj%C3%B8ter (08.05.2016)

²⁷ www.jernbanekompetanse.no/wiki/Sporstoppere (08.05.2016)

2.5 Vedlikehold av jernbane

I *Jernbaneverkets håndbok for vedlikehold* defineres vedlikehold som: «En kombinasjon av alle tekniske og administrative aktiviteter, inkludert ledelsesaktiviteter som har til hensikt å opprettholde eller gjenvinne en tilstand som gjør en enhet i stand til å utføre en krevd funksjon.» (Jernbaneverket, 2011)

Jernbaneverket deler opp sitt vedlikehold i henhold til figuren nedenfor.



Figur 14 – Jernbaneverkets modell for vedlikehold (Jernbaneverket, 2011)

Vedlikehold omfatter alle fagområdene i infrastrukturen; strømforsyningsanlegg, signalanlegg, underbygning, teleanlegg og overbygning, samt spesielle aktiviteter i forbindelse med konstruksjoner som tunneler og bruer. Videre i dette del-kapitlet har jeg omtalt aktiviteter knyttet til overbygningen.

Vedlikehold av overbygningen er avhengig av mange forskjellige faktorer; hvordan nedbrytningen foregår, hvilken metodikk man velger for vedlikehold og om det innføres tilstandskontroll eller ikke²⁸.

For nedbrytningsmekanismer vil det være viktig å kjenne årsaker til nedbrytning og faktorer som bestemmer nedbrytningshastigheten. Dette vil være avhengig av hvilke komponenter i sporet som er valgt og belastningene som komponentene utsettes for, både klimatiske og trafikkmessige. Hvilke tiltak som kan gjøres for å begrense nedbrytningen vil være viktig å ha kjennskap til.

²⁸ Kilde: www.jernbanekompetanse.no; «Overbygning/535 Vedlikehold»

Vedlikeholdsmetodikk omfatter forskjellige strategier som kan velges for å vedlikeholde sporet; f.eks. forebyggende, korrektivt, tilstandsbasert. Det vil kunne være forskjellige strategier for forskjellige overbygningskomponenter. Det har de siste 20 årene blitt utviklet en rekke vedlikeholdssystemer som har hatt anvendelse innen jernbanens overbygning for å planlegge, dokumentere utførelse og kontroll, analysere, og forbedre vedlikeholdet. Jernbaneverket har beskrevet sin vedlikeholdsmetodikk med forskjellige generelle strategier og spesielle strategier for vedlikehold av overbygningskomponenter (Jernbaneverket, 2016a). Hvilken strategi som er mest effektiv i et LCC-perspektiv vil variere fra banestrekning til banestrekning avhengig av bl.a. organisatoriske, trafikale og faglige forhold. Jernbaneverket deler sine vedlikeholdsstrategier inn i følgende kategorier:

- krisestyr
- tidsstyr
- aldersstyr
- tidsstyr med ledigtid
- tilstandsovervåket
- styr preventivt

Vedlikeholdsaktiviteter i overbygningen

I rapporten *Uncertainty estimation in railway track life-cycle cost: a case study from Swedish National Rail Administration* (Patra et al., 2009) er det oppgitt følgende vedlikeholdsaktiviteter i sporet:

Maintenance strategy	Maintenance action	Maintenance trigger
Preventive maintenance	Rail grinding	Time
	Tamping	Condition
	Rail lubrication	Time
	Ballast cleaning	Condition
	Track inspection	Time
Renewal (preventive maintenance)	Rail renewal	Condition
	Ballast renewal	Condition
	Sleeper renewal	Condition
	Fasteners renewal	Condition
Corrective maintenance	Rail replacement	Failure

Tabell 7 – Vedlikeholdsaktiviteter i sporet, Banverket Sverige (Patra et al., 2009)

Forskjellige typer vedlikeholdsaktiviteter for overbygningen er beskrevet i avsnittene nedenfor. Vedlikeholdsaktivitetene genereres på bakgrunn av bestemte kriterier gitt i teknisk regelverk, og initieres basert på data fra målevogn, visitasjoner, KV-rapporter og annet.

Skinner

Strategi for vedlikehold av skinner (Jernbaneverket, 2016a) angir at skinnene inspiseres regelmessig med ulike målevogner som gjennomfører forskjellige kontroller når de kjører over sporet. Med ultralyd kan det oppdages feil i skinnen som kan utvikle seg til brudd, skinneprofilmåling gir tverrprofilen av skinnen og vil avdekke slitasje, og måling av rifler og bølger måler ujevnheter i skinnens overflate. Det er definert slitasjegrenser som angir når det skal gripes inn for å utføre korrektivt vedlikehold, og kriterier for når skinner skal skiftes ut. Basert på resultater fra målevognskjøringen følges slitasje og utmattingstendenser opp, og tiltak iverksettes som korrektivt vedlikehold og styrt preventivt vedlikehold.

Sviller

Når det gjelder sviller utføres det stikkprøver av utvalgte sviller for å kontrollere tilstand. Det blir også registrert feil i sporgeometrien og raske endringer i sporutvidelse i forbindelse med målevognskjøring. Dette kan være forårsaket av dårlige sviller, spesielt tresviller. (Jernbaneverket, 2016a)

Ballast

I sin strategi for vedlikehold av ballast beskriver Jernbaneverket: «Dårlig ballast kan i visse tilfeller avdekkes gjennom målevognskjøring, ballastprøver, problemer med vaskesviller, frost- og teleproblemer, vegetasjonsproblemer m.m. Slike vurderinger må gjøres på bakgrunn av nærmere studier i felt. Det blir dermed vanskelig å fastlegge et styrt preventivt vedlikehold for ballasten. I praksis blir det en kombinasjon av tilstandsbasert og krisestyrt vedlikehold. På enkelte strekninger fornyes imidlertid ballasten samtidig med fornyelse av øvrig overbygning og inngår dermed i en total strategi for overbygningen.» (Jernbaneverket, 2016a)



Figur 15 – Ballastrensing. Foto: Baneservice²⁹

Ballastrensing er et vedlikeholdstiltak som gjennomføres med lange intervaller, gjerne 15-20 år. Tiltaket fjerner korn med for liten diameter og andre uønskede komponenter fra ballasten og erstatter dette med nytt og godt ballastmateriale. Samtidig suppleres ballastprofilen slik at sidemotstanden blir tilfredsstillende³⁰.

Målevognskjøring

Målevognskjøring med målevognen ROGER1000 gjøres 2 ganger pr år, hver vår og høst, på jernbanenettet i Norge. Unntaket fra dette er Gardermobanen hvor det kjøres hele 6 ganger pr år. Målevognen sjekker spor og flere andre forhold mens den kjører over banen i full hastighet. Sporgeometrien sjekkes ved å måle vindskjevheter, sporvidde og høydefeil. Videre sjekkes skinnene for rifler og bølger i skinneoverflate, og skinneprofilen måles for å kontrollere slitasje. På alle kjøringene måles dessuten kontaktledningens (KL) tilstand og geometri, strekningsfoto for hver 20 meter langs sporet, samt dekning, bitfeilrate og kvalitet for GSM-R. I tillegg til målingene med Roger 1000 gjennomføres også ultralydkontroll av skinnene med eget spesialutstyr for å avdekke mistanker om feil som sprekker og svakheter.

²⁹ www.baneservice.no/produkter-og-tjenester/maskintjenester/ballastrensing/ (01.04.2016)

³⁰ www.jernbanekompetanse.no/wiki/Nedbrytningsmekanismer#Ballastrensing (01.04.2016)



Figur 16 – Målevogn ROGER1000 Foto: Jernbaneverket³¹

Skinnerliping

Skinnerliping deles normalt opp i kategoriene forebyggende og korrektiv sliping³².

Forebyggende sliping tar bare bort litt hver gang og benyttes for å beholde bra nivå på skinnen og for å redusere støy. Slipetoget har få passeringer og slipingens gjøres raskere og billigere enn dersom defektene hadde vært større.

Korrektiv sliping som utføres når det allerede har oppstått problemer med utflyting, deformasjon, rolling contact fatigue (RCF, dvs. utmatting eller sprekker), eller ved bestemte kriterier som bølgedybde, støypåvirkning eller krav til komfort. Slipetoget kjører da flere ganger over sporet og sliper mer av skinnene.

Generiske kontroller

Jernbanens tekniske regelverk inneholder kontroll- og visitasjonsaktiviteter i sporet, såkalte generiske arbeidsrutiner³³. For overbygning (KO) er det angitt følgende aktiviteter:

³¹ www.jernbaneverket.no/Nyheter/Nyhetsarkiv/2014/Sjekker-spor-i-full-fart/ (05.05.2016)

³² www.jernbanekompetanse.no/wiki/Skinnerliping (17.04.2016)

Generiske arbeidsrutiner - Overbygning

Sist oppdatert: 02.11.2015

AR nummer	Beskrivelse	Ajour pr. dato	
		Navn	Dato
KO-BLL-0000-01	Ballast	HMA	01.01.2015
KO-BLL-0000-02	Ballast Vegetasjonskontroll	HMA	01.01.2015
KO-SVI-0000-01	Tresviller	HMA	01.01.2015
KO-SVI-0000-03	Tresviller Momentkontroll	HMA	01.01.2015
KO-SVI-0000-02	Betongsviller	HMA	01.01.2015
KO-BEF-0000-01	Befestigelse Tresviller rettstrekke - Hey-Back	HMA	01.01.2015
KO-BEF-0000-02	Befestigelse Tresviller rettstrekke - Pandrol Fastclip	HMA	01.01.2015
KO-BEF-0000-03	Befestigelse Tresviller kurve - Hey-Back	HMA	01.01.2015
KO-BEF-0000-04	Befestigelse Tresviller kurve - Pandrol Fastclip	HMA	01.01.2015
KO-BEF-0000-05	Befestigelse Betongsviller rettstrekke - Pandrol E/PR	HMA	01.01.2015
KO-BEF-0000-06	Befestigelse Betongsviller rettstrekke - Pandrol Fastclip	HMA	01.01.2015
KO-BEF-0000-07	Befestigelse Betongsviller kurve - Pandrol E/PR	HMA	01.01.2015
KO-BEF-0000-08	Befestigelse Betongsviller kurve - Pandrol Fastclip	HMA	01.01.2015
KO-BEF-0000-09	Befestigelse Tresviller rettstrekke - Pandrol Fastclip e	HMA	03.03.2015
KO-BEF-0000-10	Befestigelse Tresviller kurve - Pandrol Fastclip e	HMA	03.03.2015
KO-STB-0000-01	Strekkbolt	HMA	01.01.2015
KO-SKI-0000-01	Skinner H \geq 160 km/h	HMA	01.01.2015
KO-SKI-0000-02	Skinner H< 160km/h <2 MGT/år	HMA	01.01.2015
KO-SKI-0000-03	Skinner H< 160km/h 2-15 MGT/år	HMA	01.01.2015
KO-SKI-0000-04	Skinner H< 160km/h >15 MGT/år	HMA	01.01.2015
KO-LSK-0000-01	Ledeskinner Bro	HMA	01.01.2015
KO-SKJ-0000-01	Laskede skjøter	HMA	01.01.2015
KO-SKJ-0000-02	Isolert skjøt	HMA	01.01.2015
KO-GLS-0000-01	Glideskjøt	HMA	01.01.2015
KO-SPV-0000-01	Sporveksel K0	HMA	01.01.2015
KO-SPV-0000-02	Sporveksel K1 og K2	HMA	01.01.2015
KO-SPV-0000-03	Sporveksel K3 og K4	HMA	01.01.2015
KO-SPV-0000-04	Sporveksel K5	HMA	01.01.2015
KO-SPV-0000-05	Kryssveksel	HMA	01.01.2015
KO-SPV-0000-11	Usymmetrisk dobbeltveksel	HMA	01.01.2015
KO-SPV-0000-09	Sporveksel K0 - Rengjøring og smøring	HMA	01.01.2015
KO-SPV-0000-06	Sporveksel K1 og K2 - Rengjøring og smøring	HMA	01.01.2015
KO-SPV-0000-07	Sporveksel K3 og K4 - Rengjøring og smøring	HMA	01.01.2015
KO-SPV-0000-08	Sporveksel K5 - Rengjøring og smøring	HMA	01.01.2015
KO-SPV-0000-10	Kryssveksel - Rengjøring og smøring	HMA	01.01.2015
KO-SPV-0000-12	Usymmetrisk dobbeltveksel - Rengjøring og smøring	HMA	01.01.2015
KO-SKT-0000-01	Skilt for kjørende personell	HMA	01.01.2015
KO-SKT-0000-02	Planovergangsskilt	HMA	01.01.2015
KO-PLO-0000-01	Planovergang Tre	HMA	01.01.2015
KO-PLO-0000-02	Planovergang Asfalt	HMA	01.01.2015
KO-PLO-0000-03	Planovergang Betong	HMA	01.01.2015
KO-PLO-0000-04	Planovergang Gummi	HMA	01.01.2015
KO-PLF-0000-01	Plattformer og lasteramper	HMA	02.11.2015
KO-PLF-0000-02	Plattformer og lasteramper - Ingeniørkontroll	HMA	01.01.2015
KO-HOT-0000-01	Sporets beliggenhet	HMA	15.09.2015
KO-SPO-0000-01	Sporgeometri K0 Hastighet > 200km/t	HMA	01.01.2015
KO-SPO-0000-02	Sporgeometri K0	HMA	01.01.2015
KO-SPO-0000-03	Sporgeometri K1-K3	HMA	01.01.2015
KO-SPO-0000-04	Sporgeometri K4-K5	HMA	01.01.2015
KO-SST-0000-01	Sporstopper	HMA	01.01.2015

Tabell 8 – Generiske arbeidsrutiner - Overbygning³⁴

³³ Jernbaneverkets generiske arbeidsrutiner for vedlikehold av jernbaneinfrastruktur er beskrevet i teknisk regelverk (<https://trv.jbv.no/ga/>).

³⁴ <https://trv.jbv.no/ga/Generiske%20arbeidsrutiner%20Overbygning.pdf>

Andre aktiviteter

Skinnesmøring kan utføres for å redusere slitasjen på skinnene, og for å redusere støy.

Sporjustering. Dersom det måles sporgeometri-verdier utenfor gitte grenser for vindskjevhet, side- eller høydefeil, sporvidde, og overhøydefeil må det gjennomføres sporjustering og stabilisering. Vanligvis oppstår slike feil på grunn av store krefter på infrastrukturen og/eller svakheter i overbygningen.

Aktiviteter knyttet til visitasjon av sporets trase, sporgeometri, skinneskjøter og sporveksler er ikke omtalt videre i denne oppgaven. Dette fordi jeg har fokusert på de utvalgte komponentene i henhold til avgrensningen i kapittel (4.3.3).

3 Metoder

I dette kapittelet har jeg beskrevet hvilke metoder jeg har benyttet for å samle inn informasjonen som jeg har hatt bruk for til arbeidet. Dette inkluderer spørreskjema, møter og intervjuer, søk i Banedata samt innhenting av informasjon fra andre kilder. Videre har jeg beskrevet den valgte LCC-metoden som jeg har benyttet senere i oppgaven.

3.1 Metoder for informasjonsinnhenting

I arbeidet med å skaffe informasjonen jeg hadde behov for i arbeidet, har det vært viktig å få etablert kontakt med relevante personer, og få tilgang til de riktige kildene. Jeg har benyttet forskjellige metoder for dette, inkludert:

- Bruk av verktøy der informasjon er registrert (f.eks. Banedata)
- Spørreskjema, intervjuer og møter med kontaktpersoner
- Estimer fra prosjekter
- Informasjon om best practice fra andre land som fremkommer i rapporter, artikler, etc

Hovedkilden til informasjonen jeg har fremskaffet er Jernbaneverket. Innenfor Jernbaneverket er det flere avdelinger som jeg har vært i kontakt med, avhengig av typen informasjon.

For kostnader ved bygging (investering) har jeg kontaktet Prosjektgjennomføring og intercity-prosjektet for råd om estimer i tidlig fase og gjennomførte prosjekter, Teknologi om komponenter og levetider og Forsyning om avtaler på komponenter.

Kostnader knyttet til vedlikehold har jeg primært fått fra Infrastrukturdivisjonen. Både fra Vedlikeholdsstaben som har overordnet kjennskap til planlegging, organisering og kostnader ved vedlikehold, men også fra banesjefens organisasjon på Hoved- og Gardermobanen som er ansvarlig for vedlikeholdet på aktuell strekning. I tillegg har jeg fått informasjon fra Forsyning.

Med dette som bakgrunn gjennomførte jeg informasjonsinnhenting ved hjelp av spørreskjema, møter og intervjuer, søk i Banedata og i databaser og kilder. Dette er nærmere beskrevet nedenfor.

3.1.1 Spørreskjema

For å organisere arbeidet med å innhente informasjon fra forskjellige nøkkelpersoner i Jernbaneverket, utarbeidet jeg et spørreskjema der jeg listet opp de områdene der jeg hadde definert at jeg behøvde informasjon. Dette var informasjon om hvilke komponenter jeg skulle studere, og for hver av disse behøvdes informasjon om antall, levetid og kostnader ved bygging og omfang og kostnader knyttet til vedlikehold. Spørreskjemaet inneholdt følgende felter for utfylling av relevant informasjon:

Grunndata

- Banestrekning
- Overbygnings- og Kvalitetsklasse
- Utfylt av (navn, kontaktinformasjon)
- Returadresse

Data relatert til bygging

- Spesifisering av inngående komponenter (skinner, sviller, befestigelse, ballast)
- Typebetegnelser, priser, levetider på komponenter
- Kostnader ved bygging av spor
- Andre relevante for hold vedrørende bygging

Data relatert til omfang av og kostnader for vedlikehold

- Korrektivt vedlikehold
- Forebyggende vedlikehold
- Tilstandsbasert vedlikehold
- Andre relevante for hold vedrørende vedlikehold

Spørreskjemaet ble sendt ut på e-post, til et antall personer i forskjellige deler i Jernbaneverket. Jeg ønsket ikke å gå bredt ut med utsendelse av spørreskjema til mange personer, men heller gå målrettet på identifiserte nøkkelpersoner. Sammen med skjemaet hadde jeg skrevet bakgrunn for oppgaven og informasjonsbehovet. Jeg fulgte opp utsendelsene med e-post og telefon, og fikk respons fra forskjellige personer i Teknologi, Infrastruktur og Forsyning.

Det var positive tilbakemeldinger på spørreskjemaet, men innholdet i responsen varierte naturlig nok en del, avhengig av hvilken bakgrunn og fagområde respondenten hadde. Til sammen fikk jeg gjennom spørreskjemaet samlet mye av den informasjonen jeg behøvde.

Men det gjenstod fortsatt å fremskaffe en del data, så jeg gjennomførte oppfølgingsamtaler med de som hadde respondert, og direkte henvendelser til nye kontaktpersoner jeg fikk kjennskap til fra respondentene.

Resultatene samlet jeg i større regneark, der jeg strukturerte, sammenlignet, vurderte avvik, og konkluderte hvilke data jeg skulle benytte videre.

Eksempel på utfylt spørreskjema finnes i Vedlegg 2 til denne oppgaven.

3.1.2 Møter og intervjuer

Som nevnt ovenfor avtalte jeg møter og intervjuer direkte med personer jeg etter hvert fant ut at ville kunne ha nyttig informasjon for min oppgave. Nedenfor har jeg beskrevet de møtene jeg har gjennomført.

Håkon Toftaker (Jernbaneverket Vedlikehold, Marienborg, Trondheim). I møtet fikk jeg tilgang til Banedata Innsyn der jeg kunne gjøre uttrekk av rapporter. Jeg hentet rapporter fra bane B23-0270 (Oslo S) – Gardermoen (GMB) og B01-0550 (Ski) – Moss (ØB vestre linje) for sammenligningsformål. Videre avgrensing var KO = Overbygning, og objekttypene Skinne (SKI), Sville (SVI), Befestigelse (BEF) og Ballast (BLL). Rapportene inneholdt oversikt over omfang av forebyggende og korrektivt vedlikehold, inngående objekter og lokasjoner. Jeg kunne også lese ut objektspesifikasjoner, stedsobjekter og målevognsdata. I tillegg fikk jeg data om avstander og hastigheter på banestrekningene.

KV-rapport
Overbygning

Velg hierarki
 Bane Område

Velg banenummer ?
0270 (Oslo S) - Gardermoen(GMB)

Velg tilleggsfiltre ?
Velg objekttype
6 valgt

Fra dato ? Til dato
04.02.2016

KV (korrektivt vedlikehold eller feil) henter ut all informasjon om disse hendelsene. Her kommer båt

Resultat: 453 (Viser de 200 første)

ID	Lokasjon	Lokasjonsbeskrivelse	Km	Beskrivelse
30063288	0270-02070	Lillestrøm stasjon	19.83	Solslyng, lengde 0 m
30063289	0270-02070	Lillestrøm stasjon	19.83	Solslyng, lengde 0 m
30063290	0270-02070	Lillestrøm stasjon	19.9	Solslyng, lengde 0 m
30063292	0270-02070	Lillestrøm stasjon	18.17	Solslyng, lengde 0 m

Figur 17 – Skjerm bilde fra Banadata Innsyn (utsnitt)

Jan-Magne Kvernmo (Jernbaneverket Gardermobanen vedlikehold, Lillestrøm). I møtet fikk jeg detaljerte opplysninger om vedlikehold på Gardermobanen, fra personer som jobber operativt med dette. Bakgrunnen for hvordan vedlikeholdet er organisert på Gardermobanen ble gjennomgått, med fokus på vedlikehold helt ifra oppstart av trafikk på banen. Vi gikk igjennom spørreskjemaet som var sendt ut på forhånd og fylte ut noen flere felt i møtet. Jeg fikk også kostnadsdata på en del tyngre vedlikeholdsaktiviteter og på komponenter. Per Egil Snekkerhaugen fra samme organisasjon deltok også i møtet.

I tillegg har jeg hatt flere samtaler og kortere avklaringer som har blitt gjennomført med andre sentrale bidragsytere på telefon, e-post, og ansikt til ansikt. Herunder kommer Frode Teigen, Alf-Helge Løhren, Geir Ingvaldsen, Terje Rindhølen, Hans Svec, Lars Frøystein, og Jorunn Halkjær. Alle fra Jernbaneverket. Disse har hjulpet meg med informasjon om:

Organisering av vedlikehold i Jernbaneverket. Fra sentralt hold, Vedlikeholdstaben, fikk jeg informasjon om bl.a. målevognskjøring (Ingvaldsen, 2016), skinnesliping (Kvernmo, 2016a), og ballastrensing (Tanggaard, 2015). Fra den lokale organisasjonen til Banesjef Hoved- og Gardermobanen, på driftsbasen på Lillestrøm, fikk jeg informasjon om bl.a. konkrete aktiviteter og arbeidsomfang (Kvernmo, 2016a) etterfulgt av korrespondanse om timeomfang og kostnad for kontroller på linjen (Kvernmo, 2016b). Jeg har hatt korrespondanse med Jernbaneverket Forsyning om enhetspriser for komponenter i sporet (Rindhølen, 2016). Har også korrespondert med representant for Jernbaneverket Teknologi Overbygning der jeg har fått informasjon om prosentvis fordeling av kostnadene på de enkelte fagområdene og prisliste for jernbanespesifikt materiell (Løhren, 2016), og generelle fakta om komponenter og levetider i overbygningskonstruksjonen (Teigen, 2016). Jeg har også vært i kontakt med Jernbaneverkets punktlighetsseksjon der jeg har fått informasjon om oppetid og forsinkelsestimer på Gardermobanen (Halkjær, 2016).

Videre har jeg konferert med min kollega Ove Skovdahl om informasjon knyttet til planlegging og bygging av banen, samt mulige kontaktpersoner for ytterligere informasjon. Jeg har fått gode tips fra min tidligere kollega Anders Venbakken, som nå jobber i Flytoget, om kilder for kostnadsestimater for bygging av infrastruktur.

Jeg har også gjennomført et antall veiledningsmøter med min hovedveileder Elias Kassa. Dette har blitt gjennomført som Skype-møter, personlige møter både i Trondheim og i Oslo, og på e-post.

3.1.3 Banedata

Jernbaneverkets databasesystem Banedata ble opprinnelig designet som et anleggsregister. I dag benyttes det også til å lage langtids-prognoser for vedlikehold. Banedata inneholder informasjon om i) anleggsregister (objekter), ii) feilregister (hendelser), iii) geografisk kart-system og iv) søkefunksjon. Utvalgt informasjon fra Banedata brukes til å utvikle økonomisk langtidsprognose-modell for vedlikehold og fornyelse, samt til planlegging og oppfølging av alt forebyggende vedlikehold.

Anleggsregisteret i Banedata er delt opp i 2 nivåer. Det øverste nivået består av 6 grupper; KL-anlegg, Lavspenning, Overbygning, Signalsystem, Tele og Underbygning. På nivået under finnes alle (236) tilhørende komponenter som er koblet sammen med tilhørende overordnede gruppe (grupper).

Hans Svee i Jernbaneverket på Marienborg i Trondheim organiserte så jeg kunne besøke hans kollega Håkon Toftaker for å få hjelp til å hente ut data fra Banedata om Forebyggende og korrektive vedlikeholdsoppgaver på Gardermobanen og andre baner jeg vurderte sammenligning med, samt objekter på strekningene (Toftaker, 2016).

Dette resulterte i en rekke rapporter fra Banedata som jeg har bearbeidet videre i arbeidet. Mer informasjon og eksempler på skjermbilder, søk og rapporter fra Banedata finnes i Vedlegg 3.

3.1.4 Søk i databaser og andre kilder

Jeg har benyttet aktive søk gjennom Jernbaneverkets bibliotek (Viten) og på nettet etter kilder og data, som supplement til litteraturstudien jeg hadde utført i forprosjektet (Hofgaard, 2015). Søkeverktøy og kilder til litteratur har vært:

- Google Scholar
- Bibliotekbasen BIBSYS
- Research Gate
- Web of science
- Brage
- DiVA (Digitala Vetenskapliga Arkivet)
- Alt i norske vitenarkiv i én tjeneste (NORA); [<http://nora.openaccess.no/?siteLanguage=nor>]
- Google

Jeg har bl. a. benyttet følgende søkeord, både alene og i forskjellige kombinasjoner:

- LCC
- Life cycle cost
- Levetidskostnad
- Livsløpskostnad
- Railway
- Track
- Jernbane
- Spor

Jernbanens tekniske regelverk (Jernbaneverket, 2016b) har gitt meg mye informasjon om infrastrukturens komponenter og vedlikeholdsoppgaver, som jeg har brukt i denne oppgaven. Tilsvarende har jeg benyttet nettstedet *Jernbanekompetanse* (Jernbaneverket, 2016a) i stor grad som kilde til for ytterligere informasjon.

3.2 Valgt LCC-metode

Fra litteraturstudiet hadde jeg funnet mye informasjon om LCC og forskjellige metoder og verktøy. Jeg valgte å se nærmere på rapporten *Life Cycle Cost Analysis in Railway Systems* (Hokstad, 1998) som beskriver en modell for LCC-analyse for jernbanesystemer som inneholder nedbrytning av input-data i kostnadskategorier, fysisk komponentstruktur, formler for diskontering og for LCC-beregning, samt definisjoner og forkortelser.

I modellen holdes diskonteringsraten konstant i levetiden, de årlige kostnadene for drift og vedlikehold er konstante, og avhendingskostnadene ved slutten av levetiden er ikke tatt med. Den fokuserer på kostnadsforskjeller mellom alternativer, og inkluderer bare grov beregning av totale kostnader. I modellen er LCC delt opp i elementene Investeringskostnad, Vedlikeholdskostnad, Forsinkelseskostnad og Farekostnad:

$$LCC = Cost_{Investment} + Cost_{Maintenance} + Cost_{Delay} + Cost_{Hazard}$$

For mitt arbeid ønsket jeg å benytte eksisterende metoder, som kunne tilpasses til mitt behov. Jeg mente også det var viktig at metoden var praktisk å anvende og at den var relevant for norske forhold. Disse forholdene stemte bra for denne modellen, og jeg valgte derfor å benytte en tilpasning av denne for beregningene i denne oppgaven.

Mer detaljert om hvordan jeg har avgrenset og benyttet metodikken er beskrevet i kapitlene 4 og 5.

Fra metoden kom det frem at jeg behøvde å fremskaffe informasjon om investeringskostnader, vedlikeholdskostnader, forsinkelseskostnader og farekostnader. Jeg valgte å utelate kostnader knyttet til farer (ulykker) – se avgrensning i kapittel 4.3. For de andre kostnadene (bygging, vedlikehold og forsinkelse) bestemte jeg meg for å regne om til en felles enhet; pris pr kilometer dobbeltspor på fri linje på Gardermobanen. Der hvor det var årlige kostnader (vedlikehold og forsinkelse) benyttet jeg enheten pris pr kilometer dobbeltspor pr år. For de forskjellige tyngre vedlikeholdsoppgavene som gjøres med mange års mellomrom benyttet jeg nåverdi for de respektive årene dette skulle gjennomføres, med enheten pris pr kilometer dobbeltspor.

Jeg kom frem til at metoden kunne benyttes når jeg hadde disse dataene. Og det var mulig å kombinere reelle data og estimerte data, noe som viste seg å bli aktuelt.

4 Case-studie Gardermobanen

I Store norske leksikon defineres *Case studie* som en «studie av én enhet, på norsk også omtalt som kasusstudie eller eksempelstudie» (Sterri og Wæhle, 2016). Jeg velger å benytte dette uttrykket når jeg omtaler arbeidet med analyser på utvalgt strekning på Gardermobanen. Dette kapitlet beskriver case-studiet som jeg har gjennomført på Gardermobanen. Først har jeg beskrevet selve jernbanestrekningen, bakgrunnen for byggingen av banen og fakta om denne og trafikken som kjører på banen i dag. Deretter har jeg beskrevet overbygningskomponenter som finnes på banen, med fokusert på skinne, sville, befestigelse og ballast. Jeg har så gått inn på hvilke vurderinger jeg har gjort for å avgrense arbeidet. Ut fra det har jeg beskrevet hvilke LCC-elementer som jeg har valgt at skal inngå, hvilken del av strekningen på Gardermobanen jeg har studert, hvilke komponenter jeg har begrenset analysen til, og hvilke vedlikeholdsaktiviteter jeg har tatt med. Til slutt i kapitlet har jeg beskrevet datainnsamlingen jeg har gjennomført for å komme frem til kostnader som jeg skulle benytte i den etterfølgende analysen. Dette har vært kostnader for bygging, komponenter og vedlikehold, samt kostnader relatert til forsinkelser.



Figur 18 – Sporet på Gardermobanen (NSB_Gardermobanen_AS, 1998b)

4.1 Strekning Gardermobanen

Gardermobanen³⁵ ble bygget for å gi en rask forbindelse med høyhastighetstog mellom Oslo sentrum og Oslo Lufthavn. Kjøretiden med direkte flytog fra Oslo S til Gardermoen er 19 minutter og banen tillater hastigheter på 210 kilometer i timen. Gardermobanen går gjennom den 14 kilometer lange Romeriksporten tunnel fram til Lillestrøm. Fra Lillestrøm til Langeland (Jessheim sør) går den i egen trase som følger Hovedbanen på flere strekninger. Banen går syd for rullebanene på Oslo lufthavn og frem til stasjonen som ligger under terminalbygget. Videre går banen i en kulvert under flyplassen og nordover til Eidsvoll.

4.1.1 Historie om banen

Bakgrunn for beskrivelsene i dette delkapittelet er hentet fra rapportene *Gardermobanens kriterier for SUKSESS* (NSB_Gardermobanen_AS, 1995), *Slik bygger vi Gardermobanen* (NSB_Gardermobanen_AS, 1996) og fra Wikipedia³⁶.

Stortinget vedtok 8. oktober 1992 å bygge ut Gardermobanen over strekningen Oslo – Lillestrøm – Gardermoen – Eidsvoll som tilbringersystem til den nye hovedflyplassen, Oslo Lufthavn på Gardermoen. Strekningen skulle åpnes samtidig med flyplassen i oktober 1998.

Banen skulle få en total lengde på ca 65 km, inkludert den ca 14 km lange tunnelen Romeriksporten mellom Etterstad i Oslo og Lillestrøm. Det skulle være en ny dobbeltsporet bane på hele strekningen bortsett fra de siste ca 4 km sør for Eidsvoll, og dimensjoneres for tog med hastighet opp mot 210 km/t. Dette representerte en rekke tekniske utfordringer da det tidligere ikke var bygget baner for så høye hastigheter her i landet. Det ble allerede i planleggingen lagt vekt på å velge gode løsninger med høy kvalitet på elementer som linjeføring, skinner, sporveksler, kontaktledningsanlegg og signalanlegg, som alle hadde betydning for hastighetsstandarden. Dette medførte at Gardermobanen ble bygget ut fra de mest moderne tekniske prinsipper innen jernbanebygging, og ble et viktig bidrag til en standardheving av det norske jernbanenettet og videre utbygging av dette.

