

Eivind Holager

# LCC-analyse for bygging og vedlikehold av ballastspor og ballastfritt spor i en norsk jernbanetunnel

En casestudie

Juni 2019





Kunnskap for en bedre verden

# LCC-analyse for bygging og vedlikehold av ballastspor og ballastfritt spor i en norsk jernbanetunnel

En casestudie

**Eivind Holager**

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: Juni 2019

Hovedveileder: Elias Kassa

Medveileder: Juan Barrera

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for bygg - og miljøteknikk





Oppgavens tittel: LCC-analyse for bygging og vedlikehold av ballastspor og ballastfritt spor i en norsk jernbanetunnel	Dato: 05.06.19 Antall sider (inkl. bilag): 70		
	Masteroppgave	x	Prosjektoppgave
Navn: Eivind Holager			
Faglærer/veileder: Elias Kassa			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/veiledere: Juan Barrera			

**Ekstrakt:**

I Norge er det aldri før blitt bygget ballastfritt spor, og man har relativt lite kunnskap om hvilke utfordringer som finnes når det kommer til nettopp dette temaet i en norsk situasjon. I denne studien er det blitt gjort en økonomisk analyse, en LCC-analyse, som sammenligner livsløpskostnadene for et ballastspor og et ballastfritt spor. De kostnadene som er inkludert er investeringskostnad og kostnader til vedlikehold, og analyseperioden er satt til 60 år.

Datamaterialet som er brukt i denne analysen er blitt anskaffet gjennom intervjuer av nøkkelpersoner i Bane NOR, samt innhenting av data fra litteratur. Det nye tunneløpet gjennom fjellet Ulriken, som en del av prosjektet Arna- Bergen, har vært case for denne studien, og tall fra anbudsprosessen til dette nye sporet er derfor blitt innhentet og benyttet i analysen. På grunn av at dataen er konkurransesensitiv er ikke tallene blitt presentert i denne rapporten, men trender og prosentandeler er brukt som utgangspunkt for diskusjon.

Tallene har stor usikkerhet, og man kan ikke på bakgrunn av datamaterialet benyttet i studien og avgrensningene som er gjort si med sikkerhet at ballastfritt spor vil være en mer lønnsom løsning enn ballastspor på denne strekningen. Det man imidlertid kan si er at trenden er den samme som man ser av studier fra utlandet – at ballastfritt spor over tid ser ut til å kunne være en mer økonomisk løsning.

En stor del av resultatet er erfaringene gjort underveis og forslagene til hvilket videre arbeid som med fordel bør gjennomføres på dette temaet. Dette foreslås for at det på en bedre måte skal kunne gjøres analyser som gir mer generaliserte kostnader, og som gjenspeiler det faktiske kostnadsbildet på en god måte.

**Stikkord:**

1. Ballastfritt spor
2. Investerings- og vedlikeholdskostnader
3. LCC
4. Casestudie

  
(sign.)



## Forord

Arbeidet med denne masteroppgaven er gjennomført våren 2019 av Eivind Holager, ved Institutt for bygg- og miljøteknikk på NTNU i Trondheim. Rapporten er skrevet i emnet TBA4955 – Jernbane, masteroppgave, og tilsvarer 30 poeng av hele ingeniørstudiet på 300 studiepoeng. Denne rapporten er en videreføring av arbeidet gjort i emnet TBA4590 – Jernbane, fordypningsprosjekt høsten 2018.

Min interesse for jernbane har vært stor siden jeg begynte å studere i 2014. Jeg har valgt alle tilgjengelige jernbanetekniske emner og en hel del emner som støtter under disse. Bacheloroppgaven min var også, som denne masteroppgaven, innen jernbane. Totalt vil jeg ha 82,5 studiepoeng innen dette fagområdet. Spor og sporplanlegging, samt ny teknologi er det som i størst grad har fanget min interesse, og dette har vært medvirkende for ønsket om en sporrelatert masteroppgave. Etter diskusjoner og samtaler med veileder Elias Kassa ved NTNU har problemstillingen rundt ballastfritt spor kommet opp, og det å studere noe som i svært liten grad er blitt studert i Norge før passet meg og min nysgjerrighet midt i blinken.

Arbeidet med denne problemstillingen har imidlertid vært kronglete og tidkrevende, og har i stor grad bestått av kommunikasjon frem og tilbake med de utrolig flinke fagfolkene hos Bane NOR. Ballastfritt spor er i utgangspunktet noe man vet lite om i Norge, da man stort sett ikke har jobbet med dette. De utrolig flinke fagfolkene hos Bane NOR har imidlertid på mystisk vis klart å besvare de vanskeligste spørsmålene mine ved å ha spurt kollegaer, lett i dokumenter og søkt etter kunnskap.

Jeg ønsker å takke min medveileder Juan Barrera ved Bane NOR i Trondheim som har gitt meg denne unike muligheten til å komme på innsiden hos de som drifter og vedlikeholder Norges jernbane. Uten diskusjoner, informasjon og data fra de ansatte der hadde denne masteroppgaven aldri vært gjennomførbar.

Til slutt ønsker jeg å rette en stor takk til min hovedveileder ved NTNU, Dr. Elias Kassa, for hjelp og tilbakemeldinger, gode samtaler, og for alltid å dele av sin enorme kunnskap innen jernbaneteknikk.



Eivind Holager  
Trondheim, juni 2019





## Sammendrag

Ballastspor er den tradisjonelle måten å bygge jernbanespor på i Norge. Med større trafikkbelastning og høyere hastigheter har denne konstruksjonen vist seg å ha begrenset motstand mot degradering, altså nedknusning. Dette gir økende vedlikeholdsbehov, og dermed økende kostnader. På grunn av dette ser man etter alternativer som kan løse disse utfordringene på en god måte.

I flere andre land i verden ser man en alternativ måte å bygge jernbanespor på, nemlig ballastfritt spor. Dette er en konstruksjon hvor ballasten er erstattet med en armert betongplate, som gjør at man unngår utfordringene man møter ved ballast. Man møter imidlertid et sett andre utfordringer med det ballastfrie sporet. Den utfordringen som får størst fokus er kostnaden. Man har fra utlandet erfart at ballastfritt spor koster mer å bygge enn ballastspor. Undersøkelser som tidligere er gjennomført i Norge viser at kostnaden kan være opp mot det dobbelte.

I denne studien er kostnadene som påløper for et ballastfritt spor og et ballastspor med samme lengde, over en periode på 60 år, blitt analysert. Ved å benytte diskontering er nåverdien for livsløpskostnaden for de to alternativene beregnet. Med gitte avgrensninger og datagrunnlag viser resultatene en neglisjerbar forskjell i kostnaden for ballastspor og ballastfritt spor over 60 år. Dette må imidlertid ses i sammenheng med de store usikkerhetene knyttet til datagrunnlaget som er brukt i analysen, og det konkluderes i denne studien med at man på bakgrunn av dette ikke kan si at ballastfritt spor er et mindre kostbart alternativ enn ballastspor, men heller ikke mer kostbart.

Noe av det som er veldig interessant er at trenden som kommer frem i analysen ligner veldig på det man ser i tilsvarende analyser i andre land. Dette betyr at det trolig vil være mulig å oppnå besparelser slik man har fått i disse landene. I datagrunnlaget som er brukt er byggekostnaden for ballastfritt spor 77% høyere enn for ballastspor. Allikevel vil de ha den samme livsløpskostnaden over 60 år på grunn av ballastsporets høye vedlikeholdskostnad, som er over dobbelt så stor som for det ballastfrie sporet.

Avslutningsvis diskuterer denne studien den praktiske betydningen av tallene fra analysen. Det er trolig for tidlig å ta beslutninger ut ifra en slik analyse for en norsk situasjon, siden grunnlagsdataene enda er for usikre. Studien har allikevel avdekket flere forslag til videre arbeid som kan gi informasjon og data som på en bedre måte kan gjengi det virkelige bildet, og være med på å vurdere om det vil være fordelaktig å bygge ballastfritt spor i Norge.



## Summary

Ballasted track is the traditional way of building railway lines in Norway. Greater traffic loads and higher speeds have revealed a limited resistance to degradation, which is the action taking place when the ballast material is being crushed. With increasingly maintenance needs, and thus increasing maintenance costs, one looks for alternatives that can handle these challenges in a good way.

Several other countries in the world, build railway track in an alternative way, called ballastless track or slab track. Ballastless track is a construction where the ballast bed is replaced by a reinforced concrete slab. Here the challenges encountered in ballasted tracks are simply no longer present. However, there are other challenges with the ballastless track, where the main one is the cost. Ballastless track have a higher construction cost than the ballasted track, and earlier studies carried out in Norway show that the cost can be twice as high.

In this study, the costs incurred for a ballastless track and a ballasted track of the same length have been analyzed over a period of 60 years and the lifetime costs are calculated. Using discounting, the present value of the two options is calculated, and with the available data, the results over the 60-year analysis period show a negligible difference in the cost of a ballasted track and a ballastless track. However, this must be seen in the light of the great uncertainties in the data. On the basis of this analysis it cannot be said that ballastless track is a less expensive alternative than ballasted tracks, but neither that it is more costly.

One very interesting result of this analysis is that the trend that emerges is very similar to what one sees in similar analyses in other countries. They have experienced lower costs for ballastless track. The similar trends suggest we may achieve similar savings in Norway. In the data basis used, the construction cost for the ballastless track is 77% higher than for the ballasted track, but nevertheless they will have the same life-cycle cost over 60 years. This is due to the high maintenance cost of the ballasted track, which is over twice as large as the ballastless track.

This study finally discusses the practical significance of the analysis. It is probably too early to carry out a precise analysis for the Norwegian case, since the basic data is too uncertain. This study nevertheless gives several proposals for further work that can provide information and data that better reflect the real picture and help assess whether ballastless track can be advantageous in Norway.



# Innholdsfortegnelse

<b>Forord</b> .....	<b>i</b>
<b>Sammendrag</b> .....	<b>iii</b>
<b>Summary</b> .....	<b>v</b>
<b>Figurliste</b> .....	<b>ix</b>
<b>Tabell-liste</b> .....	<b>ix</b>
<b>Forklaring av forkortelser</b> .....	<b>x</b>
<b>1 Introduksjon</b> .....	<b>1</b>
1.1 <i>Bakgrunn</i> .....	1
1.2 <i>Mål og problemstilling</i> .....	2
1.3 <i>Avgrensninger</i> .....	3
1.4 <i>Rapportens oppbygning og struktur</i> .....	5
<b>2 Teori</b> .....	<b>7</b>
2.1 <i>Bakgrunn</i> .....	7
2.2 <i>Ballastspor</i> .....	7
2.3 <i>Ballastfritt spor</i> .....	9
2.4 <i>Sammenligning mellom ballastspor og ballastfritt spor</i> .....	12
2.5 <i>Jernbanetunneler</i> .....	13
2.6 <i>Vedlikehold</i> .....	16
2.7 <i>LCC og RAMS</i> .....	18
<b>3 Metode</b> .....	<b>22</b>
3.1 <i>LCC</i> .....	22
3.2 <i>Datafangst</i> .....	23
3.3 <i>Casestudie</i> .....	24
<b>4 Resultat fra gjennomført analyse</b> .....	<b>26</b>
4.1 <i>Resultater fra TunSim og Fullprof</i> .....	26
4.2 <i>Sporets kostnad</i> .....	26
4.3 <i>Vedlikeholdskostnad</i> .....	27
4.4 <i>Resultater fra modell</i> .....	27

<b>5</b>	<b>Diskusjon og refleksjon .....</b>	<b>29</b>
5.1	<i>Resultatenes svar på forskningsspørsmålene .....</i>	29
5.2	<i>Metoden.....</i>	29
5.3	<i>Data i modellen.....</i>	30
5.4	<i>Stedsavhengige usikkerheter .....</i>	33
5.5	<i>LCC .....</i>	33
5.6	<i>Konkurransesituasjon, usikkerhet, erfaring og foretrukken løsning .....</i>	34
5.7	<i>Eksterne påvirkningsfaktorer .....</i>	35
5.8	<i>Mulig bruk av resultatene .....</i>	35
<b>6</b>	<b>Konklusjon.....</b>	<b>36</b>
<b>7</b>	<b>Videre arbeid .....</b>	<b>38</b>
7.1	<i>Gode tall for vedlikeholdskostnader .....</i>	38
7.2	<i>Finne en generalisert kostnad for det ballastfrie sporet .....</i>	39
7.3	<i>Ballastfritt spor og nedetid .....</i>	39
7.4	<i>En konsekvensutredning av ballastfritt spor.....</i>	40
7.5	<i>Sammenligne forskjellige typer ballastfritt spor .....</i>	40
<b>8</b>	<b>Kilder .....</b>	<b>41</b>
<b>9</b>	<b>Vedlegg .....</b>	<b>46</b>
A	<i>Masteravtale.....</i>	47
B	<i>Taushetserklæring.....</i>	50
C	<i>Sporkonstruksjoner ballastspor.....</i>	51

## Figurliste

Figur 1.1: Lengdeprofil av tunnel med analysestrekning.....	4
Figur 2.1: Ballastprofil for enkeltspor fra Teknisk regelverk. (Bane NOR, 2017a) .....	7
Figur 2.2: Prinsippskisse for ballastfritt spor av typen Rheda (Jernbanekompetanse, 2015a).....	9
Figur 2.3: Rheda 2000 B355.3 - DFC-sville. (RAIL.ONE, 2014).....	10
Figur 2.4: Pandrol fastclip klemfjær med 60E1 skinne (Bane NOR, 2018d) .....	11
Figur 2.5: 60E1 skinneprofil (Jernbaneverket, 2014) .....	11
Figur 2.6: Detaljtegning av normalprofil med 0 mm overhøyde på rettlinje i det nye løpet gjennom Ulriken (Norconsult, 2018).....	12
Figur 2.7: Resultat av en LCC-analyse for ballastspor og ballastfritt spor fra Italia (Patricò & Giunta, 2016) .....	13
Figur 2.8: Resultat av en LCC-analyse for ballastspor og ballastfritt spor i Østerrike (Schilder & Diederich, 2007) .....	13
Figur 2.9: Salvesyklus for konvensjonell drift (Jernbaneverket, 2016) I: Boring og lading, II: Sprengning, III: Lasting og utkjøring, IV: Pigging.....	14
Figur 2.10: Tunnelprofilet som er boret til det nye tunnellopet gjennom Ulriken med det ballastfrie sporsystemet i bunnen (Norconsult, 2018) .....	15
Figur 2.11: Bane NORs egen modell for vedlikehold (Jernbaneverket, 2011).....	16
Figur 2.12: V-modellen for RAMS (Standard Norge, 2017) .....	21
Figur 2.13: Faktorer som påvirker et systems RAMS (Zoeteman, 2001) .....	21
Figur 3.1: Oppdeling av totalkostnaden i kategorier (Hokstad, 1998).....	22
Figur 4.1: Anbud på Nye Ulriken tunnel (Jernbaneverket & Statens vegvesen, 2014) ...	26
Figur 4.2: Utklipp fra modellen. Tallverdiene er skjult på grunn av konkurransesensitivitet .....	27
Figur 4.3: Resultat av nåverdiberegning - ballastspor og ballastfritt spor.....	28
Figur 4.4: Nåverdiberegning med 100 års analyseperiode .....	28

## Tabell-liste

Tabell 1: Egenskaper ved Rheda 2000 B355.3 - DFC-sville. (RAIL.ONE, 2014) .....	10
Tabell 2: Komponentvis forskjell mellom ballastspor og ballastfritt spor i tunnel .....	12

## Forklaring av forkortelser

Begrep	Forklaring
Ballastfritt spor	En alternativ måte å bygge jernbanespor, hvor ballasten er erstattet med en armert betongkonstruksjon.
Ballastspor	Tradisjonell måte å bygge jernbanespor med skinner, sviller og ballast. Ballasten er et pukklag med kornstørrelse 31,5-63 mm.
Boring og sprengning	Drivemetode hvor man borer hull på stuff som videre fylles med sprengstoff og detoneres for å bryte løs stein.
Dagsone	De delene av en jernbanelinje som ligger utenfor tunnel
EAA/AAN	Årlig annuitet.
IRIS	Den internasjonale jernbaneindustristandarden, som sikrer at komponenter som benyttes i jernbaneinfrastruktur har en viss kvalitet.
IRR	Internrente.
LCC	Livsløpskostnad. Dette er alle kostnadene som påløper gjennom et helt prosjekts levetid. (Life Cycle Cost)
Mekanisk fjellbryting	Drivemetode hvor man driver tunnel ved å bore grove hull som og så bryte ut berg med hydraulisk jekk – altså uten sprengstoff i borehullene.
NNV	Netto nåverdi.
RAMS	Et mål på en jernbanestrekningens pålitelighet, tilgjengelighet, vedlikeholdbarhet og sikkerhet. (Reliability, Availability, Maintainability, Safety)
Styroporbetong	Betong med styroporkuler i stedet for tilslag. (Expanded polystyrene concrete)
TBM	Tunnelboremaskin. Maskin for fullprofilboring av tunneler, som etterlater et sirkulært tverrsnitt.
TNV	Total nåverdi.