NSB Gardermobanen AS ble etablert 24. november 1992 for å stå for utbyggingen av Gardermobanen og Gardermoen stasjon. Utbyggingen av banen startet i 1994 og pågikk fram til 1999. I 1996 vedtok Stortinget at NSB Gardermobanen AS også skulle stå for driften av den nye jernbanen.

³⁵ www.jernbaneverket.no/Jernbanen/Banene/Gardermobanen/ (17.04.2016)

³⁶ no.wikipedia.org/wiki/Gardermobanen (17.04.2016)

I løpet av våren 1997 ble det oppdaget omfattende lekkasjer i Romeriksporten. Vannstanden i tjernene i Østmarka over tunnelen sank dramatisk, og det ble også registrert setningsskader på boliger på Hellerud som følge av senkning av grunnvannet i området. Norges vassdrags- og energiverk (NVE) satte strenge konsesjonskrav til selskapet om tillatt lekkasjemengde, og høsten 1997 ble arbeidet med å tette lekkasjene satt i gang. Etterinjisering ble valgt som hovedmetode for tetting, men arbeidet i tunnelen ble stoppet en periode på grunn av feilaktig bruk av tetningsstoffet Rhoca Gil. I juni 1998 vedtok NSB-styret å utsette ferdigstillelsen av Romeriksporten for å kunne gjennomføre tetningsarbeidene etter NVEs konsesjonskrav. Togtrafikken ble likevel satt i gang i august 1998, siden den nye flyplassen skulle bli tatt i bruk 8. oktober samme år. Da kjørte man som planlagt nordover fra Lillestrøm, men kjørte utenom Romeriksporten som enda ikke var ferdigstilt. Romeriksporten ble ikke tatt i bruk før 22. august 1999.

Utbyggingen av banen skulle finansieres ved lån fra staten, og det ble lagt som forutsetning av Stortinget at lånene skulle tilbakebetales gjennom billettinntekter fra kundene i flytogene og andre tog som benyttet banen. Høsten 1999 ble det fremlagt en evaluering av hele Gardermoprojektet som fastslo at «Gardermobanen kan ikke bli bedriftsøkonomisk lønnsom som lovet i Regjeringens forslag fra 1992.» (Mydske et al., 1999). I 2000 ble derfor NSB Gardermobanens infrastruktur overført til Jernbaneverket, mens NSB Gardermoen fortsatte med selve togkjøringen. Samtidig ble alle investeringskostnadene på banen og togene slettet fra ansvaret til NSB Gardermobanen. Det ble innført en kjøreveisavgift som må betales til Jernbaneverket av alle selskapene som benytter Gardermobanen, for drift og vedlikehold av banen. NSB Gardermobanen endret navn til Flytoget AS fra 2001.

Generelt om vedlikehold på Gardermobanen (Kvernmo, 2016a):

Gardermobanen var et pilotprosjekt i Norge med dobbeltspor høyhastighetsbane. NSB Gardermobanen AS eide de første årene infrastrukturen mellom Etterstad og Gardermoen, mens Jernbaneverket eide resten. Det ble etablert fri konkurranse av vedlikeholdet.

Jernbaneverket var på den tiden delt i en forvaltningsdel og et driftsapparat. Jernbaneverkets interne entreprenør, Produksjon, vant kontraktene på alle fag og det ble etablert effektive prosesser og oppfølgingsmetodikk for vedlikeholdet. Ved omorganiseringen i 2000 fulgte Baneorganisasjonen i NSB Gardermobanen AS med over til Jernbaneverket, og drift og vedlikehold av Gardermobanen ble i stor grad videreført basert på kunnskapen og erfaringene

man hadde opparbeidet seg knyttet til effektivt vedlikehold for å sikre god kvalitet og oppetid på banen.

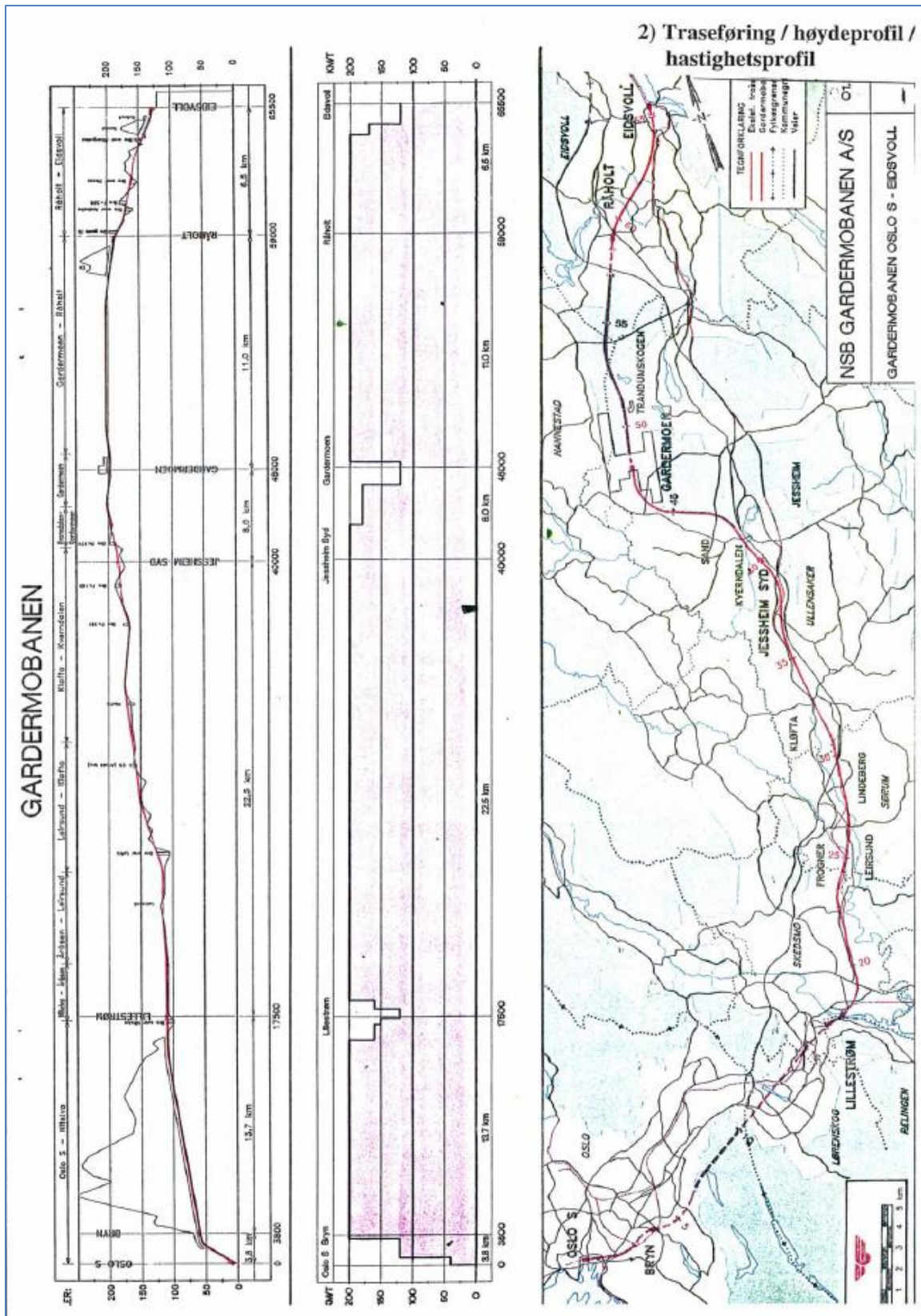
Det er avsatt 3,5 – 4 timer hvit tid³⁷ pr døgn (hver natt) som benyttes til å utføre vedlikeholdet på banen. Dette oppleves som tilstrekkelig. Banen hadde en del punktfeil de første årene, men dette har stabilisert seg på et bra nivå. Data knyttet til planlegging og rapportering av vedlikehold ble registrert i gamle Banedata (Maximo) frem til ca 2010. De har vært en gradvis overgang til nye Banedata fra 2006.

4.1.2 Fakta om banen

Gardermobanen er en 64 km lang jernbanesterkning som går fra Oslo til Eidsvoll³⁸. Det er 60 km dobbeltspor fra Oslo frem til Venjar som ligger like nord for Eidsvoll Verk. Derfra går det enkeltspor frem til Eidsvoll stasjon. Det er 3 stasjoner med persontrafikk på strekningen; Lillestrøm, Gardermoen (Oslo Lufthavn) og Eidsvoll Verk. Banen er elektrifisert og beregnet hovedsakelig for høyhastighet persontrafikk.

³⁷ Hvit tid betyr tider på døgnet der det ikke går normal rutetraffic på banen. Denne tiden er tilgjengelig for vedlikehold.

³⁸ <http://www.jernbaneverket.no/Jernbanen/Banene/Gardermobanen/>



Figur 19 – Gardermobanen; traseføring, høydeprofil, hastighetsprofil³⁹

³⁹ Kilde (NSB_Gardermobanen_AS, 1998a)

Sporet på banen

I rapporten *Slik bygger vi Gardermobanen* (NSB_Gardermobanen_AS, 1996) angis det at det svenske selskapet Banverket, som var sporentreprenør med ansvar for legging av pukk, sviller, skinner og sporveksler, startet arbeidet i august 1996. Pukken ble levert fra A/S Feiring Bruk i Lørenskog, svillene kom fra Partek Østspenn AS i Hønefoss, skinnene fra Voest Alpine Schienen GmbH i Østerrike, mens sporvekslene ble levert fra AS Rodeløkken Industrier i Oslo, men underleveranser av stål fra Cogifer (Frankrike) og sporvekselsviller fra Sträng-betong (Sverige).

4.1.3 Trafikk på banen

Trafikken på Gardermobanen består av hovedsakelig av Flytoget sine tog som vender på Oslo Lufthavn (Gardermoen) og raske intercity-, lokal- og fjerntog fra NSB. Fra Jernbaneverkets grafiske ruter (Jernbaneverket, 2015a) og togselskapenes rutetabeller fremkommer det at Flytogets linjer F1, F2 og F1x fra henholdsvis Oslo S, Drammen og Stabekk⁴⁰ trafikkerer strekningen mellom Lillestrøm og Gardermoen med 6 avganger i timen det meste av driftsdøgnet, totalt over 100 avganger hver vei pr døgn. Alle NSB sine regiontog mellom Drammen og Lillehammer (R10) og mellom Skien og Eidsvoll (R11), samt lokaltog mellom Kongsberg og Eidsvoll (L12) trafikkerer strekningen med timesfrekvens. Sammen med 3 fjerntog mellom Oslo og Trondheim pr døgn kjører NSB rundt 60 avganger hver vei pr døgn på Gardermobanen mellom Lillestrøm og Oslo Lufthavn.

Totalt blir det om lag 175 passasjertog hver vei på et normalt driftsdøgn, noe som tilsvarer mer enn 8 tog pr time eller omtrent 1 tog hvert 7. minutt i gjennomsnitt over 20 timer. I tillegg kjøres det godstog, som forsyner flyplassen med drivstoff til flytrafikken, på deler av strekningen (Jernbaneverket, 2015a).

Flytoget har siden åpningen av banen i 1998 kjørt med sine togsett type 71. NSB sine tog type 73 benyttes for fjernstrekningen til Trondheim sammen med EL18-lokomotiv og vogner av type 7 og WLAB2 sovevogner på natt-togene. På intercity og lokaltogstrekningene benytter NSB sine nyere såkalte FLIRT-tog av typene 74 og 75.

⁴⁰ Trafikk med linje F1x mellom Stabekk og Gardermoen startet i desember 2015 etter åpning av det nye vendeanlegget på Høvik stasjon. 1 av direktetogene mellom Gardermoen og Oslo S kjører nå videre gjennom Oslotunnelen og betjener stasjonene Nationaltheatret, Skøyen, Lysaker og Stabekk.

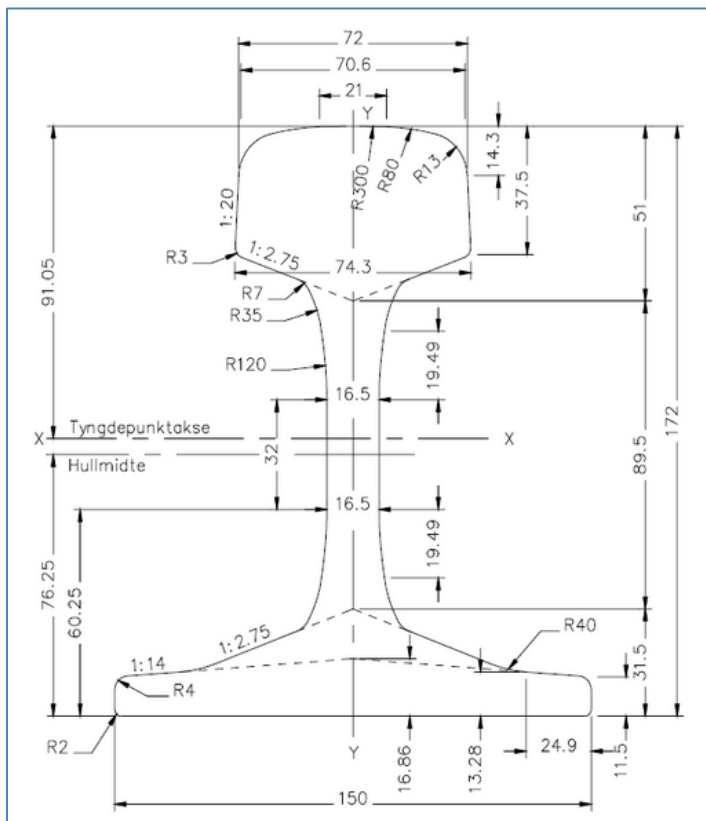
I følge *Flytogets årsrapport* oppnådde de i 2014 ny passasjerrekord med 6,8 millioner passasjerer (Flytoget, 2015). Dette utgjorde om lag 50 % av de som reiste kollektivt til flyplassen. De hadde en liten tilbakegang til 6,6 millioner passasjerer i 2015⁴¹. NSB har ikke oppgitt passasjertall på Gardermobanen i sin årsrapport, men hadde i 2015 totalt 67,1 millioner passasjerer i sine persontog på alle strekninger i Norge (NSB, 2016).

4.2 Overbygningskomponenter på Gardermobanen

I dette delkapittelet har jeg beskrevet utvalgte overbygningskomponenter som finnes på Gardermobanen. Komponentene som er beskrevet er skinne, sville, befestigelse og ballast.

Skinner

På Gardermobanen benyttes skinner med profil 60E1 og skinne kvalitet R260Mn.



Figur 20 – Skinneprofil 60E1⁴²

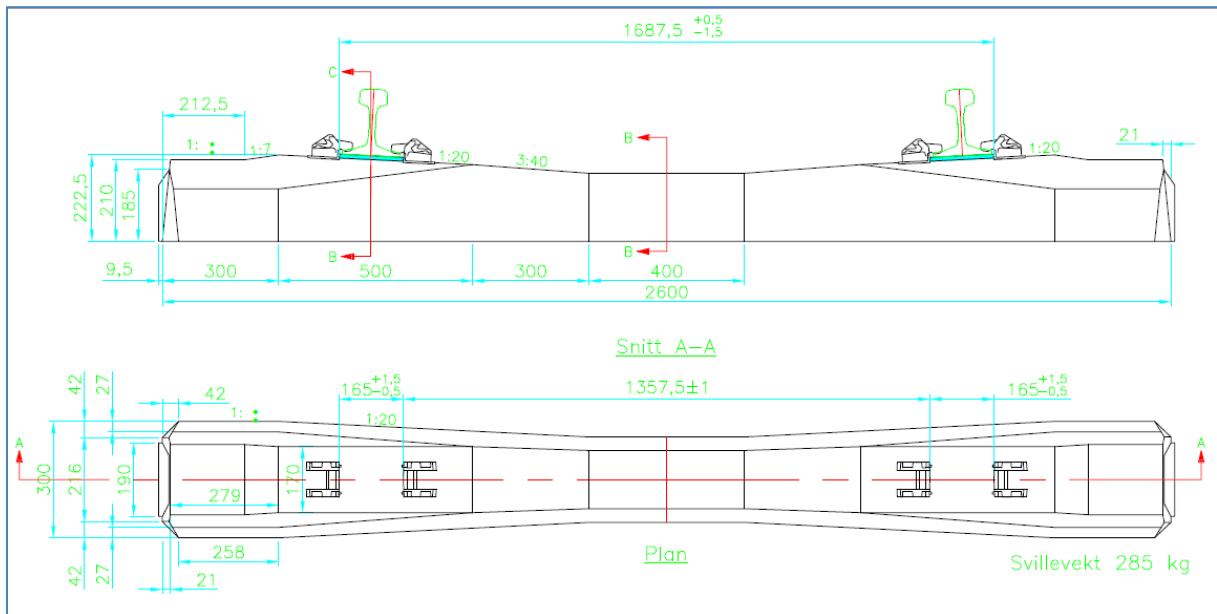
⁴¹ <http://e24.no/naeringsliv/flytoget/hoeyeste-omsetning-noensinne-for-flytoget/23659747> (15.04.2016)

⁴² Figur fra Teknisk regelverk:

<https://trv.jbv.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Sporkonstruksjoner/Vedlegg/Skinneprofiler#60E1>

Sville

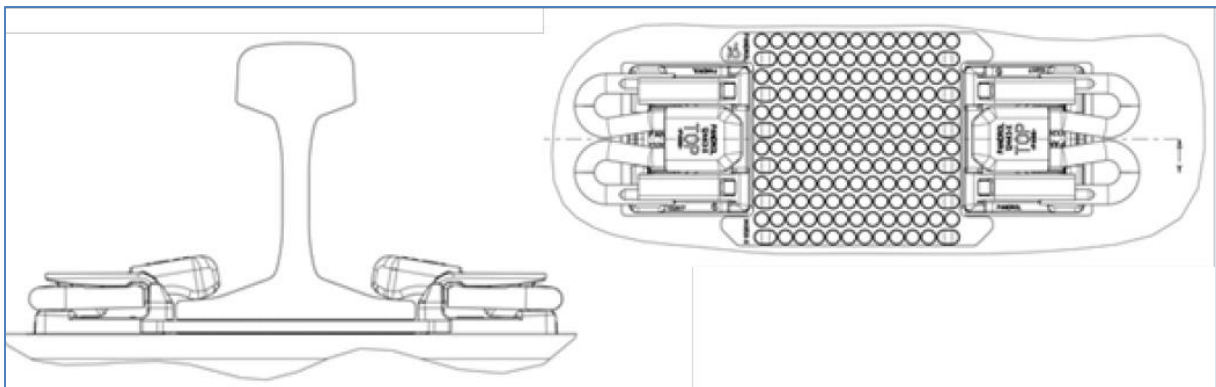
På Gardermobanen benyttes betongsviller av typen JBV60.



Figur 21 – Sville Betong JBV60⁴³

Befestigelse

JBV60-svillene leveres med ferdig monterte befestigelser av type Pandrol Fastclip FE.



Figur 22 – Befestigelse Pandrol FE Fastclip⁴⁴

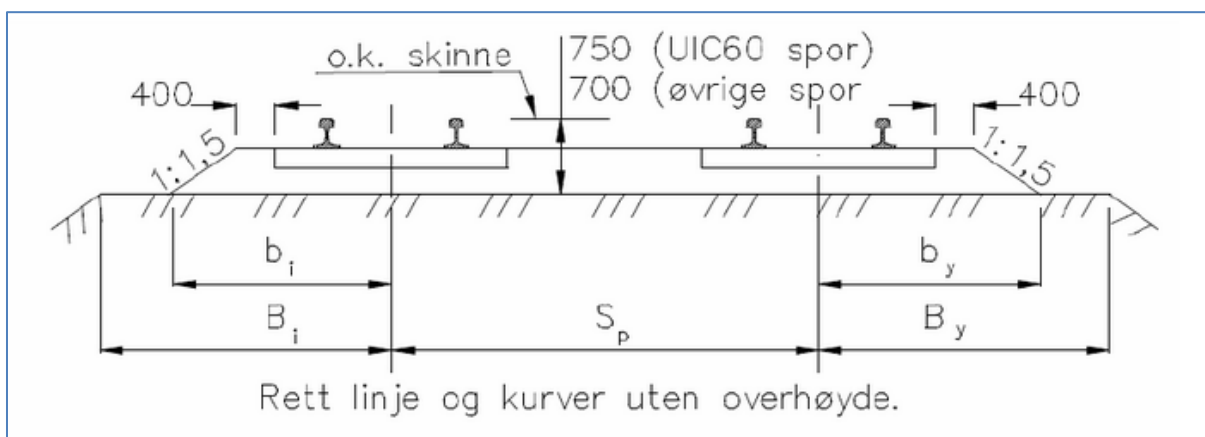
⁴³ Figur fra Teknisk regelverk:

https://trv.jbv.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Sporkonstruksjoner/Vedlegg/Sviller#SPENNBETONGSVILLE_JBV_60

⁴⁴ Figur fra Teknisk Designbasis for Intercity (Jernbaneverket, 2015c)

Ballast

Standard ballastprofil for dobbeltspor er vist på figuren nedenfor.



Figur 23 – Standard ballastprofil som skal anvendes for dobbeltspor⁴⁵

For spor som prosjekteres med strekningshastighet over 200 km/h, som på Gardermobanen, skal ballasthøyden økes med 50 mm, dvs til 750 mm til skinne overkant. I Teknisk designbasis for Intercity-strekningene (Jernbaneverket, 2015c) angis det at ballasthøyden skal være 750 – 850 mm avhengig av hastighet og hardt underlag. Jeg har i denne oppgaven tatt utgangspunkt i ballasthøyde på 750 mm til overkant skinne. Da skinnen er ca 170 mm høy betyr det at ballasttykkelsen på Gardermobanen er ca 630 mm.

Tabellen nedenfor viser mer informasjon om fire utvalgte overbygningskomponenter som finnes på Gardermobanen.

Komponent	Type, betegnelse	Merknad
Skinne	60E1, iht. EN 13674-1	Voest Alpine Schienen, Østerrike
Sville	JBV60FE	Spenncon, Betong, Svilleavstand 600 mm
Befestigelse	Pandrol Fastclip FE	Fastmontert på sville
Ballast	Pukk 31,5-63 mm	Ballasttykkelse ca 63 cm

Tabell 9 – Overbygningskomponenter på Gardermobanen

Det finnes også andre overbygningskomponenter som er bygget inn på Gardermobanen, bl.a. sporveksler og tilhørende spesialsviller. I kapittel 4.3 er det beskrevet hvilke avgrensninger som er gjort i forhold til komponenter.

⁴⁵ Teknisk regelverk:

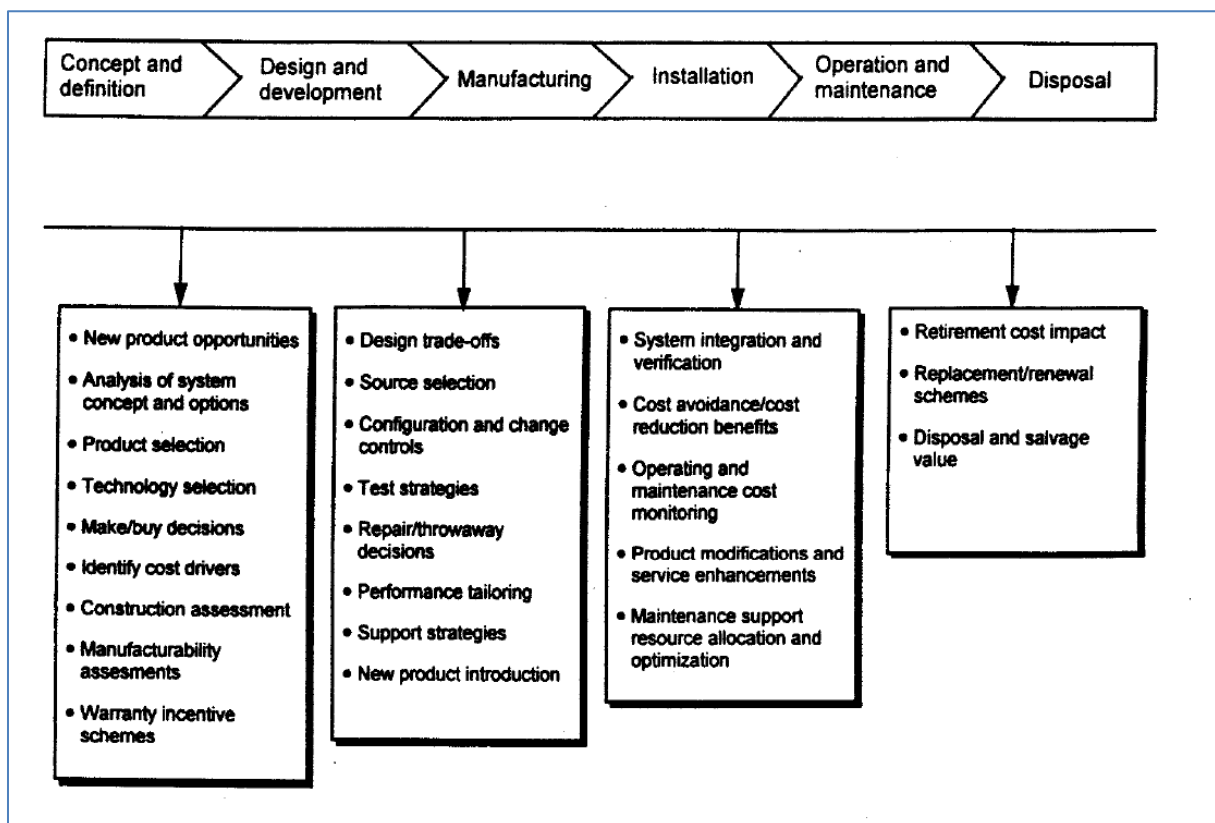
https://trv.jbv.no/w/index.php?title=Fil:JD530_10_fig003.png&filetimestamp=20101122084924

4.3 Avgrensninger

I dette delkapitlet har jeg beskrevet hvilke avgrensninger jeg har gjort i denne case-studien, og hvorfor jeg har gjort dette. Avgrensninger er gjort både innenfor LCC-elementer, på deler av strekningen, på inngående komponenter og på vedlikeholdsaktiviteter.

4.3.1 LCC-elementer

LCC inneholder normalt kostnader fra alle fasene i levetiden til et anlegg. Dette innebærer blant annet utredning, planlegging og prosjektering, anskaffelse, bygging, drift, vedlikehold og demontering og avhending. I IEC-standard 300-3-3 fremstilles fasene slik:



Figur 24 – Bruk av LCC i forskjellige prosjektfaser(IEC, 2004)

I SINTEF-rapporten *Life Cycle Cost Analysis in Railway Systems* (Hokstad, 1998) er LCC fremstilt i 4 kostnadsgrupper:

$$LCC = Cost_{Investment} + Cost_{Maintenance} + Cost_{Delay} + Cost_{Hazard}$$

Investeringskostnadene ($Cost_{Investment}$) omfatter kostnader ved bygging av banen. Dette inkluderer normalt utrednings- og planleggingskostnader, arealkostnader, byggekostnader (inkludert materialer, maskiner og personell) og oppfølgingskostnader. I denne case-studien har jeg benyttet «byggeklosser» fra *KVU Intercity* (Jernbaneverket, 2012b) for å estimere investeringskostnader. Dette er nærmere beskrevet i kapittel 0. Nedmonterings-, fornyings- og reinvesteringkostnader inkluderes ofte i kapitalkostnader for et anlegg og kan sees på som investeringskostnader. Jeg har i denne oppgaven begrenset beregningene til byggefasen og et antall år med trafikk på banen etterpå, og slike kostnader vil ikke bli aktuelle i denne perioden. Dessuten tror jeg det vil være vanskelig å finne reelle kostnadstall å benytte for avhendingsfasen.

Vedlikeholdskostnadene ($Cost_{Maintenance}$) omfatter kostnader til angitte vedlikeholdsaktiviteter. De vedlikeholdsoppgavene som jeg ikke har fått tilstrekkelige data om er utelatt fra beregningene. Driftskostnadene for den aktuelle infrastrukturen inngår i aktuell banesjef sitt budsjett og arbeidsoppgavene utføres av personell tilknyttet banesjefens organisasjon. Jeg har imidlertid ikke fått underlag med detaljer rundt fordeling av kostnader knyttet til drift, og har derfor valgt å holde drift utenfor videre omtale og beregninger av LCC i denne oppgaven.

Forsinkelseskostnader ($Cost_{Delay}$) er kostnader knyttet til at banestrekningen ikke er tilgjengelig for planlagt bruk. I denne oppgaven har jeg fokusert på passasjerkostnader ved forsinkelser. Kostnader for Jernbaneverket, togselskapene eller andre er ikke inkludert videre i oppgaven.

Farekostnadene ($Cost_{Hazard}$) er kostnader knyttet til ulykker. Dersom det er et visst antall og omfang av ulykker vil disse kostnadene ha påvirkning på LCC. Jeg har imidlertid ikke fokusert på dette elementet i denne oppgaven, og da det er få ulykker på jernbanen i Norge har jeg derfor ikke inkludert disse kostnadene videre.

Beregningene i denne oppgaven blir da avgrenset til kostnader for følgende LCC-elementer:

$$LCC = Cost_{Investment} + Cost_{Maintenance} + Cost_{Delay}$$

$$LCC = \text{Investeringskostnader}^{46} + \text{Vedlikeholdskostnader} + \text{Forsinkelseskostnader}$$

⁴⁶ I denne oppgaven har jeg også benyttet begrepet Byggekostnader

4.3.2 Strekingen

I forstudiet (Hofgaard, 2015) til denne oppgaven ønsket jeg å ta for meg sporløsningen på en nærmere definert dobbeltsporstekning som allerede var bygget innenfor det fremtidige intercity-nettverket, dvs mellom Oslo og henholdsvis Halden, Skien og Lillehammer. Jeg studerte aktuelle strekninger som allerede var bygget ut med dobbeltspor, og på prosjektsidene⁴⁷ fant jeg informasjon om Intercityprosjektet og andre pågående og gjennomførte prosjekter. For å forenkle arbeidet valgte jeg å avgrense til en strekning på fri linje. I dette kriteriet inngikk ønsket om at strekingen ikke skulle gå i tunnel, på bro eller andre konstruksjoner, ikke ha for mange stasjoner (her ment stoppesteder) underveis eller mange sporveksler, samt at strekning skulle ha en viss lengde. Jeg vurderte også andre kriterier når jeg skulle velge banestrekning, bl.a. tilgang til data fra bygging, drift og vedlikehold, nærhet til dataene, samt anbefalinger jeg fikk. Etter gjennomgang av kriteriene i forstudiet konkluderte jeg med at jeg ville avgrense oppgaven til å se nærmere på dobbeltsporstrekingen mellom Lillestrøm og Venjar på Gardermobanen.



Figur 25 – Gardermobanen ved Venjar. Foto: Njål Svingheim Jernbaneverket⁴⁸

⁴⁷ www.jernbaneverket.no/Prosjekter/Inter-City-/InterCity/

⁴⁸ www.jernbaneverket.no/Jernbanen/Banene/Gardermobanen/ Venjar er sør for Eidsvoll der dobbeltsporet går over i enkeltspor

4.3.3 Komponenter

Overbygningen på en strekning består av mange komponenter, som angitt i kapittel 2.5.

Fastspor finnes ikke på Gardermobanen, så det var ikke en aktuell komponenttype å se nærmere på i denne oppgaven. Skjøter og sporstoppere anså jeg til ikke å være så interessante for min oppgave, delvis fordi jeg vurderte at det var vanskelig å fremskaffe brukbare data om skjøtene og delvis fordi jeg vurderte at de antatt få sporstopperne ville utgjøre lite i beregningene.

Når det gjelder sporveksler har jeg gjort flere vurderinger. Sporveksler er viktige komponenter for å sikre fleksibilitet i jernbanesystemet. På enkeltsporstreknings behøves sporveksler på definerte steder for å muliggjøre kryssinger. På dobbeltsporstreknings er det ved normal trafikk ikke behov for å krysse. Dersom det er veldig forskjellig trafikk på en dobbeltsporet bane kan det være behov for et hurtigere tog å kjøre forbi et langsommere, og i avvikssituasjoner kan det også være behov for å benytte sporveksler for å f.eks. kjøre forbi et stengt parti på strekningen.

Dobbeltsporet på Gardermobanen har relativt ensartet trafikk der alle persontog kjører med tilnærmet lik hastighet. Godstog (drivstofftogene til Oslo Lufthavn) og sakteregående persontog (fjerntog) kjøres i tider der det er tilstrekkelig tid tilgjengelig i ruteplanen, slik at de ikke påvirker andre tog. Sporvekslene på strekningen er derfor ikke benyttet til forbikjøringer ved gjennomføring av ordinær trafikk, og de benyttes hovedsakelig ved avvik i trafikken og i forbindelse med vedlikehold. Unntatt fra dette er selvfølgelig sporvekslene på stekningen der drivstofftogene kjører over mellom Hovedbanen og Gardermobanen, samt sporveksler ved drivstoffområdet på Gardermoen og på stasjonen. Disse benyttes i ordinær trafikk.

Selv sporveksler som ikke er i bruk må kontrolleres for å sikre at de fungerer når det er behov for dem. Dette vedlikeholdet er ikke like omfattende som for sporveksler som er i bruk ved normal trafikk, men det vil være feilmoder som kan oppstå også for ikke-brukte komponenter som medfører kostnader til vedlikehold. Eksempler på dette kan være feil på glideplater og drivmaskiner. Dette betyr at sporveksler får kostnader for vedlikehold som ikke er relatert til den normale trafikken på sporet.

Jeg har vurdert at det vil være stor variasjon i hvor mye sporvekslene på strekningen benyttes, og at det vil være vanskelig å fremskaffe data knyttet til vedlikehold av sporveksler. Dette fordi vedlikeholdet både avhenger av hvor ofte den benyttes, samt at det er kostnader til vedlikehold uavhengig av bruk og slitasje. For denne oppgaven har jeg valgt å ikke inkludere sporveksler, men det kan være verdt å inkludere disse i et eventuelt videre arbeid.

For å avgrense oppgaven har jeg med dette som bakgrunn valgt å ikke ta med elementene skjøter, sporveksler, fast spor og sporstoppere videre. Valgte komponenter som skal inngå i analysen blir da:

- Skinner
- Sviller
- Befestigelse
- Ballast

4.3.4 Vedlikeholdsaktiviteter

I arbeidet med informasjonsinnhenting for LCC-analyse, har jeg avgrenset oppgaven til å omfatte følgende vedlikeholdsoppgaver i overbygningen:

- Forebyggende vedlikehold (inspeksjoner og generiske rutiner)
- Korrektivt vedlikehold (feilsøking og reparasjoner)
- Skinnesliping
- Målevognskjøring
- Ballastrensing
- Skinnebytte
- Svillebytte

Generiske kontroller

I kapittel 2.5 er det beskrevet at jernbanens tekniske regelverk inneholder kontroll- og visitasjonsaktiviteter i sporet, såkalte generiske kontroller. For Gardermobanen er det i *Kontrollskjema for visitasjon av spor og grunn Gardermobanen* (Pettersen, 2002) beskrevet hvilke aktiviteter dette er for overbygningen:

Komponent	Visitasjonsaktiviteter
Skinner	<ul style="list-style-type: none">• Kontroller at det ikke finnes forhold som kan lede til skinnebrudd. For eksempel sprekker, sluresår og andre defekter i skinnene.• Kontroller at skinnene ikke har unormal slitasje. Kan være tegn på pilhøydefeil / valsefeil.• Kontroller at det ikke finnes skrapemerker på skinnefoten ved befestigelse, som tegn på skinnevandring. Spesielt utsatte pertier ved store stigninger og fall.• Kontroller at skinnene ikke har synlige rifler og bølger. Disse opptrer vanligvis først i innerstreng i kurver $R < 600$ m, finnes i spv kurver på Gardermobanen.
Befestigelse	<ul style="list-style-type: none">• Kontroller at all befestigelse er påsatt og god stand.• Kontroller at skruforbindelser er tilskrudd og i god stand.• Kontroller at svilleisolasjonsdeler er tilstede og i god stand.
Sviller	<ul style="list-style-type: none">• Kontroller at det ikke finnes sprekker som kan lede vann inn i svillene.• Kontroller at det ikke finnes brudd i svillene.• Kontroller at ikke skinnen graver seg ned i betongen, indikasjon på dette vil være unormal økning i sporvidden.• Kontroller at ingen sviller ligger skjevt i forhold til sporplanet. Unntak er langsviller i bakkant sporveksler, her er svillene innbygd skjevt i forhold til sporplanet.• Kontroller at det ikke finnes unormal variasjon i svilleavstand.
Ballast	<ul style="list-style-type: none">• Kontroller at ballasten er ren og at fri drenering ut mot linjegrøfter ikke hindres.• Kontroller at krav til ballastprofil er oppfylt, dette er spesielt vikti i kurver og mot fastpunkter i sporet.• Kontroller at ballasten på K0 baner er planert ca 3-5 cm under svilletopp i hele svillens lengde. Gjelder også i sporveksler.

Tabell 10 – Visitasjonsaktiviteter på utvalgte overbygningskomponenter (Pettersen, 2002)

Forebyggende vedlikehold

Gjennomgang av forebyggende vedlikeholdsaktiviteter (FV) som er registrert i Jernbaneverkets database BaneData for Gardermobanen i perioden 2009 – 2015 finnes i

Vedlegg 3. Tabellen nedenfor viser FV-aktiviteter som ble gjennomført i perioden 2011 – 2015:

Komponent	Aktivitet	Antall registrerte aktiviteter				
		2015	2014	2013	2012	2011
Skinner	12 mnd kontroll <= 160km/t 2-15 MGT/år	213	211	2	2	56
	12 mnd kontroll >= 160km/t	405				
Sviller	12 mnd kontroll Betongsviller	208	41	30	69	42
	36 mnd kontroll Tresviller	2			22	
Befestigelse	60 mnd kontroll Befestigelse på betongsville			6		
Ballast	12 mnd kontroll Ballast	197	1	25	67	53
	48 mnd kontroll Ballast	2	4			

Tabell 11 – Gardermobanen FV-rapporter, kontrollaktiviteter (Banedata)

Korrektivt vedlikehold

Tilsvarende gjennomgang av korrektive rapporteringer (KV-Rap) som er registrert i Jernbaneverkets database BaneData for Gardermobanen i perioden 2009 – 2015 finnes i Vedlegg 3. Tabellen nedenfor viser rapporteringer registrert i perioden 2011 – 2015:

Komponent	Aktivitet	Antall registrerte aktiviteter				
		2015	2014	2013	2012	2011
Skinner	Skinnefeil	41	3	14	5	2
	Solslyng		1			
	Skinnebrudd			1		
	Vindskjevhet			1		
	Andre KO-feil	4	2	3	2	
Sviller	Sporviddefeil				1	
	Andre KO-feil (bl.a. knust sville)		1			
Befestigelse	Andre KO-feil (mangler fjær, rustne rør, oa)	5	1	1		
Ballast	Sporviddefeil					1
	Andre KO-feil (lite ballast, pumpe/vaskesville)	6	7		3	

Tabell 12 – Gardermobanen KV-rapporter, registreringer av feil (Banedata), (KO = Overbygning)

Det er for registreringene i perioden 2009 – 2015 oppgitt hvordan feilen har blitt oppdaget. Kildene som er angitt er ultralyd, inspeksjon/visitasjon, under vedlikeholdsarbeid, trafikkelskap, togleder og målevogn.

For skinnefeilene er det oppgitt at 64% av feilene er oppdaget ved ultralydkontroll, 24% ved inspeksjon/visitasjon og de øvrige fordeler seg på alle de andre kildene. For de andre komponentene er det inspeksjon/visitasjonsaktivitet som var hovedkilden til oppdagelse: 100% av svillefeilene, 84% av feilene med befestigelse, og 94% av ballastfeilene. De resterende feilene ble oppdaget under vedlikeholdsarbeid.

Skinnesliping

På Gardermobanen kjører slipetoget normalt i 3 km/t i skift som varer 4 timer (Kvernmo, 2016a). Det kjøres 8 skift pr år på en eller flere delstrekninger, og hele banen slipes iløpet av 5 år.

Målevognskjøring

På Gardermobanen kjøres det med målevogn hele 6 ganger pr år, i motsetning til andre baner der det bare kjøres 2 ganger pr år.

Ballastrensing

Komplett ballastrensing gjennomføres normalt hvert 20. år, og har foreløpig ikke blitt gjennomført på Gardermobanen.

Skinnebytte og svillebytte

Skinner og sviller byttes normalt ikke før ved utgått levetid som er 45-50 år, med mindre det oppstår behov på grunn av skader eller annet.

Vedlikeholdsaktiviteter som ikke er tatt med

Skinnesmøring er ikke så nødvendig på høyhastighetsbaner som Gardermobanen som har relativt ensartet trafikk med persontog og uten særlig godstrafikk. Jeg har derfor valgt å ikke ta med denne aktiviteten videre i oppgaven.

Sporjustering. På Gardermobanen er det riktignok store krefter knyttet høye hastigheter, men til gjengjeld så har overbygningens komponenter høy kvalitet. Behovet for sporjusteringer på Gardermobanen er derfor begrenset, men det vil selvfølgelig være behov for dette ved skinne- og svillebytter, og etter ballastrensing. Jeg har derfor valgt å ikke ta med denne aktiviteten videre i oppgaven.

Andre aktiviteter knyttet til visitasjon av sporets trase, sporgeometri, og vedlikehold av skinneskjøter og sporveksler er ikke medtatt i denne oppgaven. Dette fordi jeg kun har fokusert på komponentene i kapittelet over (4.3.3) og de tilhørende vedlikeholdsoppgavene.

4.4 Datainnsamling

Jeg vurderte i forprosjektet (Hofgaard, 2015) at Gardermobaneprosjektet ble godt dokumentert og antok at data fra utbyggingen kunne finnes relativt enkelt. Som det fremkommer i del-kapitlene nedenfor var det ikke riktig så lett å få detaljerte opplysninger om utbyggingskostnadene for overbygningen. Videre antok jeg at man har gode data for drift og vedlikehold tilgjengelig. Dette var i stor grad riktig. Selv om jeg ikke er ansatt i Jernbaneverket har jeg fått god respons på mine henvendelser og har i stor grad fått de dataene jeg har vært på jakt etter. Ved at jeg valgte Gardermobanen som case har jeg også relativt enkelt kunne studere strekningen og besøke relevant personell ved driftsbasen på Lillestrøm.

I tillegg til egne søk jeg har gjort i bl.a. bøker, rapporter og på internett, er følgende personer de viktigste kildene til de dataene jeg benytter i denne oppgaven:

Navn	Organisasjon	Navn	Organisasjon
Hans Svee	Jernbaneverket	Alf Helge Løhren	Jernbaneverket
Håkon Toftaker	Jernbaneverket	Jorunn Halkjær	Jernbaneverket
Frode Teigen	Jernbaneverket	Elias Kassa	NTNU
Terje Rindhølen	Jernbaneverket	Ove Skovdahl	Rejlers, Railconsult
Geir Ingvaldsen	Jernbaneverket	Tone Christine Cook	Biblioteket JBV

Tabell 13 – Kilde-personer

Jeg har også innhentet noen data for andre strekninger og komponenter for å kunne gjøre relevante sammenligninger i kapittel 6.

I arbeidet har jeg skaffet oversikt over type komponenter, mengder og priser. Mengdene vil si antall meter skinner, antall sviller og befestigelser og volum på ballastlag for dobbeltspor på Gardermobanen. Prisene har vært oppgitt med basis i forskjellige årstall. For å kunne sammenligne dette har jeg regnet om alle verdier til 2015-verdi med enhet oppgitt i kroner (eller millioner kroner) pr kilometer dobbeltspor på fri linje på Gardermobanen. For vedlikehold og forsinkelser har jeg regnet om til årlige kostnader pr kilometer dobbeltspor.

4.4.1 Kostnader for bygging

Bygging av jernbane medfører kostnader innenfor en rekke forskjellige områder. Dette er bl.a. kostnader som påløper for

- Personell
- Investering og bruk av maskiner
- Materialer som brukes i byggefasen og jernbanespesifikt materiell for banen
- Transport av personell og utstyr

I tillegg kommer energikostnader og kostnader for prosjektering og byggeledelse hos byggherre og utførende enhet.

I dette delkapittelet har jeg i avsnittene nedenfor gjort rede for forskjellige kilder jeg har funnet og vurdert for å definere byggekostnader.

Gardermobanen 1991 og 1999

I rapporten *Gardermobanen – økonomiske analyser* (Heldal og Strøm, 1991) ble det i 1991 gjort beregninger av kostnadene for Gardermobanen. Den såkalte *Lillestrømlinja* tilsvarer den banen som ble bygget, og ble den gangen kostnadsberegnet til 4460 mill kr. Dette tilsier en kilometerkostnad på 75 millioner kr for ferdig bygget dobbeltspor mellom Oslo og Eidsvoll (60 km bane med dobbeltspor).

Jeg har søkt etter detaljert informasjon om de faktiske kostnadene knyttet til bygging av sporet utenfor tunnelen på Gardermobanen. Rapporter jeg har studert, blant annet rapporten fra Mydske-utvalget i 1999 *Gardermoprojektet, Evaluering av planlegging og gjennomføring*, NOU 1999:28 (Mydske et al., 1999), fokuserer på de store tallene for hele utbyggingen av Gardermoen, både flyplassen og jernbanen. Her angis det at de totale kostnadene for bygging av banen kom på ca 7,7 milliarder kroner (1998). Av dette var over 1,7 mrd kr knyttet til overskridelser knyttet til Romeriksporten (tunnelen mellom Oslo og Lillestrøm) og til sammenbindingen av Gardermobanen og Hovedbanen. Andre data om jernbaneutbyggingen har også stort fokus på kostnadene, overskridelsene og forsinkelsene forbundet med tunnelen (Romeriksporten). Med utgangspunkt i et budsjett (før overskridelsene) på 6 mrd kr for banen, vil det tilsi en kilometerkostnad på 100 millioner kr for ferdig bygget dobbeltspor (forutsatt 60 km dobbeltspor bane).

Siden jeg ikke har ikke klart å finne mer detaljert informasjon om Gardermobanen har jeg nedenfor samlet informasjon om et antall andre baner som er utredet eller bygget.

Høyhastighetsutredningen 2012

I høyhastighetsutredningen som Jernbaneverket gjennomførte i perioden 2010 - 2012 ble det estimert utbyggingskostnader for et antall forskjellige korridorer⁴⁹.

Strekning	Korridor	Via	Kr pr km dobbeltspor
Oslo – Trondheim	Nord, alt. D	Østerdalen	355 mill kr
Oslo – Gøteborg	Øst, alt C	Moss, Fredrikstad	360 mill kr
Oslo – Gøteborg	Øst, alt D	Direkte Ski - Sarpsborg	354 mill kr
Oslo – Stockholm	Øst, alt C	Ski, Mysen	391 mill kr
Oslo – Stockholm	Øst, alt D	Lillestrøm	358 mill kr

Tabell 14 – Utbyggingskostnader estimert i Høyhastighetsutredningen, Jernbaneverket 2012

Som det fremgår ovenfor varierte kostnadene mellom 354 og 391 millioner kroner pr kilometer dobbeltspor.

InterCity – KVVU 2012

I arbeidet med InterCity-prosjektet har det blitt laget en konseptvalgutredning (KVVU) med forskjellige underlagsrapporter for delstrekninger^{50 51}. I rapporten *KVVU Intercity, Dovrebanen, Kostnadsberegninger* (Jernbaneverket, 2012b) er det skrevet en metode for beregning av investeringskostnader der det ble etablert en kostnadsmodell kalt ”Bygge-klosser”. Byggekløssene er beskrivelser av forskjellige typer banetverrsnitt (enkelt- og dobbeltspor bane i ny trase eller oppgradert fra tidligere trase, tunnel, bru, stasjon, kompleksitet ved bygging, mm). Hver byggekloss er kostnadsberegnet ut i fra erfaringspriser hentet fra nye dobbeltspor på ferdige og prosjekterte anlegg på Vestfoldbanen, Østfoldbanen, Asker-Sandvika-Lysaker, nye Bjørvika-tunnel (vei), sporveksel-innkjøp JBV, Høyhastighetsprosjektet fase 3 JBV og ”som bygget” Gardermobanen. Denne siste ville vært svært relevant for denne oppgaven, men jeg har ikke klart å fremskaffe denne.

⁴⁹ Sluttrapport fra Høyhastighetsutredningen; Oppsummering – Atkins – Marked og økonomi: www.jernbaneverket.no/Prosjekter/Hoyhastighetsutredningen/Nyhetsarkiv/Oppsummering-Atkins-Marked-og-okonomi-/ (22.03.2016)

⁵⁰ www.jernbaneverket.no/Prosjekter/Inter-City-/Konseptvalgutredning-KVVU/ (22.03.2016)

⁵¹ www.jernbaneverket.no/Prosjekter/Inter-City-/Prosjektartikler1/InterCity-kan-planlegges-og-bygges-pa-ti-ar/ (22.03.2016)

Byggekløss-modellens enhetspriser inneholder alle entreprisekostnader per løpemeter. Rapporten beskriver at det ved kontroll av modellen ble funnet et avvik på -8 til +16% når den ble testet på ferdige prosjekter og ferdig prosjekterte prosjekter, noe som ble ansett som akseptabelt for utredninger på dette plannivået. På intercity-strekningene på Vestfold- og Dovrebanen er løpemeterprisene utenom stasjoner estimert til 260 - 310 mill kr pr km. Sammenlignet med høyhastighetsprosjektet (HSR) langs Dovre- og Vestfoldbanen var løpemeterprisene for HSR 12-25% høyere enn IC, bl.a. grunnet høyere tunnelandel, men mange steder var det god overenstemmelse mellom IC og HSR. Kilometerkostnadene for IC i rapporten angis å ligge noe høyt sammenlignet med Jernbaneverkets erfaringstall, men det påpekes at Jernbaneverket har sett en signifikant prisøkning på jernbaneprosjekter de senere årene.

I byggekloss-modellen fra KVU InterCity, som er omtalt ovenfor, er kostnadene videre inndelt i kostnadsklasser for ulike elementer. I tabellen nedenfor er det valgt Klasse A1 som er den enkleste og billigste, for «*Daglinje dobbeltspor, liten eller ingen bebyggelse / enkle byggeforhold*» med en kostnad angitt til 76.500 kr/lm som tilsvarer 76,5 mill kr pr km. Andre klasser har høyere løpemeterpris, for eksempel klasse A8 for «*Daglinje dobbeltspor, tett bebyggelse bystrøk småhus / vanskelige byggeforhold, nærføring*» med en nesten 3 ganger så høy kostnad, angitt til 200.750 kr/lm (200,75 mill kr pr km). Det finnes egne klasser for elementer som tunneler, kulverter, bruer, stasjoner og sporveksler, så kostnader for disse elementene er ikke inkludert i «*Daglinje dobbeltspor*»-klassene.

Som det framgår av tabellen har kostnadsklassen *Jernbaneteknikk unntatt signalanlegg* en angitt pris på 25.000 kr/lm (dobbeltspor). Dette tilsvarer 25 mill kr pr km, og er den samme for de fleste dobbeltspor-klassene. Sammen med Signalanlegg som har angitt pris på 10.000 kr/lm, blir totalen for jernbaneteknikk 35 mill kr pr km. Dette tilsvarer 17 % av kostnaden for dyreste daglinje og opp til 46 % av for daglinjen med lavest kostnad.

Kostnadsklasser

200 km/t

A1 Daglinje dobbeltspor, liten eller ingen bebyggelse / enkle byggeforhold (Gjennomsnitt for dagstrækninger med lite bebyggelse)			
Skjæring/fylling, gj.høyde 5 m inkl. frost-/forsterkningslag, drenering og føringsveier	lm		20 000
Tosidig gjerde	lm		1 000
Geoteknisk tiltak, gjennomsnitt	lm		3 000
Landskapsbehandling, tiltak for natur- og kulturminner(hovedsakelig arkologi)	lm		3 000
Støytiltak, antatt 10% av traseen trenger støyskjerm/tiltak	lm		1 000
Infrastruktur veier, antatt omlegging av 0,3 m vei per lm ny jernbane(5 m bred vei)	lm		3 000
Kryssende bekker antatt pr 400 meter	lm		600
Kryssende kulverter/bruer, antatt 1 per 500 m ny bane	lm		7 500
Omlegging kommunal teknisk infrastruktur per lm ny jernbane	lm		900
Diverse	lm		1 500
Jernbaneteknikk unntatt signalanlegg	lm		25 000
Signalanlegg	lm		10 000
Sum kostnad	lm		76 500

Tabell 15 – Kostnadsklasse fra KVV Intercity Dovrebanen Kostnadsberegninger⁵²

Jernbaneteknikk unntatt signalanlegg antas her å inkludere overbygningsskomponentene skinner, sviller, samt befestigelser og ballast, og i tillegg fagområdene elforsyning, KL og tele. Dette utgjør ca 71 % av den totale kostnaden for jernbaneteknikk når signalanlegg inkluderes.

Ringeriksbanen 1998 og 2015

I rapporten *Ringeriksbanen, Bergensbanens forkortelse* (Jernbaneverket, 1998) er det beskrevet bygging av enkeltsporet bane mellom Sandvika og Hønefoss, men kryssingsspor hver 6. km i tunnel og ca hver 8. km i dagsoner. Rapporten angir kostnadsestimater for alternative traseer på strekningen. Den delen av strekningen som går i dagen, dvs fra området ved Kroksund til Hønefoss har en kilometerkostnad på 100 - 115 mill kr pr km for enkeltspor. Kostnader for spor utgjør 4 – 5 % av de totale kostnadene, det vil si mellom 4 – 6 mill kr pr km for enkeltspor.

I 2015 gjennomførte selskapene Dovre og TØI en analyse for Finansdepartementet og Samferdselsdepartementet *Ringeriksbanen - Supplerende analyse av beslutningsgrunnlag* (Finsveen et al., 2015). I denne er estimater fra Jernbaneverket gjennomgått og vurdert mot selskapenes egne. Kostnadene er angitt til ca 16,5 mrd kr for dobbeltspor bane. Forutsatt en trase på ca 35 km blir det ca 470 mill kr pr km dobbeltspor. Det er gjort en nøkkeltallsanalyse av tallene, sammenlignet med andre prosjekter, som viser at Ringeriksbanen har lavere kostnad enn de ferdige prosjektene Sandvika – Asker og Lysaker – Sandvika. Dette er naturlig

⁵² Kilde: (Jernbaneverket, 2012b)

da de nevnte prosjektene har høy tunnelandel, går i bystrøk og har hatt store kostnader knyttet til opprettholdelse av regularitet på eksisterende bane.

Kostnadene er delt opp i forskjellige elementer og Jernbaneteknikk utgjør ca 11 % av totalkostnaden. Det vil si ca 53 mill kr pr km. Her er signalanlegg inkludert i Jernbaneteknikk.

Barkåker – Tønsberg 2013

I sluttrapporten for Jernbaneverkets utbyggingsprosjekt Barkåker – Tønsberg (Jernbaneverket, 2013a) er det oppgitt en total sluttkostnad på ca 1277 mill kr som tilsvarer ca 166 mill kr pr km. Ca 5,8 km av traseen på 7,7 km er dobbeltspor. For jernbaneteknikk på dobbeltsporstrekningen er totalkostnaden oppgitt til vel 257 mill kr. Det tilsvarer ca 44,4 mill kr pr km og utgjør da over 26 % av totalen. For overbygningen alene er kostnaden oppgitt til 5,4 mill kr pr km.

Oppsummert kostnader for bygging

Jeg har beregnet kostnad pr km dobbeltsporet bane. Tabellen nedenfor oppsummerer kostnadstallene for de angitte prosjektene:

Prosjekt	År	Mill kr pr km (for oppgitt årstall)	Jernbaneteknikk (mill kr pr km)
Gardermobanen	1991	75	
Gardermobanen	1998	100	
Høyhastighetsutredningen	2012	354 - 391	
Intercity (KVU)	2012	260 - 310	35 (inkl signal) (11-14 %)
Ringeriksbanen *)	1998	100 – 115	4 – 6 (kun et spor) (4-5 %)
Ringeriksbanen	2015	470	53 (inkl signal) (ca 11 %)
Barkåker – Tønsberg	2013	166	44 (ca 26 %), 5,4 for overbygning

Tabell 16 – Kostnader bygging jernbane dobbeltspor

*) Enkeltspor

Som det fremgår varierer tallene en del. Dette skyldes selvfølgelig at tallene er fra hele perioden 1991 – 2015, men også at prosjektene har forskjellig kompleksitet ved bygging og har forskjellige lengder. Dette siste vil ha innvirkning selv om jeg har regnet om til kostnad pr km dobbeltspor, da kilometerkostnaden på en kort banestrekning antas å inkludere en forholdsvis større andel av felleskostnader i prosjektet enn på en lenger banestrekning.

I de videre beregningene i denne oppgaven velger jeg å bruke dataene i byggeklossene fra KVU Intercity.

Sammenligning av kostnadsfordelinger for jernbanespesifikt materiell

I begrepet jernbaneteknikk inngår det mange elementer; Overbygning, Elforsyning og KL, Signal og Tele. I sluttrapporten fra Barkåker – Tønsberg (Jernbaneverket, 2013a) er kostnadene for jernbaneteknikk oppdelt i følgende deler for dobbeltsporet på 5,8 km:

Fag	Kostnad pr km	Andel (%)
Forberedende jernbaneteknikk	3,1	7 %
Felleskostnader	0,9	2 %
Overbygning	5,4	12 %
Kontaktledning	4,8	11 %
Elkraft og tele	11,2	25 %
Signalanlegg	7,8	18 %
Byggherre-levert materiell	9,5	21 %
Midl oppgradering trafikkstyring Drammen	0,6	1 %
KL restarbeider	1,1	2 %
SUM	44,4	100 %

Tabell 17 – Fordeling av kostnader for komponenter i Jernbaneteknikk (angitt i mill kr)

Det er overbygningen, som inneholder skinne, sville, befestigelse og ballast jeg ønsker å studere. Her fremkommer det at overbygningskomponentene har en kostnad på ca 5,4 mill kr pr km dobbeltspor, og da utgjør 12 % av totalen. Dette stemmer bra med kostnadene jeg har fått oppgitt for komponentene i overbygningen på Gardermobanen, se delkapittel 4.4.2.

Jeg har fått oppgitt normale fordelinger av byggekostnader mellom underbygning, overbygning, KL, signal, tele og prosjektering fra Alf Helge Løhren i Jernbaneverket (Løhren, 2016), fra NTNU-presentasjon av Christian Oelschlegel (Oelschlegel, 2015), fra samtale med min hovedveileder på NTNU Elias Kassa, samt fra oversikt i Jernbaneverkets metodehåndbok i samfunnsøkonomiske analyser (Siedler og Voss, 2015):

	Løhren	Oelschlegel	Kassa	Metodehåndbok
Underbygning	50 %	60 %	50 %	59 %
Overbygning	25 %	10 %	25 %	24 %
KL, Signal, Tele	25 %	18 %	20 %	17 %
Prosjektering	Inkludert over	12 %	5 %	Inkludert over

Tabell 18 – Fordeling av byggekostnader, andel av investeringskostnad

Basert på disse fordelingsnøkklene velger jeg å beregne at Overbygningskomponentene utgjør ca like stor andel av kostnadene som KL, signal og tele tilsammen. Dette er en justering av tallene fra Barkåker – Tønsberg som jeg mener kan forsvares da de tallene er oppdelt i flere elementer som er fordelt ut i de grovere fordelingsnøkklene ovenfor.

Med utgangspunkt i byggeklossene fra KVU IC utgjør da overbygningen halvparten av 35 mill kr pr km, det vil si 17,5 mill kr pr km. Omregnet til 2015-verdi blir dette 15,56 mill kr pr km.

4.4.2 Kostnader for komponenter

I dette avsnittet har jeg beregnet kostnader for de utvalgte spor-komponentene på Gardermobanen, basert på innspill om mengder og priser som jeg har fått gjennom samtaler og korrespondanse med representant fra organisasjonen til Banesjef Hoved- og Gardermobanen Jan Magne Kvernmo (Kvernmo, 2016a) og representant fra Forsyning Terje Rindhølen (Rindhølen, 2016). Har kontrollert prisene i forhold til prisliste over det meste av jernbanespesifikt materiell som jeg har mottatt fra Alf Helge Løhren (Jernbaneverket, Trondheim) (Løhren, 2016). Jeg har valgt å benytte prisene som er oppgitt selv om disse er noe lavere enn i prislisten.

Oppsummert blir kostnadene for komponentene som angitt nedenfor:

Komponent	Type, betegnelse	Enhetspriser (2015)	Pris pr km dobbeltspor
Skinne	60E1 (4 skinnestrenger på dobbeltspor)	54.910 kr pr 120 m skinne	1.832.000 kr
Sville	JBV60FE (2x1667 sviller pr km dobbeltspor)	624,48 kr pr stk	2.082.000 kr
Befestigelse	Pandrol Fastclip FE (2x6667 sviller pr km dobbeltspor)	Inkludert i svillepris	
Ballast	Pukk 31,5-63 mm	100.000 kr pr vognsett (10 vogner a 40 m ³)	1.500.000 kr
Sum for disse komponentene			5.414.000 kr

Tabell 19 – Kostnader for komponenter

Prisen på skinne er oppgitt for skinnelengder på 120 m. Har regnet om dette til meter-pris for skinne og multiplisert opp med 4 skinnestrenger på dobbeltspor for å få pris pr km dobbeltspor.

Svillene på Gardermobanen ligger med 600 mm avstand. Det betyr at det blir 1667 sviller på km spor og dobbelt så mange dvs 3334 sviller pr km for dobbeltspor. I boken *Historien om Gardermobanen*, s34 er det oppgitt at svilleprisen ved bygging i 1998 var 420 kr pr sville (Sekne, 1999). Det betyr at prisen på sviller har økt med nesten 50 % siden 1998, noe som kanskje er noe høyt, men ikke er helt urimelig basert på at konsumprisindeksen (KPI) steg med nesten 40 % i samme periode⁵³.

Befestigelsen Pandrol Fastclip sitter fastmontert på betongsvillene når de kommer fra fabrikken. Svillespisen inkluderer derfor befestigelsen. Det har vært noen stikkbytter av befestigelse på Gardermobanen så langt gjennom levetiden. Pris en for befestigelse er oppgitt til 18 kr pr stk (Kvernmo, 2016a).

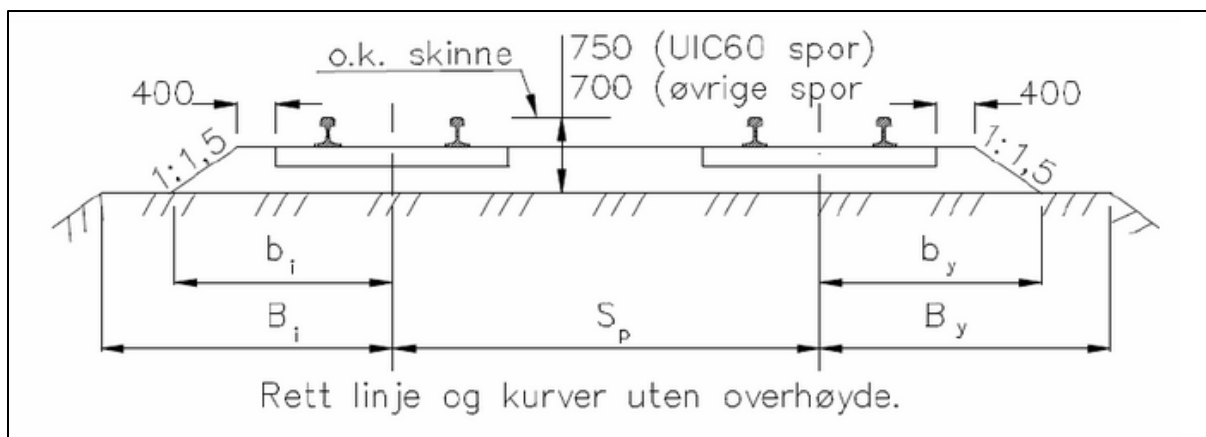
Ballasten på Gardermobanen forutsettes at er bygget i henhold til figuren nedenfor og med verdier angitt i Teknisk regelverk. Inkludert i dette er at det for spor med strekningshastighet over 200 km/t skal ha ballasthøyde 50 mm høyere enn angitt på figuren. Ballastmengden på dobbeltspor på Gardermobanen vil da være:

Bredde (rett strekning): $2575 + 4400 + 2575$ = 9550 mm (9,55 m)

Høyde: 750 (til o.k.) + $50 - 172$ (skinnehøyde) = 628 mm (0,63 m)

Volume ballast pr kilometer (dobbeltspor): $9,55\text{m} \times 0,63\text{m} \times 1000\text{m} = 6000 \text{ m}^3$

⁵³ Konsumprisindeks: 1000 kr i 1998 tilsvarte 1398,00 kr i 2015. Det tilsvarer 39,8 % prisstigning i perioden.
www.ssb.no/kpi?fokus=true (17.04.2016)



Figur 26 – Standard ballastprofil som skal anvendes for dobbeltspor⁵⁴

Pris for ballast varierer mellom forskjellige leverandører og er også avhengig av transportavstand og annet. Ifølge tall jeg har mottatt (Kvernmo, 2016a) koster et pukksett 100.000 kr ferdig utkjørt. Et pukksett tilsvarer 10 vogner med 40 m³ i hver vogn, totalt 400 m³. Jeg benytter dette som pris på ballast og får:

Pris på ballast: $100.000 \text{ kr} / 400 \text{ m}^3 = 250 \text{ kr} / \text{m}^3$.