# 1 Introduksjon

## 1.1 Bakgrunn

Helt siden byggingen av den første norske jernbanen, Hovedbanen, tilbake på 1850-tallet har vi i Norge alltid benyttet ballastspor som den foretrukne løsningen for etablering av jernbanespor (Bane NOR, 2018a). Siden den norske berggrunnen i stor grad består av mye godt og hardt fjell vil det alltid være god tilgang på stein som kan knuses til god ballast i nærheten av der man etablerer en jernbanestrekning. Dette har vært en faktor som har gjort det attraktivt å bygge ballastspor her til lands, og det har trolig ikke vært et vesentlig behov for å se på alternative løsninger.

Det forsøkes hele tiden å utnytte jernbanens samfunnsmessige fortrinn relativt til andre transportformer, nemlig hastighet, transportkapasitet, trafikksikkerhet og miljø. Man ønsker hyppigere avganger, større kapasitet, og høyere hastighet. Dette er grunnen til at man i størst mulig grad forsøker å utnytte jernbanen som samfunnsressurs, og det stilles derfor store krav til sporets ytelse (Jernbaneverket, 2015a). I en perspektivanalyse sier Jernbaneverket, nåværende Bane NOR, at «For å sikre jernbanetransportens framtid må det satses på velfungerende terminaler, og på pålitelige og kapasitetssterke banestrekninger» (Jernbaneverket, 2015a). Pålitelighet og kapasitet er altså en nøkkel til gode banestrekninger, noe som betyr at antall driftsavbrudd bør være så få som mulig.

Med økende hastighet vil også kreftene på hele sporkonstruksjonen øke, og man har erfart flere problemer ved bruk av tradisjonell ballastkonstruksjon (Jernbaneverket, 2016). Tog i høye hastigheter får ødeleggelser på understellet fordi ballast suges opp og slår inn i togets komponenter, ballast kastes ut av sporkonstruksjonen, ballasten knuses som følge av hyppigere og tyngre trafikk på sporet, sporet forskyver seg i kurver siden de horisontale kreftene blir for store, og tunneler må stenges for ballastrensing på grunn av for mye finstoff i ballasten (Esveld, 2010).

Ballastfritt spor er en alternativ måte å bygge jernbanespor på, og prinsippet går ut på at ballasten i sporkonstruksjonen byttes ut med en armert betongplate. Denne måten å bygge spor på benyttes i flere andre land, blant annet er det blitt den foretrukne løsningen for høyhastighetslinjene i Japan, og har vist seg å gi et mindre vedlikeholdsbehov enn for ballastert spor (Esveld, 2010). Dette burde dermed være en mulig løsning på problemet med økende vedlikeholdsbehov.

I Norge har vi svært lite erfaring med ballastfritt spor og hvordan det vil fungere i en norsk situasjon, fordi det aldri før er blitt bygget her til lands. På tross av dette er det nå noen prosjekter under bygging som skal benytte ballastfritt spor. Follobanen blir det første prosjektet i Norge hvor man legger et slikt spor. Rheda 2000 er den valgte løsningen, se kapittel 2.3 Ballastfritt spor, og banen er planlagt ferdigstilt i desember 2021 (Bane NOR, 2018b). I Bergen, mellom Arna og Fløen, bygges det en tunnel parallelt med den gamle tunnelen som går gjennom fjellet Ulriken, og i det nye løpet skal det

legges ballastfritt spor. Selv om Follobanen er det første prosjektet hvor det legges ballastfritt spor i Norge vil Arna-Fløen bli det prosjektet med ballastfritt spor som først åpner for trafikk, da den nye tunnelen skal stå klar til bruk i 2020 (Bane NOR, 2016a).

Samtidig som det bygges på Follobanen og Arna-Fløen er også Ringeriksbanen under prosjektering, med planlagt byggestart i 2021. Her gjøres det i dag utredninger med spørsmål om ballastfritt spor skal benyttes. Kostnadsvurderinger er en sentral del av de utredningene som gjøres, og kan gi gode argumenter for bygging av ballastfritt spor (Bane NOR, 2016b).

Grunnen til at det i denne masteroppgaven er valgt å se på problematikken rundt ballastfritt spor er interessen for jernbane, og særlig ny teknologi som en ressurs og verktøy til forbedring. Det norske jernbanenettet består av mye gammel infrastruktur, som umiddelbart gir et inntrykk av at metodene og løsningene som er blitt valgt de senere årene er de *samme som det alltid er blitt gjort*, og bærer lite preg innovativ tankegang og nyskaping. Derfor er det ønskelig å gjennom denne masteroppgaven utfordre den tradisjonelle måten å bygge jernbanespor på i Norge, og se på om et alternativt prinsipp kan gi fordeler, da primært økonomiske.

Masteroppgaven er en videreføring av prosjektoppgaven *Sammenligning av livsløpskostnader for ballastspor og fastspor i tunnel – en litteraturstudie* (Holager, 2018) hvor mye det som finnes av publisert materiale på feltet ble studert. Både forskjellige metoder å drive tunnel, forskjellige konsept for ballastfritt spor, og forskjellige måter å regne livsløpskostnaden på ble studert og kartlagt for å danne bakgrunnsmateriale til denne masteroppgaven, hvor funnene fra litteraturstudiet vil bli benyttet.

Det finnes relativt lite data som presenterer en liknende problemstilling. Det er gjort noen masteroppgaver, primært ved NTNU, som ser på en slik problemstilling, men ingen som ser på ballastfritt spor. *Metodikk for å minimere total kostnaden til jernbaneinfrastruktur* (Bergerud, 2018), og *LCC for ballastert jernbanespor* (Hofgaard, 2016) er to slike oppgaver hvor økonomi er satt i fokus, men disse omhandler ikke ballastfritt spor i særlig stor grad.

## 1.2 Mål og problemstilling

Målet med denne masteroppgaven er å studere hvordan ballastfritt spor i tunnel kan passe inn i en norsk tunnelsituasjon, og om det vil gi økonomiske fordeler sammenlignet med tradisjonelt ballastspor. Ved å benytte en case-studie av et ballastfritt spor og sammenligne dette med tilsvarende strekning med ballastert spor skal forskjellen i livsløpskostnaden for denne strekningen beregnes og avgjøre om den ene eller andre sporkonstruksjonen er mest lønnsom i en slik tunnel. Dette gir dermed oppgaven følgende problemstilling:

Hva er livsløpskostnaden for et ballastspor og et ballastfritt spor i en norsk jernbanetunnel?

Et av de store målene underveis vil være å få tak i gode tall og et godt datasett slik at analysen vil kunne gjennomføres og at den gir reliable resultater. Det er som tidligere nevnt liten erfaring med ballastfrie spor i Norge, og det er derfor utfordrende å skaffe gode tall for kostnader. En stor del av oppgaven vil dermed bli datafangsten.

De forskningsspørsmålene som underveis i oppgaven skal besvares for å komme fram til målene er:

- Hvilken løsning for ballastfritt spor er den mest aktuelle å benytte i LCC-analysen, og er dette en løsning som er mye benyttet ellers i verden, eller er det spesielle norske forhold som gjør at denne løsningen er mest aktuell?
- Hva blir vedlikeholdsbehovet og -kostnaden for den valgte ballastfrie sporløsningen?
- Hva blir livsløpskostnaden for det ballastfrie sporet som er studert?
- Hva blir livsløpskostnaden for et tilsvarende ballastspor?

Det første spørsmålet besvares ved å studere den løsningen som er valgt i casen i denne studien. Denne løsningen blir den mest aktuelle å benytte inn i LCC-analysen, da det er denne kostnaden som ligger til grunn for tallene som går inn i analysen. Det andre spørsmålet besvares på best mulig måte ved å gjøre et estimat basert på sporkomponentenes antatte levetid basert på erfaringsdata for vedlikehold. Det tredje spørsmålet blir resultatet fra byggingen av LCC-modellen, nærmere beskrevet i kapittel 3.1 LCC. Det fjerde spørsmålet besvares ved bruk av Bane NORs erfaringstall fra gjennomførte prosjekter og vedlikeholds-operasjoner. Når disse forskningsspørsmålene er besvart på en god måte vil det med stor sannsynlighet være grunnlag nok til å besvare denne oppgavens problemstilling.

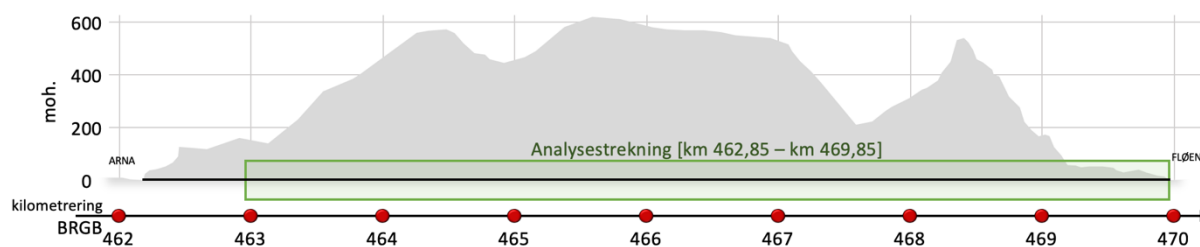
### 1.3 Avgrensninger

Oppgaven er skrevet som et ledd i å belyse de utfordringene man står ovenfor ved bygging av ballastfritt spor og siden dette temaet favner om et enormt spekter med utfordringer og forskjellige fagkompetanser er det gjort avgrensninger. Avgrensningene er gjort for å i størst mulig grad rette fokuset inn mot økonomien rundt ballastert- og ballastfritt spor.

For det første er det valgt å se på situasjon i tunnel. Dette gjøres for å gi en mer homogen situasjon å studere, og det gjør at man unngår å inkludere for mange forskjellige parametere, noe som bør kunne gi en studie med et mer troverdig resultat (Kothari, 2004). Samtidig er det trolig også i tunnel at ballastfritt spor vil være mest aktuelt for norsk situasjon (Jernbanekompetanse, 2015a).

Den andre faktoren det er gjort avgrensninger på er metoden tunnelen drives på. Her er det valgt å kun se på tunnel drevet med tunnelboremaskin (TBM) for det ballastfrie alternativet, og tunnel drevet på tradisjonelt vis med boring og sprengning for det ballasterte alternativet. I Norge finnes det ingen tunneler som er drevet med TBM som har ballastspor i seg, og derfor ville dette vært en noe urealistisk case. Tunnelprofilen vil i begge tilfellene være av normal dimensjon for en enkeltsporet jernbanetunnel, se kapittel Drivemetode.

Den strekningen som skal studeres er en del av prosjektet Arna-Bergen, hvor det skal bygges et nytt løp med ett spor parallelt med den eksisterende jernbanetunnelen gjennom fjellet Ulriken. Litt over 7 km av dette nye løpet skal bygges med ballastfritt spor (Bane NOR, 2018c). På Figur 1.1 er den strekningen som skal analyseres presentert.



Figur 1.1: Lengdeprofil av tunnel med analysestrekning

Fra Arna starter tunnelen med 765 meter som er drevet på tradisjonelt vis med boring og sprengning. Grunnen til at dette gjøres er for å få plass til tunnelboremaskinen, og denne strekningen blir derfor sett bort ifra. Den siste delen av tunneløpet inn mot Fløen og Bergen, omtrent fra km 462,85 til km 469,85, er drevet ved tunnelboremaskin, og her skal det legges ballastfritt spor. Det antas ingen kryss eller veksler på strekningen – kun helsveist enkeltspor i tunnel langs hele sporets lengde. Dette vil være den strekningen som skal studeres.

Det vedlikeholdet som inkluderes i analysen er en gjennomsnittlig verdi for de fleste forskjellige typer vedlikehold, og skal i størst mulig grad representere et sannsynlig kostnadsbilde på de vanligste og største delene av vedlikeholdet. Dette omfatter følgende:

- Forebyggende vedlikehold, både tilstandsbasert og tidsbasert
- Korrektivt vedlikehold, både akutt og utsatt
- Sporfornyelser som skinnebytte og svillebytte på ballastspor, samt nybygging av det ballastfrie sporsystemet
- Ballastrensing
- Skinnesliping
- Målevognskjøring

For nærmere beskrivelse av vedlikeholdet som inngår i analysen, se kapittel 2.6 Vedlikehold.

Som et ledd i å belyse de økonomiske aspektene ved ballastfritt spor er det sett bort fra en del problemstillinger som ellers er interessante å se på. Dette gjøres rett og slett for å begrense omfanget, og i istedenfor spisse studien mer inn mot økonomi.

Miljøpåvirkning er en svært sentral del av ethvert infrastrukturprosjekt, og man bør alltid kartlegge konsekvensene tiltaket har for miljøet. Dette gjøres ikke i denne studien, og vil naturligvis være en av oppgavens avgrensninger som ikke er ubetydelig, og som vil påvirke resultatenes fullkommenhet.

Vognkassedynamikken, eller interaksjonen mellom hjul og skinne vil heller ikke bli sett nærmere på. Effekten antas å være relativt lik for de to alternativene, og valg av sporkonstruksjon vil trolig ikke føre til store variasjoner i denne.

En del eksterne faktorer som allikevel er sentrale når man skal velge løsning for et prosjekt er politikk og også bransjens synspunkter. Disse er det valgt å se bort fra for å la studien bli så kvantitativ som mulig, se kapittel 3 Metode.

## 1.4 Rapportens oppbygning og struktur

### 2 Teori

Kapittel 2 Teori, presenterer først litt om bakgrunnen til oppgaven og hvilke forarbeider som er gjort før denne studien. Det går deretter over i teori om de tekniske aspektene ved problemstillingen. Dette er teori om ballastspor, ballastfritt spor, litt om forskjellen mellom de to sportypene, jernbanetunneler, vedlikehold på jernbane og livsløpsanalyse samt en liten del om et viktig aspekt når det kommer til jernbane – RAMS. RAMS diskuteres ikke videre i rapporten, og er kun tatt med for å gi leseren en bredere forståelse av at jernbaneplanlegging ikke kun består av økonomiske analyser selv om denne studien er fokusert mot en slik analyse.