4.4.3 Kostnader for vedlikehold

Rapporten *Gardermobanen – økonomiske analyser* (Heldal og Strøm, 1991) angir at de årlige vedlikeholdskostnadene for kjørevegen på Gardermobanen, basert på NSBs egne kostnadssatser, ble beregnet til 650.000 kr pr km dobbeltspor. Dette inkluderte det løpende driftsvedlikeholdet og reinvesteringer jevnt fordelt over levetiden for alle fagområder.

I dette delkapittelet har ikke jeg med samtlige drifts- og vedlikeholdskostnader, men redegjør jeg for de kostnadstallene (2015-tall) jeg har funnet knyttet til det utvalgte vedlikeholdet som jeg har inkludert gjennom mine avgrensninger.

⁵⁴ Teknisk regelverk:

https://trv.jbv.no/w/index.php?title=Fil:JD530_10_fig003.png&filetimestamp=20101122084924

Forebyggende vedlikehold

Med forebyggende vedlikehold menes her generiske rutiner og inspeksjoner av sporet. I disse oppgavene inngår det i liten grad deler og forbruksmateriell. Basert på oppgitt antall timer pr år og timekostnad for dette (Kvernmo, 2016b) blir kostnadene på Gardermobanen:

Forebyggende vedlikehold = 126.000 kr pr år pr kilometer dobbeltspor

Korrektivt vedlikehold

Korrektivt vedlikehold inneholder her arbeidet med feilsøking og reparaasjoner i sporet. Kostnadene for deler, f.eks. ved stikkbytte av skinne, er ikke inkludert. Basert på oppgitt antall timer pr år og timekostnad for dette (Kvernmo, 2016b) blir kostnadene på Gardermobanen:

Korrektive vedlikehold = 158.000 kr pr år pr kilometer dobbeltspor

Ballastrensing

Meterkostnaden for ballastrensing varierer en del på grunn av forhold som disponeringstid for personell og maskiner (hvor mye arbeidstid som kan gjennomføres pr skift), prisen på ny ballastpukk og på avhending av ballastavfall, samt mengden finstoffinnhold.

Komplett ballastrensing har foreløpig ikke blitt gjennomført på Gardermobanen, da det normalt gjennomføres hvert 20. år. Basert på informasjon om produksjonsvolum og tilhørende kostnader for Østfold-, Gjøvik- og Dovrebanen (Tanggaard, 2015), har jeg imidlertid beregnet en gjennomsnittlig kostnad for ballastrens på dobbeltspor.

Ballastrensing = 7.133.000 kr pr kilometer dobbeltspor

Skinnesliping

Skinnesliping gjennomføres på deler av Gardermobanen hvert år. Normalt slipes det 8 skift pr år og i løpet av 5 år så er hele strekningen dekket. Kostnad pr skift er oppgitt til å være 350.000 kr som da tilsvarer en årlig kostnad på 2,8 millioner kroner (Kvernmo, 2016a). Omregnet til årlig pr pr km dobbeltspor blir da:

Skinnesliping = 47.000 kr pr år pr kilometer dobbeltspor

Målevognskjøring

Målevognskjøring med ROGER1000 gjøres 6 ganger pr år på Gardermobanen. Kjøringen inkluderer mange målinger som ikke kan knyttes direkte til bare sporet. I totalbildet inkluderes det også bl.a. målinger med ultralyd og manuell etterkontroll for ultralyd, ekstra manuell ultralydkontroll i Romeriksporten og kontroll av fritt profil. Da det ikke er mulig å dele opp dette på forskjellige komponenter eller fag, er det her tatt med de totale kostnadene for målevognskjøringen på Gardermobanen. I 2015 ble Gardermobanen belastet med nesten 1,48 millioner kroner for alle typer målinger på hele banen (Ingvaldsen, 2016). Basert på antall kjørte kilometer med målevognen har jeg regnet ut en gjennomsnittlig pris pr km dobbeltspor på Gardermobanen:

Målevognskjøring = 5.600 kr pr år pr kilometer dobbeltspor

Skinnebytte

Skinnebytte gjennomføres ved behov dersom det oppstår skader på skinnen eller at slitasjen er så stor at bytte er påkrevet. Normal levetid på 60E1-skinne på Gardermobanen er 40-50 år (Teigen, 2016). Jeg forutsetter at disse skinnene vedlikeholdes godt, og at det derfor ikke er behov for komplett utskifting av skinnene på Gardermobanen før etter 50 år. Jeg har ikke fått informasjon om kostnader knyttet til skinnebytte fra Jernbaneverket, så jeg har beregnet en gjennomsnittlig pris for skinnebytte på dobbeltspor basert på innspill om kostnader ved skinnebytte på Sørlandsbanen⁵⁵.

Skinnebytte = 2.330.000 kr pr kilometer dobbeltspor

Svillebytte

Normalt byttes ikke sviller før ved utgått levetid, med mindre det oppstår behov på grunn av skader eller annet. Normal levetid på JBV60FE-svillen på Gardermobanen er 40-50 år (Teigen, 2016). Jeg forutsetter her også at det ikke er behov for komplett utskifting av svillene på Gardermobanen før etter 50 år. Basert på kostnad for enkeltbytte av sviller (1800 kr pr sville inklusiv befestigelse og arbeid (Toftaker, 2016)) har jeg beregnet en gjennomsnittlig pris for svillebytte på dobbeltspor:

Svillebytte = 6.000.000 kr pr kilometer dobbeltspor

⁵⁵ Norsk Jernbanedrift; skinnebytte på Sørlandsbanen
www.njd.no/referanseprosjekter/skinnebytte-paa-soerlandsbanen (20.04.2016)

Tabellen nedenfor gir en samlet oversikt over de respektive kostnadene for vedlikehold som er inkludert i beregningene.

Aktivitet	Kostnad	Enhet (kr)	Frekvens
Forebyggende vedlikehold	126.000	pr km dobbeltspor pr år	Årlig
Korrektivt vedlikehold	158.000	pr km dobbeltspor pr år	Årlig
Ballastrensing	7.133.000	pr km dobbeltspor	Hvert 20. år
Skinnesliping	47.000	pr km dobbeltspor pr år	Årlig
Målevognskjøring	5.600	pr km dobbeltspor pr år	Årlig
Skinnebytte	2.330.000	pr km dobbeltspor	Hvert 50. år
Svillebytte	6.000.000	pr km dobbeltspor	Hvert 50. år

Tabell 20 – Kostnader for vedlikehold (2015)

4.4.4 Kostnader ved forsinkelser

Forsinkelser i jernbanetrafikk defineres som avvik mellom planlagt og faktiske togtider (Olsson og Veiseth, 2011), og man kan ha både positive og negative forsinkelser (positiv: toget er "før tiden").

Kostnader for forsinkelser er knyttet til at banestrekningen ikke er tilgjengelig for planlagt bruk. Jeg har avgrenset dette til kostnader for passasjerer som blir forsinket, og ikke tatt med kostnadene som forsinkelsen medfører for Jernbaneverket, togselskapene eller andre.

Passasjerenes forsinkelseskostnader er bygget opp med parameterne

- Omfang av forsinkelser pr år
- Antall tog som blir forsinket
- Hvor lenge forsinkelsen varer
- Antall personer pr tog
- Antall personer som blir forsinket
- Kostnad pr time ved forsinkelse

Dette gir en estimert kostnad pr år for forsinkelseskostnader.

Omfang og varighet på forsinkelser

Jernbanens punktlighet er en indikator som angir andelen tog som ankommer endestasjonen i rute. Persontog regnes som i rute hvis det ankommer innenfor 3 minutter og 59 sekunder i forhold til rutetabellen. Det betyr ikke at det har vært i rute på alle stasjoner underveis.

Eventuelle forsinkelser underveis teller ikke med ved måling av punktlighet, kun ved endestasjonen.

Forsinkelsestimer er timer forsinkelse som er registrert på årsakskoder i TIOS. Hvis et tog passerer et målepunkt (ofte en stasjon) forsinket i forhold til ruteplan, så registreres denne forsinkelsen på toget og det aktuelle målepunktet. Hvis forsinkelsen har økt med mer enn 4 minutter fra forrige målepunkt skal det også angis en årsakskode på registreringen.

Oppetid er forholdet mellom planlagte togtimer og forsinkelsestimer registrert på kode 1-6 og 92 i TIOS (infrastruktur og ytre forhold).

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

Gardermobanen hadde i 2015 en oppetid på 99,4 % og det ble registrert 374 forsinkelsestimer på infrastrukturen og ytre forhold (Halkjær, 2016). Totalt antall forsinkelsestimer i 2015 på Gardermobanen var 697 men det var bare 19 timer som ble knyttet til sporet (Kode 1: Bane).

Berørte tog og personer

På Gardermobanen kjører det ca 350 tog hver dag, som angitt i kapittel 4. Basert på strekningens oppetid beregner jeg da at 0,006% av togene ble forsinket, det vil si drøyt 2 tog pr dag eller ca 760 tog pr år.

Hvert av de forsinkede togene ble da i gjennomsnitt ($19 / 760 =$) 0,025 timer forsinket.

Basert på antall reisende via Oslo Lufthavn som var ca 24 millioner personer i 2014 og at andelen som reiste med tog var ca 51% gir det ca 12,24 millioner togpassasjerer. For å forenkle videre beregninger forutsetter jeg at passasjerene fordeler seg likt over alle tog i året og i driftsdøgnet. Det medfører at det i gjennomsnitt reiser 96 personer med hvert tog.

Jeg forutsetter videre at antall forsinkelsestimer også fordeler seg likt på alle togene, og får da: 96 passasjerer pr tog, i totalt 760 tog pr år, blir forsinket 0,025timer.

Antall passasjertimer forsinkelse pr år: $96 \times 760 \times 0,025 =$ 1824 timer.

Personkostnader

Transportøkonomisk institutt (TØI) har i sin rapport *Verdsetting av tid, pålitelighet og komfort tilpasset NTM6* beregnet ombordtidsverdier for personer. I kategorien for korte reiser

under 70 km, med kollektivt transportmiddel og tjenestereise som reiseformål, er verdien satt til 380 kr pr time (Østli et al., 2015). Dette er oppgitt i 2009-kroner.

Ifølge Statistisk sentralbyrå (SSB) tabell 07219 *Lønnsindeks for gjennomsnittlig månedslønn, alle næringer*⁵⁶, har indeksen økt fra 121,3 i 2009 til 145,4 i 2015. Det tilsier at gjennomsnittslønn har økt med 20 % i den perioden, og jeg benytter samme faktor for å justere opp ombordtidsverdien:

$$\text{Ombordtidsverdi 2015} = \text{Ombordtidsverdi 2009} \times 1,2 = 380 \times 1,2 = \underline{456 \text{ kr/t}}$$

Urbanet Analyse notat 19/2009 *Hovedprosjekt: prognoser for by-toget* er vedlegg til innspill fra Flytoget til NTP 2014-2023 og KVVU for intercity-triangelet (27. juni 2012); *Mer effektiv og kunderettet jernbane i fremtiden* (Flytoget, 2012)⁵⁷. På side 44 i vedlegget står det: «Forsinkelser, når de oppstår, er vektlagt til nesten 10 kr per minutt.» Det vil tilsvare en timekostnad på ca 600 kr (2012-verdi) som er høyere enn ombordtidsverdien angitt over. Jeg velger imidlertid å benytte ombordverdi på 456 kr/t i beregningene av forsinkelseskostnader for passasjerer.

Totale kostnader for forsinkelser

Samlet kostnad for passasjerene på grunn av forsinkelser forårsaket av banen blir da:

$$\underline{\text{Forsinkelseskostnad} = 1824 \text{ timer} \times 456 \text{ kr/t} = \text{ca } 832.000 \text{ kr pr år.}}$$

Andre kostnader i denne oppgaven er oppgitt pr kilometer dobbeltspor. For å få sammenligningsgrunnlag med disse har jeg gjort tilsvarende for forsinkelseskostnaden:

$$\underline{\text{Forsinkelseskostnad} = 832.000 \text{ kr pr år} / 60 \text{ km ds} = 13.870 \text{ kr pr år pr km dobbeltspor}}$$

⁵⁶

www.ssb.no/statistikkbanken/selecttable/hovedtabellHjem.asp?KortNavnWeb=lonnkvar&CMSSubjectArea=arbeid-og-lonn&checked=true (16.04.2016)

⁵⁷ www.regjeringen.no/contentassets/271b1e4b50ac45c8ba9b68d5e1cbd901/flytoget.pdf (20.04.2016)

5 LCC analyse Gardermobanen

I dette kapitlet har jeg knyttet data for eksisterende løsning i valgt case-studie på Gardermobanen til den valgte LCC-modellen og gjort beregninger innenfor avgrensningene. Jeg har også gjort vurderinger av resultatene og pekt på hvilke LCC-elementer som er kostnadsdrivere i levetiden.

5.1 Benyttede data for strekningen

Dataene om kostnader som jeg har fremskaffet i arbeidet, er omregnet til kostnader pr kilometer dobbeltspor på Gardermobanen. Videre er det bare tatt med kostnader innenfor de avgrensningene jeg har gjort i kapittel 4, knyttet til strekningen, inngående komponenter, levetidsfaser.

Kalkulasjonsrente

I *Jernbaneverkets Metodehåndbok i samfunnsøkonomiske analyser* (Siedler og Voss, 2015) angis det at kalkulasjonsrenten normalt settes til 4 % de første 40 år av analyseperioden. Deretter justeres den ned til 3 %, for perioden fra 40 – 75 år. Jeg har valgt å forenkle dette ved å benytte en konstant kalkulasjonsrente på 4 % i hele analyseperioden. Tallene er derfor omregnet til 2015-verdi ved hjelp av nåverdiberegning som omtalt i kapittel 2, basert på årstallet som kostnaden er oppgitt for og en fast kalkulasjonsrente på 4 %.

Levetider og analyseperiode

En tunnel kan ha levetid på 100 år eller mer, forutsatt at nødvendig vedlikehold gjennomføres, mens en bro har levetid på 60 år eller mer. For å fastsette levetid på komponenter i overbygningen benyttes informasjon om skinner, sviller, ballast, horisontalgeometri, trafikkmengde, feil og komforttall. I *Jernbanekompetanse* (Jernbaneverket, 2016a) angis det at Jernbaneverket har utarbeidet beslutningsstøtte-verktøy for å estimere dette. Levetid estimeres da basert på hvilket år komponenten er lagt ut i sporet, og sammensetningen av komponenter. Avhengig av sporets horisontalkuravatur, trafikkmengde og trafikk sammensetning, justeres levetiden. I tillegg er et innført maksimalgrenser for feilintensitet og minimumsgrenser for komforttall for de forskjellige baneprioritetene.

Levetidene forutsetter rettlinje, trafikkmengde lik 10 mill. bruttotonnkm pr. år og km, 100 % tunge aksler, svilleavstand = 60 cm og fjærende befestigelse. Levetidene er framkommet ved bruk av erfaringstall fra noen få baner og må betraktes som estimater

Levetider for overbygning er beskrevet i Jernbanekompetanse er oppgitt til:

(Jernbaneverket, 2016a)

Komponent	Type, betegnelse	Levetid (år)	Merknad
Skinne	60E1, iht. EN 13674-1	45 ⁵⁸	Stålkvalitet 90
Sville	JBV60FE	50	Spenncon, Betong Svilleavstand 600 mm
Befestigelse	Pandrol Fastclip FE	50	Fastmontert på sville
Ballast	Pukk 31,5-63 mm	20	Ballasttykkelse ca 63 cm

Tabell 21 – Levetider overbygningsskomponenter

For skinner (se fotnote) og sviller benyttes levetid på 50 år. I LCC-beregningen tar jeg da med kostnader for komplett bytte av dette ved endt levetid. For ballastrensing forutsettes at det gjennomføres på hele strekningen med 20 år intervall. Med forutsatt analyseperiode på 60 år som angitt i kapittel 2.3.3, vil det si 3 ganger i løpet av analyseperioden.

Noen komponentbytter skjer før 60 år og disse vil da fortsatt ha levetid igjen ved 60 år. For eksempel vil de nye skinnene som ble lagt inn etter 50 år, fortsatt ha 40 år igjen av sin levetid når banen når 60 år. Denne restverdien kan beregnes som angitt i kapittel 2.3, men jeg har i mine beregninger nedenfor valgt å ikke inkludere Restverdi.

Utbyggingskostnader

Som basis for utbyggingskostnadene velger jeg å ta utgangspunkt i byggeklossene fra KVVU IC som beskrevet i kapittel 0 ovenfor. Forutsetter at overbygningen utgjør halvparten av kostnaden for Jernbaneteknikk (inkl signal) på 35 mill kr pr km. Utbyggingskostnad for Overbygning blir da 17,5 mill kr pr km (2012-verdi). Omregnet til 2015-verdi blir dette 15,56 mill kr pr km med dobbeltspor.

⁵⁸ Jeg har fått oppgitt at levetid for skinner på Gardermobanen er 40-50 år (Teigen, 2016). Jeg har valgt å benytte 50 år som levetid på skinner, slik at de har samme levetid som sviller.

Vedlikeholdskostnader

Tabell 20 i kapittel 4.4.3 gir en samlet oversikt over de respektive kostnadene for de forskjellige vedlikeholdstypene som er inkludert i beregningene.

Forsinkelseskostnader

Forsinkelseskostnader som er tatt med i beregningene er knyttet til personkostnader for passasjerer som berøres av forsinkelse. Dette er omregnet til en kostnad på 13.870 kr pr år pr km dobbeltspor på Gardermobanen, som beskrevet i kapittel 4.4.4.

5.2 Beregning av LCC

I dette avsnittet viser jeg gjennomføringen av en samlet LCC-beregning for de inngående elementene. Beregningene er basert på følgende forutsetninger:

- Alle kostnadene er basert på oppgitte eller estimerte kostnader slik de er oppgitt i denne oppgaven, og omregnet til 2015-verdi.
- Kostnader er oppgitt i millioner kroner pr år og pr kilometer dobbeltspor på Gardermobanen dersom ikke annet er oppgitt.
- Vedlikeholdskostnader er brutt ned som angitt i kapittel 4.4. Kostnadene er angitt for hver type aktivitet, nåverdijustert til 2015 og gjentatt med angitte intervaller.
- Vedlikehold på banen medfører ikke forsinkelser. Kostnader forbundet med forsinkelser pga vedlikehold er ikke inkludert.
- Kostnader for øvrige investeringer, reinvesteringer eller fjerning av anlegget er ikke inkludert.
- Forsinkelseskostnader er beregnet for passasjerer pr år og pr kilometer dobbeltspor.
- Antar ingen restkostnad etter 60 år
- Farekostnader og miljøkostnader er ikke inkludert.
- Beregningsperiode 60 år.
- Kalkulasjonsrente 4 % for hele beregningsperioden.

Tabellen nedenfor tar for seg de forskjellige elementene som jeg har inkludert i LCC-beregningene. Grunnlagstallene for hvert element er angitt i forrige delkapittel. Formler og utregning er vist for relevante elementer. Alle verdier er omregnet til nåverdi i 2015.

Kostnadsart	Beregning (millioner kr pr km dobbeltspor)
Bygging	Kostnad for overbygning basert på KVU IC 2012-verdier: Bygging = <u>15,56</u>
Årlig vedlikehold	Nåverdi av utført og fremtidig årlig vedlikehold: $\sum_{i=1}^{60} (\text{ÅV} \cdot (1+r)^{-i})$ FV $= \sum_{i=1}^{60} (0,126 \cdot (1,04)^{-i}) = \underline{5,77}$ KV $= \sum_{i=1}^{60} (0,158 \cdot (1,04)^{-i}) = \underline{7,24}$ Skinnesliping $= \sum_{i=1}^{60} (0,0467 \cdot (1,04)^{-i}) = \underline{2,14}$ Målevognskjøring $= \sum_{i=1}^{60} (0,0056 \cdot (1,04)^{-i}) = \underline{0,26}$ Årlig vedlikehold i hele perioden: $\text{ÅV} = 5,77 + 7,24 + 2,14 + 0,26 = \underline{15,41}$
Vedlikehold ved andre intervaller enn årlig. (Utskiftnings-kostnad)	Nåverdi av fremtidig vedlikehold. Ballastrens Hvert 20. år fra oppstart, dvs i år 2, 22 og 42 etter angitt pris-år (2015) Ballastrens $= 7,133 \cdot ((1,04)^{-2} + (1,04)^{-22} + (1,04)^{-42}) = \underline{10,98}$ Skinnebytte Hvert 50. år fra oppstart, dvs i år 32 etter angitt pris-år (2015) Skinnebytte $= 2,33 \cdot (1,04)^{-32} = \underline{0,66}$ Svillebytte Hvert 50. år fra oppstart, dvs i år 32 etter angitt pris-år (2015) Svillebytte $= 6,00 \cdot (1,04)^{-32} = \underline{1,71}$ Periodisk vedlikehold i hele perioden: $\text{PV} = 10,98 + 0,66 + 1,71 = \underline{13,35}$
Vedlikehold	Vedlikehold $= \text{ÅV} + \text{PV} = 15,41 + 13,35 = \underline{28,76}$
Forsinkelse	Årlig forsinkelseskostnad for passasjerer (forutsatt konstant) Forsinkelse $= \sum_{i=1}^{60} (0,01387 \cdot (1,04)^{-i}) = \underline{0,64}$
Levetids-kostnad	Sum av postene over: LCC $= \text{Bygging} + \text{Vedlikehold} + \text{Forsinkelse} = 15,56 + 28,76 + 0,64 = \underline{44,96}$
Årskostnad	Annuitetsberegnet med 4 % kalkulasjonsrente for hele perioden på 60 år: Årskostnad $= \text{ÅK} = \frac{0,04}{1-1,04^{-60}} \cdot 44,96 = \underline{1,99}$

Tabell 22 – Gardermobanen levetidskostnader overbygning

Ballastrensing utføres etter 20 år, og har da nettopp blitt gjort ved beregningsperiodens slutt (60 år). Skinnebytte og svillebytte utføres etter 50 år, og har da fortsatt 40 år igjen av sin levetid ved beregningsperiodens slutt. Alle disse tre elementene vil da ha en restverdi etter 60 år. Beregning av restverdien for de respektive aktivitetene kan utføres som beskrevet i kapittel 2.3, men jeg har i denne oppgaven ikke inkludert dette.

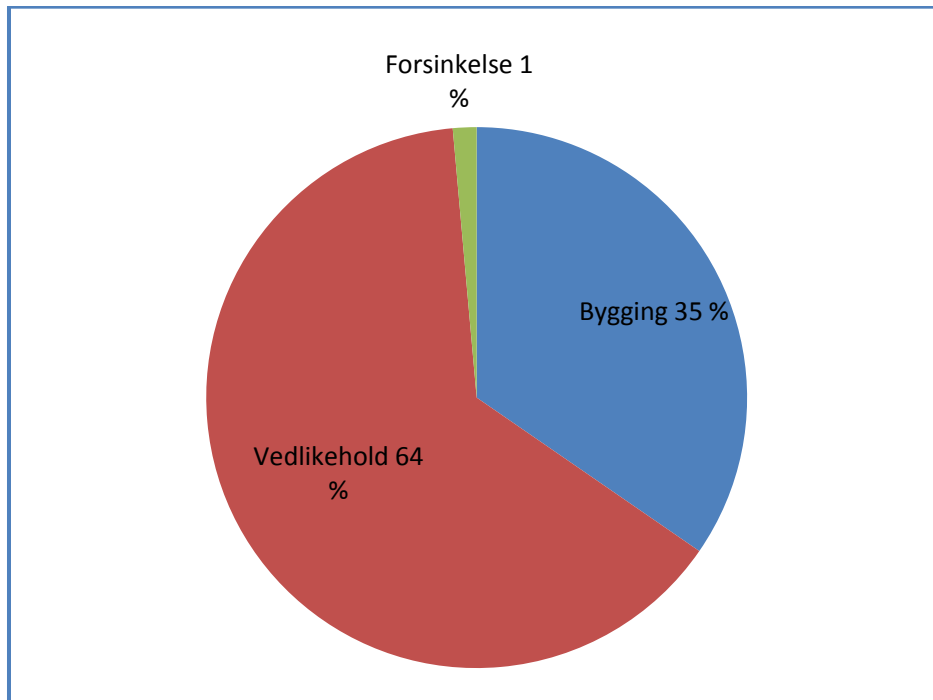
LCC-element	Verdi (millioner kr pr km dobbeltspor)	Andel (%)
Bygging	15,56	34,6 %
Vedlikehold	28,76	64,0 %
Forsinkelse	0,64	1,4 %
Sum Levetidskostnad	44,96	100,0 %
Årskostnad	1,99	

Tabell 23 – LCC Gardermobanen oppsummert

Totale levetidskostnader i analyseperioden på 60 år, for overbygningen på Gardermobanen slik som jeg har avgrenset dette i denne oppgaven, utgjør nesten 45 millioner kroner pr km dobbeltspor.

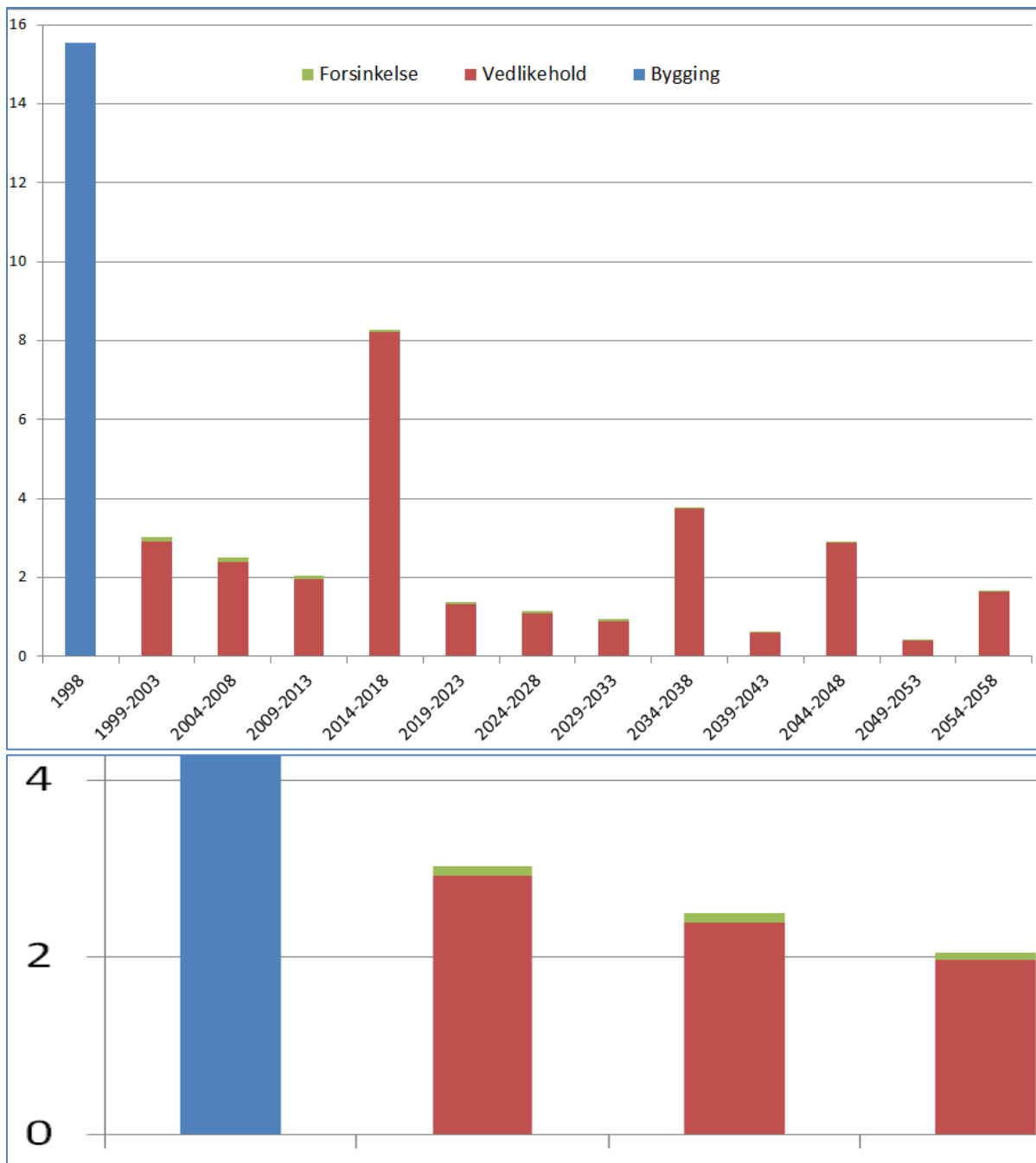
5.3 Resultater og kostnadsdrivere

Av de totale levetidskostnadene på nesten 45 millioner kroner pr km dobbeltspor som angitt i Tabell 23 ovenfor, utgjør kostnadene til vedlikehold 28,76 mill kr pr km dobbeltspor i beregningsperioden, dvs 64 % av de totale LCC-kostnadene. Byggekostnadene utgjør 15,56 mill kr pr km dobbeltspor (34,6 %), mens forsinkelseskostnadene bare utgjør 0,64 mill kr pr km dobbeltspor (1,4%).



Figur 27 – Fordeling av LCC-elementer Gardermobanen

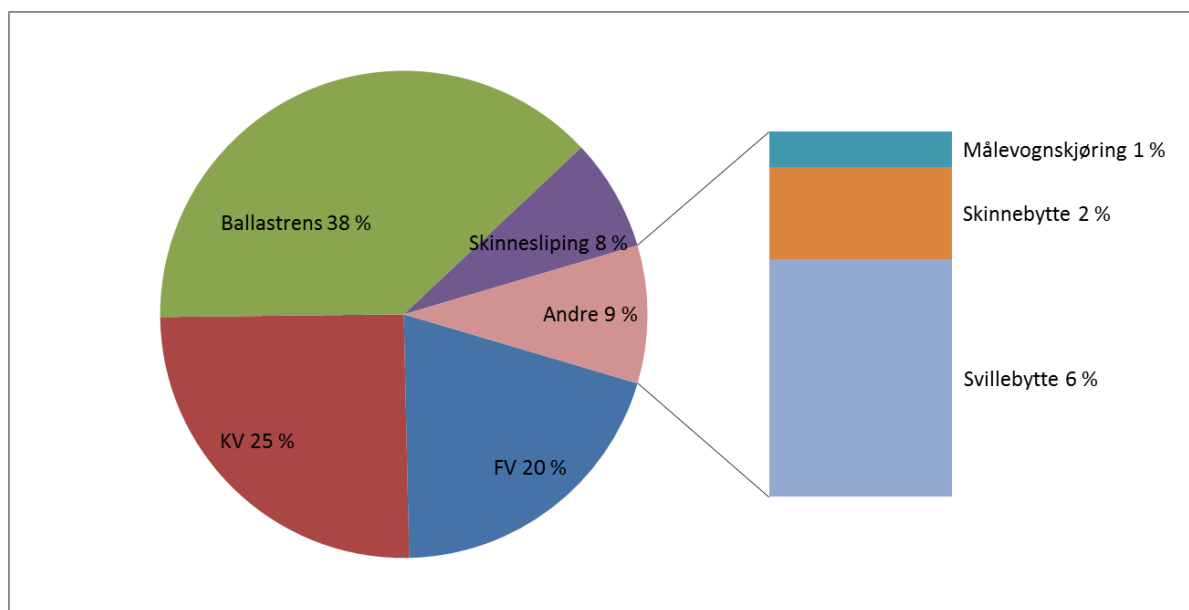
I figuren nedenfor er kostnadene fordelt utover beregningsperioden, oppdelt i perioder på 5år. Her fremkommer det at store vedlikeholdskostnader kommer ved de angitte intervallene for disse, hvert 20. år og etter 50 år. De løpende vedlikeholdskostnadene får redusert nåverdi jo lenger frem i tid disse kommer. Forsinkelseskostnadene er angitt med grønt og ligger som et lite element øverst på søylene som angir vedlikeholdskostnad, se forstørret utsnitt nedenfor.