### 3 Metode

Det tredje kapittelet, Metode, gir et innblikk i hva som gjøres for at denne studien skal føre fram til resultater. Kapittelet presenterer måten som benyttes for å regne livsløpskostnaden, hvordan data skal innhentes og hvordan det å benytte casestudie gjør det mulig å studere fenomenet rundt ballastfritt spor. Metoden er relativt enkel å forstå, og er i hovedsak en økonomisk kalkulasjon.

### 4 Resultat fra gjennomført analyse

Kapittel 4 presenterer resultatene fra studien. Dette kapittelet tar systematisk for seg resultatene fra datainnsamling og begynner med tall for drivekostnaden til tunnelen, som forøvrig ikke blir tatt med videre i analysen, se kapittel 4.1 Resultater fra TunSim og Fullprof. Deretter presenteres resultatet av sporets kostnad, vedlikeholdskostnad og til slutt resultatet fra livsløpsanalysen.

## 5 Diskusjon og refleksjon

Store deler av nytten ved denne studien har vist seg å være erfaringene gjort underveis, og disse presenteres, diskuteres og gis egenrefleksjoner av i kapittel 5. Her diskuteres først hvordan resultatene svarer på forskningsspørsmålene, og hvor god metoden har vært til å komme fram til et resultat som dekker informasjonsbehovet. Deretter følger en diskusjon rundt kvaliteten på datamaterialet som ligger til grunn for analysen hvor det punktvis gjennomgås styrker og svakheter i dette. Så følger et delkapittel hvor stedsavhengige usikkerheter tas opp, da med tilpasning av bakgrunnsdataen til tunnelsituasjon i fokus, før livsløpskostnaden diskuteres. Etter det følger to delkapitler om forhold som er litt utenfor den interne kontrollen til et prosjekt, nemlig faktorer som konkurranse, usikkerhet, erfaring, foretrukken løsning og eksterne påvirkningsfaktorer. Til slutt i diskusjonskapittelet tas resultatenes mulige bruksområde opp, altså hva resultatet fra denne studien kan anvendes til.

## 6 Konklusjon

Det sjette kapittelet benyttes til å konkludere på bakgrunn av diskusjonen gjort i kapittel 5. Der konkluderes det for investeringskostnad, vedlikeholdskostnad og livsløpskostnad. Det konkluderes i tillegg på hvordan valg av analyse og de avgrensningene som er gjort har påvirket resultatet, og om dette har vært kloke avgjørelser å ta før igangsettelse av studien.

## 7 Videre arbeid

Forslag til hva som videre kan gjøres angående ballastfritt spor er blitt en viktig del av utbyttet fra denne studien. Dette presenteres i kapittel 7. Her foreslås 5 forskjellige arbeider som kan være neste steg som muliggjør bedre analyser av ballastfritt spor i Norge.

## 2 Teori

### 2.1 Bakgrunn

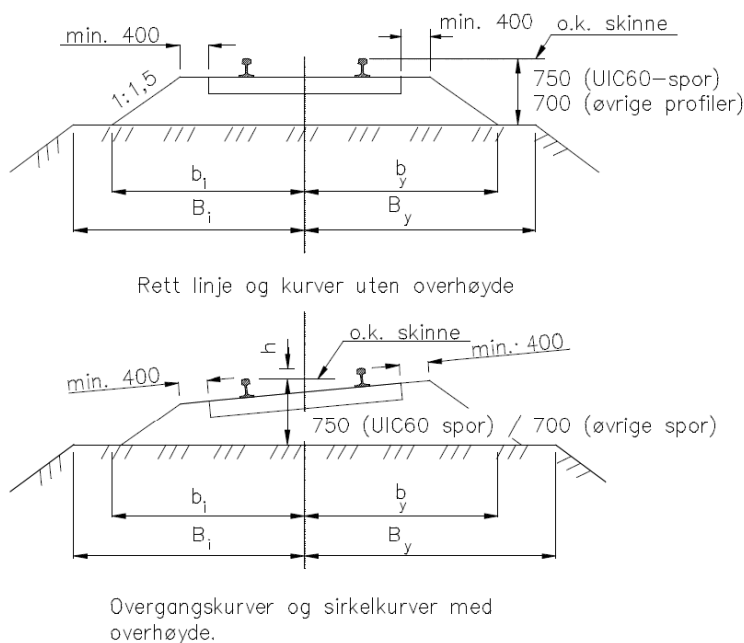
For å kartlegge kunnskapen som finnes på feltet og danne grunnlaget for det videre arbeidet ble det gjennomført en litteraturstudie, og skrevet prosjektrapporten *Sammenligning av livsløpskostnader for ballastspor og fastspor i tunnel – en litteraturstudie* (Holager, 2018). Denne litteraturstudien ga et godt innblikk i hvilken kunnskap som finnes på feltet, og hvilke tema som ikke er tydelig definert i det publiserte materialet.

Før gjennomføringen av litteraturstudiet ble det gjort en antakelse om at det i Norge er gjort lite studier som omfatter studier av ballastfritt spor, noe som viste seg å stemme overens med resultatene fra gjennomføringen. Samtidig ble det påstått at det var stor sannsynlighet for å finne litteratur fra utlandet som belyste temaet, noe som også viste seg å stemme.

Litteraturstudiet baserte seg på i underkant av 50 forskjellige kilder, og belyste temaene ballastspor, ballastfritt spor samt forskjellige løsninger for ballastfritt spor, tunnelbygging, livsløpskostnad og RAMS.

### 2.2 Ballastspor

Ballastert spor er den vanligste måten å bygge spor på i Norge, og har tradisjonelt sett alltid gitt gode resultater blant annet fra de første etableringene av høyhastighetslinjer i Europa (Teixeira *et al.*, 2006). Ballastsporet kan ha forskjellige utforminger, men i Norge bruker man i utgangspunktet konstruksjonen som er vist på Figur 2.1.



Figur 2.1: Ballastprofil for enkeltspor fra Teknisk regelverk. (Bane NOR, 2017a)



Ballastspor benyttes også for felles sporkonstruksjon på dobbeltspor, for situasjoner med hardt underlag, for situasjoner med hastighet over 200 km/h, og i skarpe kurver. Alle disse figurene er vist i vedlegg C Sporkonstruksjoner ballastspor.

Det er mange fordeler når det kommer til ballastspor, og noen av de er

- Relativt lave investeringskostnader
- God elastisitet
- Høy vedlikeholds-tilpasning til en relativt lav kostnad
- God støydemping
- God kunnskap og erfaring rundt både bygging, drift og vedlikehold

Det er også mange utfordringer knyttet til ballastspor, som dårlig sidestabilitet, flyvende ballast, økt egenvekt – som hovedsakelig er en utfordring på broer, og nedknusning av ballast (Esveld, 1997).

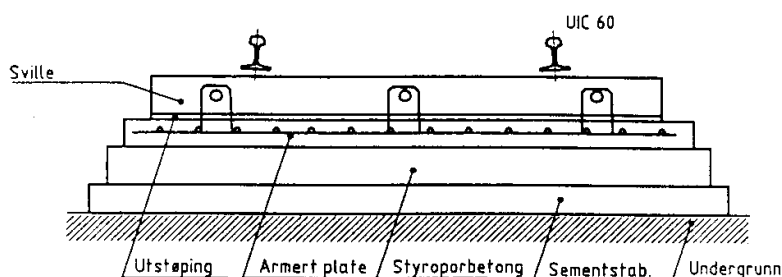
### 2.3 Ballastfritt spor

Sammenlignet med ballastspor finnes det mange flere forskjellige løsninger på ballastfritt spor. I litteraturstudiet ble en mastergradsavhandling, *Slab Track Systems for High-Speed Railways* av Georgios Michas studert. Forfatteren kartlegger hvilke forskjellige ballastfrie sporkonstruksjoner som finnes (Michas, 2012). Vurdering av disse løsningene er en relevant del av bakgrunns materialet, og disse ble derfor kartlagt og presentert i prosjektoppgaven *Sammenligning av livsløpskostnader for ballastspor og fastspor i tunnel – en litteraturstudie* (Holager, 2018). *Slab Track Systems for High-Speed Railways* presenterer hele 30 forskjellige løsninger, men i prinsipp er det tre forskjellige grupper av løsninger. Disse tre kategoriene består av løsninger som..

- bruker sviller eller betongklosser
- har enkeltpunkter for skinneopplegg
- bruker prefabrikkerte plater.

De forskjellige løsningene er presentert mer detaljert i *Sammenligning av livsløpskostnader for ballastspor og fastspor i tunnel – en litteraturstudie* (Holager, 2018), men i det som følger vil fokuset rettes mot den sporkonstruksjonen som faktisk skal bygges i Nye Ulriken tunnel.

En av de mest brukte systemene for ballastfritt spor i verden er Rheda (Bastin, 2006). Rheda har fått sitt navn ettersom dette var løsningen som ble valgt ved byggingen av sporet på Rheda jernbanestasjon i 1972 i Tyskland (Jernbanekompetanse, 2015a). Grunnen til at dette er så mye brukt er at det er en løsning man har lang erfaring med, og har sett at det sammenlignet med flere andre systemer er en god og holdbar løsning (Esveld, 2001).

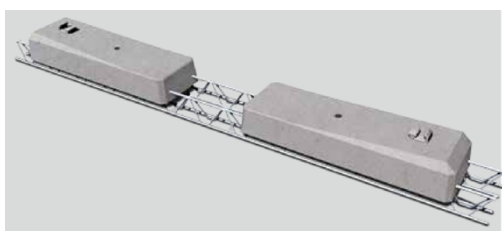


Figur 2.2: Prinsippkisse for ballastfritt spor av typen Rheda (Jernbanekompetanse, 2015a)

Den Rheda-versjonen som sist ble utviklet er Rheda 2000, som er en løsning hvor man har gode tilpasningsmuligheter til både spor og veksler, og som kan brukes både i områder med stabilisert undergrunn, tunneler og broer. Uansett løsning består selve grunnsystemet allikevel av de samme komponentene. Den nyeste versjonen har toblokksviller, til forskjell fra den tradisjonelle Rheda fra 1972, innstøpt i en hel betongplate som igjen kan ligge oppå et lag av styroporbetong (RAIL.ONE, 2011). En Rheda-konstruksjon kan typisk bli designet til å takle aksellaster på opptil 25 tonn, hvis man benytter en betongplate for innstøping av toblokksvillene på 240 mm og en

styroporbetong med tykkelse 300 mm (Kleeberg, 2009). Styroporbetong brukes imidlertid kun på åpen linje, og ikke i tunneler, og er et ledd i det å gjennom konstruksjonen redusere stivheten lagvis ned til undergrunnen. Det finnes dog veldig mange muligheter for å tilpasse Rheda 2000 til ønsket situasjon og med ønskede komponenter.

I det nye løpet gjennom Ulriken benyttes det en variant av Rheda hvor svillene er annerledes, men befestigelse og skinner er tilsvarende de som benyttes på det øvrige jernbanenettet. Svillene som skal benyttes er spesielle sviller for ballastfritt sporsystem, og er toblokksviller forbundet med et armeringsfagverk, se Figur 2.3.



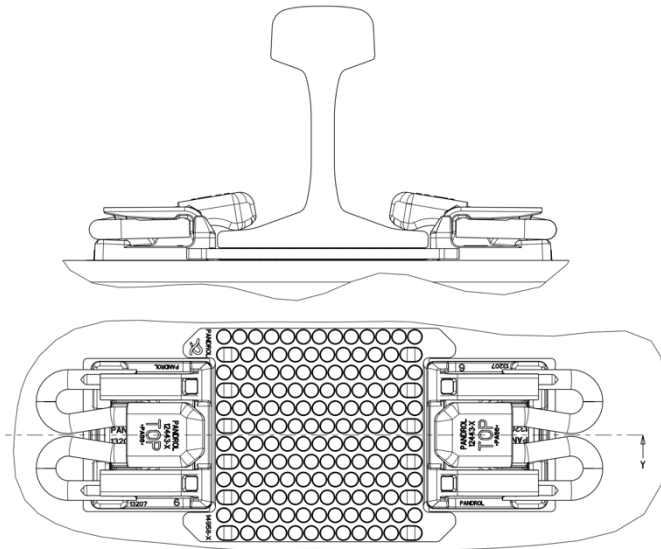
Figur 2.3: Rheda 2000 B355.3 - DFC-sviller. (RAIL.ONE, 2014)

Parameter	Verdi
Tillat aksellast	25 tonn
Høyeste hastighet	350 km/t
Betongkvalitet	C 50/60
Betongvolum	61 liter per sville
Vekt (uten befestigelse)	161 kg per sville
Svillelengde (L)	2509 mm
Svillebredden (W)	285 mm
Svillehøyde (H)	202 mm
Bruksområde	Sviller i hovedspor

Tabell 1: Egenskaper ved Rheda 2000 B355.3 - DFC-sviller. (RAIL.ONE, 2014)

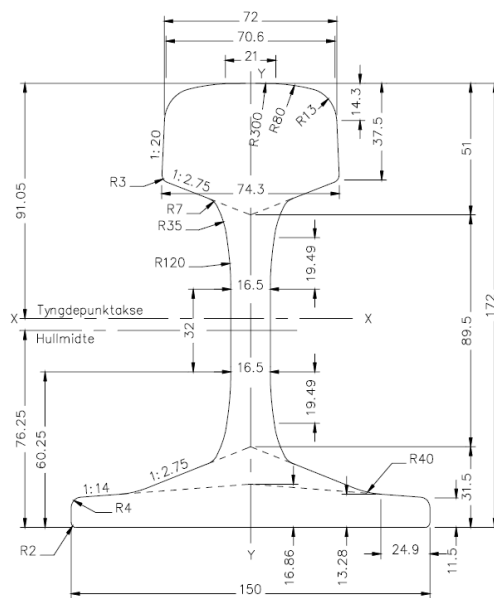
I tabellen ovenfor er de fysiske parameterne til den svillen som er valgt til det ballastfrie sporsystemet i det nye løpet gjennom Ulriken presentert. De kravene som nok er viktigst å legge merke til er aksellasten, høyeste hastighet og bruksområdet, som alle er samsvarende med det som ønskes for jernbane i Norge.

Befestigelsen som benyttes er et Pandrol VIPA DFC-system, som er en befestigelse som både kan brukes på trikkspor så vel som på høyhastighetslinjer og ballastfrie sporsystem. Denne befestigelsen benytter Pandrol Fastclip som klemfjær, som i dag står oppgitt i teknisk regelverk som den fjæra som skal benyttes ved sporombygging eller nyanlegg på betongsviller i Norge (Bane NOR, 2019a). Denne festeanordningen er vist på Figur 2.4.