Figur 28 – Livssyklus kostnader over 60 år på Gardermobanen, med utsnitt

Kostnadsdrivere vedlikehold

I et 60-års perspektiv er det Vedlikehold som utgjør den største delen (64 %) av de totale livssyklus kostnadene med 28,76 mill kr pr km dobbeltspor. Videre oppdeling av dette viser at kostnader for Ballastrensing er den største vedlikeholdskostnaden, mens kostnader for korrektivt vedlikehold (KV) og forebyggende vedlikehold (FV) følger som nest største og tredje største vedlikeholdskostnad.



Figur 29 – Fordeling av vedlikeholdselementene i LCC for Gardermobanen

Ballastrensing utgjør nesten 11 millioner kr pr km dobbeltspor, som tilsvarer 38 % av vedlikeholdskostnadene. Det er rimelig at ballastrensing medfører en stor kostnad, da enhetsprisen i 2015 for denne aktiviteten er hele 7,1 mill kr pr km dobbeltspor. Denne aktiviteten skal gjennomføres hvert 20. år og kostnaden er derfor tatt med 3 ganger i beregningen. Det kan selvfølgelig diskuteres om den tredje gangen skal gjennomføres i det hele tatt siden det er det siste året i analyseperioden, eller om det trekkes ifra restverdien av den siste gjennomføringen. Dette er omtalt videre i kapittel 6.5.

Korrektivt vedlikehold har totale kostnader på 7,24 mill kr pr km dobbeltspor i analyseperioden. Det tilsvarer 25 % av kostnadene for vedlikehold. Dette er basert på løpende årlige kostnader for feilsøking og reparasjoner.

Forebyggende vedlikehold har totale kostnader på 5,77 mill kr pr km dobbeltspor i analyseperioden. Det tilsvarer 20 % av kostnadene for vedlikehold. Dette er basert på løpende årlige kostnader for inspeksjoner og generiske rutiner.

Kostnadsdrivere byggekostnader

Kostnader for bygging av overbygningen er den nest største delen (35 %) av de totale livssyklus kostnadene med 15,56 mill kr pr km dobbeltspor i et 60-års perspektiv (ref 0).

Kostnader for komponentene som inngår ved bygging av overbygningen utgjør ca 5,4 mill kr pr km dobbeltspor (4.4.2), som utgjør 35 % av de totale byggekostnadene. Disse fordeler seg med ca 1,8 mill kr for skinner (34 % av komponentkostnadene), 2,1 mill kr for sviller (38 %), og 1,5 mill kr for ballast (28 %). Alle verdier er oppgitt i mill kr pr km dobbeltspor. Det er altså en ganske lik fordeling av komponentkostnadene.

Det betyr at **anleggskostnadene** (alt arbeid med å bygge overbygningen, eksklusiv komponentene) utgjør mer enn 10 mill kr pr km dobbeltspor, og blir derfor den største kostnadsdriveren (65 %) innenfor byggingen.

6 Vurdering og sammenligning av alternativer

I dette kapittelet har jeg tatt for meg resultatene fra kapittel 5 og sett på hvilke elementer som har størst påvirkning på LCC i min analyse. Jeg har videre gått gjennom de utvalgte komponentene skinne, sville, befestigelse og ballast, og vurdert alternativer i forhold til komponenter, byggemåte og vedlikehold, og kommentert noen alternative LCC-forhold. Har også sett på forholdet mellom forebyggende og korrektivt vedlikehold på Gardermobanen og sammenlignet dette med data fra Østfoldbanen. Tilslutt har jeg gjort vurderinger rundt forsinkelseskostnadene.

6.1 Elementer med størst påvirkning på LCC

Resultatene i kapittel 5 viser at de 5 største kostnadsdriverne, som i min analyse til sammen utgjør 88 % av total LCC, er:

	Fase	Element	LCC-verdi	Andel av total LCC
1	Vedlikehold	Ballastrensing	10,98	24 %
2	Bygging	Anleggskostnader	10,15	23 %
3	Vedlikehold	Korrektivt vedlikehold	7,24	16 %
4	Vedlikehold	Forebyggende vedlikehold	5,77	13 %
5	Bygging	Komponenter i sporet	5,41	12 %

Tabell 24 – De 5 største kostnadsdriverne i LCC

Det er da disse elementene som har størst påvirkning på total LCC for overbygningen. Som det fremgår av tabellen utgjør de 3 angitte elementene knyttet til vedlikehold tilsammen 53 % av totalt LCC, mens de 2 angitte elementene knyttet til bygging utgjør til sammen 35 %.

6.2 Jernbaneteknikk

Da Gardermobanen ble planlagt og bygget var dette den første høyhastighetsbanen av sitt slag i Norge. Det var strengere krav til bygging av denne type bane, noe som medførte at Gardermobanen ble bygget med høy kvalitet og dertil høyere kostnader enn ved tidligere utbygginger. Det kan finnes andre komponenter, løsninger eller kombinasjoner som kan benyttes ved bygging av jernbane, men komponentene i overbygningen på Gardermobanen er i henhold til kravene i teknisk regelverk. De fire komponenttypene som jeg har studert i denne

oppgaven (skinne, sville, befestigelse og ballast) har alle godt utprøvde tekniske kvaliteter og er egnet for bruk sammen på høyhastighetsjernbane i norske klimatiske forhold.

Kostnadsdata jeg har omtalt for jernbaneteknikk i denne oppgaven angir både lavere og høyere verdier enn verdiene jeg har benyttet, som er basert på byggeklossene fra KVU IC (Jernbaneverket, 2012b). For strekningen Barkåker – Tønsberg ble det oppgitt 5,4 mill kr pr km dobbeltspor for overbygningskomponentene (Jernbaneverket, 2013a). Dette stemmer bra med kostnadene jeg har fått oppgitt for komponentene i overbygningen på Gardermobanen, ref kapittel 4.4.2.

6.3 Skinner

Standard kvalitet på skinnene på jernbanen i Norge er R260Mn⁵⁹. I Jernbanens tekniske regelverk beskrives også skinner med høyere stålqualität, R350HT (HT står for heat treated): «Bruk av R350HT gir økt levetid på steder hvor skinnene er utsatt for sideslitasje. På rettlinje og i kurver med store radier gir ikke bruk av R350HT skinner noen fordeler fremfor R260Mn, men kan derimot medføre kontaktutmattingsskader dersom slitasjeraten blir svært lav.» (Jernbaneverket, 2016b)

Høyere standard på skinnene er også omtalt i artikkelen *Comparing the life-cycle costs of standard and head-hardened rail* (Girsch et al., 2005) som nevnt i kapittel 2.2.3. Her beskrives det at skinner med høy hardhet, R350HT, både har redusert slitasje som medfører mindre vedlikehold og lengre vedlikeholdsintervaller, og redusert behov for å fjerne metall ved skinnerliping. Dette gjør at skinnerlevetiden er opptil 3 ganger så lang som andre skinner typer.

Til tross for at disse skinnene har høyere anskaffelseskostnader, så ble LCC for R350HT-skinne redusert med omtrent 35 % i tester utført av den tyske jernbanen (Deutsche Bahn – DB) og skinnerleverandøren voestalpine Schienen GmbH (Girsch et al., 2005). Dette kan altså være et potensielt besparingspotensiale. Men med bemerkningen i teknisk regelverk som er sitert ovenfor, så det er lite sannsynlig at dette vil bli valgt på Gardermobanen eller andre høyhastighetsstrekninger med få kurver.

⁵⁹ Stålqualität angitt i teknisk regelverk

<https://trv.jbv.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Sporkonstruksjoner#Skinner> (06.05.2016)

6.4 Sviller og befestigelse

Det finnes en rekke forskjellige alternativer når det gjelder sviller. Formålet er å overføre horisontale og vertikale krefter fra skinnene til ballasten. Svillens areal mot ballasten, under og på siden, samt utforming og vekt er da viktig. JBV60-sviller er benyttet på Gardermobanen. Disse er komplette med Pandrol Fastclip FE befestigelse påmontert. Det benyttes mange andre forskjellige sviller i Norge enn JBV60-typen. Dette er både andre betongsviller og tresviller, samt spesielle sviller for sporveksler og bruer. I Norge skal det benyttes betongsviller ved nyanlegg, sporombygginger og ved gjennomgående utskifting av sviller (Jernbaneverket, 2016b).

Bruk av svillematter (under sleeper pads – USP) som plasseres mellom svillene og ballasten, er omtalt i artikkelen *Lowering track life cycle costs with sleeper pads* (Marschnig et al., 2011). Dette er et elastisk belegg som limes på undersiden av svillen og som øker kontaktflaten mellom svillen og ballasten med opp mot 30 %. Fordelen med svillemattene er forlenget levetid, redusert vedlikeholdsbehov og høyere tilgjengelighet for trafikk på sporet. Artikkelen angir gjennomsnittlig årlig besparelse på 10 % ved transportmengde på 15 mill bruttotonn pr år og spor.

For sviller, befestigelser og ballast er det få andre reelle kombinasjoner av komponenter som er tillatt for høyhastighetsbaner i Norge enn de som er benyttet på Gardermobanen. Fastspor er imidlertid et mulig alternativ. Fastspor er mer kostbart å bygge enn spor med ballast. Vedlikeholdskostnadene er imidlertid lavere. Konsekvenser for LCC med fastspor er beskrevet mer i delkapittel 6.6.

6.5 Ballast og ballastrensing

Ballasten som er lagt i sporet på Gardermobanen har ballastprofil i henhold til kravene i teknisk regelverk (Jernbaneverket, 2016b). Dette innebærer noe økte verdier på ballasthøyden som følge av at tillatt strekningshastighet er over 200 km/t. Kravene til ballastpukk og til nominell fraksjon på 31,5 – 63 mm er også oppfylt.

Ballastmengden er tilpasset sporet, svillene og trafikken på Gardermobanen. Økt ballastmengde vil øke kostnadene ved bygging, men ikke gi redusert vedlikeholdsbehov. Jeg ser derfor ikke at det kan være et alternativ for å redusere LCC.

Av de store vedlikeholdsoppgavene i sporet er det ballastrensing som utgjør den største kostnadsdriveren. Ballastrensing som skal gjennomføres hvert 20. år, er lagt inn 3 ganger i

LCC-beregningen. Den tredje gjennomføringen blir i det siste året i analyseperioden og restverdien kunne derfor vært trukket ifra. Alternativt kan den siste gjennomføringen utelates fra beregningene. Nåverdien av kostnaden for ballastrensing i år nummer 60 utgjør imidlertid bare 1,37 mill kr pr km dobbeltspor⁶⁰, så det vil ikke gjøre stort utslag på total LCC.

Ballastrensing vil fortsatt utgjøre den største kostnaden.

6.6 Fastspor

Fastspor (slab track), også kalt ballastfritt spor, finnes som et alternativ til bruk av ballast og sviller. Da støpes det en såle for sporet og skinnene festes direkte i denne med befestigelser. Metoden er mer kostbar å bygge enn normalt ballast spor, men gir mye lenger levetid på sporet og har et mindre vedlikeholdsbehov.

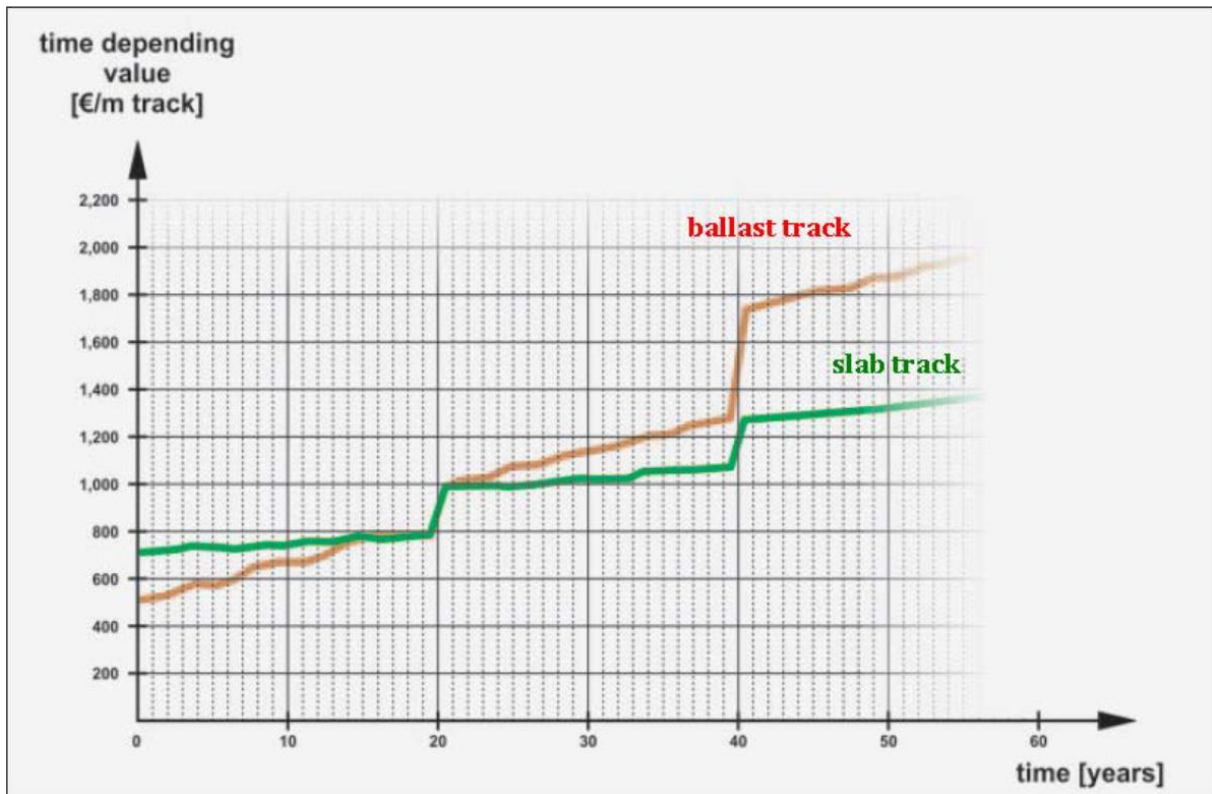
I rapporten *Slab Track Systems for High-Speed Railways* (Michas, 2012) angis det at byggekostnadene for fastspor er 1,5 – 2 ganger så høyt som for normalt ballastspor. Kostnadene pr løpemeter vil imidlertid avta noe dersom det er en lengre strekning med fastspor som skal bygges. Selv om det er mindre vedlikehold forbundet med fastspor, er det ikke helt vedlikeholdsfritt. Rapporten (Michas, 2012) omtaler erfaringer fra fastspor-systemer i Tyskland og Japan, som viser at vedlikeholdskostnadene er mellom 10 og 30 % av det de er for ballastspor. I tillegg oppgis at aktiviteter som komplette bytter ved slutten av levetiden og reparasjoner fra skader vil være mer kostbare enn for ballastspor. På grunn av dette er det i tunneler det er mest kostnadseffektivt å velge fastspor. Det er ifølge rapporten gjort flere LCC-studier som viser at samlet livssyklus kostnad for fastspor er 7-11 % lavere enn for ballastspor. Andre kilder angir at fordelene er større, opp mot 30 % lavere LCC etter 60 år⁶¹. Fastspor har blitt benyttet i mange år i andre land⁶², og det er positive erfaringer med dette. For Follobane-tunnelen har Jernbaneverket imidlertid valgt at det skal legges fastspor istedenfor tradisjonelt spor med sviller og ballast. Tunnelen bygges som to enkeltspors-tunneler med tverrslag mellom. Jeg har ikke studert bakgrunnen for valget som er gjort, men antar at det reduserte vedlikeholdsbehovet for fastspor er en viktig årsak. I tillegg kreves det

⁶⁰ Nåverdi av kostnad for ballastrensing i år 60 (42 år fra 2015) = $7,133 * (1,04^{-42}) = 1,37$

⁶¹ Slab Track Austria www.slabtrackaustria.com/index.php?id=5106&L=1 (05.05.2016)

⁶² I Norge er fastspor til nå kun brukt noen få steder, som på tunnelbanen i Oslo, noen steder i tunnelen mellom stasjonene Jernbanetorget og Nationaltheatret. En type fastspor benyttes også på noen strekninger for trikken i Oslo og bybanen i Bergen.

mindre byggehøyde for fastspor enn for spor med ballast. Dermed kan tunnelprofilet reduseres noe som vil påvirke byggekostnadene.



Figur 30 – Akkumulert LCC for ballastspor og fastspor (Michas, 2012)

Jeg har i det følgende avsnittet beskrevet konsekvensene på LCC dersom det hadde blitt valgt å legge fastspor på strekningen- Da ville både aktiviteten med ballastrensing hvert 20. år og aktiviteten med svillebytte hvert 50. år utgått fra LCC-beregningen. Til sammen har disse en LCC-verdi på $(10,98 + 1,71 =) 12,69$ mill kr pr km dobbeltspor. Totale vedlikeholdskostnader for overbygningen uten disse elementene ville da vært $(28,76 - 12,69 =) 16,07$ mill kr pr km dobbeltspor. Dersom byggekostnadene for overbygningen er dobbelt så høye for fastspor som for ballastert spor, som angitt ovenfor (Michas, 2012), vil det si en byggekostnad på $(2 \times 15,56 =) 31,12$ for fastspor. Total LCC ville da ha blitt $(31,12 + 16,07 + 0,64 =) 47,83$ mill kr pr km dobbeltspor, forutsatt at alle andre parametere og verdier er de samme. Dette er ca 2,9 mill kr høyere enn LCC-verdien jeg beregnet i kapittel 5.2, og betyr at det ikke vil være lønnsomt å bygge fastspor på strekningen, gitt forutsetningene jeg har benyttet.

Det er imidlertid ikke så mye som skal til før dette blir lønnsomt. Dersom byggekostnadene for fastspor ikke er dobbelt så høye, men bare 1,8 ganger så høye som for ballastspor, så vil

LCC være lavere for fastspor. I *Jernbanekompetanse*⁶³ omtales byggekostnader for fastspor som 20 – 50 % dyrere enn ballastspor, og fastspor ville da vært lønnsomt i mine beregninger.

6.7 Forebyggende og korrektivt vedlikehold

Jeg har vurdert om fordelingen mellom forebyggende vedlikehold (FV) og korrektivt vedlikehold (KV) på Gardermobanen er optimal. På generelt grunnlag mener jeg at det burde være en større andel forebyggende planlagt vedlikehold og en mindre andel korrektiv feilsøking og reparasjoner. Dette fordi FV kan planlegges til perioder der ikke trafikken på banen forstyrres, mens det for KV kan være risiko at noe arbeid må utføres akutt og som dermed kan forstyrre trafikken.

Når det gjelder Gardermobanen så viser imidlertid tallene i kapittel 4.4.4 at det er svært lite forsinkelser av trafikken på banen; 374 forsinkelsestimer pr år på grunn av infrastrukturen. Og av disse er overbygningsandelen (Kode 1 Bane) årsak til bare 19 timer (5 %). Det tyder på at de korrektive oppgavene som utføres ikke forstyrrer trafikken, og det kan da med andre ord se ut til at det er en god blanding av korrektivt og forebyggende vedlikehold på overbygningen på Gardermobanen.

Sammenligning av FV og KV-data fra Gardermobanen og Østfoldbanen

Jeg har gjennomgått dataene jeg har fått fra Banedata, og studert forskjellene mellom forebyggende vedlikehold (FV-kontroller) og korrektivt vedlikehold (KV-rapporter) på utvalgte delstrekninger på Gardermobanen og Østfoldbanen. Strekningene er bygget med dobbeltspor med få års mellomrom, og er tilnærmet like lange:

Bane	Strekning	Type	Lengde	Byggeår
Gardermobanen	Lillestrøm - Gardermoen	Dagsone	ca 31 km	1998
Østfoldbanen	Ski – Sandbukta (Moss)	Dagsone, noe tunnel	ca 36 km	1996

Tabell 25 – Baner for sammenligning av FV og KV fra Banedata

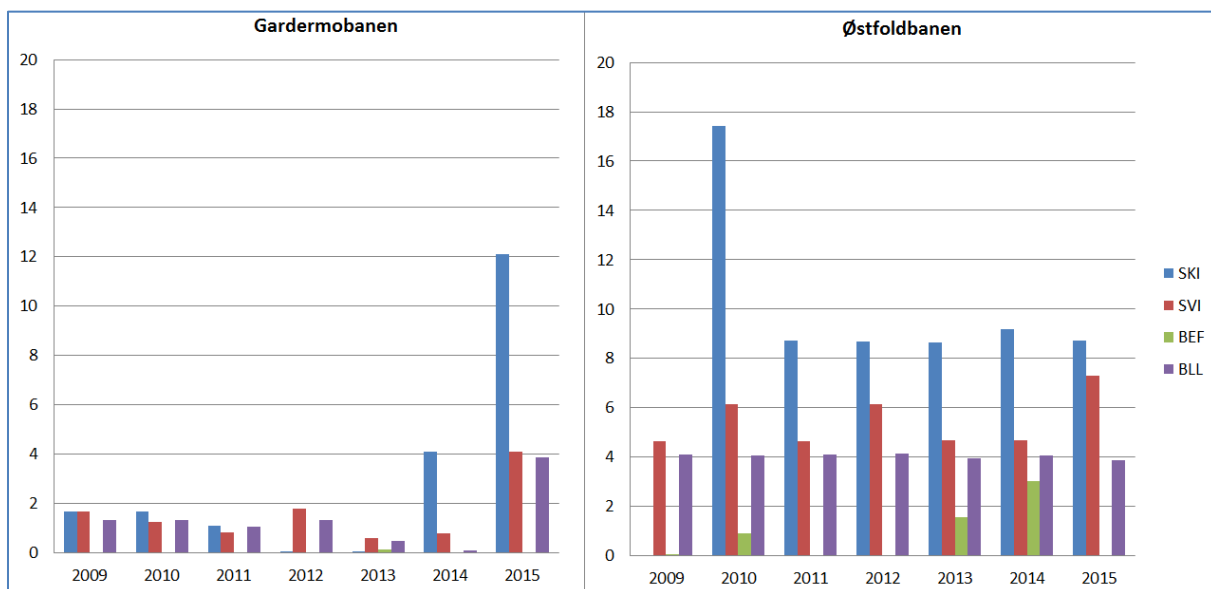
Jeg har fått ut rapporter fra Banedata på alle registrerte FV-aktiviteter for komponentene skinne (SKI), sville (SVI), befestigelse (BEF) og ballast (BLL), for årene i perioden 2009 – 2015, på de to strekningene:

⁶³ www.jernbanekompetanse.no/wiki/Fast_spor (08.05.2016)

	Bane	SKI	SVI	BEF	BAL	Sum
Gjennomsnitt antall akt pr km pr år	GMB	3	2	0	1	6
Andel av totalsum for banen	GMB	50 %	27 %	0 %	23 %	100 %
Gjennomsnitt antall akt pr km pr år	ØB	9	5	1	4	19
Andel av totalsum for banen	ØB	46 %	29 %	4 %	21 %	100 %

Tabell 26 – FV-kontroller pr komponent og bane

Prosentfordelingen av FV-kontroller for de forskjellige komponentene er ganske lik for de to strekningene. Men Østfoldbanen har et mye høyere gjennomsnittlig antall FV-kontroller pr km pr år på alle komponentene, omtrent 3 ganger så høyt på alle komponentene i forhold til Gardermobanen. Dette fremkommer også av figuren nedenfor. Her fremkommer også en økning i antall aktiviteter på Gardermobanen de siste årene, spesielt for skinne.



Figur 31 – Antall FV-kontroller pr år og komponenttype på Gardermobanen og Østfoldbanen

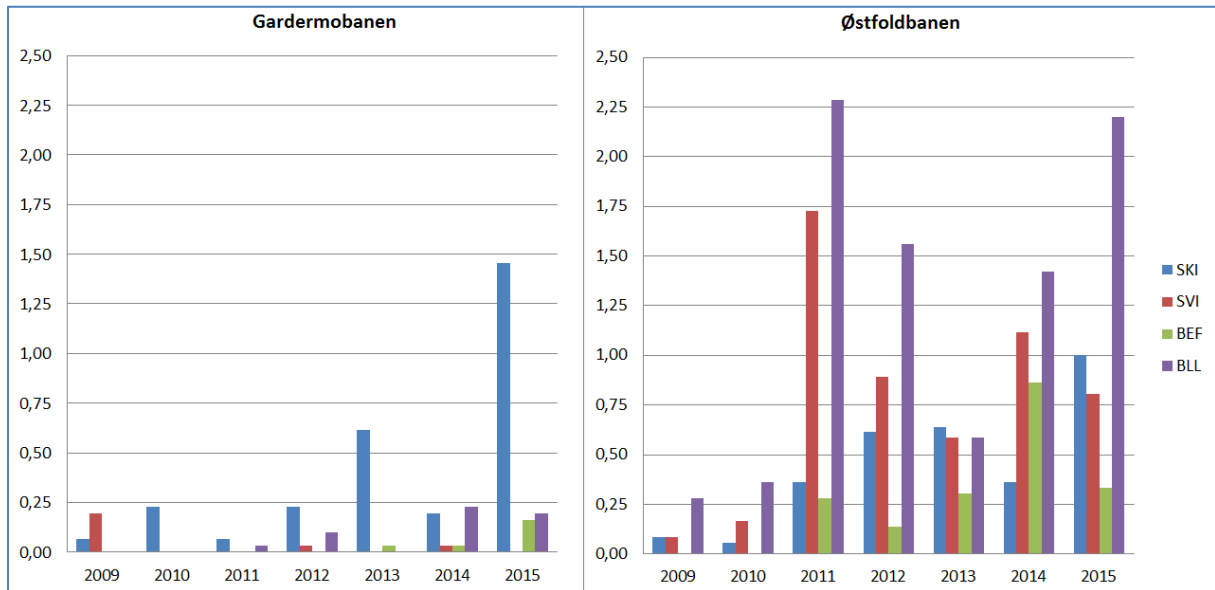
Tilsvarende utdrag av alle registrerte KV-rapporter fra Banedata for de samme komponentene og samme periode på de to strekningene:

	Bane	SKI	SVI	BEF	BAL	Sum
Gjennomsnitt antall akt pr km pr år	GMB	0,41	0,04	0,03	0,08	0,55
Andel av totalsum for banen	GMB	73 %	7 %	6 %	14 %	100 %
Gjennomsnitt antall akt pr km pr år	ØB	0,45	0,77	0,27	1,24	2,73
Andel av totalsum for banen	ØB	16 %	28 %	10 %	45 %	100 %

Tabell 27 – KV-rapporter pr komponent og bane

For skinne er det omtrent likt gjennomsnittlig antall KV-rapporter pr km pr år. For de andre komponentene er det vesentlig flere KV-rapporter på Østfoldbanen enn på Gardermobanen,

og totalt sett har Østfoldbanen ca 5 ganger så mange KV-rapporter pr km pr år. Dette fremkommer også av figuren nedenfor som viser fordelingen pr år:



Figur 32 – Antall KV-rapporter pr år og komponenttype på Gardermobanen og Østfoldbanen

Forutsatt at det ikke er feilkilder i registreringene i Banedata, kan jeg gjøre følgende refleksjoner: Det gjøres tilsynelatende mye mindre vedlikehold (FV og KV) pr km på Gardermobanen enn på Østfoldbanen. I perioden jeg har mottatt data fra (2009-2015) er det kun i 2015 at Gardermobanen har høyere tall på FV (for skinne) og på KV (også for skinne) enn Østfoldbanen. Det er mye større antall togtimer (mer trafikk) på angitt strekning på Gardermobanen enn på angitt strekning på Østfoldbanen. Til tross for dette oppnår Gardermobanen både høyere oppetid og høyere regularitet enn Østfoldbanen.

På Østfoldbanen kjøres det imidlertid også et betydelig antall godstog som i stor grad medfører slitasje og større vedlikeholdsbehov, og som derfor har negativ påvirkning på banen. Tilsvarende er ikke tilfelle for Gardermobanen, der det hovedsakelig kjøres ensartet persontrafikk, og bare noen få godstog med drivstoff til flyplassen på en kort strekning sør for Gardermoen.

Det kan være grunn til å anta at Gardermobanen ble bygget med en høyere kvalitet, spesielt fordi dette var en bane som skulle ha trafikk med hastighet opp mot og over 200 km/t. I tillegg var det svært stort fokus på effektivt og kontinuerlig vedlikehold på Gardermobanen helt ifra den ble tatt i bruk, noe som ble nøye fulgt opp gjennom kontrakter mellom eier og vedlikeholdsentreprenør. Tilsvarende har det ikke vært på Østfoldbanen eller andre baner i Norge.

Ytterligere informasjon om dataene finnes i Vedlegg 3.

Smart vedlikehold

Dagens vedlikehold er i stor grad basert på generiske rutiner, fastlagte intervaller og tradisjonell tilstandsundersøkelse ved hjelp av inspeksjoner og kjøring med målevogn. Teknologien går stadig videre og tilstandsmåleutstyr som kan supplere dette introduseres allerede. I Jernbaneverket pågår det et prosjekt som heter Smart vedlikehold (Gjerstad, 2015) som ser på ny teknologi og muligheter for kontinuerlig overvåkning av komponenter i infrastrukturen. Målinger av status på kritiske komponenter vil resultere i store datamengder som kan gi umiddelbar input til hvor og når det er behov for vedlikehold. Samtidig vil materialet kunne analyseres og fortelle om trender. Hensiktene med slik overvåkning er flere:

Hensikt	Prosess
Varsle om stoppende feil	Korrektivt vedlikehold
Varsle om situasjoner som må håndteres for å unngå stoppende feil	Proaktivt vedlikehold og Prediktivt / planleggbart vedlikehold
Forutsi behov for utskifting og vedlikehold	Prediktivt vedlikehold og Fornyelse
Avdekke systematisk svik	Garantioppfølging, Prediktivt vedlikehold og Fornyelse
Styring og kontroll	Produksjon

Tabell 28 – Hensikt med tilstandsovervåkning, Smart vedlikehold

Slikt tilstandsbasert vedlikehold medfører altså å gjøre riktig vedlikehold på riktig tid, ikke for tidlig men heller ikke når det er for sent. Det vil si mer målrettet og effektivt vedlikehold enn i dag.

6.8 Forsinkelser

Forsinkelseskostnadene, slik jeg har beregnet dem, er avhengig av antall forsinkelsestimer på strekningen, antall personer som blir berørt av forsinkelsestimene og timekostnaden for personene. Gardermobanen er den banen i landet som har best punktlighet.

Det er i liten grad formålstjenlig å fokusere på å hente noe på reduksjon av forsinkelser knyttet til overbygningen (Bane), da dette bare utgjør 5 % av de totale forsinkelsestimene.

Derimot kan det være aktuelt å jobbe for å redusere forsinkelsestimer knyttet til

sikringsanlegg, signalanlegg og fjernstyring, som i 2015 utgjorde 54 % av forsinkelsestimene. Her forventes det en forbedring ved innføring av ERTMS. Det er imidlertid ikke planlagt innført på Gardermobanen før i perioden 2027-2030⁶⁴.

Jeg har benyttet beregnede kostnader for personforsinkelser basert på rapporten *Verdsetting av tid, pålitelighet og komfort tilpasset NTM6* fra TØI (Østli et al., 2015). Dersom jeg istedenfor hadde valgt en høyere personkostnad ved vil konsekvensen av dette øke. Flytoget har i 2012 angitt 600 kr som timekostnad for passasjerer (Flytoget, 2012) som tilsvarer 647 kr i 2015 med samme beregning som i kapittel 4.4.4. Hvis jeg benytter dette tallet vil forsinkelseskostnadene øke fra 0,64 til 0,90 mill kr pr km dobbeltspor i analyseperioden. Dette ville ikke medføre betydelig endring i total LCC på Gardermobanen.

Det er imidlertid grunn til å anta at andre baner med mindre trafikk bør jobbe for å komme opp på nivå med Gardermobanen for å redusere forsinkelseskostnaden.

Dobbeltsporet på Østfoldbanen mellom Ski og Sandbukta nord for Moss, er en strekning som det kan være aktuelt å sammenligne med. Dette er også en dobbeltspor-strekning og den ble ferdig i 1996, altså 2 år tidligere enn Gardermobanen. Trafikken her består av lokaltog til Moss og regiontog til Halden/Gjøteborg, begge med timesfrekvens i driftsdøgnet. I tillegg kommer godstog. Det betyr ca 50 persontog i hver retning, 100 totalt pr døgn (Jernbaneverket, 2015b). Andelen forsinkelsestimer som er forårsaket av infrastrukturen er 60 % av de totale forsinkelsestimene (Jernbaneverket, 2012a). I 2015 var 9,2 % av togene forsinket på strekningen Ski-Moss⁶⁵. Både andelen forsinkede tog og andelen forsinkelsestimer forårsaket av infrastrukturen er høyere enn på Gardermobanen. Dette indikerer at kvaliteten på Gardermobanen er høyere enn på Østfoldbanen. Samtidig er antall passasjertog betydelig lavere enn på Gardermobanen. Kombinasjonen med godstog ser derfor ut til å påvirke kvaliteten på banen. Jeg har ikke funnet passasjerantall for strekningen, så jeg har ikke kunne gjøre sammenlignbare kostnadsberegninger knyttet til passasjerforsinkelser.

⁶⁴ www.jernbaneverket.no/Nyheter/Jernbanemagasinet/Nyheter/desember-2015/endelig-nye-signaler/ (06.05.2016)

⁶⁵ Punctlighet Ski-Moss 2015; www.jernbaneverket.no/Nyheter/Punktlighet/ (06.05.2016)

7 Diskusjon

I dette kapittelet har jeg diskutert metoder jeg har benyttet, resultatene fra analysene; inklusiv tolkninger, relasjoner til litteratur, forskjellige usikkerheter og feilkilder, samt styrker og svakheter ved oppgaven.

Sammenligning og vurdering av metode, løsninger og kostnader

I LCC-metoden som jeg har benyttet har jeg begrenset meg til å inkludere elementer fra noen livsløpsfaser (kostnader fra bygging, vedlikehold og passasjerforsinkelser). Jeg har også begrenset omfanget av analysen til en del av strekningen (fri linje utenfor stasjoner og tunnel) og til en del av infrastrukturen (fire utvalgte komponenter i overbygningen). Metoden kunne ha vært benyttet for både flere faser, flere komponenter i infrastrukturen og på hele strekningen, men dette ville ha vært et betydelig større og mer komplekst arbeid.

For å innhente data for å gjennomføre beregninger benyttet jeg spørreskjema og intervjuer som hoved-metoder. I tillegg gjorde jeg søk i Banedata og i kilder jeg fant selv eller fikk tilsendt. Metodene jeg har benyttet for å innhente data har vært effektive i den forstand at jeg i stor grad har fått svar på det jeg har spurt om. Det har derimot vært noen utfordringer knyttet til om jeg har stilt de riktige spørsmålene. Jeg mener at jeg har gjort bevisste avgrensninger i oppgaven, men det kan være data som jeg har utelatt som burde ha vært med.

De tekniske løsningene som er bygget på Gardermobanen er godt dokumentert og jeg har fått tak i informasjonen jeg har hatt behov for. Gardermobanen ble bygget med høyere kvalitet enn andre baner som ble bygget i årene før. Hovedårsaken til det var strengere krav til de tekniske løsningene på grunn av høyere strekningshastighet. Andre traseer og løsninger ble vurdert for Gardermobanen, men valgt løsning for bygging og vedlikehold har vist seg å gi en bane med god kvalitet, regularitet og oppetid.

Jeg har benyttet kostnadsverdier som jeg har fått oppgitt fra nøkkelpersoner i Jernbaneverket med god kjennskap til de respektive elementene, og jeg har sammenlignet disse med tall fra andre kilder eller prosjekter. Tallene varierer endel for noen elementer, men samsvarer godt for andre. Jeg har gjort vurderinger i forhold til dette og mener derfor at de kostnadene jeg har benyttet i arbeidet gir et riktig bilde av de forskjellige elementene de representerer.

Tolkninger av resultatene

Jeg har gjennom arbeidet funnet ut at vedlikehold utgjør 64 % av livssyklus kostnadene (LCC), og vedlikehold er med det den aller største delen. Kostnaden for bygging av overbygningen på banen er den nest største delen med ca 35 % av total LCC. Syv forskjellige vedlikeholdsaktiviteter for overbygningen er inkludert i analysen, og tre av disse syv utgjør til sammen 83 % av de samlede vedlikeholdskostnadene. Disse tre aktivitetene alene utgjør da en større andel av LCC enn kostnaden for bygging av overbygningen.

Jeg har også sett at omfanget av vedlikehold på Gardermobanen (FV- og KV-aktiviteter pr år pr km dobbeltspor) er mye lavere enn på Østfoldbanen som jeg sammenlignet med. Dette til tross for at det kjører mange flere tog på Gardermobanen. Jeg tolker dette funnet dit at kvaliteten på Østfoldbanene er slik at den krever mer vedlikehold. Dette kan være forårsaket av at Østfoldbanen har mer blandet trafikk med persontog og tunge godstog. Men det kan også være fordi banen ikke ble bygget med samme kvalitet som Gardermobanen, eller det kan være fordi vedlikehold ikke har hatt samme kvalitet eller fokus gjennom hele levetiden.

Jeg har også funnet ut at forsinkelseskostnadene for passasjerer som blir forsinket på Gardermobanen utgjør en svært liten del av total LCC, bare ca 1,4 %. Denne kostnaden er lav til tross for veldig mange passasjerer pr år. Dette er fordi banen har høy regularitet og oppetid. Dette kan igjen knyttes til høy kvalitet og effektivt vedlikehold i de periodene på døgnet det ikke går tog. Jeg har ikke beregnet forsinkelseskostnader for sammenlignings-strekningen på Østfoldbanen. En utfordring på Østfoldbanen er imidlertid at det kjøres godstog på strekningen om natten, så det finnes ikke hvite tider om natten som effektivt kan utnyttes til vedlikehold på samme måte som på Gardermobanen (Jernbaneverket, 2015b). Vedlikehold på banestrekningen må da i større grad enn på Gardermobanen gjennomføres mens det er trafikk på banen, det vil si vedlikehold på det ene sporet med enkeltspors-drift på det andre, eller ved å stenge begge sporene på banen i perioder med påfølgende konsekvenser for den planlagte trafikken. Med fremtidig økning av trafikken på Østfoldbanen, både for person- og godstrafikk, vil utfordringene knyttet til vedlikehold øke, og det vil bli behov for å vurdere å bygge forbikjøringsspor eller la godstogene kjøre andre veier, for eksempel via østre linje. I tillegg må vedlikeholdet organiseres og utføres mer effektivt.

Prosjektet Smart vedlikehold (Gjerstad, 2015) har iverksatt overvåkning av noen drivmaskiner for sporveksler. Det planlegges videre å implementere dette i større skala, først på 60 drivmaskiner mellom Asker og Lysaker, og deretter opp mot 400 drivmaskiner på forskjellige strekninger prioritert etter trafikk og feilrater. Jernbaneverkets operasjonssenter på

Marienburg i Trondheim vil følge opp målingene og gi varsler til togledere, vedlikeholdsansvarlige for linjen, systemeiere og andre. Alle banestrekninger som får innført nye teknologi som dette, vil kunne optimalisere sitt vedlikehold og gjøre det mer målrettet og effektivt enn i dag.

Det var ikke overraskende for meg å finne at Gardermobanen at kostnadsandelen for vedlikehold er stor i LCC-sammenheng. Jeg har fått bekreftet mine antagelser om at Gardermobanen ble bygget med høyere kvalitet enn andre baner på den tiden, og at fokuset på effektivt vedlikehold fra første dag har gjort at banen i hele sin levetid har hatt høy regularitet og oppetid. Andre baner har utfordringer knyttet til å komme opp på samme nivå som Gardermobanen. Delvis kan dette skyldes forskjeller i kravene til opprinnelig kvalitet som ble bygget, men vel så sannsynlig årsak er mer komplekst driftsmønster og mindre muligheter for tilrettelegging for effektivt vedlikehold.

Relasjoner til litteratur

I forbindelse med nåverdiberegningene er det slik at dersom renten settes høyt vil kostnader som inntreffer sent i analyseperioden få relativt liten innvirkning på nåverdien, mens dersom renten settes lavt vil fremtidige kostnader få relativt større innvirkning på nåverdien. Lav rente fremmer altså investeringstunge prosjekter med lavere vedlikeholdskostnader.

I LCC-beregningene for Gardermobanen har jeg benyttet dagens anbefalte verdi for kalkulasjonsrente, 4 % (Siedler og Voss, 2015). I *Økonomiske analyser for Gardermobanen* (Heldal og Strøm, 1991) benyttet de 7 % som kalkulasjonsrente. Hvis man skulle valgt i dag, med relativ lav rente, vil det altså lønne seg å investere i en dyr infrastruktur som krever mindre vedlikehold. Dette sammenfaller da med beslutningen om å bygge fastspor i Follobane-tunnelen, som medfører høyere investeringskostnad for overbygningen, men som har lavere kostnader til vedlikehold i driftsfasen.

Da Gardermobanen ble planlagt var rentenivået høyere enn idag og det er nærliggende å tenke motsatt. Med høy rente er det fordelaktig å bygge en billig infrastruktur da fremtidig vedlikehold ville ha lav nåverdi på planleggingstidspunktet. Det er ingen ting i mine funn som tyder på at Gardermobanen ble bygget så billig som mulig, snarere tvert imot. Renten på 7 % er riktignok høyere enn vi regner med i dag, men forskjellen er ikke så stor. Hovedårsaken antas som tidligere nevnt å være strengere krav på grunn av høyere stekningshastighet.

Forskjellige usikkerheter og feilkilder

Det er en rekke feilkilder og usikkerheter som kan nevnes i forbindelse med arbeidet jeg har utført. I kapittel 2.3.4 har jeg omtalt forskjellige elementer knyttet til usikkerhet i analysene.

Noen faktorer mangler fordi jeg ikke har tilgjengelig datagrunnlag. Dette kan omfatte komponenter som ikke er inkludert, kostnader for inngående komponenter, vedlikeholdsaktiviteter og omfang av disse, faser i levetiden, og strekningsavsnitt som tunneler og broer som er utelatt.

Det er et visst spenn i levetider på komponenter. Jeg har ikke inkludert faktisk feilstatistikk på komponentene på Gardermobanen for å vurdere om de levetidene som jeg har benyttet, er riktige. Disse er basert på generelle erfaringstall og informasjon fra kilder i Jernbaneverket.

Noen av kostnadstallene jeg har benyttet i beregningene er sammenlignet med tall fra andre relevante kilder. Dette gjelder ikke alle dataene jeg har benyttet, men jeg vurderer at kildene som jeg har fått data fra, enten det er fra Jernbaneverket eller for øvrig, er gode nok.

Inngående data er statiske og uavhengige av hverandre. Det er ikke tatt hensyn til om endringer av data på et område får konsekvenser for andre data. Dette ville i tilfelle ha gjort beregningene vesentlig mer kompliserte og uoversiktlige.

Det kan være usikkerheter i forbindelse med dataene jeg har fått i fra Banedata. I rapporten fra Riksrevisjonen (Riksrevisjonen, 2016) står det at dokumentasjonen i Banedata ikke er god nok. Jeg har ikke noe grunnlag for verken å være enig eller uenig i det, og har benyttet registreringene slik jeg har fått de fra databasen uten å kontrollere disse nærmere.

Styrker og svakheter

Jeg har gjort avgrensninger i oppgaven som medfører at mine resultater ikke gir et komplett bilde av LCC. Fordelen med mine avgrensninger er at jeg da har hatt fokus på de utvalgte elementene. Jeg har sett konkret på noen forhold og studert disse ganske inngående. Dette har gjort informasjonsinnsamlingen og beregningene enklere. En svakhet ved avgrensningene er at resultatene fra mine beregninger ikke kan sammenlignes direkte med andre analyser som inneholder andre elementer.

Siden jeg ikke er ansatt i Jernbaneverket har jeg ikke hatt mulighet til å søke etter informasjon i interne Jernbaneverket-kilder, men vært nødt til å henvende meg til nøkkelpersoner for å få tilgang til data. Det har vært tidkrevende og noe tungvint å måtte bruke tid på å forklare bakgrunnen for mine spørsmål, og jeg har opplevd skepsis til å oppgi detaljert informasjon til

en ekstern konsulent som meg. Når det er sagt så har jeg i hovedsak fått det jeg har spurt om, men kommunikasjonen ville nok ha gått lettere om jeg hadde vært ansatt i Jernbaneverket.

En fordel med at jeg ikke har vært ansatt i Jernbaneverket, er at mine undersøkelser, beregninger og resultater, er helt uavhengige og har ikke vært påvirket i den ene eller andre retningen.

Det hadde vært å foretrekke at jeg fikk gjennomgått resultatene av mine beregninger med nøkkelpersoner i Jernbaneverket. En slik gjennomgang ville ha vært en kvalitetssikring av oppgaven som jeg dessverre ikke har hatt tid til å gjennomføre. Selv om jeg hadde hatt mer tid er det imidlertid usikkert om jeg, som utenforstående, ville fått tilgang til nødvendige ressurser for å gjennomføre dette.

8 Konklusjoner og anbefalinger

I dette kapittelet har jeg oppsummert prosessen og funnene jeg har gjort i arbeidet med denne masteroppgaven. Jeg har også konkludert rundt resultatene, samt vurdert og anbefalt mulige videre arbeider.

I arbeidet med denne masteroppgaven har jeg studert sporløsningen på Gardermobanen. Utvalgte komponenter har blitt studert og kostnader knyttet til forskjellige faser i banens livsløp har blitt analysert. Basert på bestemte avgrensninger har jeg med hjelp av disse analysene vurdert levetidskostnaden (LCC) for den valgte løsningen på strekningen. Jeg har diskutert kostnadsdrivere i analysen og om det er grunnlag for å hevde at det var riktig å benytte de valgte komponenttypene eller om andre kombinasjoner ville gitt en bedre LCC.

8.1 Konklusjon

Analyse av livssyklus-kostnader (LCC) er verdifullt for en organisasjon som forvalter jernbane til langtidsplanlegging, sammenligning av alternative produkter og systemdesign, i forbindelse med vedlikeholdsstrategier, og for beslutninger i prosjekter. Det vil som oftest være en dårlig ide å kun vurdere anskaffelseskostnadene når man skal velge mellom alternativer i et prosjekt. I løpet av levetiden, som for jernbane kan være helt opp mot 100 år (tunneler), er det flere andre elementer ved løsningene som vil utgjøre vel så store kostnader. Jernbaneverket forholder seg derfor til kravene i anskaffelsesloven om å ta hensyn til livssyklus-kostnader. Dette praktiseres av Jernbaneverket ved at utstysleverandører må gi innspill til drifts- og vedlikeholdskostnader ved anskaffelser. I tillegg benytter Jernbaneverket LCC-tilnærmingen aktivt i forbindelse med planlegging og prioritering mellom større vedlikeholds- og fornyelsesprosjekter.

Arbeidet med å gjennomføre LCC-analyse for et jernbaneanlegg er omfattende. I denne oppgaven har jeg valgt å avgrense på flere av elementene. Jeg har tatt for meg et dobbeltsporet strekningsavsnitt som går i fri linje på Gardermobanen, uten stasjoner, broer eller tunneler. Jeg har videre bare inkludert kostnader i levetidsfasene bygging, vedlikehold og forsinkelser for passasjerene. Jeg har valgt å kun inkludere fire utvalgte komponenter i overbygningen og relevante vedlikeholdsoppgaver for disse. Øvrige levetidsfaser, strekningsdeler, inngående komponenter, og vedlikehold av infrastrukturen er utelatt fra beregningene. Hvis alle øvrige elementer skulle vært inkludert ville arbeidet blitt vesentlig mer komplekst.

Jeg har samlet inn relevante data fra nøkkelpersoner i Jernbaneverket og fra åpne kilder for å kunne gjennomføre beregninger av LCC i en analyseperiode på 60 år. Resultatene viser at vedlikehold utgjør den største delen av LCC med hele 64 % av de totale kostnadene. De tre største kostnadsdriverne innenfor vedlikehold er ballastrensing, forbyggende vedlikehold (inspeksjoner og generiske rutiner) og korrektivt vedlikehold (feilsøking og reparasjoner). Bygging av sporet utgjør ca 35 % av de totale kostnadene. Den største kostnadsdelen for bygging av spor er anleggskostnaden (eksklusiv inngående komponenter).

Oppgaven beskriver noen alternativer i forhold til de utvalgte komponentene i overbygningen. Dersom skinner med høyere stål kvalitet hadde blitt benyttet ville det gitt en redusert LCC, og bruk av svillematter vil også medføre redusert LCC i forhold til om slike ikke benyttes. Disse to forholdene er imidlertid omtalt i jernbanens tekniske regelverk, og ved bygging av banen ble andre løsninger valgt. Når det gjelder fastspor viser beregningene i oppgaven at det ikke ville vært lønnsomt å bygge dette i forhold til ballastspor, forutsatt at de øvrige parameterne var uforandret.

Basert på dette mener jeg at resultatene i denne oppgaven viser at Gardermobanen ble bygget med høy kvalitet, og at det kontinuerlige fokuset på vedlikehold har medført høy regularitet og oppetid. Jeg mener også at jeg har fått vist reelle resultater for de utvalgte elementene, til tross for avgrensningene, og at jeg derfor kan konkludere med at bruk av LCC-metodikk er sentralt ved valg mellom alternative løsninger.

Arbeidet med denne oppgaven vært vellykket i den forstand at jeg i stor grad har klart å finne ut det jeg planla. Innsamlingen av relevant informasjon viste seg å være mer omfattende og tidkrevende enn jeg forutsatte, delvis fordi investeringskostnadene på detaljnivå var vanskelig tilgjengelige. Med de valgte avgrensningene har jeg imidlertid kommet frem til resultater som gav mening og som viser viktigheten av å se på flere elementer enn anskaffelseskostnaden når man skal velge mellom forskjellige løsninger.

For Jernbaneverket kan resultatene i denne oppgaven være nyttige for å bekrefte at metodikken som ligger bak når det velges mellom alternativer viser seg å være riktig. Resultatene viser for eksempel at LCC for valgt løsning på Gardermobanen er lavere enn de ville ha vært dersom det hadde blitt valgt å legge fastspor på strekningen. Likevel kan det være alternative tekniske løsninger som det kan være verdt å studere ved fremtidige utbygginger, for å redusere det største kostnadselementet, vedlikeholdskostnadene.

Resultatene fra masteroppgaven kan også være nyttige for NTNU, da studien har gått relativt detaljert inn på enkeltkomponenter i sporet. Resultatene vil kunne danne grunnlag for ytterligere forskning på området, som vil komme samfunnet til gode.

For min arbeidsgiver Rejlers Norge AS, divisjon Railconsult, vil resultatet i seg selv ikke ha direkte stor nytte. Imidlertid vil prosessene som jeg har gjennomført i forbindelse med arbeidet, den faglige dialog med nøkkelpersoner underveis, samt heving av min kompetanse på området definitivt være av nytte både for min arbeidsgiver og for meg.

Resultatene i denne oppgaven er ikke dekkende for beregning av komplette livsløpskostnader for jernbaneinfrastruktur, da flere elementer ikke er inkludert i denne oppgaven.

8.2 Videre arbeid

På grunn av avgrensningene som er gjort i denne oppgaven, gir ikke dette arbeidet en komplett oversikt over alle forhold knyttet til LCC for spor. Man kunne med lignende metoder inkludert andre elementer i arbeidet.

Sporveksler er et eksempel på komponent i sporet som ikke ble inkludert i analysene. De er viktige komponenter som påvirker kostnaden i sporet ganske mye. Network Rail omtaler at selv om sporveksler og -kryss utgjør mindre enn 5 % av sporkilometerne, så benyttes mer enn 17 % av vedlikeholdsbudsjettet på disse (Network_Rail, 2013). Vedlikehold av sporveksler er avhengig av hvor ofte de benyttes, men det må også utføres noe vedlikehold på en sporveksel selv om den ikke er i daglig bruk. På en høyhastighetsstrekning som Gardermobanen er de fleste sporvekslene ikke i bruk ved normal trafikk. På andre strekninger vil imidlertid sporveksler være en viktig del av infrastrukturen som benyttes i forbindelse med avvikling av normal trafikk. På grunn av slik variasjon i hvor mye sporveksler benyttes på en strekning, vurderte jeg at relevante vedlikeholdsdata for sporveksler på Gardermobanen ikke nødvendigvis var sammenlignbare med data fra andre baner. Det er også store forskjeller anskaffelseskostnader avhengig av type og formål med sporvekselen, og jeg fant tidlig i arbeidet ut at jeg ville ha vanskeligheter med å fremskaffe gode data.

For å få bedre totaloversikt over LCC for overbygningen anbefales det at sporveksler tas med ved et senere tilsvarende arbeid.

Man kunne også valgt å inkludere andre komponenter i infrastrukturen, som KL og strømforsyning, signalanlegg, underbygning, samt stasjoner, tunneler, og konstruksjoner som bruer og kulverter.

Det kan også inkluderes flere elementer i de tre fasene som jeg har tatt med: Innenfor bygging kunne det vært delt opp i flere typer kostnader, som innkjøp og transport av materialer, arbeidstimer, samt maskin- og energikostnader. Innenfor vedlikehold kunne flere aktiviteter vært inkludert for sporet, som vedlikehold av sporveksler og skjøter, smøring og sporjustering (baksing). Forsinkelseskostnader kan, i tillegg til konsekvensene for passasjerer, beregnes for togselskap, eiere av gods som transporteres eller andre berørte.

I tillegg kan det utføres analyser som inkluderer flere av de LCC-fasene som jeg ikke har inkludert. For eksempel kostnader knyttet til planlegging, drift, og avhending av anlegget ved levetidens slutt. Også kostnader knyttet til farer og ulykker kan inkluderes.

Av andre typer analyser som det kunne være relevant å gjøre for en jernbane er levetidsanalyser (LCA) som i tillegg til LCC også inkluderer kostnadene for miljøeffekter som en jernbanestrekning påfører samfunnet generelt og området der banen går spesielt. En jernbane vil påvirke miljøet i flere livsfaser, både før og under bygging, i driftsfasen og når banen legges ned og fjernes.

Helt til slutt vil jeg også nevne at det stadig kommer nye metoder å drive vedlikehold på. Prosjektet Smart vedlikehold i Jernbaneverket legger opp til omfattende tilstandsovervåkning av kritiske funksjoner i infrastrukturen. Dette er et eksempel på at ny teknologi og muligheter for å behandle store datamengder, kan gi mer effektivt og målrettet vedlikehold. Dette vil være mer og mer viktig i tiden fremover, og spesielt på baner med mye trafikk der det er lite ledig kapasitet til å drive vedlikehold. Teknologi og organisering av dette vil være kostbart å etablere, men besparelsene kan bli store i et lenger perspektiv. Jeg vil derfor også anbefale at det gjøres LCC-analyser knyttet prosjektet Smart vedlikehold.

9 Referanser

- Andrade, A. R. (2008). *Renewal decisions from a Life-cycle Cost (LCC) Perspective in Railway Infrastructure*. (M.Sc), Universidade Tecnica de Lisboa. Retrieved from <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395137866860/disserta%C3%83%C2%A7%C3%83%C2%A3o.pdf>
- The asset management club project: phase 3: asset registers & RAMS/LCC : final report*. (2011). Hamburg: Civity Management Consultant.
- CENELEC. (1999). *Railway applications - Specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS) (Vol. EN 50126)*.
- Finsveen, J., Berntsen, S., Johansen, K. W., Kwong, C. K., Sørli, E., og Lyngset, J. (2015). *Ringeriksbanen - Supplerende analyse av beslutningsgrunnlag: Dovre group og Transportøkonomisk institutt*.
- Flytoget. (2012). *Mer effektiv og kunderettet jernbane i fremtiden*. In S. Høven (Ed.). Oslo: Flytoget.
- Flytoget. (2015). *Flytogets årsrapport 2014 (17. årgang ed.)*.
- Girsch, G., Heyder, R., Kumpfmüller, N., og Belz, R. (2005). Comparing the life-cycle costs of standard and head-hardened rail. *Railway Gazette International*, 161.9, 549-551.
- Gjerstad, A. (2015). *Overvåkningsentralen - Smart vedlikehold*. Presentasjon. Jernbaneverket Signal og tele. Jernbaneverket. Punktlighetsseminaret 2015. Retrieved from <http://www.jernbaneverket.no/Marked/Informasjon-for-togselskapa/Punktlighetsseminar/>
- Halkjær, J. (2016, 18. april 2016). [Gardermobanen Forsinkelsestimer Oppetid 2012-2016].
- Heldal, N., og Strøm, A. (1991). *Gardermobanen - Økonomiske analyser (S. o. miljø, Trans.): NSB Hovedkontoret*.

- Hofgaard, Ø. (2015). LCC for jernbane – Forstudium om LCC for ballastert jernbanespor: NTNU.
- Hokstad, P. (1998). Life Cycle Cost Analysis in Railway Systems. *SINTEF Industrial Management*, 44.
- IEC. (2004). Standard 300-3-3 Dependability management – Part 3-3 Application guide – Life cycle costing.
- Ingvaldsen, G. H. (2016, 10.03.2016). [Data om målevognskjøring på Gardermobanen].
- INNOTRACK. (2006). Guideline for LCC and RAMS Analysis (Vol. D6.5.4, pp. 115): INNOTRACK - Innovative Track Systems.
- INNOTRACK. (2009). Key values for LCC and RAMS (Vol. D6.4.1, pp. 36).
- Jernbaneverket. (1998). Ringeriksbanen, Bergensbanens forkortelse (R. Sør, Trans.). In J. O. Grinde (Ed.). Drammen.
- Jernbaneverket. (2011). Håndbok for vedlikehold. In Jernbaneverket (Ed.), (Vol. STY-601058): Jernbaneverket.
- Jernbaneverket. (2012a). Konseptvalgutredning for IC-strekningen Oslo - Halden: Jernbaneverket.
- Jernbaneverket. (2012b). KVVU Intercity Dovrebanen Kostnadsberegninger. In Rambøll (Ed.), (pp. 51).
- Jernbaneverket. (2012c). Slik fungerer jernbanen - En presentasjon av trafikksystemets infrastruktur. In Jernbaneverket (Ed.), *Internet*. Oslo.
- Jernbaneverket. (2013a). Sluttrapport for prosjekt 923200 Barkåker-Tønsberg (J. Utbygging, Trans.) (pp. 89): Jernbaneverket.
- Jernbaneverket. (2013b). Utredning LCC i JBV (00A ed., pp. 50): Jernbaneverket Utbygging.

- Jernbaneverket. (2015a). Grafiske ruter, termin 16.0 Gardermobanen. In blad-nr.-99-gardermobanen.pdf (Ed.). Jernbaneverket.
- Jernbaneverket. (2015b). Grafiske ruter, termin 16.0 Østfoldbanen vestre linje. In blad-nr.-3-skoyen---oslo---kornsjo-v.l.pdf (Ed.). Jernbaneverket.
- Jernbaneverket. (2015c). Teknisk designbasis for Intercity-strekningene (ICP, Trans.) (02A ed.): Jernbaneverket.
- Jernbaneverket. (2016a). Jernbanekompetanse Vedlikeholdsmetodikk. Retrieved 17.04.2016, from http://www.jernbanekompetanse.no/wiki/Vedlikeholdsmetodikk#Beslutningsst.C3.B8tte_for_overbygning
- Jernbanens tekniske regelverk (2016b).
- Kumar, A. (2002). Improved maintenance system for concrete sleeper track - For low Life Cycle Cost. 65-68.
- Kvernmo, J.-M. (2016a). Møte med gjennomgang av vedlikehold omfang mm på Gardermobanen. In Ø. Hofgaard (Ed.).
- Kvernmo, J.-M. (2016b, 11.03.2016). [Timeforbruk og timekostnad for forebyggende og korrektivt vedlikehold på linjen, Gardermobanen].
- Løhren, A. H. (2016, 11.03.2016). [Kostnadsfordeling mellom sporkomponenter samt komponentpriser].
- Marschnig, S., Veit, P., og Berghold, A. (2011). Lowering track lifecycle cost with sleeper pads. *EURAILmag*(23), 146-147.
- Michas, G. (2012). *Slab Track Systems for High-Speed Railways*. (Master Master Degree Project), Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm. Retrieved from <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:530940/fulltext01> (TSC-MT 12-005)

- Mydske, P. K., Alfheim, S. L., Strøm, S., Ven, B., og Whist, E. (1999). Gardermoprojektet - Evaluering av planlegging og gjennomføring (NOU 1999:28) (Samferdselsdepartementet, Trans.) *Norges offentlige utredninger (NOU 1999:28)* (pp. 508). Oslo.
- Nestaas, I. (2014, 21. juli 2014). Livsløpsanalyse. I Store norske leksikon. Retrieved 19. april 2016, from <https://snl.no/livsl%C3%B8psanalyse>
- Network_Rail. (2013). Rails changing tracks, rail track joints. Retrieved 20.04.2016, from https://www.youtube.com/watch?v=L_wOPY5Pu-A#t=370.8118961
- Norges_Bank. (2016, 18.03.2016, 14:32). VALUTAKURS FOR EURO (EUR). Retrieved 21.03.2016, 2016, from <http://www.norges-bank.no/Statistikk/Valutakurser/valuta/EUR/>
- NSB. (2016). NSB konsernet Årsrapport 2015.
- NSB_Gardermobanen_AS. (1995). *Gardermobanens kriterier for SUKSESS*. Oslo: Nasjonalbiblioteket.
- NSB_Gardermobanen_AS. (1996). Slik bygger vi Gardermobanen (pp. 28): NSB_Gardermobanen.
- NSB_Gardermobanen_AS. (1998a). Gardermobanen, Bilder og skisser fra utbyggingen *Jernbaneverket* (Vol. JBV-09TU09375). Oslo.
- NSB_Gardermobanen_AS. (1998b). Gardermobanen, Norway's first high-speed railway. In NSB_Gardermobanen_AS (Ed.), (Vol. JBV-09TU02472). Oslo.
- Lov om offentlige anskaffelser [anskaffelsesloven] (1999).
- Oelschlegel, C. (2015). *Project process - Life Cycle Costing in the High Speed Rail*. Presentation. NTNU.
- Olsson, N., og Veiseth, M. (2011). *Jernbanetrafikk*: Fagbokforlaget.

- Patra, A., Söderholm, P., og Kumar, U. (2009). Uncertainty estimation in railway track life-cycle cost: a case study from Swedish National Rail Administration. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 223(3), 285-293.
- Pettersen, O. (2002). Kontrollskjema for visitasjon av spor og grunn Gardermobanen (B. P. Øst, Trans.) (pp. 28): Jernbaneverket.
- Riksrevisjonen. (2016). Riksrevisjonens undersøkelse av effektivitet i vedlikehold av jernbanenettet, Dokument 3:10 (2015-2016).
- Rindhølen, T. (2016, 14.03.2016). [Enhetspriser på sporkomponenter].
- Lov om anlegg og drift av jernbane, herunder sporvei, tunnelbane og forstadsbane m.m. (jernbaneloven) (1993).
- Forskrift om nasjonale tekniske krav m.m. for jernbaneinfrastruktur på det nasjonale jernbanenettet (jernbaneinfrastrukturforskriften), FOR-2011-04-11-388 C.F.R. (2011).
- Sekne, I. (1999). *Historien om Gardermobanen*. Oslo: Gazette Bok.
- Siedler, C. E., og Voss, K. (2015). *Jernbaneverkets Metodehåndbok i samfunnsøkonomiske analyser*. Jernbaneverket, Seksjon for samfunnsøkonomi og statistikk.
- Sterri, A. B., og Wæhle, E. (2016, 6. april 2016). Case studie. I Store norske leksikon. Retrieved 17. april 2016, from <https://snl.no/case-studie>
- Sund, E. K. (1998). Levetidskostnader *Investering og drift av samferdselsanlegg* (Revidert feb 2005 ed., pp. 1-30). Trondheim: NTNU, Institutt for bygg, anlegg og transport.
- Tanggaard, M. (2015). *Landsdekkende maskinelt sporvedlikehold Nøkkelinfa om ballastrens 2015 og 2016*. Presentation. Infrastruktur Vedlikehold. Jernbaneverket.
- Teigen, F. (2016, 08.02.2016). [Generelle data om overbygningskonstruksjonen på Gardermobanen].