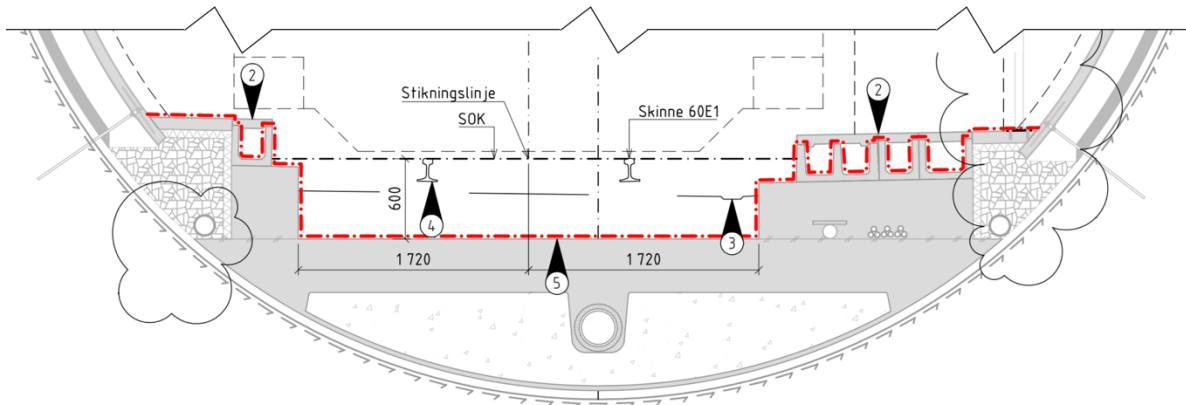
Figur 2.4: Pandrol fastclip klemfjær med 60E1 skinne (Bane NOR, 2018d)

Som på de fleste andre sporkonstruksjoner er det relativt stor valgfrihet i hvilken skinnetype og -kvalitet som kan benyttes. Sporet gjennom det nye tunnellopet skal ha skinneprofil 60E1, som er en av de to skinneprofilene med størst tverrsnitt som benyttes, men som også er et svært vanlig skinneprofil ved nybygging og sporombygging i Norge, se Figur 2.5. Stålkvaliteten som benyttes er R260Mn, som er den laveste tillatte skinnkvaliteten i Bane NORs tekniske regelverk, men også den vanligste å benytte på bane med kurveradius større enn 500 meter (Bane NOR, 2019a).



Figur 2.5: 60E1 skinneprofil (Jernbaneverket, 2014)

På Figur 2.6 er detaljtegning av sporkonstruksjonen vist. Sporkonstruksjonen vist på figuren er slik det i det nye tunneløpet gjennom Ulriken bygges opp på rettlinje med normalprofil og 0 mm overhøyde. Den delen av konstruksjonen som er under den rødstiplede linja er det som in-situ støpes under driving av tunnelen, og det over linja, inkludert skinnene, installeres etter at bunnen er lagt over en større lengde. Siden selve betongplata i det ballastfrie sporsystemet med sviller gjøres som en støp har delen under den røde linja på figuren en toleranse på +/- 20 mm.



Figur 2.6: Detaljtegning av normalprofil med 0 mm overhøyde på rettlinje i det nye løpet gjennom Ulriken (Norconsult, 2018)

## 2.4 Sammenligning mellom ballastspor og ballastfritt spor

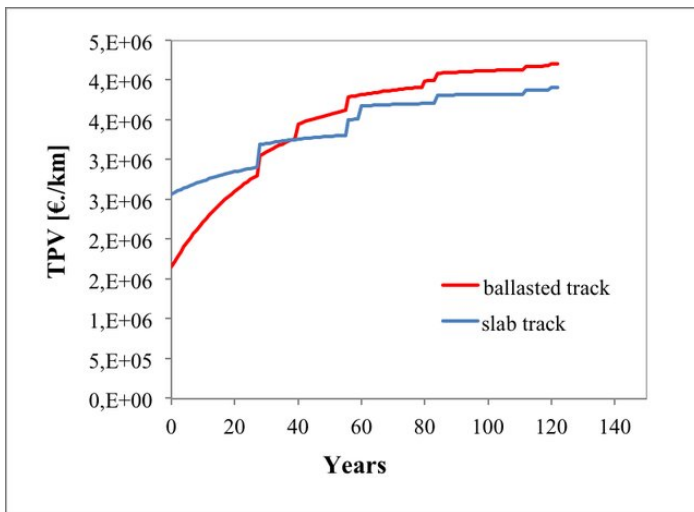
Det er stor forskjell mellom ballastspor og ballastfritt spor. Prinsippene er forskjellige, metodene er forskjellige, utfordringene er i stor grad forskjellige, og kostnad, levetid og kvalitet er forskjellig. Dette gjør at sammenligning på en eller annen måte må struktureres, og løsningene bør i størst mulig grad studeres hver for seg (Nigel & Franz, 2001). I Tabell 2 er det vist en oppsummering av hva som er felles og hva som skiller de to løsningene teknisk fra hverandre i en tunnel.

	Ballastspor	Ballastfritt spor
Overbygning	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Skinner</li> <li>• Befestigelse</li> <li>• Sviller</li> <li>• Ballast</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Skinner</li> <li>• Befestigelse</li> <li>• Sviller (evt. uten)</li> <li>• Påstøp</li> </ul>
Underbygning	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frostfrie masser</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betongkonstruksjon</li> </ul>

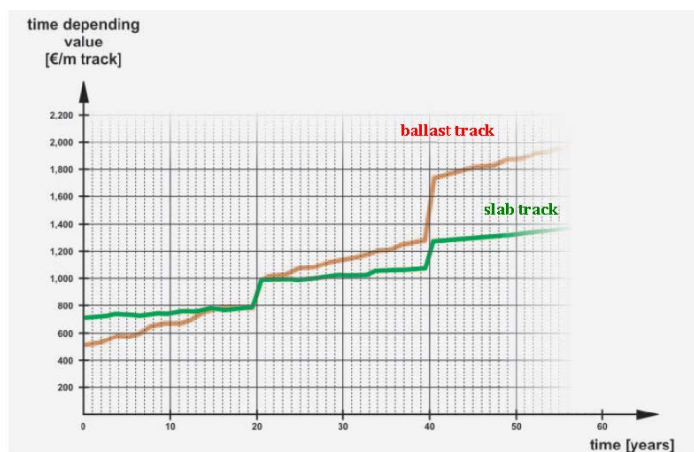
Tabell 2: Komponentvis forskjell mellom ballastspor og ballastfritt spor i tunnel

Som man kan se av tabellen er det flere ting som er felles, men også noe som er forskjellig. Det som i all hovedsak skiller de fra hverandre er ballasten og underbygningen. Utover at de bygges opp forskjellig skal de i prinsipp gjøre den samme nytten, nemlig å gjøre det mulig å fremføre tog på en trygg og effektiv måte (Lichtberger, 2005), og forskjellene i byggemetode er dermed større enn forskjellene i funksjonskrav.

Når det kommer til kostnadsforskjellene mellom de to alternativene har studier fra andre land vist at det ballastfrie sporet har en lavere livsløpskostnad enn ballastsporet, se Figur 2.7 og Figur 2.8



Figur 2.7: Resultat av en LCC-analyse for ballastspor og ballastfritt spor fra Italia (Patricò & Giunta, 2016)



Figur 2.8: Resultat av en LCC-analyse for ballastspor og ballastfritt spor i Østerrike (Schilder & Diederich, 2007)

## 2.5 Jernbanetunneler

### Forundersøkelser

Før man begynner å drive ut en tunnel som skal benyttes for jernbane må det utføres omfattende forundersøkelser. Fjelloverflate, forekomster av løsmasse, bergarter, svakhetssoner og grunnvannsforhold må kartlegges nøye gjennom forundersøkelsene, befaringer og andre studier før man kan begynne arbeidet slik at man i større grad kan forutsi hvilke utfordringer man kan komme til å møte (Jernbaneverket, 2008).

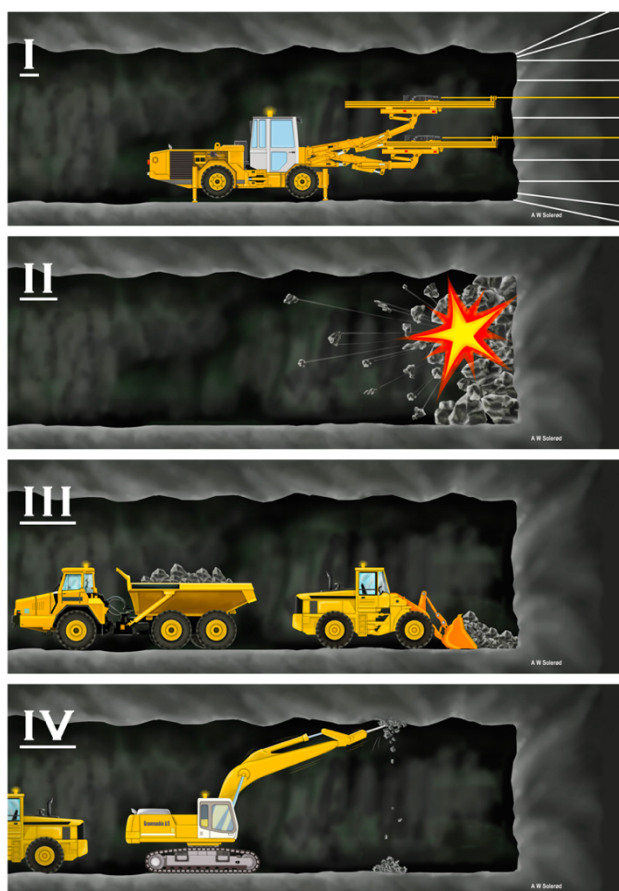
### Drivemetode

Tradisjonelt sett har boring og sprengning vært den foretrukne måten å drive tunnel på, men i senere år er både mekanisk fjellbryting, også kjent som *drill and split*, og

fullprofilboring med tunnelboremaskin blitt mer og mer vanlig. Det er faktorer som økonomi, tunnelkonsept, overskuddsmasser og hensyn man må ta til omgivelsene som påvirker dette, og det er fordeler og ulemper knyttet til hvordan hver av drivemetodene forholder seg til faktorene som er nevnt.

Mekanisk fjellbryting er en relativt kostbar drivemethode, og benyttes der hvor man ikke kan sprengte. Metoden er blant annet blitt brukt på Follobanen i nærheten av Oslo S, for å unngå skader på omkringliggende bebyggelse og infrastruktur (Jernbaneverket, 2015b), og kan også være relevant å benytte på deler av tunneler med liten overbygning.

Konvensjonell driving gjøres, i korte trekk, ved at en borerigg borer hull i stoff, som deretter lades med sprengstoff og detoneres før berget lastes ut. Salvesyklusen av arbeidsoperasjoner er vist på Figur 2.9. Denne formen for driving har man svært god kjennskap til i Norge, og man har gode muligheter til å tilpasse tverrsnittet langs tunnelens lengde, for eksempel hvis man ønsker et tverrslag eller skal drive en avvikende tunnel etter veksling. Med konvensjonell driving kan man drive ut akkurat det tverrsnittet man trenger i den formen man trenger. Man kan på den måten unngå å ta ut fjell man ikke trenger for det nødvendige profilet.

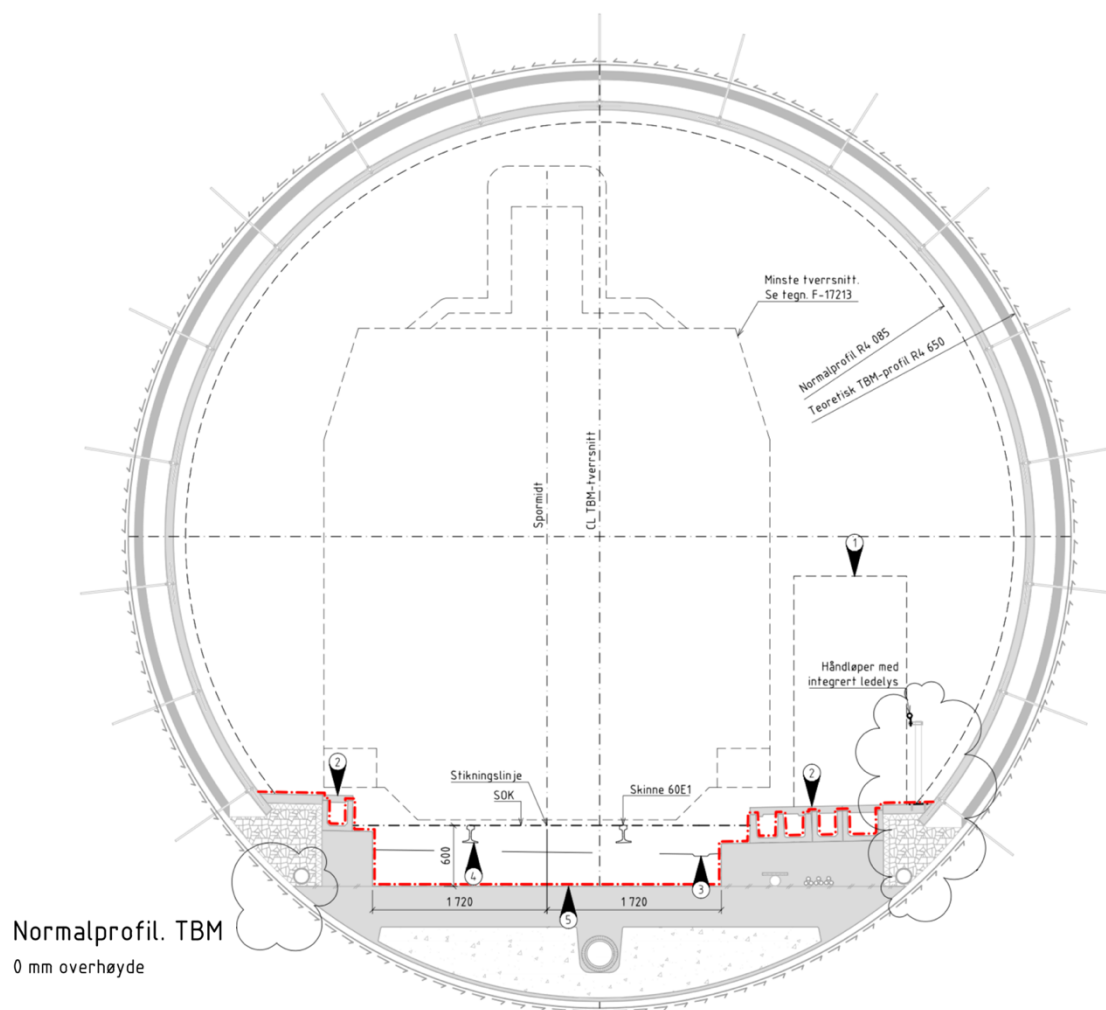


Figur 2.9: Salvesyklus for konvensjonell drift (Jernbaneverket, 2016)

I: Borina oa ladina. II: Sorenanina. III: Lastina oa utkiørina. IV: Piaaina

Fullprofilboring gjøres med en tunnelboremaskin (TBM), som borer sirkulære tunneler i TBM-ens egen diameter. TBM har generelt sett svært høy fremdrift, sammenlignet med de andre metodene for driving i fjell, og er også langt mer skånsom mot omgivelsene enn konvensjonell driving når det kommer til støy og rystelser. Det er imidlertid veldig liten mulighet til å påvirke tunnelprofilet underveis, noe som gjør at man som regel i prosjekter som drives med TBM også må drive deler av tunnelen med andre drivemetoder (Jernbaneverket, 2008).

Tunneler boret med TBM etterlater et tverrsnitt som egner seg relativt godt som jernbanetunnel ved bruk av ballastfritt spor siden sporkonstruksjon med normalprofilet over og gangbane for rømning på siden har i sum behov for et tilnærmet sirkulært profil, se Figur 2.10 som viser det tunnelprofilet som er boret til det nye løpet gjennom Ulriken.