Toftaker, H. (2016). Fremskaffing av vedlikeholdsinformasjon registrert i Banedata. In Ø. Hofgaard (Ed.).

Vatn, J. (2002). A Life Cycle Cost model for prioritisation of track maintenance and renewal, Innovations for Cost Effective Railway Track. *Prom@in*, No 2, 21-25.

Østli, V., Halse, A. H., og Killi, M. (2015). Verdsetting av tid, pålitelighet og komfort tilpasset NTM6. Oslo: TØI.

10 Liste over vedlegg

VEDLEGG 1: Avtale om gjennomføring av masteroppgave

VEDLEGG 2: Spørreskjema for innsamling av data

VEDLEGG 3: Banedata

VEDLEGG 4: Data og beregninger

Vedlegg 1 Avtale om gjennomføring av masteroppgave



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

Avtale om gjennomføring av masteroppgave i Veg og Jernbane

Denne avtalen bekrefter at tema for oppgaven er godkjent og at student og veileder er kjent med gjeldende retningslinjer for masteroppgaven og vilkår for veiledningsforholdet.

Frist for å levere signert avtale er 15. august. Signert avtale sendes IVT-fakultetet.

1. Studentens personalia

Etternavn, Fornavn Hofgaard, Øyvind Hunding	Fødselsdato 28. september 1966
E-post oyvinhh@stud.ntnu.no oh@rejl.no	Telefon 90063029
Ansatt hos Rejl Norge AS, divisjon Railconsult	
Studieretning Jernbane	Spesialisering (jernbane) Bane / Trafikk

2. Finnes det tilleggsavtale?

Ja	Nei <input checked="" type="checkbox"/>
Hvis ja, hvilke?	

3. Masteroppgaven

Oppgavens (foreløpige) tittel LCC for ballastert jernbanespor	
Oppgavetekst/Problembeskrivelse (kort) I denne masteroppgaven vil sporløsningen på en nærmere definert dobbeltsporstrekning som allerede er bygget innenfor det fremtidige intercity-nettverket studeres. Forutsetningene for valg av komponenttyper i sporet på denne strekningen, dvs ballast, sviller, skinner og befestigelser, skal granskes og valgte komponenter skal analyseres med hjelp av LCC metodikk. LCC for noen andre mulige kombinasjoner av de respektive komponentene knyttet til spor, skal også analyseres. Basert på disse analysene skal det gjøres en sammenligning av LCC for den valgte løsningen på strekningen i forhold til de andre analyserte kombinasjonene, og vurderes om valgt løsning var riktig eller om andre kombinasjoner ville gitt en bedre LCC. Dersom LCC for valgt løsning er lavere enn for	

de andre kombinasjonene, er det grunnlag for å hevde at forutsetningene for å benytte de valgte komponenttypene var riktige, og at analysen underbygger de valgene som ble gjort. Hvis det derimot viser seg at andre kombinasjoner ville gitt bedre LCC, kan det være ønskelig å studere nærmere hvilke forutsetninger som ikke slo til, og benytte denne lærdommen i fremtidige løsningsvalg.

Masteroppgaven vil basere seg på innholdet prosjektoppgaven «LCC for jernbane – Forstudium om LCC for ballastert jernbanespor» levert 10.08.2015 i emnet BA6056 (V2015).

Hovedveileder ved NTNU
Elias Kassa

Lokal veileder

Merknader

4. Underskrift

Student: Jeg erklærer herved at jeg har satt meg inn i gjeldende bestemmelser for mastergradsstudiet og at jeg oppfyller kravene for adgang til å påbegynne oppgaven.

Partene er gjort kjent med avtalens vilkår, samt gjeldende retningslinjer for masteroppgaven.

Oslo, 11.august 2015
Sted og dato


Sign hovedveileder
Sign student

Vedlegg 2 Spørreskjema for innsamling av data

Masteroppgave: LCC for ballastert spor (NTNU v2016)

Skjema for innsamling av data for LCC-analyse

Skjema er utfyllt av (Navn)	Toftekar, Teigen, Kværmo
Stilling, Organisasjon	
TV	
E-post	
Dato	21.02.2016

Retur skjema til:	
Øyvind H Hofgaard	Student NTNU Master Iernbane
Seniorrådgiver Relliers Norge, Railconsult	
90063029	
oyvind.hofgaard@relliers.no	

Banestrekning	Gardermobanen
---------------	---------------

Informasjonselement	Betegnelser	Angi for Gardermobanen	Merknader
Overbygningssklasse	A, B, C, Cc, D, Ofotbanen	D	
Kvalitetsklasse	K0, K1, K2, K3, K4, K5	K0	K0 i hovedspor. Hastighet > 210km/h

Bygging - Komponenter						
Informasjonselement	Typebetegnelse Angi typebetegnelse, skinneprofil, svillette, etc	Mengder på strekningen f.eks. antall/mengde pr km	Pris pr enhet i 2014 (angi enhet; stk eller f.eks. km spor)	Levetid Før utbytte av komponent, forutsatt at vedlikehold er gjennomført (år)	Annen info svilleveststand, ballasttykkelse, etc	Merknader
Skinne	60E1		54910 kr/120m skinne (n 458 kr/m)	40-50	iht. EN 13674-1	Vøest Alpine Schienen, Østerrike Stikklyttet i tunnel ++ Totalt ca 6000 løpemetere byttet (10-120 meters lengder), hovedsakelig i Romeriksporten.
Svulle	N58 93 Bet-N5895 FC + JBV60FE	1667 / km spor	706,77 kr pr stk inkl befestigelse	40-50	600mm	Spennoon Pris 420 pr svulle ved bygging i 1998, ref bok om GMB s 34. Ikke byttet svulle hittil på GMB
Befestigelse	Pandrol Fastclip FE	6667 / km spor	18 kr pr stk	40-50		
Ballast	31,5-63 mm Pukk	ca 3500 m ³ /km spor	100.000 kr /vett	30-50 30 år i praksis	iht https://trv.jbv.no/ta/Overbygning/Ballast 700mm	Fraisjon 25-63 Pukksett s 30 vognen a 40 m ³ => 100.000 kr ferdig utgjort

Bygging - Spor			
Informasjonselement	Byggekostnader f.eks kr/km for overbygning	Merknader (angi enhet, f.eks. kr/km)	Timerater for bygging
Totale kostnader Spor (inkl skinner, svuller, befestigelse, ballast)			NOU1999:28 Utbyggingkostnader Kjørvevi GMB: 6243 mill 1998-kr

Bygging - Generelt	
Relevante forhold knyttet til bygging	Fyll inn beskrivelse
	Banverket Industridivisjonen bygget sporet, ref bok om GMB s 34. BOK: Historien om Gardermobanen, Ivar Selne, Gazette bok, Oslo 1999 (ISBN 82-994466-0-0)

Vedlikehold - Korrektiv KV						
Informasjonselement	Føl som krever KV Antall pr år	Mann-timer for å reparere Gjennomsnittlig timer pr feil, inkl reise, fellsåking, felling, testing	Timerater for vedlikehold	Kostnader for reservederer til KV Sum pr år	Øvrige logistikk og administrasjon Gjennomsnittlig kostnader pr år knyttet til KV	Merknader
Skinne		Et skift pr skinnelapp 10-40m = 60.000 inkl folk, maskiner og skinnelapp			2014: Total pris for stykkbytte av skinne 40-120m (inkl lastning, utkjøring, sveising, andre fag): 492.000 for 6 feil (prognose) = 82.000 pr stk inkl alt	Bytte v/feil (funnet med UL); 8-10 skinnelapp pr år
Svulle		Stikkbytte på Hovedbanen koster 12407 inkl svulle og arbeid (ikke utført slike på GMB foreløpig)				
Befestigelse						
Ballast						
Generelt på spor						

Vedlikehold - Forebyggende FV (kalender/tids-baserte intervaller)						
Informasjonselement	Kalenderbaserte FV - aktiviteter Antall pr år (angi enhet, f.eks. pr km spor)	Mann-timer for å utføre FV Gjennomsnittlig timer pr aktivitet, inkl reise, utførelse, testing	Timerater for vedlikehold	Kostnader for reservederer til FV Sum pr år	Øvrige logistikk og administrasjon Gjennomsnittlig kostnader pr år knyttet til FV	Merknader
Skinne	Sliping hvert 5. år		650 kr/time	1000kr/m 60 kg/m		Kjører 3 km/t i skift på 4t (dvs. inkl 12 km/skift) 8 skift pr år for en delstrekning. Hele strekningen i løpet av 5 år. Pris 350.000 pr skift (= 850*8 = 2,8 mill pr år)
Svulle			650 kr/time	1800-2000kr for svulle inkl befestigelse og bytte, 1000kr restbv inklert i svulle		
Befestigelse			650 kr/time			
Ballast	Påfyll etter sporjustering og pakmaskin		650 kr/time	200kr/m ³		regner 2m ³ /m (Dette vil variere mye med tykkelse)
Generelt på spor			650 kr/time			

Vedlikehold - Tilstandsbasert TBV (tilstandsbasert forebyggende vedlikehold, tilstandskontroll og -overvåking)						
Informasjonselement	Tilstandsbaserte FV - aktiviteter Antall pr år (angi enhet, f.eks. pr km spor)	Mann-timer for å utføre Gjennomsnittlig timer pr aktivitet, inkl reise, kontroll, utførelse, testing	Timerater for vedlikehold	Kostnader for reservederer til TBV Sum pr år	Øvrige logistikk og administrasjon Gjennomsnittlig kostnader pr år knyttet til TBV	Merknader
Skinne						
Svulle						Måkeovervåking 6x pr år
Befestigelse						
Ballast						
Generelt på spor						

Vedlikehold - Generelt	
Erfaringer fra vedlikehold;	Fyll inn beskrivelse
- var planlagt vedlikehold tilstrekkelig, - har det vært en utvikling gjennom årene	3,5 - 4t hvitt tid pr døgn (natt) Skinnesliping - erfaring at dette må gjøres hvert 5. år (hvert 3. år i tunnel). Nye punktfeil de første årene, har stabilisert seg. Rifledere som oppstår på skinnen - slipes velk
Hvilke optimaliseringer er utført; - endringer i omfang eller frekvenser - tekniske løsninger/komponenter/verktøy - organisatoriske endringer, planlegging	GMB var et pilotprosjekt med dobbeltspor høyhastighetsbane; Kontrakter på vedlikehold Fri konkurranse av vedlikeholdet. JBV Drift vant denne på alle fag JBV datt i en forvaltningsdel og et driftsapparat; ending i 2005-6 -> ble mer en enhet etter det.
Andre relevante forhold knyttet til vedlikehold	Data registrert i gamle Banedata (Maximo) frem til ca 2010. Gradvis overgang til nye Banedata fra 2006.

© spørsmål kontakt:
vind.hofgaard
oh@relliers.no, M: 90063029

Informasjonsinnsamling_v1_jan_2016_Sammenfittl_2016-03-21 / Samlet input LCC GMB

Utfylt samleversjon pr mars 2016.

I tillegg har jeg fått data via møter og korrespondanse med kilder i Jernbaneverket, og via søk i litteratur og på internett.

Masteroppgave: LCC for ballastert spor (NTNU v2016)

Skjema for innsamling av data for LCC-analyse

Skjema er utfyllt av (Navn)	Toftaker, Teigen, Kvemmo	Returert skjema til:	Student NTNU Master lerbane
Stilling, Organisasjon		Øvind H Hofgaard	Seniorrådgiver Reilers Norge, Railiconsult
Tlf		90063029	
E-post		ovind.hofgaard@reilers.no	
Dato	21.02.2016		

Banestrekning	Gardermobanen
---------------	---------------

Informasjonselement	Betegnelser	Angi for Gardermobanen	Merknader
Overbygningssklasse	A, B, C, C+, D, Ofotbanen	D	
Kvalitetsklasse	K0, K1, K2, K3, K4, K5	K0	K0 i hovedspor. Hastighet > 210km/h

Bygging - komponenter	Typebetegnelse	Mengder på strekningen	Pris pr enhet i 2016	Levetid	Annen info	Merknader
Informasjonselement	Angi typebetegnelse, skinneprofil, siviltype, etc	f.eks. antall/mengde pr km	(angi enhet, stk eller f.eks. km spor)	for utbytte av komponent, forutsatt at vedlikehold er gjennomført (år)	svillevstand, ballasttykkelse, etc	
Skinne	60E1		54910 kr/120m skinne (= 458 kr/m)	40-50	iht. EN 13674-1	Voest Alpine Schienen, Østerrike Stikkbyttet i tunnel ++ Totalt ca 6000 løpemeter byttet (10-120 meters lengder), hovedsakelig i Romeriksporten.
Svulle	NSB 95 Bet-NSB95 FC = JBV60FE	1667 / km spor	706,77 kr pr stk inkl befestigelse	40-50	600mm	Spennon Pris 420 pr svulle ved bygging i 1998, ref bok om GMB s 34. Ikke byttet sviller iht til på GMB
Befestigelse	Pandrol Fastclip FE	6667 /km spor	18 kr pr stk	40-50		
Ballast	3+5-63 mm Pukk	ca 2500 m ³ /km spor	100.000 kr /sett	30-50 30 år i praksis	iht https://trv.jbv.no/ts/Overbygning/Ballast	Fraksjon 25-63 Pukksett = 10 vogner a 40 m ³ => 100.000 kr ferdig utkjørt

Bygging - Spor	Byggekostnader	Merknader	Timerater for bygging
Informasjonselement	f.eks. kr/km for overbygning	(angi enhet, f.eks. kr/km)	
Totale kostnader Spor (inkl skinner, sviller, befestigelse, ballast)			

NOU1999:28 Utbyggingskostnader kjøprevel GMB: 6243 mill 1998-ki

Bygging - Generelt	Fyll inn beskrivelse
Relevante forhold knyttet til bygging	Banverket Industridivisjonen bygget sporet, ref bok om GMB s 34. BOK: Historien om Gardermobanen, Ivar Sekre, Gazette bok, Oslo 1999 (ISBN 82-994466-0-0)

Vedlikehold - Korrektivt	KV	Informasjonselement	Fell som krever KV Antall pr år	Mann-timer for å reparere Gjennomsnittlig timer pr feil, inkl reise, fellsøking, feilretting, testing	Timerater for vedlikehold	Kostnader for reservedeler til KV Sum pr år	Øvrige logistikk og administrasjon Gjennomsnittlig kostnader pr år knyttet til KV	Merknader
Skinne				Et skift pr skinnelapp 10-40m = 60.000 inkl folk, maskiner og skinnelapp			2014: Total pris for stykkbytte av skinne 40-120m (inkl lastning, utkjøring, sveising, andre fag): 492.000 for 6 feil (prognose) = 82.000 pr stk inkl alt	Bytte v/feil (funnet med UL): 8-10 skinnelapp pr år
Svulle				Stikkbytte på hovedbanen koster 12407 inkl svulle og arbeid (ikke utført slike på GMB foreløpig)				
Befestigelse								
Ballast								
Generelt på spor								

Vedlikehold - Forebyggende	FV (kalender/tids-baserte intervaller)	Informasjonselement	Kalenderbaserte FV - aktiviteter Antall pr år (angi enhet, f.eks. pr km spor)	Mann-timer for å utføre FV Gjennomsnittlig timer pr aktivitet, inkl reise, utførelse, testing	Timerater for vedlikehold	Kostnader for reservedeler til FV Sum pr år	Øvrige logistikk og administrasjon Gjennomsnittlig kostnader pr år knyttet til FV	Merknader
Skinne			Sliping hvert 5. år		650 kr/time	1000kr/m 60 kg/m		Kjører 3 km/t i skift på 4t (dvs inntil 12 km/skift) 8 skift pr år for en delstrekning. Hele strekningen i løpet av 5 år. Prsi 350.000 pr skift (= 350*8 = 2,8 mill pr år)
Svulle					650 kr/time	1800-2000kr for svulle inkl befestigelse og bytte, 1000kr utstyr		
Befestigelse			Påfyll etter sporjustering og pakmaskin		650 kr/time	200kr/m*3		
Ballast					650 kr/time			
Generelt på spor					650 kr/time			regner 2m³/3/m (Dette vil variere mye med tykkelse)

Vedlikehold - Tilstandsbasert	TBV (tilstandsbasert forebyggende vedlikehold, tilstandskontroll og overvåking)	Informasjonselement	Tilstandsbaserte FV - aktiviteter Antall pr år (angi enhet, f.eks. pr km spor)	Mann-timer for å utføre FV Gjennomsnittlig timer pr aktivitet, inkl reise, kontroll, utførelse, testing	Timerater for vedlikehold	Kostnader for reservedeler til TBV Sum pr år	Øvrige logistikk og administrasjon Gjennomsnittlig kostnader pr år knyttet til TBV	Merknader
Skinne								
Svulle								
Befestigelse								
Ballast								
Generelt på spor								Målevognkjøring 6x pr år

Vedlikehold - Generelt	Fyll inn beskrivelse
Erfaringer fra vedlikehold;	3-5 - 4t hvit tid pr døgn (natt)
- var planlagt vedlikehold tilstrekkelig.	Skinnesliping - erfaring at dette må gjøres hvert 5. år (hvert 3. år i tunnel).
- har det vært en utvikling gjennom årene	Mye punktefeil de første årene, har stabilisert seg. Riflebeiger som oppstår på skinnen - slipes vekk
Hvilke optimaliseringer er utført;	GMB var et pilotprosjekt med dobbeltspor høyhastighetsbane; Kontrakter på vedlikehold
- endringer i omfang eller frekvenser	Fri konkurranse av vedlikeholdet. JBV Drift vant denne på alle fag
- tekniske løsninger/komponenter/verktøy	JBV delt i en forvaltningsdel og et driftsapparat; endring i 2005-6 -> ble mer en enhet etter det.
- organisatoriske endringer, planlegging	
Andre relevante forhold knyttet til vedlikehold	Data registrert i gamle Bamedata (Maximo) frem til ca 2010. Gradvis overgang til nye Bamedata fra 2006.

Vedlegg 3 Banedata

I arbeidet med masteroppgaven fikk jeg gjort uttrekk fra Banedata Innsyn. I dette vedlegget finnes oversikt over hvilke rapporter jeg hentet ut, eksempler på skjermbilder fra Banedata og utvalgte oversikter fra rapportene som jeg bearbeidet videre og benyttet i masteroppgaven.

Anleggsregisteret i Banedata er delt opp i 2 nivåer. Det øverste nivået består av 6 grupper; KL-anlegg, Lavspenning, Overbygning, Signalsystem, Tele og Underbygning. På nivået under finnes alle (236) tilhørende komponenter som er koblet sammen med tilhørende overordnede gruppe (grupper).

Baner og strekninger

Jeg hentet rapporter fra følgende banestrekninger:

- Gardermobanen B23-0270 (Oslo S) – Gardermoen (GMB) og
- Østfoldbanen B01-0550 (Ski) – Moss (ØB vestre linje).

Hovedfokus var på Gardermobanen, men data fra Østfoldbanen ble benyttet for sammenligningsformål.

Komponenter

Videre avgrensning var KO = Overbygning, og objekttypene

- Skinne (SKI),
- Sville (SVI),
- Befestigelse (BEF) og
- Ballast (BLL).

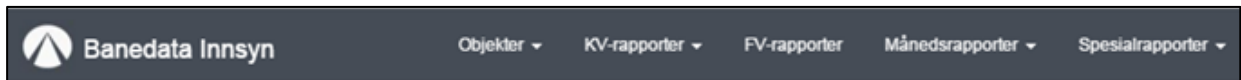
Registreringsperiode

Rapporter fra Banedata inneholdt alle registreringer for årene i perioden 2009 – 2015, på de to strekningene.

Rapporter

Rapportene jeg fikk ut inneholdt oversikt over omfang av forebyggende og korrektivt vedlikehold, inngående objekter og lokasjoner. Jeg kunne også lese ut objektspesifikasjoner, stedsobjekter og målevognsdata. I tillegg fikk jeg data om avstander, horisontalgeometri og

hastigheter på banestrekningene. Nedenfor beskrives hver rapport med tilhørende utsnitt av skjermbilde.



FV-rapport: Rapporten presenterer en liste med arbeidsordrer (FVK – Forebyggende vedlikehold kontroll).

FV-rapport

Velg fagområde
KO - Overbygning

Velg hierarki
 Bane Område

Velg banenummer ?
0270 (Oslo S) - Gardermoen(GMB)

Velg tilleggsfiltere ?
Ønsket start dato
Fra dato ? Til dato
04.02.2016

Rapporten presenterer en liste med arbeidsordrer (FVK – Forebyggende vedlikehold kontroll) innenfor det valgte søkeområdet.

Resultat: 13126 (Viser de 200 første)

ID	Lokasjon	Km	Objekttype	Statusdato	Status	Beskrivelse
31389965	0270-00001	3.79	SKI	09.05.2007 22:30:46	AVBRUTT	12 mnd kontroll av Skinner Generell
33411900	0270-00001	3.79	SKI	27.02.2008 18:37:13	AVBRUTT	24 mnd kontroll av Skinner Generell
38376214	0270-00001	3.79	SKI	30.12.2009 09:42:37	LUKKET	12 mnd kontroll av Skinner Generell
41276003	0270-00001	3.79	SKI	27.05.2010 12:12:14	LUKKET	12 mnd kontroll av Skinner Generell
43891295	0270-00001	3.79	SKI	15.08.2011 12:18:59	LUKKET	12 mnd kontroll av Skinner Generell

KV-rapport: KV (korrektivt vedlikehold eller feil) henter ut all informasjon om disse hendelsene. Her kommer både akutt feil (AKV) og utsatt vedlikehold (UKV) med.

KV-rapport

Overbygning

Velg hierarki
 Bane Område

Velg banenummer ?
0270 (Oslo S) - Gardermoen(GMB)

Velg tilleggsfiltere ?
Velg objekttype
6 valgt

Fra dato ? Til dato
04.02.2016

KV (korrektivt vedlikehold eller feil) henter ut all informasjon om disse hendelsene. Her kommer både akutt feil (AKV) og utsatt vedlikehold (UKV) med.

Resultat: 453 (Viser de 200 første)

ID	Lokasjon	Lokasjonsbeskrivelse	Km	Beskrivelse
30063288	0270-02070	Lillestrøm stasjon	19.83	Solslyng, lengde 0 m
30063289	0270-02070	Lillestrøm stasjon	19.83	Solslyng, lengde 0 m
30063290	0270-02070	Lillestrøm stasjon	19.9	Solslyng, lengde 0 m
30063292	0270-02070	Lillestrøm stasjon	18.17	Solslyng, lengde 0 m

Objekt: Inneholder en komplett liste over informasjon pr objekt.

Objekt	Lokasjon	Beskrivelse	Navn/Nr	Fra	Til	Sportype	Spornummer	Side fra	Side til	Avst. spormidt
KO-SKI-000116	0220-00004	Skinne, S49, Strømmen - Lillestrøm	S49	19.211	19.594	Venstre hovedspor	2	Høyre	Høyre	0,718
KO-SKI-000137	0270-00001	Skinne, spor O-V, H.skinne, Oslo S - Hellerud	spor O-V, H.skinne	3.79	5.28	Høyre hovedspor	1	Høyre	Høyre	0,718
KO-SKI-009043	0220-00004	Skinne, S49, Strømmen - Lillestrøm	S49	19.211	19.594	Venstre hovedspor	2	Venstre	Venstre	0,718
KO-SKI-010362	0270-02070	Skinne, HB spor 6 H ski, Lillestrøm stasjon	HB spor 6 H ski	19.7321	20.024	Høyre hovedspor	6	Høyre	Høyre	0,717
KO-SKI-010364	0270-02070	Skinne, HB spor 6 V ski, Lillestrøm stasjon	HB spor 6 V ski	19.7321	20.024	Høyre hovedspor	6	Venstre	Venstre	0,717
KO-SKI-010368	0270-02070	Skinne, HB spor 5 H ski, Lillestrøm stasjon	HB spor 5 H ski	19.7321	19.985	Venstre hovedspor	5	Høyre	Høyre	0,717

Lokasjon: Inneholder oversikt over baner, banestrekninger, delstrekninger og km-tall.

Banenummer				Delstrekning					
Id	Navn	Fra km	Til km	Status	Prioritet	Id	Navn	Fra km	Til km
0270	(Oslo S) - Gardermoen(GMB)	3,79	55,122	IDRIFT	1	0270-00001	Oslo S - Hellerud	3,79	5,28
0270	(Oslo S) - Gardermoen(GMB)	3,79	55,122	IDRIFT	1	0270-02210	Hellerud stasjon	5,28	6,931
0270	(Oslo S) - Gardermoen(GMB)	3,79	55,122	IDRIFT	1	0270-00002	Hellerud - Lillestrøm	6,931	13,229
0270	(Oslo S) - Gardermoen(GMB)	3,79	55,122	IDRIFT	1	0270-02070	Lillestrøm stasjon	13,229	26,181
0270	(Oslo S) - Gardermoen(GMB)	3,79	55,122	IDRIFT	1	0270-00003	Lillestrøm - Kløfta	25,088	34,812
0270	(Oslo S) - Gardermoen(GMB)	3,79	55,122	IDRIFT	1	0270-02110	Kløfta stasjon	34,812	38,008
0270	(Oslo S) - Gardermoen(GMB)	3,79	55,122	IDRIFT	1	0270-00004	Kløfta - Langeland	38,008	41,358
0270	(Oslo S) - Gardermoen(GMB)	3,79	55,122	IDRIFT	1	0270-02118	Langeland stasjon	41,358	46,03
0270	(Oslo S) - Gardermoen(GMB)	3,79	55,122	IDRIFT	1	0270-00005	Langeland - Gardermoen	46,03	49,846
0270	(Oslo S) - Gardermoen(GMB)	3,79	55,122	IDRIFT	1	0270-02260	Gardermoen stasjon	49,846	55,122

Avstand: Viser avstand mellom to stasjoner (stasjonsmid). Kjedebrudd vises også, og avstander er korrigert for dette.

Fra stasjon			Til stasjon			Avstand	Sum kjedebrudd (m)
Id	Navn	Midtpunkt	Id	Navn	Midtpunkt		
0270-02210	Hellerud stasjon	6,2	0270-02260	Gardermoen stasjon	51,85	45,65	3772
Objekt	Lokasjon	Beskrivelse	Km	Bruddlengde (m)	Sportype	Spornummer	
KO-KJE-000006	0270-02070	Kjedebrudd, km 17,220/20,339 H, Lillestrøm stasjon	17,22	3119	Høyre hovedspor	3	
KO-KJE-000008	0270-00003	Kjedebrudd, Lindeberg H, Lillestrøm - Kløfta	31	339	Høyre hovedspor	1	
KO-KJE-000010	0270-00004	Kjedebrudd, Langeland H, Kløfta - Langeland	40,91	314	Høyre hovedspor	1	

Horisontal sporgeometri: Rapporten er en enkel variant av løfteskjema, og kan vise hastigheter pr km og retning, samt skiltavstander.

OBJEKTID	Banestrekning	Km	Hastighet	Pluss hastighet	Krengeløshastighet	Skiltavstand	Retningskode
KO-HAS-004467	0270	3.79	210	0	0	0	Hastighet stigende km
KO-HAS-004253	0270	3.79	210	0	0	0	Hastighet stigende km
KO-HAS-004468	0270	6.492	110	0	0	3006	Hastighet synkende km
KO-HAS-004469	0270	6.492	110	0	0	3006	Hastighet synkende km
KO-HAS-004470	0270	14.511	160	0	0	1800	Hastighet stigende km
KO-HAS-004471	0270	14.511	160	0	0	1800	Hastighet stigende km
KO-HAS-004472	0270	16.311	210	0	0	0	Hastighet synkende km
KO-HAS-004282	0270	16.311	210	0	0	0	Hastighet synkende km
KO-HAS-004283	0270	17.04	190	0	0	0	Hastighet synkende km
KO-HAS-004473	0270	17.04	190	0	0	0	Hastighet synkende km
KO-HAS-004479	0270	18.885	80	0	0	823	Hastighet stigende km
KO-HAS-004478	0270	18.885	80	0	0	823	Hastighet stigende km
KO-HAS-004481	0270	19.673	90	0	0	0	Hastighet synkende km
KO-HAS-004480	0270	19.673	90	0	0	0	Hastighet synkende km

Feil fra målevogn / Roger 1000: Viser feil rapportert fra målevogn, delt i vår- og høstkjøring.

Feil fra målevogn/Roger 1000

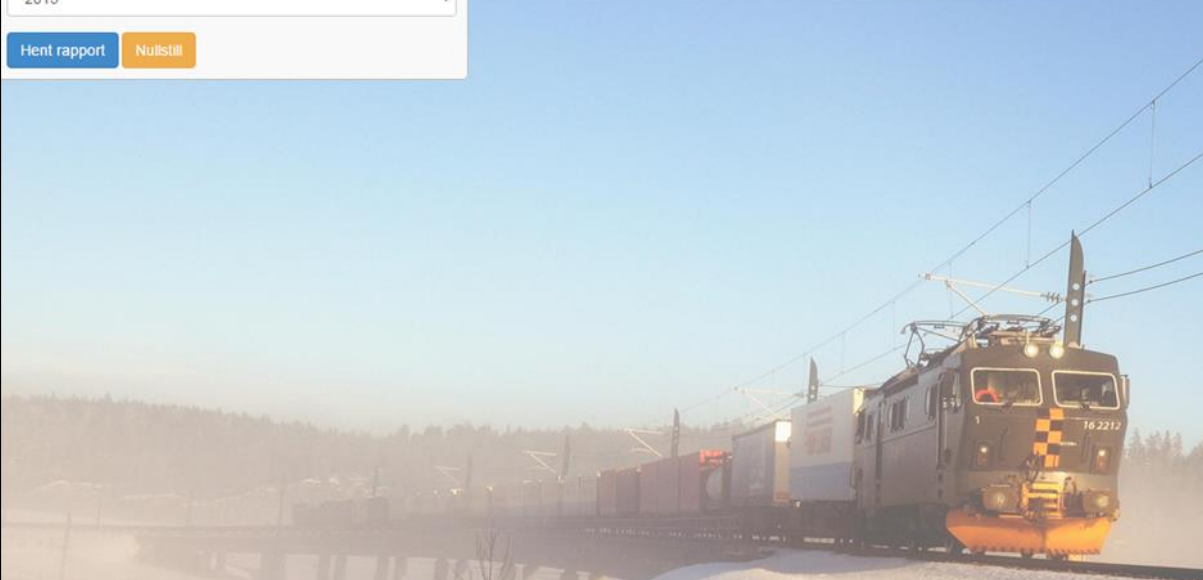
Velg år

2015

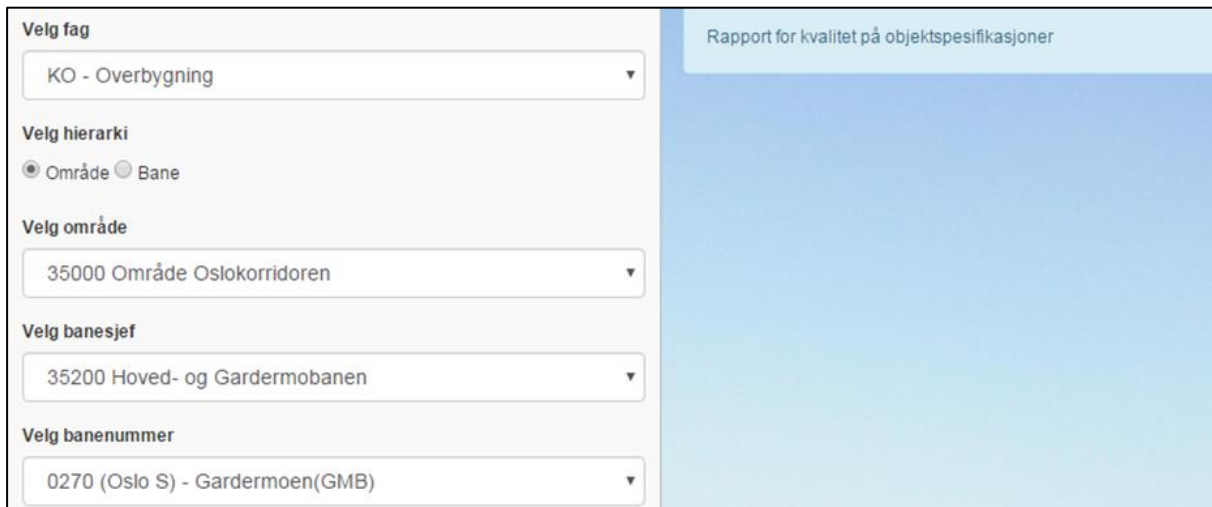
Hent rapport

Nullstill

Denne rapporten viser feil rapportert fra Målevogn/Roger 1000. Rapporten deles i vår- og høstkjøring med 1. juli som skille.



Objektspesifikasjoner: Rapport for kvalitet på objektspesifikasjoner.



Velg fag
KO - Overbygning

Velg hierarki
 Område Bane

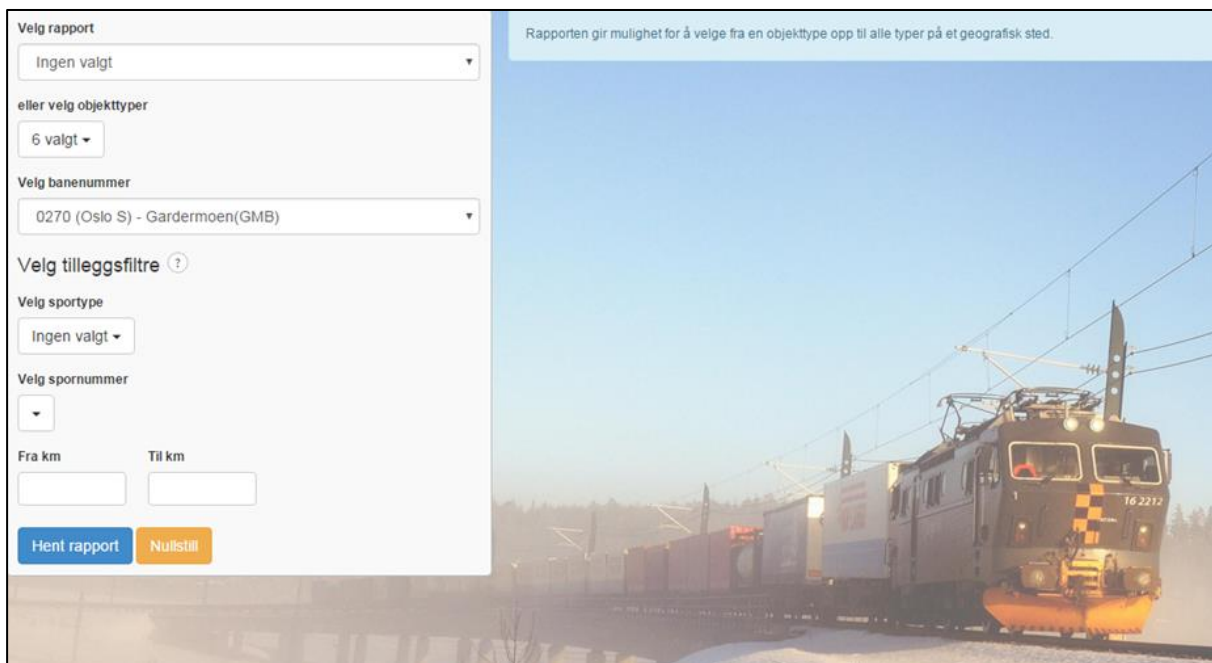
Velg område
35000 Område Oslokorridoren

Velg banesjef
35200 Hoved- og Gardermobanen

Velg banenummer
0270 (Oslo S) - Gardermoen(GMB)

Rapport for kvalitet på objektspesifikasjoner

Stedobjekter: Rapport som gir mulighet for å velge fra en objekttype opp til alle på et geografisk sted.



Velg rapport
Ingen valgt

eller velg objekttyper
6 valgt

Velg banenummer
0270 (Oslo S) - Gardermoen(GMB)

Velg tilleggsfiltere ?

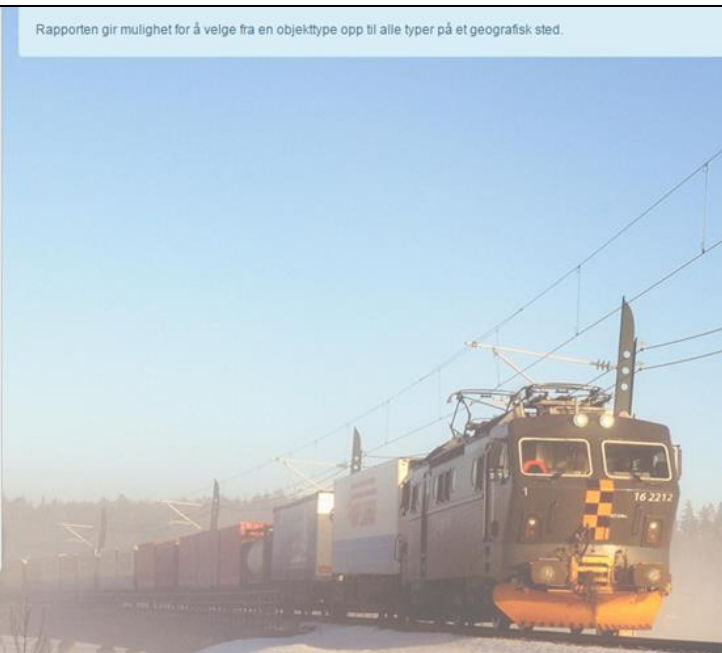
Velg sportype
Ingen valgt

Velg spornummer
▼

Fra km Til km

Hent rapport Nulstill

Rapporten gir mulighet for å velge fra en objekttype opp til alle typer på et geografisk sted.



Utdrag fra rapporter

Bearbejdede data, tabeller etc.

FV-rapport Gardermobanen

innsynHendelse_FVrap KO-Overbygning 0270 fra første reg tom 040216_modifisert							
FV-rapp	B23-0270 (GMB)		KO = Overbygning				
Fra km	3,79		FVK = Arbeidsordrer FVK (FV kontroll aktiviteter)				
Til km	55,122						
51,332 km Dobbeltspor							
Objekt	Antall poste	Feilretting avslutte	Antall	Beskrivelse	Antall		
SKI	1262	2015	622	12 mnd kontroll av 7: Skinner <=160km/h <2MGT/år	4		
				12 mnd kontroll av 7: Skinner <=160km/h 2-15MGT/år	213		
				12 mnd kontroll av 7: Skinner >=160km/h	405		
				2014	211	12 mnd kontroll av 7: Skinner <=160km/h 2-15MGT/år	211
				2013	2	12 mnd kontroll av 7: Skinner <=160km/h 2-15MGT/år	2
				2012	2	12 mnd kontroll av 7: Skinner <=160km/h 2-15MGT/år	2
				2011	56	12 mnd kontroll av Skinner Generell	56
				2010	85	12 mnd kontroll av Skinner Generell	85
				2009	85	12 mnd kontroll av Skinner Generell	85
				Tomme (2008 m.fi)	199	12 mnd kontroll av Skinner Generell	114
						24 mnd kontroll av Skinner Generell	85
				SVI	760	2015	210
36 mnd kontroll av 8.3 Tresviller	2						
2014	41	12 mnd kontroll av 8.2: Betongsviller	41				
2013	30	12 mnd kontroll av 8.2: Betongsviller	30				
2012	91	12 mnd kontroll av 8.2: Betongsviller	69				
		36 mnd kontroll av 8.3 Tresviller	22				
2011	42	12 mnd kontroll av 8.2: Betongsviller	42				
2010	63	12 mnd kontroll av 8.2: Betongsviller	63				
2009	86	12 mnd kontroll av 8.2: Betongsviller	63				
		36 mnd kontroll av 8.3 Tresviller	23				
Tomme	197	12 mnd kontroll av 8.2: Betongsviller	151				
		12 mnd kontroll av 8.3 Tresviller	46				
BEF	6	2013	6	60 mnd kontroll av 8.2.a 1: Befestigelse på betongsviller R>600 m Pandro	6		
BLL	631	2015	199	12 mnd kontroll av 12.2: Ballast	197		
				48 mnd kontroll av 12.2: Ballast	2		
				2014	5	12 mnd kontroll av 12.2: Ballast	1
						48 mnd kontroll av 12.2: Ballast	4
				2013	25	12 mnd kontroll av 12.2: Ballast	25
				2012	67	12 mnd kontroll av 12.2: Ballast	67
				2011	53	12 mnd kontroll av 12.2: Ballast	53
				2010	67	48 mnd kontroll av 12.2: Ballast	67
				2009	67	12 mnd kontroll av 12.2: Ballast	67
				Tomme	148	12 mnd kontroll av 12.2: Ballast	81
						24 mnd kontroll av 12.2: Ballast	67

FV-rapport Østfoldbanen

FV-rapp							
B01-0550 (ØB vestre linje - (Ski) - Moss)							
	Fra km	25,5820		KO = Overbygning			
	Til km	61,4750		FVK = Arbeidsordrer FVK (FV kontroll aktiviteter)			
		35,893	km	Dobbeltspor			
Objekt	Antall poste	Feilretting avslutte	Antall	Beskrivelse	Antall		
SKI	3176	2016 tom 4. feb	6	12 mnd kontroll av 7: Skinner <=160km/h <2MGT/år	1		
				12 mnd kontroll av 7: Skinner <=160km/h >15MGT/år	5		
				2015	313	12 mnd kontroll av 7: Skinner <=160km/h <2MGT/år	86
						12 mnd kontroll av 7: Skinner <=160km/h >15MGT/år	227
				2014	330	12 mnd kontroll av 7: Skinner <=160km/h <2MGT/år	88
						12 mnd kontroll av 7: Skinner <=160km/h >15MGT/år	242
				2013	310	12 mnd kontroll av 7: Skinner <=160km/h <2MGT/år	68
						12 mnd kontroll av 7: Skinner <=160km/h >15MGT/år	242
				2012	311	12 mnd kontroll av 7: Skinner <=160km/h <2MGT/år	89
						12 mnd kontroll av 7: Skinner <=160km/h >15MGT/år	222
				2011	313	12 mnd kontroll av Skinner Generell	313
				2010	626	12 mnd kontroll av Skinner Generell	626
				2009	0		
				2008	149	12 mnd kontroll av Skinner Generell	147
						24 mnd kontroll av Skinner Generell	2
				2007	188	24 mnd kontroll av Skinner Generell	173
						Skinner Generell	15
				Tomme	630	12 mnd kontroll av 7: Skinner <=160km/h <2MGT/år	111
						12 mnd kontroll av 7: Skinner <=160km/h >15MGT/år	230
						12 mnd kontroll av Skinner Generell	166
			24 mnd kontroll av Skinner Generell	123			
SVI	1981	2015	261	12 mnd kontroll av 8.2: Betongsviller	167		
				36 mnd kontroll av 8.3 Tresviller	94		
				2014	168	12 mnd kontroll av 8.2: Betongsviller	168
				2013	167	12 mnd kontroll av 8.2: Betongsviller	167
				2012	220	12 mnd kontroll av 8.2: Betongsviller	166
						36 mnd kontroll av 8.3 Tresviller	54
				2011	166	12 mnd kontroll av 8.2: Betongsviller	166
				2010	220	12 mnd kontroll av 8.2: Betongsviller	166
						36 mnd kontroll av 8.3 Tresviller	54
				2009	166	12 mnd kontroll av 8.2: Betongsviller	166
				2008	216	12 mnd kontroll av 8.2: Betongsviller	166
						12 mnd kontroll av 8.3 Tresviller	50
				2007	119	12 mnd kontroll av 8.2: Betongsviller	107
						12 mnd kontroll av 8.3 Tresviller	12
				Tomme	278	12 mnd kontroll av 8.2: Betongsviller	230
						12 mnd kontroll av 8.3 Tresviller	46
			36 mnd kontroll av 8.3 Tresviller	2			
BEF	204	2014	108	36 mnd kontroll av 8.2.b 1: Befestigelse på betongsviller R<600 m Pandrol E/PR	87		
				60 mnd kontroll av 8.2.a 1: Befestigelse på betongsviller R>600 m Pandrol E/PR	1		
				60 mnd kontroll av 8.2.a 1: Befestigelse på betongsviller R>600 m Pandrol Fastclip	16		
				60 mnd kontroll av 8.3.a 2: Befestigelse på tresviller R > 600m Hey-Back	4		
				2013	55	36 mnd kontroll av 8.2.b 1: Befestigelse på betongsviller R<600 m Pandrol E/PR	10
						60 mnd kontroll av 8.2.a 1: Befestigelse på betongsviller R>600 m Pandrol E/PR	23
						60 mnd kontroll av 8.3.a 2: Befestigelse på tresviller R > 600m Hey-Back	22
				2010	32	ingen beskrivelse	32
				2009	1	ingen beskrivelse	1
				Tomme	8	60 mnd kontroll av 8.2.a 1: Befestigelse på betongsviller R>600 m Pandrol E/PR	5
			60 mnd kontroll av 8.3.a 2: Befestigelse på tresviller R > 600m Hey-Back	3			
BLL	1314	2016 tom 4. feb	3	48 mnd kontroll av 12.2: Ballast	3		
				2015	139	48 mnd kontroll av 12.2: Ballast	139
				2014	146	12 mnd kontroll av 12.2: Ballast	146
				2013	141	12 mnd kontroll av 12.2: Ballast	141
				2012	148	12 mnd kontroll av 12.2: Ballast	148
				2011	147	48 mnd kontroll av 12.2: Ballast	147
				2010	146	12 mnd kontroll av 12.2: Ballast	146
				2009	147	24 mnd kontroll av 12.2: Ballast	147
				2008	146	12 mnd kontroll av 12.2: Ballast	146
				Tomme	151	12 mnd kontroll av 12.2: Ballast	8
			48 mnd kontroll av 12.2: Ballast	143			

KV-rapport Gardermobanen

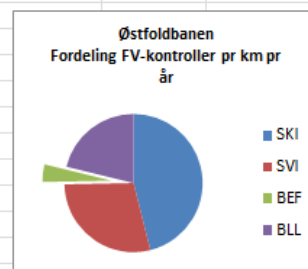
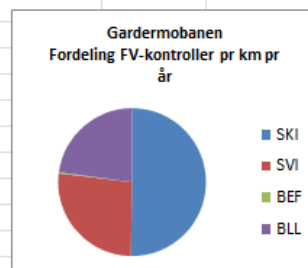
innsynHendelse_KVrap KOalleKOfeil 0270 alle status 6 obj fra første reg tom 040216					
KV-rapp	B23-0270 (GMB)		KO = Overbygning		
Fra km	20,95	KVRap = Alle KO feil (KV rapporteringer)			
Til km	51,85				
30,9 km Dobbeltspor i dagsone (Lillestrøm - Gardermoen)					
120 Ant rapporteringer (kan være flere rapporter på samme feil)					
Objekt	Antall poste	Feilretting avslutte	Antall	Feiltype	Antall
SKI	88	2015	45	Skinnefeil	41
				Andre KO-feil	4
		2014	6	Skinnefeil	3
				Andre KO-feil	2
				Solslyng	1
		2013	19	Skinnefeil	14
				Andre KO-feil	3
				Skinnebrudd	1
				Vindskjevhet	1
		2012	7	Skinnefeil	5
				Andre KO-feil	2
		2011	2	Skinnefeil	2
		2010	7	Skinnefeil	3
				Skinnebrudd	4
		2009	2	Skinnefeil	2
				x	
				x	
SVI	8	2014	1	Andre KO-feil, knust sville	1
		2012	1	Sporviddefeil	1
		2009	6	Blank	6
				x	
				x	
BEF	7	2015	5	Andre KO-feil, Mangler fjær, rustnerør	5
		2014	1	Andre KO-feil	1
		2013	1	Andre KO-feil	1
				x	
				x	
BLL	17	2015	6	Andre KO-feil	6
		2014	7	Andre KO-feil, lite ballast, pumpe/vaskesville	7
		2012	3	Andre KO-feil, lite ballast	3
		2011	1	Sporviddefeil	1

KV-rapport Østfoldbanen

KV-rapp	B01-0550 (ØB vestre linje - (Ski) - Moss)				
Fra km	25,5820	KO = Overbygning			
Til km	61,4750	KVRap = Alle KO feil (KV rapporteringer)			
	35,893 km	Dobbeltspor			
686 Ant rapporteringer (kan være flere rapporter på samme feil)					
Objekt	Antall poste	Feilretting avslutte	Antall	Feiltype	Antall
SKI	112	2015	36	Skinnefeil	12
				Andre KO-feil	6
				Laskefeil	3
				Blanke, sluresår, sideslitasjem flatkjørt skinne	15
		2014	13	Skinnefeil	11
				Andre KO-feil	1
				Blanke, dryppskade	1
		2013	23	Skinnefeil	19
				Andre KO-feil	2
				Skinnebrudd	1
				Vindskjevhet	1
		2012	22	Skinnefeil	11
				Skinnebrudd	4
				Blanke, slitasje, sluresår, flatkjørte	7
		2011	13	Skinnefeil	9
				Andre KO-feil	4
		2010	2	Andre KO-feil	1
				Blanke, Sår i skinne	1
		2009	3	Sporviddefeil	1
				Blanke, sluresår	2
				x	
				x	
SVI	193	2015	29	Sporviddefeil	7
				Andre KO-feil, defekt sville, knust	9
				Blanke, defekt sville, sprekt	13
		2014	40	Sporviddefeil	1
				Andre KO-feil, defekt sville, knust, dårlig befestigelse, riss i sville	39
		2013	21	Andre KO-feil, dårlig sville, mangler klemmer, sprekt sville, dårlig skjøtef	21
		2012	32	Sporviddefeil	1
				Andre KO-feil, dårlig sville, mangler klemmer, sprekt sville, dårlig skjøtef	27
				Blanke, defekt sville, mangler bef	4
		2011	62	Sporviddefeil	14
				Andre KO-feil, dårlig sville, mangler klemmer, sprekt sville, dårlig skjøtef	48
		2010	6	Andre KO-feil, ødelagt sville, knust, sprekker	4
				Blanke, Defekt sville, dårlig svilleparti	2
		2009	3	Andre KO-feil, mangler pandrolklemmer og underlagsplater	3
BEF	69	2015	12	Sporviddefeil	3
				Andre KO-feil	1
				Blanke, mangler flesk og klemmer	8
		2014	31	Andre KO-feil, mangler klemmer og flesk	31
		2013	11	Andre KO-feil, mangler klemmer og flesk	11
		2012	5	Andre KO-feil, mangler klemmer og flesk	4
				Blanke, mangler flesk og klemmer	1
		2011	10	Sporviddefeil	9
				Andre KO-feil, mangler klemmer	1
				x	
				x	
BLL	312	2015	79	Skinnefeil	1
				Solslyng	1
				Vindskjevhet	1
				Andre KO-feil, pakke, lite ballast, lite puk, melding om sleng i spor	43
				Blanke, lite puk, etterfylle puk	33
		2014	51	Andre KO-feil, lite puk, plaskesville, forurensning	51
		2013	21	Solslyng	1
				Andre KO-feil, lite puk, fjerne søppel, is, vegetasjon, plaskesville	20
		2012	56	Andre KO-feil, lite puk,uren masse, vaskesville, vegetasjon	37
				Laskefeil	1
				Blanke, lite puk, forurenset masse	18
		2011	82	Sporviddefeil	1
				Andre KO-feil, lite puk, vegetasjon, uren ballast	80
				Blanke, lite puk	1
		2010	13	Andre KO-feil, lite puk, rep gjerde	2
				Blanke, må pakke ballasten, lite puk	11
		2009	10	Andre KO-feil, må pakke dump, skjøt	4
				Blanke, Lite puk, ,pakke skjøt, dump spv	6

Sammenligning FV mellom Gardermobanen og Østfoldbanen

Forebyggende vedlikehold						
FV						
Gardermobanen 51,332 km Dobbeltspor						
Antall FV-kontroller pr km pr år						
	SKI	SVI	BEF	BLL	Sum	
2009	1,66	1,68	0,00	0,00	1,31	4,64
2010	1,66	1,23	0,00	0,00	1,31	4,19
2011	1,09	0,82	0,00	0,00	1,03	2,94
2012	0,04	1,77	0,00	0,00	1,31	3,12
2013	0,04	0,58	0,12	0,00	0,49	1,23
2014	4,11	0,80	0,00	0,00	0,10	5,01
2015	12,12	4,09	0,00	0,00	3,88	20,08
Sum antall akt pr km pr år	20,71	10,97	0,12	0,00	9,41	41,20
Gj.snitt antall akt pr km pr år	3	2	0	0	1	6
Andel av totalsum	50 %	27 %	0 %	0 %	23 %	100 %
Østfoldbanen (Ski-Moss) 35,893 km Dobbeltspor						
Antall FV-kontroller pr km pr år						
	SKI	SVI	BEF	BLL	Sum	
2009	0,00	4,62	0,03	0,00	4,10	8,75
2010	17,44	6,13	0,89	0,00	4,07	28,53
2011	8,72	4,62	0,00	0,00	4,10	17,44
2012	8,66	6,13	0,00	0,00	4,12	18,92
2013	8,64	4,65	1,53	0,00	3,93	18,75
2014	9,19	4,68	3,01	0,00	4,07	20,95
2015	8,72	7,27	0,00	0,00	3,87	19,86
Sum antall akt pr km pr år	61,38	38,11	5,46	0,00	28,25	133,20
Gj.snitt antall akt pr km pr år	9	5	1	0	4	19
Andel av totalsum	46 %	29 %	4 %	0 %	21 %	100 %
Forholdet (ant ØB/ant GMB)	3	3	47	0	3	3



Cirka lik andelsfordeling mellom komponentene

ØB har et mye høyere antall FV-kontroller pr km på alle komponentene, ca 3 ganger så høyt som GMB

Sammenligning KV mellom Gardermobanen og Østfoldbanen

Korrektivt vedlikehold KV						
Gardermobanen						
		30,9 km Dobbeltspor i dagsone (Lillestrøm - Gardermoen)				
Antall KV-rapporter pr km pr år						
	SKI	SVI	BEF	BLL	Sum	
2009	0,06	0,19	0,00	0,00	0,26	
2010	0,23	0,00	0,00	0,00	0,23	
2011	0,06	0,00	0,00	0,03	0,10	
2012	0,23	0,03	0,00	0,10	0,36	
2013	0,61	0,00	0,03	0,00	0,65	
2014	0,19	0,03	0,03	0,23	0,49	
2015	1,46	0,00	0,16	0,19	1,81	
Sum antall akt pr km pr år	2,85	0,26	0,23	0,55	3,88	
Gj.snitt antall akt pr km pr år	0,41	0,04	0,03	0,08	0,55	
Andel av totalsum	73 %	7 %	6 %	14 %	100 %	
Østfoldbanen (Ski-Moss)						
		35,893 km Dobbeltspor				
Antall KV-rapporter pr km pr år						
	SKI	SVI	BEF	BLL	Sum	
2009	0,08	0,08	0,00	0,28	0,45	
2010	0,06	0,17	0,00	0,36	0,59	
2011	0,36	1,73	0,28	2,28	4,65	
2012	0,61	0,89	0,14	1,56	3,20	
2013	0,64	0,59	0,31	0,59	2,12	
2014	0,36	1,11	0,86	1,42	3,76	
2015	1,00	0,81	0,33	2,20	4,35	
Sum antall akt pr km pr år	3,12	5,38	1,92	8,69	19,11	
Gj.snitt antall akt pr km pr år	0,45	0,77	0,27	1,24	2,73	
Andel av totalsum	16 %	28 %	10 %	45 %	100 %	
Forholdet (ant ØB/ant GMB)	1	21	8	16	5	

Gardermobanen
Fordeling KV-rapporter pr km pr år

Østfoldbanen
Fordeling KV-rapporter pr km pr år

ØB har ca 5 ganger så høyt antall KV-rapporter pr km for disse 4 komponenttypene.
 For skinne (SKI) er det ca tilsvarende antall KV-rapporter pr km pr år på ØB som på GMB.
 For de andre komponentene er det imidlertid mye høyere antall KV-rapporter på ØB enn på GMB;
 Sville (SVI) har ca 21 x flere KV-rapporter pr km pr år, Befestigelse (BEF) har ca 8 x flere, og Ballast (BLL) har ca 15 x flere.

Vedlegg 4 Data og beregninger

I dette vedlegget finnes informasjon om bakgrunnen for tallene som er benyttet til LCC-beregningene og punktlighetsdata.

Alle data er, dersom ikke annet er nevnt, kun relatert til overbygningskomponentene skinne, sville, befestigelse og ballast.

Beregninger

Nåverdi ble beregnet med følgende formel:

$$NV = \sum_{alle} B_i \times (1 + p)^{-T_i}$$

NV = Nåverdi

B = Beløp (kostnad eller inntekt)

p = Rente (%)

T = Tid fra nåverdi tidspunktet (år)

i = År nr

Uttrykket $(1 + p)^{-T_i}$ kalles diskonteringsfaktoren.

Hvis alle de prissatte konsekvensene av et tiltak tas med i formelen, så vil NV tilsvare levetidskostnaden LCC for tiltaket.

- Det ble benyttet en analyseperiode på 60 år.
- Kalkulasjonsrenten ble satt til 4 % fast for hele analyseperioden.

Byggekostnader

For å beregne byggekostnader tok jeg utgangspunkt i byggeklosser fra KVU IC (Jernbaneverket, 2012b) der det var oppgitt at kilometerkostnad for dobbeltspor for jernbaneteknikk inklusiv signal var 35 mill kr. Basert på forskjellige fordelingsnøkler for infrastrukturen som jeg hadde fått oppgitt kom jeg frem til at overbygningen utgjorde like stor andel av kostnadene som KL, signal og tele til sammen, altså 50 %. Jeg benyttet derfor 17,5 mill kr (50 % av 35 mill kr) i nåverdiberegningen. Tallet fra KVU IC var fra 2012 (3 år før nåverditidspunktet), og jeg fikk da 2015-verdien:

$$\text{Bygging} = 17,5 \times (1 + 0,04)^{-3} = 15,56 \text{ mill kr pr kilometer dobbeltspor.}$$

Vedlikeholdskostnader

Forebyggende vedlikehold

Jeg fikk oppgitt at Forebyggende aktiviteter (f. eks. inspeksjoner og generiske rutiner) for Jernbaneverkets eget personell på Gardermobanen avd. linjen, utgjorde 12.000 timer i 2015, til en timekostnad på 675 kr/t (Kvernmo, 2016b). Dette arbeidet inkluderte ikke deler og forbruksmateriell. Jeg forutsatte i mine beregninger at dette representerte kostnadene for overbygningen. Fordelt på totalt 64 kilometer dobbeltspor på banen utgjorde da kostnader knyttet til forebyggende vedlikehold:

$$FV = 12.000 \times 675 / 64 = \text{ca } 126.000 \text{ kr pr kilometer dobbeltspor pr år.}$$

Korrektivt vedlikehold

Jeg fikk oppgitt at Korrektive aktiviteter (f.eks. feilsøking og reparasjoner) for Jernbaneverkets eget personell på Gardermobanen avd. linjen, utgjorde 15.000 timer i 2015, til en timekostnad på 675 kr/t (Kvernmo, 2016b). Dette arbeidet inkluderte ikke reservedeler brukt ved reparasjon eller bytte. Jeg forutsatte i mine beregninger at dette representerte kostnadene for overbygningen. Fordelt på totalt 64 kilometer dobbeltspor på banen utgjorde da kostnader knyttet til korrektivt vedlikehold:

$$KV = 15.000 \times 675 / 64 = \text{ca } 158.000 \text{ kr pr kilometer dobbeltspor pr år.}$$

Skinnesliping

Jeg fikk oppgitt at skinnerliping ble utført ved at hele strekningen blir slipt i løpet av 5 år før man begynner på nytt igjen (Kvernmo, 2016a). Altså slipes det ca 1/5 av strekningen hvert år. hvert 5. Årlig pris i 2015 for skinnerliping ble oppgitt til 2,8 millioner kroner, fordelt på 8 skift a 350.000 kr pr skift. Fordelt på strekningen blir prisen for skinnerliping:

$$\text{Skinnesliping} = 8 \times 350.000 / 64 = \text{ca } 46.700 \text{ kr pr kilometer dobbeltspor pr år.}$$

Målevognskjøring

Målevognskjøring utført på Gardermobanen inneholder mange flere aktiviteter enn bare måling av data knyttet til skinne og overbygning. Målevognen Roger 1000 kjøres 6 ganger i året på Gardermobanen, på hvert spor. Jeg fikk oppgitt at Gardermobanen totalt i 2015 ble belastet med ca 1,48 millioner kroner, og siden det var vanskelig å anslå prisen på hver type

måling, benyttet jeg den totale kostnaden i beregningen (Ingvaldsen, 2016). I forhold til totalt antall kjørte kilometer pr år, oppgitt til 530 enkeltspor-km, regnet jeg ut følgende kilometerpris for målevogn:

Målevogn = $1.477.000 / (530 / 2)$ (pga dobbeltspor) = ca 5.600 kr pr km dobbeltspor pr år.

Ballastrensing

Kostnaden for ballastrensing har jeg estimert ut ifra presentasjonen *Landsdekkende maskinelt sporvedlikehold, Nøkkeltall ballastrens 2015* fra Morten Tanggaard (JBV) (Tanggaard, 2015). Meterprisene for ballastrens varierer mye avhengig av arbeidstid pr skift (disponeringstid på sporet), pris på ballastpukk (lokale variasjoner), pris på avhending av ballastavfall og mengde finstoffinnhold. Her oppgis det kostnader for ballastrens på Gjøvikbanen, Østfoldbanen og Dovrebanen, med en gjennomsnittspris på ca 3570 kr pr løpemeter. Omregnet til kilometerpris for dobbeltspor blir det:

Ballastrensing = $3570 \times 2 \times 1000$ = ca 7.133.000 kr pr kilometer dobbeltspor.

Ballastrensing forutsettes utført hvert 20. år, og kostnaden tas derfor med i år 20, 40 og 60 etter oppstart. Det tilsvarer i år 2, 22 og 42 etter det året angitte priser var fra (2015).

Skinnebytte

Jeg fikk opprinnelig oppgitt pris for stikkbytter av skinner, utført som en korrektiv aktivitet ved skinnebrudd eller lignende. For pris for skinnebytte på en lengre strekning tok jeg derfor utgangspunkt i prisen på skinnebytte utført på Sørlandsbanen mellom Lunde og Nakksjø, en strekning på 4,3 km. Oppgitt pris var på 5 millioner kroner på dette enkeltsporet⁶⁶. Omregnet til dobbeltspor blir prisen:

Skinnebytte = $2 \times 5.000.000 / 4,3$ = ca 2.330.000 kr pr kilometer dobbeltspor.

Skinnebytte forutsettes utført hvert 50. år, og kostnaden tas derfor med i år 50 etter oppstart, dvs i år 32 etter det året angitte priser var fra (2015).

⁶⁶ www.njd.no/referanseprosjekter/skinnebytte-paa-soerlandsbanen

Svillebytte

Jeg fikk oppgitt at komplett pris for bytte av sviller, for svillene inkludert befestigelser og arbeidet, var 1800 kr pr stk (Toftaker, 2016). Total pris for svillebytte på dobbeltspor med 60 cm svilleavstand blir da:

Svillebytte = $2 \times 1800 \times (1000 / 0,6) = \text{ca } 6.000.000$ kr pr kilometer dobbeltspor.

Svillebytte forutsettes utført hvert 50. år, og kostnaden tas derfor med i år 50 etter oppstart, dvs i år 32 etter det året angitte priser var fra (2015).

Forsinkelseskostnader

For å beregne forsinkelseskostnad for passasjerene måtte jeg vite hvor mange passasjerer som ble forsinket, hvor mye de ble forsinket og kostnaden for passasjerene. For beregningene tok jeg utgangspunkt i at antall passasjertimer forsinkelse pr år = 1824 timer, og at ombordtidsverdien for passasjerene = 456 kroner pr time. Bakgrunnen for disse tallene og kilder er detaljert beskrevet i kapittel 4.4.4.

Forsinkelseskostnad = $1824 \times 456 / 60 = 13.870$ kr pr kilometer dobbeltspor pr år.

Lifecycle cost - LCC

Alle verdiene har blitt nåverdi-beregnet som angitt i kapittel 5.2.

Har forutsatt at byggekostnadene påløp ved år 0, det året banen ble tatt i bruk (1998).

Vedlikeholdskostnader har påløpt årlig deretter og vil fortsette å påløpe årlig i totalt 60 år.

Noen av vedlikeholdskostnadene kommer først til å påløpe etter 20, 40, 50 og 60 år (20 års intervall og 50 års intervall).

Har også forutsatt at forsinkelseskostnadene er konstante, men de er nåverdiberegnet på samme måte som løpende vedlikeholdskostnader.

LCC blir summen av nåverdi for alle kostnadene som påløper årlig eller ved andre oppgitte intervaller.