Figur 2.10: Tunnelprofilet som er boret til det nye tunneløpet gjennom Ulriken med det ballastfrie sporsystemet i bunnen (Norconsult, 2018)

### Utfordringer

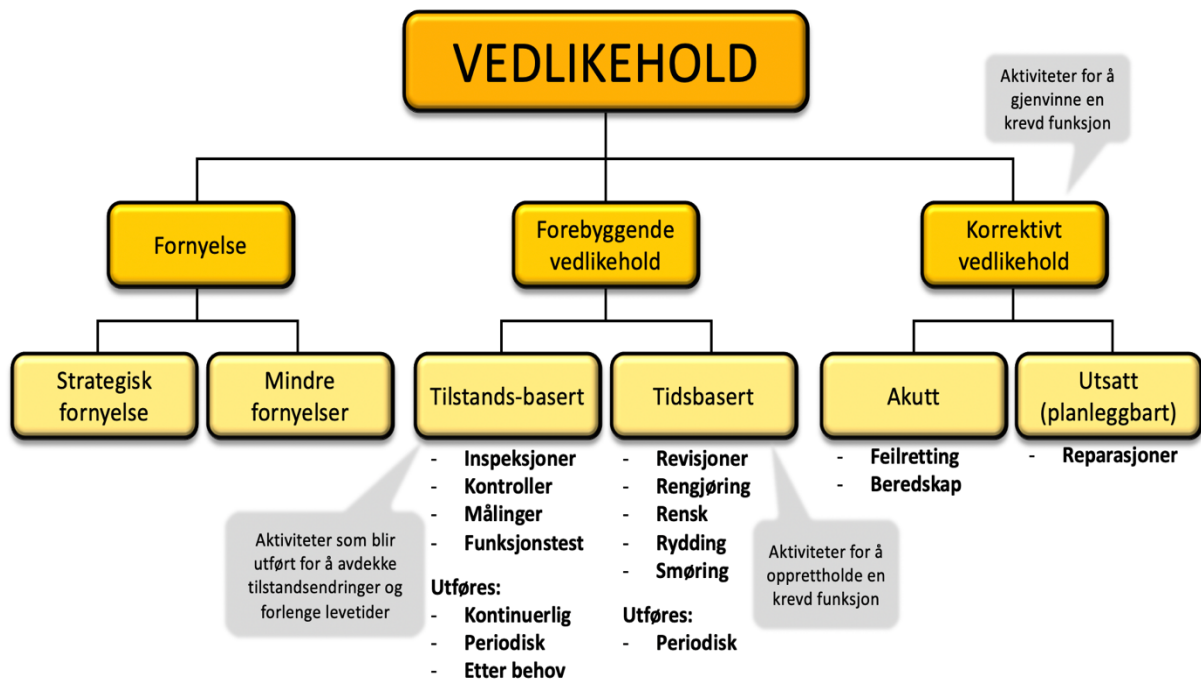
Når det kommer til bygging av jernbanetunneler er det mange utfordringer, og også veldig store konsekvenser om noe skulle gå galt. Det etterstrebes alltid å påvirke omkringliggende natur, miljø og bygninger i minst mulig grad som følge av anleggsvirksomheten i tunnelen. Underveis er støy og rystelser et fokus, og man vet



erfaringsmessig at tunnelarbeider kan medføre stor misnøye hos naboer (Jernbaneverket, 2008).

## 2.6 Vedlikehold

Vedlikeholdet på jernbane deles opp i tre forskjellige typer aktiviteter; det forebyggende vedlikeholdet, det korrektive vedlikeholdet, og fornyelse, se Figur 2.11.



Figur 2.11: Bane NORs egen modell for vedlikehold (Jernbaneverket, 2011)

Det korrektive vedlikeholdet, som betyr å rette feil som har oppstått, og fornyelse er relativt vanskelig å forutse, sammenlignet med det forebyggende vedlikeholdet, og inkluderer akutt feilretting og beredskap, utsatte reparasjoner, mindre fornyelser og strategiske fornyelser (Jernbaneverket, 2011). Dette gjør det vanskelig å planlegge for, men dog svært nyttig å ha med disse i en analyse av livsløpskostnader, da disse kostnadene kan bli relativt store, og gjøre store utslag for de totale kostnadene.

De forebyggende operasjonene er lettere å forutsi kostnaden og omfanget av, og er i Jernbaneverkets vedlikeholds-håndbok definert som:

Vedlikehold som utføres etter forutbestemte intervaller eller ifølge forutbestemte kriterier, og som har til hensikt å forlenge levetider og redusere sannsynligheten for svikt eller funksjonsnedsetning (degradering). Hovedregelen er at «Forebyggende vedlikehold» utføres på komponenter som har betydning for sikkerhet, punktlighet, verdisikring, komfort og miljø. (Jernbaneverket, 2011)

Når man planlegger vedlikehold legges det stor vekt på hvilke mekanismer som bryter ned infrastrukturen, altså hvilke påvirkninger som medfører vedlikeholdsbehov. Det er

disse nedbrytningsmekanismene man forsøker å hemme i det forebyggende vedlikeholdet, og skal på den måten redusere størrelsen av vedlikeholdsbehovet. Derfor er målevognskjøring, inspeksjoner, kontroller og tester en svært viktig del av det å minimere vedlikeholdskostnadene. En ulempe er at det dermed også vil kunne være veldig forskjellig fra bane til bane hvor godt dette arbeidet gjøres, alt avhengig av sportilgang, bevilgede midler til slikt vedlikehold, samt planleggingen som ligger til grunn (Jernbaneverket, 2016).

Overbygningen, som er det som ses på i dette arbeidet, består av flere komponenter som jevnlig trenger vedlikehold for å unngå store forsinkelser, og for å i størst mulig grad minimere vedlikeholdskostnadene og gi et lite behov for korrektivt vedlikehold (Jernbaneverket, 2011).

### Skinnestrategi

Skinnene må til stadighet slipes for å motvirke utviklingen av feil på skinnhodet. De feilene som oppstår forårsakes vanligvis av overflateutmatting og utvalsing, men også slagskader og dryppskader oppstår (Jernbanekompetanse, 2015b). For å avdekke behov for vedlikehold av skinner benyttes ulike målevogner periodevis, og en eventuell avgjørelse om å gjennomføre tiltak kommer når varslingsgrenser overskrides. Det benyttes flere verktøy for å avdekke slike feil, hvor ultralyd, skinneprofilmåling og måling av rifler og bølger er de mest brukte (Jernbanekompetanse, 2017).

### Svillestrategi

Sviller som er på vei til å bli ødelagt er ofte vanskelig å identifisere ved bruk av måleinstrument, og dermed vanskelig å drive tilstandsbasert forebyggende vedlikehold på. Som regel drives det kun korrektivt vedlikehold, samt tidsbasert forebyggende vedlikehold på sviller. Avsporing utløser også behov for svillevedlikehold og i mange tilfeller også utskifting, så jo færre avsporinger man har over sporets levetid jo færre svillebytter vil man få.

### Ballaststrategi

Gjennom målevognskjøring, ballastprøver, oppdagelse av dårlig stivhet i sporet, frostproblemer og oppdagelse av vaskesviller, kan dårlig ballastkvalitet oppdages. Etterhvert er det også bygget opp en god del erfaring med ballastens levetid i forskjellige situasjoner, enten det er snakk om en kurverik trasé eller trasé med veldig stor last. Når levetiden til ballasten er nådd vil rensing med stor sannsynlighet være nødvendig. Ballastrensing gjennomføres både stykkevis, men også over hele sporets lengde, alt avhengig av tilstanden til sporet. Dette gjør det noe uforutsigbart og man må som regel avdekke behov for ballastrensing gjennom målinger.

### Sporjustering og stabilisering

Etter en tid kan sporets motstandsevne mot horisontal- eller vertikal forflytning forringes, og tiltak må derfor iverksettes før det går på bekostning av sporets komponenter.

Pakking og baksing er de vanligste metodene som benyttes, og går ut på å komprimere ballasten til ønsket profil, og bakse skinnene til riktig posisjon horisontalt og vertikalt.

Sporstabilisering er imidlertid en arbeidsoperasjon som i dagsone som regel gjøres med dynamisk sporstabilisator. Dynamisk sporstabilisator krever at sporet har en tilstrekkelig overbygningstandard med tilstrekkelig ballast, befestigelse som er festet og ingen feil i svillene (Bane NOR, 2019b).

I tunnel skal det ifølge Bane NORs tekniske regelverk ikke benyttes dynamisk sporstabilisator, punkt 6.6 g): «Sporstabilisering skal ikke utføres i tunneler og skjæringer i fjell, men avsluttes/startes opp minimum 20 meter før/etter tunnelen/fjellskjæringen» (Bane NOR, 2019b), for sporstabilisator vil være lite hensiktsmessig i tunnel. Formålet med sporstabilisering er å sørge for at ballasten blir godt komprimert under og omkring svillene slik at man oppnår tilstrekkelig sidestabilitet. På den måten forsøker man å unngå solslyng eller sideforskyvning av sporet, særlig i krappe kurver. Dette er ikke et veldig stort problem i tunneler. I tunneler har man ikke sollys, og på den måten oppnås ikke like høye skinnnetemperaturer, og man har heller ikke veldig mange krappe kurver. Dette gjør at sporstabilisering er en arbeidsoperasjon man tilnærmet ser bort i fra når det kommer til tunnelsituasjon.

## 2.7 LCC og RAMS

RAMS og LCC er nøkkelfaktorer i jernbanesektoren, og alle parter bør, ifølge IRIS, vie stor oppmerksomhet til dette gjennom hele prosjektfasen (IRIS, 2016).

LCC er en forkortelse for *life cycle cost*, som på norsk oversettes til livsløpskostnad, eller livssyklus-kostnad, og er alle kostnader som påløper gjennom et prosjekts estimerte levetid. Dette tallet omfatter kostnader knyttet til investering, gjennom bruksfasen, samt riving, og livsløpskostnaden kan brukes til å vurdere mellom alternative løsninger for gjennomføringen av et prosjekt (Standard Norge, 2013).

Det finnes mange definisjoner av livsløpskostnad, og en annen mye brukt definisjon er alle kostnader tilknyttet et systems livsløp, og inkluderer kostnader knyttet til FoU, produksjon og bygging, drift og vedlikehold, og kassering og utfasing (Blanchard, Verma & Peterson, 1995).

Når det kommer til LCC er det viktig å huske på at LCCen til et system er forskjellig, avhengig av hvem sitt synspunkt man ser det fra. En som er ansvarlig for bygging og vedlikehold av infrastruktur vil for eksempel få en helt annen LCC enn det en operatør vil ha, da på grunn av at operatøren ikke for eksempel vil ha byggekostnaden i sin LCC (Patra, 2007). I denne studien vil LCCen analyseres fra synsvinkelen til de som bygger og vedlikeholder infrastrukturen. Flere forskjellige modeller er blitt brukt på kostnadsestimering av jernbane, særlig for estimering av vedlikehold, men tradisjonelt sett er LCC, og det å se livsløpet som helhet, en lite brukt metode i jernbanesektoren internasjonalt (Patra, 2007).

I følge Zoeteman (2001) kan livsløpskostnaden beskrives på tre forskjellige måter. Disse tre er den totale nåverdien (TNV) eller netto nåverdi (NNV), internrenten (IRR), og årlig annuitet (EAA/AAN).

TNV er en nåverdiberegning, altså et mål på summen av alle diskonterte kontantstrømmer. På denne måten summeres alle utgiftene i et prosjekt, og vil dermed gi et mål på hvor mye en løsning kommer til å koste omregnet til dagens kroneverdi, altså diskontert. Jo større TNV er, jo mer kostbart vil prosjektet være, og derfor også bli prioritert lavere enn tilsvarende prosjekt med lavere TNV rent økonomisk. Kontantstrømmer som kommer på gitte tidspunkt i prosjektets levetid, eksempelvis vedlikehold etter 20 år, vil bli diskontert tilbake til dagens kroneverdi, og derfor et mål på hvor mye penger man må «sette av» for å kunne betale denne vedlikeholdskostnaden om 20 år.

Formelen for TNV er

$$TNV = \sum_{n=0}^N \frac{c_n}{(1+r)^n}$$

(Formel 1, total nåverdi)

Hvor  $c_n$  er summen av kostnadene i år  $n$   
 $r$  er diskonteringsrenta  
 $n$  er det aktuelle året  
 $N$  er analyseperioden

TNV er kostnadssiden av NNV, som er et mål på forholdet mellom den diskonterte nytten i forhold til de diskonterte kostnadene gjennom prosjektets levetid. En positiv NNV betyr at prosjektet er lønnsomt sett fra et samfunnsmessig perspektiv (Ross, 1995).

Formelen for NNV er

$$NNV = \sum_n^{N-1} \frac{b_n - c_n}{(1+r)^n}$$

(Formel 2, netto nåverdi)

Hvor  $b_n$  er summen av nytten i år  $n$   
 $c_n$  er summen av kostnadene i år  $n$   
 $r$  er diskonteringsrenta  
 $n$  er det aktuelle året  
 $N$  er analyseperioden

IRR er et mål på hvor mye nytte man får tilbake i forhold til hvor mye man har investert i prosjektet. Den gir dermed et mål på prosjektets *fortjeneste*, og fortjenesten kan dermed sammenlignes med fortjenesten for andre løsninger på samme prosjekt, og dermed muliggjøre vurdering av hvilken løsning som er mest kostnadseffektiv. Jo større IRR er, jo mer lønnsomt er prosjektet, og hvis IRR er større enn diskonteringsrenta vil prosjektet gi en fortjeneste økonomisk sett (Alchian, 1955). Internrenten er dermed den renten som vil gjøre at netto nåverdi havner i null, og finnes ved å benytte formelen for NNV og sette denne lik 0.

Formelen for IRR er

$$0 = NNV = \sum_{n=0}^N \frac{b_n - c_n}{(1 + IRR)^n}$$

(Formel 3, internrenten)

Hvor  $b_n$  er summen av nytten i år  $n$   
 $c_n$  er summen av kostnadene i år  $n$   
 $n$  er det aktuelle året  
 IRR er internrenten  
 $N$  er analyseperioden

IRR må dermed finnes ved hjelp av numeriske metoder, og som oftest dataverktøy.

EAA, eller AAN, er summen av renter og avskrivninger som prosjektet årlig må finansiere for å håndtere utgiftene til investeringer og drift. Fordelen med denne metoden å regne på er at prosjekter med veldig forskjellig levetid kan sammenlignes, siden man rett og slett ser på hva man årlig må betale for å finansiere prosjektet, altså årlig annuitet (Chen & Chuang, 1999).

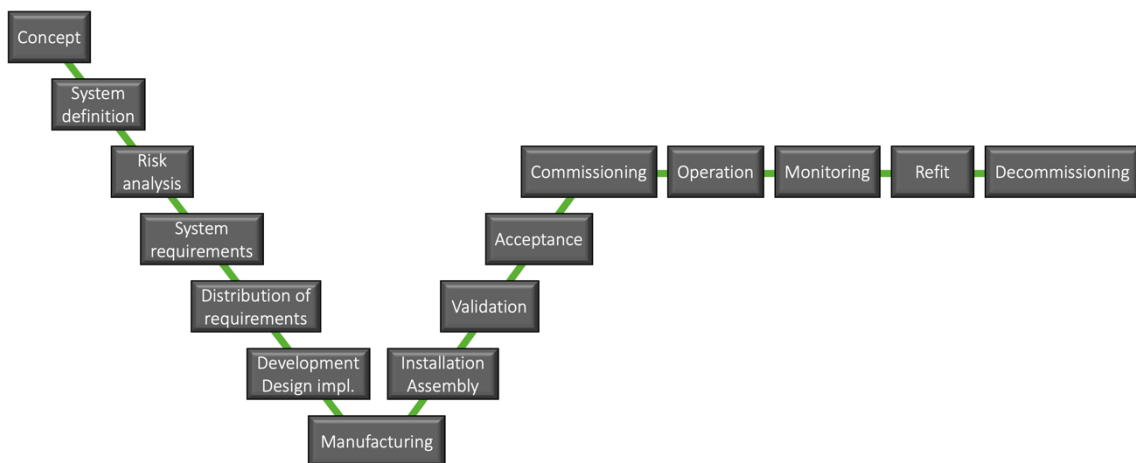
EAA er gitt ved følgende formel:

$$EAA = \frac{(1 + r)^n * r}{(1 + r)^n - r} * TNV$$

(Formel 4, årlig annuitet)

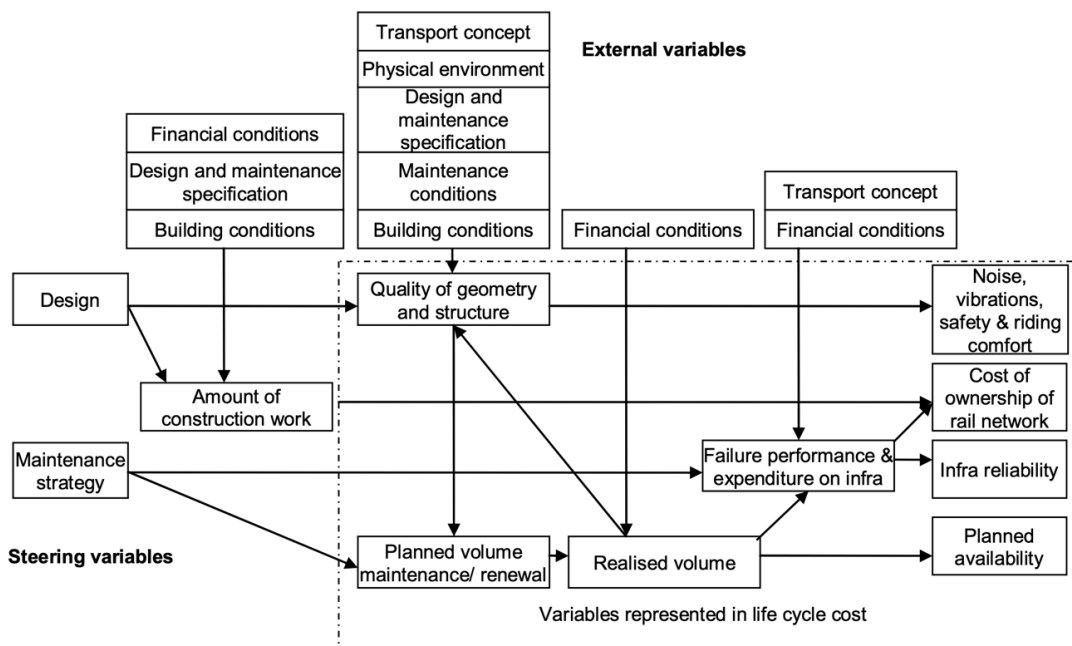
Hvor  $n$  er det aktuelle året  
 $r$  er diskonteringsrenta  
 TNV er den totale nåverdien

RAMS står for reliability, availability, maintainability og safety, eller oversatt til pålitelighet, tilgjengelighet, vedlikeholdbarhet og sikkerhet, og er en måte å vurdere prestasjonen eller ytelsen til infrastrukturen på (Bane NOR, 2017b). I jernbanesammenheng er det utviklet en egen standard, EN 50126, som skal forsøke å gi en optimal kombinasjon mellom RAMS og kostnader. Denne prosessbaserte standarden skal ivareta sikkerhet og tilgjengelighet gjennom livsløpet, som illustreres ved V-modellen, se Figur 2.12 (Standard Norge, 2017).



Figur 2.12: V-modellen for RAMS (Standard Norge, 2017)

Det er som man forstår veldig mange faktorer som påvirker et systems prestasjon eller ytelse, og mye som må tas hensyn til. I Figur 2.13 er noen av disse faktorene som påvirker RAMSen framstilt.



Figur 2.13: Faktorer som påvirker et systems RAMS (Zoeteman, 2001)

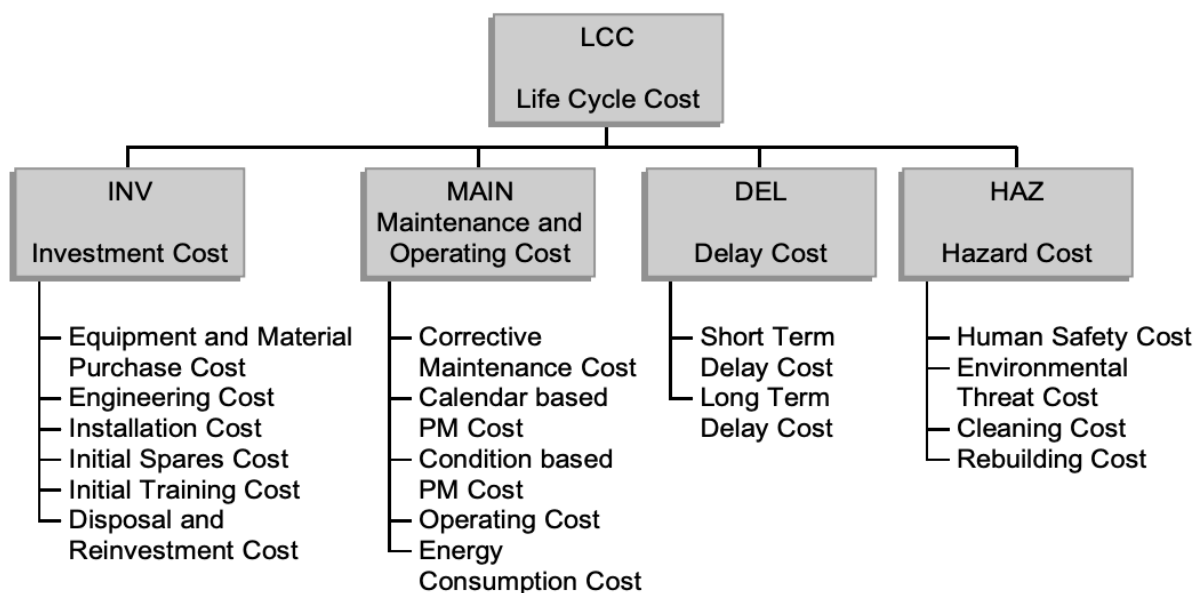
RAMSen skal tydelig kartlegges i ethvert prosjekt, og dette kan i mange tilfeller være en svært utfordrende oppgave.

## 3 Metode

### 3.1 LCC

For gjennomføring av den samfunnsøkonomiske analysen benyttes Bane NORs metodehåndbok, og de anbefalinger som presenteres i denne. Som regel tas ikke miljøpåvirkning med i beregninger av livsløpskostnad (Patricò & Giunta, 2018) på grunn av vanskeligheten med å anslå kostnaden av tiltaket

Det finnes, som nevnt i kapittel 2 Teori, mange forskjellige måter å beregne livsløpskostnader på, men felles er at man som regel bryter den totale kostnaden opp i forskjellige typer kostnader, som ofte også påløper på ulike tidspunkt i prosjektets levetid. En måte å dele opp disse kostnadene på er å bryte det ned til investeringskostnad, vedlikeholdskostnad, forsinkelseskostnad og ulykkeskostnad, og videre benytte disse kostnadene til å gjøre LCC-analysen (Hokstad, 1998). Denne oppdelingen, og eksempler på de forskjellige kostnadene som kan påløpe på hver kategori er vist på Figur 3.1.



Figur 3.1: Oppdeling av total kostnaden i kategorier (Hokstad, 1998).

Etter å ha delt total kostnaden opp i de forskjellige kategoriene vil det være enklere å sette de opp i en LCC-analyse. Den LCC-metoden som er valgt i denne oppgaven er TNV (total nåverdi), som er en måte å regne kostnader ved et prosjekt tilbake til et felles tidspunkt, altså *nåverdien*, uten å inkludere hvilke fordeler dette prosjektet vil gi. Dette gjøres ved bruk av følgende formel:

$$TNV = \sum_{n=0}^N \frac{c_n}{(1+r)^n}$$

Hvor  $c_n$  er summen av kostnadene i år  $n$   
 $r$  er diskonteringsrenta

n er det aktuelle året

N er analyseperioden

Som regel gjelder analyseperiode på 40 år for prosjekter i samferdselssektoren, men analyseperioder vurderes fra prosjekt til prosjekt (Jernbaneverket, 2015c). Grunnet manglende informasjon om ballastsporets avskrivning, og dermed restverdi vil det være vanskelig å si hvor mye verdt det vil være etter et visst antall år. Siden betongplaten i det ballastfrie sporet har en antatt levetid på 60 år (Esveld, 2001) settes analyseperioden til 60 år slik at restverdien etter analyseperioden dermed kan settes lik null. Restverdien kan nok i realiteten være negativ, siden det koster å rive et spor, men denne kostnaden vil være veldig vanskelig å anslå for et ballastfritt spor.

### 3.2 Datafangst

Investeringskostnadene som skal brukes i LCC-analysen for det ballastfrie sporet er fra anbudet til prosjektet Arna-Bergen med det nye løpet gjennom Ulriken tunnel, og er hentet fra Bane NOR internt. Kostnaden er en løpemeterkostnad, og må dermed ganges opp med analysestreknings lengde.

Vedlikeholdskostnadene hentes fra en intern rapport i Bane NOR som inkluderer kostnader for vedlikehold av ballastspor, og antatte vedlikeholdskostnader for ballastfritt spor. Levetidene på de forskjellige komponentene er estimert på bakgrunn av erfaring hentet internt fra driftsavdelingen i Bane NOR, og inspeksjon, utskifting av smådeler, skinnebytte og skinnesliping er uavhengig av om det benyttes ballastspor eller ballastfritt spor (Jernbanekompetanse, 2015b).

#### Møter og kommunikasjon med nøkkelpersoner

Personlige samtaler med nøkkelpersoner i Bane NOR, og innsamling av rapporter, erfaringsmateriale og andre dokumenter disse kunne tilby var en stor del av datafangsten. Det er ikke veldig tydelig definert hvilken kompetanse som kan hentes fra de forskjellige personene, da ballastfritt spor ikke har en særlig tydelig rolle i organisasjonsstruktur eller stillingstitler. Det var med andre ord vanskelig å vite hvem som hadde kunnskap om de forskjellige aspektene ved ballastfritt spor.

Møtene gav idéer til nye møter, da intervjuobjektene hadde kjennskap til hvem i organisasjonen og miljøet som kunne noe om temaene det var behov for kunnskap om. På den måten skred datainnsamlingen frem og den kunnskapen som trengtes innenfor de forskjellige fagområdene informasjonsbehovet lå ble kartlagt og samlet inn.

Dette ble dermed en form for kvantitativ forskning, ved at tallmateriale som behøvdtes for å gjennomføre analysen ble samlet inn. Synspunkter og meninger hos de forskjellige intervjuobjektene ble en interessant del av forskningen, og på den måten skapte dette en bedre forståelse av utfordringene som finnes, men denne kvalitative dataen ble ikke med inn i analysen og ble dermed ikke strukturert og kartlagt på samme måte. Det påvirket imidlertid til en viss grad diskusjonsdelen og forslag til videre arbeid, da det



avslørte noen av utfordringene man står ovenfor, og viste arbeid som burde gjennomføres for å i større grad forstå hele bildet.

Siden det ikke finnes noen systematikk for informasjonslagring eller databank av kostnadene til gjennomførte jernbaneprosjekter er det også svært vanskelig å få tak i slik data. Intervjuer og dokumentinnsamling ble et svært sentralt ledd i å muliggjøre en analyse og studie på dette temaet.

### TunSim og Fullprof

TunSim og Fullprof er to programmer utviklet ved NTNU, og er empiriske prognosemodeller for å estimere drivekostnad og drivetid. Disse baserer seg på data fra tidligere tunneldrift, og ved å gi programmene input-data, som tverrsnitt, fjellets beskaffenhet og hardhet, drivemetode, lastemetode osv. vil programmet med bakgrunn i de empiriske dataene estimere en kostnad og drivetid for den aktuelle tunnelen. Programmene kan bli overstyrt så mye man vil, eller man kan benytte verdiene som allerede ligger inne i programmene.

I dette tilfellet ble i størst grad de verdiene som ligger inne i programmene benyttet som datagrunnlag. Det som ble gitt som input er tunnallengden fra den bestemte analysestrekningen, se Figur 1.1, og fjellets egenskaper hentet fra rapporten *Ulriken tunnel - Vurdering av ingeniørgeologiske utfordringer og behov for videre undersøkelser/oppfølging under TBM-driving* (Bogstad, 2015).

## 3.3 Casestudie

Casestudie er en forskningsmetode som gjør det mulig å studere og forstå veldig komplekse problemstillinger (Zainal, 2007). Casestudiet kombinerer kvantitative og kvalitative data for å gjøre det mulig å beskrive en situasjon gjennom en komplett observasjon (Tellis, 1997).

Hovedregelen om casestudiets omfang er at det gjennom et begrenset utvalg testobjekter eller et begrenset analyseområde gjøres studie direkte knyttet til det man ønsker å finne ut av, nettopp ved bruk av en virkelig case (Yin, 1984). Her benyttes det en case med to mulige løsninger – tunnelen gjennom Ulriken enten med ballastspor eller med ballastfritt spor.

For å få tilgang på et reelt tall for dette i Norge ble casestudie et naturlig valg av metode. Siden det finnes svært lite erfaring på ballastfritt spor her til lands ble det helt essensielt å finne en strekning med nettopp et slikt spor, og studere dette for å kunne få et reliabelt tall på investeringskostnaden.

I casestudiet benyttes den faktiske byggekostnaden for sporet hentet direkte fra prosjektet Arna-Bergen. Dette vil dermed være en reell kostnad for byggekostnaden til et ballastfritt spor i en norsk tunnel.

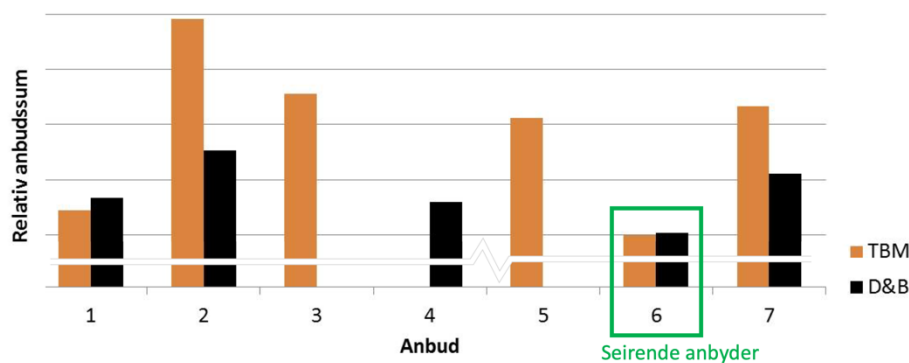
Den ene siden av casen vil bli omtalt som alternativ A, og dette vil være alternativet med ballastspor i tunnel drevet med boring og sprengning. Den andre siden vil omtales som alternativ B, og vil være det ballastfrie sporet i en fullprofilboret tunnel.

## 4 Resultat fra gjennomført analyse

### 4.1 Resultater fra TunSim og Fullprof

Analysen av kostnader for driving av alternativ A gjennomført i TunSim viser en drivekostnad på 19 780 kr per meter tunnel. Den tilsvarende analysen, som er gjennomført i Fullprof for alternativ B, viser en drivekostnad på 33 980 kr per meter tunnel. Dette vil si at en fullprofilboret tunnel ifølge de empiriske modellene vil ha 72% høyere kostnad enn om tunnelen skal drives med boring og sprengning.

Intervjuer har også gitt resultater når det kommer til drivekostnaden. Et dokument, som viser tilbudsforslagene fra de 7 forskjellige anbyderne som var aktuelle på jobben om drivingen av Nye Ulriken tunnel, viser at tilbyderen som vant anbudet faktisk har priset alternativ A 0,5% høyere enn alternativ B, se Figur 4.1. Dette vil med andre ord si at drivingen med boring og sprengning i dette tilfellet er vurdert til å være noe, men ubetydelig dyrere enn driving med tunnelboremaskin (Jernbaneverket & Statens vegvesen, 2014). Dette kan imidlertid ha vært en noe taktisk prising, men siden dette faktisk er den reelle kostnadssituasjonen fra akkurat denne casen velges det å se bort i fra drivekostnaden funnet ved hjelp av de empiriske modellene, på grunn av at den i tilbudet var tilnærmet lik.



Figur 4.1: Anbud på Nye Ulriken tunnel (Jernbaneverket & Statens vegvesen, 2014)

Figuren over viser de anbudene som kom inn. Grunnet hensynet til anbudsgiverne, og respekt for sensitiv informasjon og konkurransesituasjonen entreprenørbransjen står i, er noe av grafen tatt bort slik at det ikke er mulig å regne seg tilbake til summen i anbudene.

### 4.2 Sporets kostnad

Kostnaden som finnes for sporet i alternativ A er 43% lavere enn for alternativ B. Det er med andre ord 77% mer kostbart å bygge ballastfritt spor enn ballastspor. Dette utgjør en betydelig del av nåverdien for alternativene. Kostnaden for alternativ A er en erfaringsbasert kostnad fra Bane NOR, og kostnaden for alternativ B er kostnaden fra anbudet til Nye Ulriken tunnel.

### 4.3 Vedlikeholdskostnad

Modellen er bygget opp med vedlikeholdskostnader hentet fra flere forskjellige steder, hvor tall fra drift i Bane NOR, Gardermobanen, Follobaneprojektet, og erfaringstall fra Deutsche Bahn (DB) har vært de største kildene. Forskjellen i vedlikeholdskostnader viser seg, innenfor den angitte analyseperioden, å være på mellom 40 og 50 millioner. Det gjør at vedlikeholdskostnaden er over dobbelt så stor for alternativ A enn alternativ B.

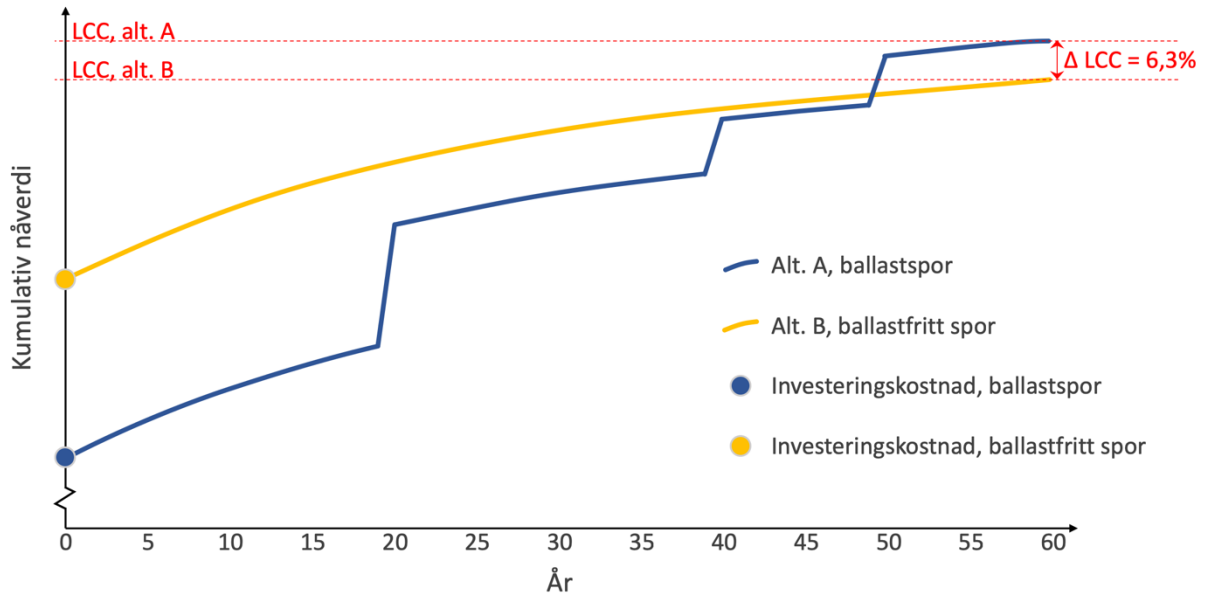
### 4.4 Resultater fra modell

Modellen ble bygget opp som med cellene som vist på Figur 4.2, og regnet nåverdien for alle de påløpende kostnadene.

Post	Kostnad	Antall	Kostnad	Påløper (etter år)	Intervall (år imellom)	Rente	Nåverdi	
<b>Ballastspor</b>								
Alle kostnader i hele 1000 (prisnivå 2018)								
5	Byggekostnad tunnel	kr	kr/m tunnel	7000 m tunnel	kr	0	4,0 % kr	
6	Byggekostnad spor	kr	kr/m enkeltspor	7000 m enkeltspor	kr	0	4,0 % kr	
7	Forebyggende vedlikehold	kr	kr/m enkeltspor	7000 m enkeltspor	kr	1	4,0% og 3,0% kr	
67	Korrektivt vedlikehold	kr	kr/m enkeltspor	7000 m enkeltspor	kr	1	4,0% og 3,0% kr	
127	Ballastrensing	kr	kr/m enkeltspor	7000 m enkeltspor	kr	20	4,0 % kr	
130	Skinnesliping	kr	kr/m enkeltspor	7000 m enkeltspor	kr	1	4,0% og 3,0% kr	
190	Målevognskjøring	kr	kr/m enkeltspor	7000 m enkeltspor	kr	1	4,0% og 3,0% kr	
250	Skinnebytte	kr	kr/m enkeltspor	7000 m enkeltspor	kr	50	3,0 % kr	
253	Svilebytte	kr	kr/m enkeltspor	7000 m enkeltspor	kr	50	3,0 % kr	
257	Restverdi					60	3,0 % kr	
258							LCC før rest= kr	
259							LCC etter rest= kr	
260							Vedlikehold= kr	
<b>Ballastfritt spor</b>								
Alle kostnader i hele 1000 (prisnivå 2018)								
264	Post	Enhetskostnad	Benevning	Antall	Kostnad	Påløper (etter år)	Nåverdi	
265	266	Byggekostnad tunnel	kr	kr/m enkeltspor	7000 m tunnel	kr	0	4,0 % kr
267	267	Byggekostnad spor	kr	kr/m enkeltspor	7000 m enkeltspor	kr	0	4,0 % kr
268	268	Forebyggende vedlikehold	kr	kr/m enkeltspor	7000 m enkeltspor	kr	1	4,0% og 3,0% kr
328	328	Korrektivt vedlikehold	kr	kr/m enkeltspor	7000 m enkeltspor	kr	1	4,0% og 3,0% kr
388	388	Skinnesliping	kr	kr/m enkeltspor	7000 m enkeltspor	kr	1	4,0% og 3,0% kr
448	448	Målevognskjøring	kr	kr/m enkeltspor	7000 m enkeltspor	kr	1	4,0% og 3,0% kr
508	508							
509	509	Restverdi				60	3,0 % kr	
510	510						LCC= kr	
511	511						Vedlikehold= kr	

Figur 4.2: Utklipp fra modellen. Tallverdiene er skjult på grunn av konkurransesensitivitet

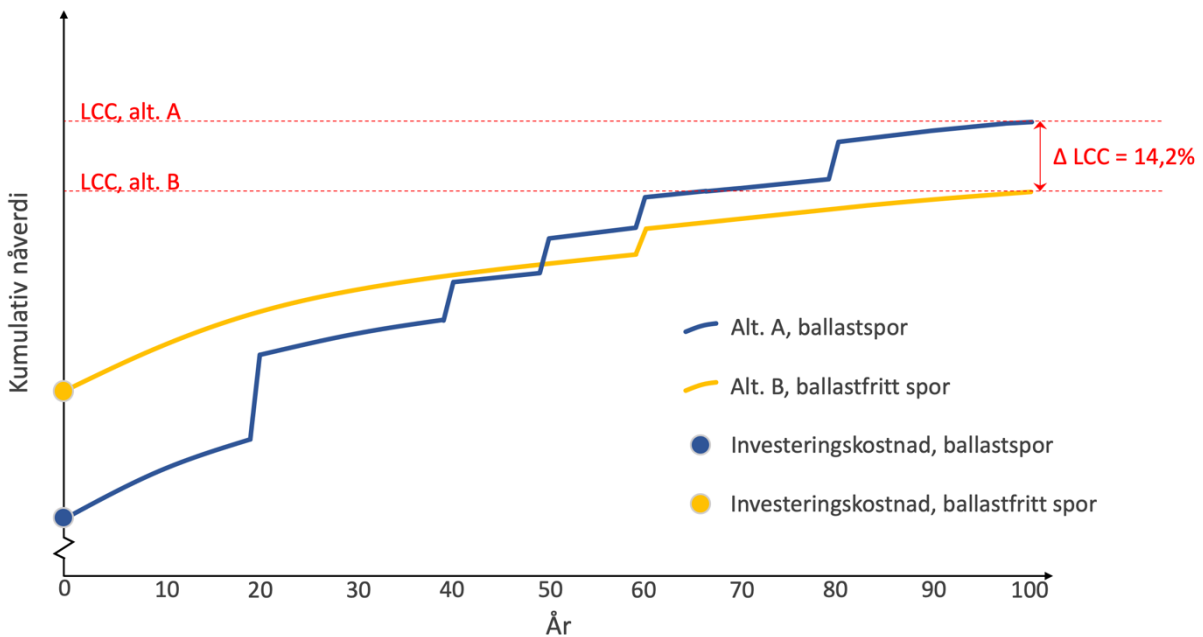
Resultatene fra modellen ble deretter satt sammen i en graf, vist på Figur 4.3. Man ser at etter 50 år vil nåverdien for de to alternativene være lik. Før 50 år vil alternativ A ha en lavere nåverdi enn alternativ B, men etter skjæringspunktet på 50 år vil alternativ A ha den største nåverdien, se Figur 4.3.



Figur 4.3: Resultat av nåverdiberegning - ballastspor og ballastfritt spor

For 60 års analyseperiode vil, med datamaterialet som er innhentet til denne analysen, forskjellen i livsløpskostnad være på 6,3%, hvor ballastsporet vil ha den høyeste livsløpskostnaden. Alternativ A har en restverdi etter bytte av skinner og sviller ved 50 år, og når det tas med i beregningen blir forskjellen 1,6%. Totalt er det mellom 1 og 5 millioner som skiller de to alternativenes livsløpskostnad.

I et tenkt eksempel med en analyseperiode på 100 år - for å se på hvordan den videre utviklingen vil være, vil nåverdien bli som vist på Figur 4.4.



Figur 4.4: Nåverdiberegning med 100 års analyseperiode

Fra figuren kan man se at forskjellen i livsløpskostnad over tid blir større og større, og etter 100 år vil den være på 14,2% forskjell, eller mellom 15 til 25 millioner kroner.

## 5 Diskusjon og refleksjon

### 5.1 Resultatene svar på forskningsspørsmålene

Ut ifra materialet som i dag finnes på ballastfritt spor, svarer resultatene på en god måte på forskningsspørsmålene. Hvis man derimot tenker seg hvor godt disse forskningsspørsmålene kunne vært besvart, med godt bakgrunnsmateriale, gir analysen derimot et begrenset utbytte.

Denne studien ser ikke på kostnadsdifferansen mellom forskjellige typer ballastfritt spor, og om det er særnorske forhold som gjør at den valgte løsningen i større grad er egnet for en norsk situasjon. Studien belyser imidlertid tydelig hvorfor den valgte løsningen er egnet, både med tanke på aksellast, hastighet og tunnelsituasjonen for prosjektet Arna – Bergen.

Som kjent er det svært mange utfordringer ved etablering og drift av sporet som vil være spesielle for Norge, og dermed er det kanskje ikke like relevant at den valgte løsningen er mye benyttet ellers i verden. Det vil i større grad være naturlig å legge fokuset på hvilket sett med egenskaper løsningen må tilfredsstillende for å kunne passe til en norsk situasjon.

Vedlikeholdsbehovet og vedlikeholdskostnaden er blitt analysert ut ifra det bakgrunnsmateriale som finnes, men er veldig vanskelig å fremskaffe nøyaktige og pålitelige tall da nettopp på grunn av det begrensede bakgrunnsmateriale. I utgangspunktet gir studien et entydig svar på dette forskningsspørsmålet, men som det i kapittel 5.3 Data i modellen diskuteres, er nok dette tallet noe avvikende fra realiteten, og trolig også noe overdrevet.

Livsløpskostnaden for det ballastfrie sporet er beregnet, og metoden som benyttes gjør at denne kommer tydelig fram fra analysen. Dette tallet er også beheftet med stor usikkerhet, og vil nok avvike en del fra en generaliserbar kostnad. Igjen, med et bedre datagrunnlag vil tilsvarende analyse gi et godt svar på dette forskningsspørsmålet.

Tilsvarende metode er benyttet for å finne livsløpskostnaden til ballastsporet, da imidlertid med et bedre datagrunnlag, og resultatet kommer tydelig fram. Dette forskningsspørsmålet er tydelig besvart gjennom analysen og gir et godt bilde av et slikt ballastspor i tunnel. Det er dog noe usikkerhet knyttet til vedlikeholdsbehovet, men dette er i større grad belyst i kapittel 5.3.

### 5.2 Metoden

Metoden som er benyttet – en LCC-analyse av en case med bakgrunnsdata hentet fra aktører med ansvar for bygging, drift og vedlikehold av jernbane har trolig vært en godt egnet metode for å belyse det ønskede temaet. I Norge er nok trolig litt tidlig å gjøre en slik studie og forvente å få generaliserbare resultater ut fra den, og det er nok i større

grad flere andre aspekter som må være studert og dokumentert før en slik analyse vil kunne gi fullt ut anvendbare resultater. De aspektene som denne studien har vist vil være fordelaktige å studere for å få bedre grunnlag for slike analyser, presenteres i kapittel 7 Videre arbeid. Dette vil trolig bidra til at fremtidige livsløpsanalyser får mer reliable resultater.

### 5.3 Data i modellen

Modellen er bygget opp med tall fra svært mange forskjellige kilder, og datafangsten har vært en komplisert og lite oversiktlig prosess. Hovedsakelig har fokuset vært å holde dette så nært casen som mulig, og dermed forsøke å kun inkludere data som i stor grad kan antas å harmonere med akkurat denne casen. Det er dermed viktig å presisere at denne situasjonen nok er spesiell og at data fra den trolig ikke direkte kan benyttes uten videre i andre situasjoner.

Det er imidlertid interessant å studere denne problemstillingen i en norsk situasjon. Skal man se på tilfeller i land hvor man har mye erfaring på ballastfritt spor, og hvor økonomi, konkurranseforhold, geologi, erfaring og så videre er den samme kunne man nok i stor grad kommet fram til et mer generaliserbart resultat, som videre kunne blitt brukt i utredninger og vurderinger av andre prosjekter.

#### Neglisjering av drivekostnaden

Det å se bort ifra drivekostnaden ble en naturlig del av denne studien, siden dette er en casestudie hvor tallene direkte fra anbudet benyttes, men erfaringsmessig vet man at drivekostnaden for tunnelen er svært avhengig av både byggemetode, bergmasse og tunnallengde. Generelt sett vil nok ikke det å se bort ifra drivekostnaden gjenspeile den typiske kostnaden for bygging av en slik jernbanetunnel, og med et mer nøyaktig datasett for de andre parameterne som ses på vil nok det å inkludere denne kostnaden dermed gi et mer reliabelt resultat.

#### Sporets investeringskostnad

Byggekostnaden for ballastsporet er erfaringskostnader hentet fra Bane NOR, og er basert på mange av deres prosjekter. Denne kostnaden er nok ganske korrekt, da mange prosjekter ligger til grunn, og tallgrunnlaget dermed er godt understøttet. Det som også her må tas med er at dette er den mest sannsynlige kostnaden for bygging av spor, med data hentet både i tunnel og dagsone. Dette kan medføre en høyere eller lavere kostnad enn realiteten siden analysestrekningen kun er i tunnel. Allikevel vil nok trolig avvikene være relativt små, og dataen som er brukt vil dermed gi et godt kostnadsbilde.

Kostnaden for bygging av ballastfritt spor er en sammenstilling av anbudene som er kommet inn i forbindelse med den jernbanetekniske kontrakten i Nye Ulriken tunnel. Det som er spesielt er at kostnaden i disse kostnadene er høyere i forhold til ballastspor enn det man ser ellers i verden. Flere faktorer kan være innvirkende på dette resultatet, og hvorfor det i liten grad samsvarer med det man ser av tidligere forskning fra andre deler

av Europa og verden forøvrig. Siden det aldri før er blitt bygget ballastfritt spor i Norge vil trolig entreprenørene prise seg litt høyt grunnet risikoen de tar ved å bygge det, altså rett og slett fordi de er usikre på hvor mye det faktisk kommer til å koste. På den andre siden vil nok entreprenørene forsøke å holde prisen så lav som mulig slik at de ved et senere anbud har et prosjekt å vise til som kunnskapsreferanse.

### Avsporing

Inn i modellens usikkerhet er det flere faktorer som er relevant å se på. Blant annet er kostnaden ved avsporing ikke er tatt med i beregningen. Denne kostnaden er veldig vanskelig å forutsi, og er stort sett avhengig av sporets beliggenhet. Forutsatt at det ballastfrie sporet er lagt riktig, vil det nok være større sannsynlighet for avsporing ved alternativ A enn alternativ B, og at kostnaden derfor ville være størst for alternativ A hvis denne var inkludert i analysen. Dette på grunn av at det er større bevegelse i et ballastspor enn i et ballastfritt spor, og at man på den måten lettere får feil beliggenhet på sporet. Dette er imidlertid en ganske usikker antagelse, da ballastfrie sporsystemer også har vist seg å kunne få feil i sporets beliggenhet.

Samtidig må også situasjonen tas til vurdering. Spor i tunnel er svært lite utsatt for eksterne krefter som kan føre til avsporing slik som direkte sollys, utglidning av undergrunnen og gjenstander i sporet, sammenlignet med spor på fri linje. Dette gjør at sannsynligheten for avsporing nok er langt lavere for et spor i tunnel generelt, og forskjellen mellom ballastspor eller ballastfritt spor trolig vil være svært liten.

Oppsummert vil nok ikke kostnad for avsporing påvirke resultatet i særlig stor grad, da de andre postene vil utgjøre en langt større del, og i så måte gjøre kostnad for avsporing neglisjerbar.

### Sporfornyelser

Det er veldig vanskelig å si hvor mye av et spor som må byttes under sporfornyelse. Dette gjelder både komponenter, men også hvilke lengder som trengs å byttes ut. Tallene analysen bygger på er erfaringstall fra Bane NOR og DB, og gir en pekepinn på sporfornyelsesbehovet, men vil ikke gi et helt riktig bilde siden dette er veldig avhengig av situasjonen sporet befinner seg i.

Eksempelvis vil et spor med dårlig underbygning etterhvert kunne få veldig store bevegelser vertikal, og dermed påføre sporet dynamiske tilleggskrefter. Dette kan videre medføre utmatting av skinne og befestigelse, samt knusning av ballast i ballastspor, noe som vil gi et langt større behov for sporfornyelser. På grunn av at ballastfritt spor ikke har den samme elastisiteten, og er en langt stivere konstruksjon vil dette trolig være et mindre problem.

I det ballastfrie sporet er det sporfornyelse først etter 60 år, altså etter analyseperioden, grunnet sporets forventede lange levetid. En analyseperiode på 60 år og slik antakelse om sporets levetid gjør at sporfornyelse ikke tas med i sporets livsløpskostnad. Samtidig



antas det at sporet har null restverdi, og at for å beholde spor på strekningen er det neste som må gjøres å gjennomføre sporfornyelse. Dette ville trolig vært bedre å fremstille som en negativ restverdi på grunn av at sporet må rives, men som nevnt innledningsvis vil denne restverdien være vanskelig å anslå.

### Ballastrensing

Ballastrensingen som er lagt til i modellen er kun omfattet av det forebyggende og korrektive vedlikeholdet, men ikke det akutte korrektive vedlikeholdet. Dette betyr med andre ord at ballastrensing som gjøres jevnlig, og så ofte man erfaringsmessig trenger å rense, samt hvis ballasten over tid har fått for dårlig kvalitet, blir inkludert. Det som ikke blir inkludert er den ballastrensinga som må gjøres som følge av ulykker eller andre situasjoner som krever akutt ballastrensing.

På tross av at tunnelen gir et tilnærmet lukket system med relativt forutsigbare forhold vil den, i alternativ A, samtidig kunne være utsatt for knusning av ballast grunnet høye spenninger. Siden tunnelsålen er tilnærmet uelastisk vil omtrent all deformasjon skje i ballasten, og ballasttykkelsen er derfor viktig for å unngå at ballastspenningene blir for store slik at knusning oppstår. Man er med andre ord svært avhengig av å opprettholde prosjektert ballasttykkelse til enhver tid for å unngå ikke-tiltenkt vedlikeholdsbehov.

Trolig vil dette aspektet være noe av det som er mest usikkert når det kommer til kostnadssammenligningen mellom ballastspor og ballastfritt spor, nettopp på grunn av faren for knusning av ballast i alternativ A. Intervall og omfanget av det nødvendige arbeidet, i tillegg til det som tas med i modellen, er derfor usikkert, og vil kunne utgjøre veldig store forskjeller i det totale resultatet.

### Sporjustering og stabilisering

Sporjustering og stabilisering er oppgaver hvor man som regel benytter dynamisk sporstabilisator, som er en svært effektiv og dermed også kostnadsbesparende metode. Siden dette ikke er lov å benytte i tunnel er man nødt til å benytte andre metoder for å justere sporet, men tradisjonelt pleier man ikke å justere spor i tunneler. Dette gjør at den sporjusteringa som ligger inne i modellen kanskje ikke burde vært tatt med. Samtidig vil sporet sannsynligvis trenge noen form for justering og stabilisering, men ikke nødvendigvis langs hele traséen. En slik stabilisering vil være langt mer kostbar per meter, men mest sannsynlig vil omfanget av den være svært liten, og kostnaden dermed relativt lavere enn den kostnaden som ligger inn i modellen. Det vil med andre ord være en måte å ta høyde med sikkerhet for et eventuelt operasjonsbehov. Trolig vil imidlertid denne justeringa være tilstede både for alternativ A og B, på tross av at det er forskjellig måte man justerer disse to sportypene på.

### Forebyggende vedlikehold

Det forebyggende vedlikeholdet som er lagt inn i modellen er basert på erfaring fra andre linjestrekninger i Norge, både data fra tunnel og dagsone. Dette gjør nok at dataene vil avvike fra det faktiske forebyggende vedlikeholdet. Siden forebyggende vedlikehold både

gjøres etter tilstandsbaserte og tidsbaserte parametere vil hele vedlikeholdsbehovet være avhengig av sporets motstand mot nedbrytning. Forskjellen mellom hva sporet faktisk trenger av vedlikehold, og det som ligger inn i modellen som generalisert vedlikeholdskostnad til forebyggende vedlikehold, kan potensielt avvike, nettopp fordi sporet enten kan trenge mer eller mindre vedlikehold enn det som anses som generalisert og sannsynlig. Trolig vil også denne kostnaden være større for alternativ A enn alternativ B.

#### 5.4 Stedsavhengige usikkerheter

Stedsavhengige utfordringer er ikke tatt med i analysens bakgrunnsdata, og bidrar nok også til at resultatene avviker en del fra den faktiske situasjonen. Siden casen er fra en tunnel kunne det gitt bedre validitet å benytte data kun fra tunneler, med andre ord å fjerne all data som ikke er hentet fra tunnelsituasjon. Dette er imidlertid ikke mulig med de dataene som finnes, og ville samtidig begrenset et allerede tynt bakgrunnsmateriale ytterligere. Trolig ville validiteten økt, fordi man måler det man skal måle, men reliabiliteten og nøyaktigheten ville gått ned siden det hadde vært lite data å støtte seg på.

Det som kunne vært en løsning på denne utfordringen i datagrunnlaget hadde vært å komme fram til et forholdstall mellom vedlikehold på hele nettet og vedlikehold i tunnel, og brukt dette forholdstallet til å estimere vedlikeholdskostnaden i tunnel på en bedre måte. Det kan eksempelvis være at vedlikeholdskostnadene er 20 prosent lavere i tunnel, og at man dermed kan ta verdiene man har for vedlikehold å gange disse med 0,8. Den største utfordringen ville da vært å komme fram til dette forholdstallet som ville gitt sammenheng mellom gjennomsnittlig verdi og verdi for tunnel.

#### 5.5 LCC

Resultatet fra analysen er veldig sensitiv for inndataen som er gitt, og som nærmere beskrevet over har inndataen store svakheter, særlig når det kommer til tallene for vedlikehold. Tallene er veldig lite detaljerte, og heller ikke særlig pålitelige, og det medfører dermed stor usikkerhet knyttet til den livsløpskostnaden som finnes i analysen. Det er derfor viktig å poengtere at det materialet som er studert i denne analysen nok ikke er veldig korrekt, men samtidig det beste som per nå er tilgjengelig for å studere en slik situasjon.

Detaljeringsgraden gjør utslag i hvordan den kumulative livsløpskostnaden utvikler seg gjennom sporets levetid. Hvis man sammenligner kurven vist på Figur 4.3 med kurver fra tilsvarende forskning ellers i verden, Figur 2.7 og Figur 2.8, ser man at utviklingen ligner og at trenden er den samme, men at de andre kurvene har knekkpunkter på flere steder. Dette skyldes nok trolig et mer detaljert datagrunnlag når det kommer til vedlikehold, hvor kostnadene er tidfestet mer nøyaktig enn hva det er i denne casen.

Det vil nok sannsynligvis være behov for noe inspeksjon og justeringer ganske tidlig i levetiden på grunn av uforutsette faktorer som ikke er blitt tatt høyde for, og som stedvis kan innvirke på sporets funksjon. Det kan for eksempel være at lekkasjevann trenger inn på enkelte steder i tunnelen og skaper korrosjon eller nedbrytning av sporet på annen måte, eller at geologien medfører et behov for justering av sporets beliggenhet. Dette vil dermed gi et vedlikeholdsbehov, og derfor kostnader, i de første årene av sporets livsløp. Kostnaden for slikt korrektivt vedlikeholdsarbeid er i modellen generalisert og dermed fordelt over flere år og oppgitt som en årlig kostnad, noe som vil gi et noe feil inntrykk av den kumulative nåverdien.

At kostnadene generaliseres, her til årlige kostnader, har ikke mye å si for det totale resultatet av analysen. Resultatet må imidlertid da i større grad ses på som helhet, og ikke år for år, og da kanskje særlig i de første årene av levetiden, da den årlige kostnaden trolig vil avvike noe fra realiteten. Dette vil da naturligvis også medføre at differansen mellom kurvene i Figur 4.3 til ethvert år heller ikke er direkte målbart.

## 5.6 Konkurransesituasjon, usikkerhet, erfaring og foretrukne løsning

Datagrunnlaget som er innhentet i forbindelse med analysen er i stor grad hentet fra anbud og rammeavtaler Bane NOR har på sine prosjekter. Det vil si at det er eksterne entreprenører som har priset en viss tjeneste på en slik måte at ikke bare tilvirkningskosten er inkludert. Det er også inkludert hele selvkosten i tillegg til fortjeneste og risiko, noe som gjør at markedet og antall tilbydere vil kunne ha stor innvirkning på prisen for å få tjenesten utført, enten det handler om å bygge eller vedlikeholde et spor. Et presset marked med mange tilbydere kan dermed føre til at prisene også går veldig ned, og at kostnadene for de som har ansvar for å bygge, drifte og vedlikeholde sporet, Bane NOR i Norge, går ned.

Når det kommer til bygging og vedlikehold av jernbane generelt er det relativt få entreprenører som tar på seg slike oppgaver, sammenlignet med andre deler av bygg- og anleggsbransjen. Dette gjør at markedet ikke er særlig presset, men markedet kan sies å være relativt vanskelig å komme inn på grunnet høy kompetanse. På tross av at det i utgangspunktet er et åpent marked vil kompetansen medføre at kun noen få aktører har denne kunnskapen, og at markedsformen dermed nærmer seg et oligopol.

Akkurat når det kommer til ballastfritt spor vil dette være litt annerledes. Her vil ikke lenger de entreprenørene som til vanlig bygger jernbanespor nødvendigvis ha så alt for stor fordel av det. Siden den foretrukne løsningen i Norge helt fram til i dag har vært ballastspor, har ikke entreprenørene som er gode på jernbanebygging i Norge kunne bygget opp kompetanse og erfaring på ballastfritt spor. De er dermed satt litt tilbake i anbudsprosesser hvor det konkurreres om bygging av ballastfrie spor, og markedet blir dermed mindre og enda mer eksklusivt. Dette kan man se både med Spanske Acciona på Follobaneprojektet og Østeriske STRABAG på Nye Ulriken tunnel, nemlig at utenlandske

aktører med høyere kompetanse og erfaring på denne typen sporkonstruksjon vinner anbudene. Dette vil dermed kunne påvirke prisene som settes av entreprenørene, da de sitter med en kompetanse som det norske markedet ikke har, og prosjekter entreprenørene ikke tør å ta på seg.

## 5.7 Eksterne påvirkningsfaktorer

Som beskrevet i de tidligere kapitlene er det mange faktorer som kan innvirke på avgjørelsen om man skal bygge ballastspor eller ballastfritt spor. I tillegg til de faktorene som allerede er beskrevet har man også et sett med eksterne faktorer som kan ha stor påvirkningskraft på avgjørelser om hvilket spor som skal bygges.

Politiske avgjørelser er i praksis avgjørende for hva som kan bygges. Får man ikke store nok bevilgninger fra politikerne vil heller ikke et prosjekt med høy investeringskostnad kunne gjennomføres. Det kommer imidlertid an på hvor lang tid budsjettet skal gjelde for, altså planperioden. Måten man i dag bevilger penger til samferdselssektoren i Norge på, gjennom Nasjonal transportplan, er en måte som vil kunne tale for flere prosjekter med langsiktig økonomi. Siden pengene bevilges over en periode på 12 år, og ikke bare år for år, vil man i større grad ha forutsigbarhet innenfor prosjektets byggetid og litt inn i prosjektets levetid. Skal politikerne vedta prosjekter med høy investeringskostnad og lavere utgifter til drift og vedlikehold må de se økonomien over lang nok tid.

Det må i den forbindelse tydelig dokumenteres at ballastfritt spor vil gi en besparelse over tid, og at politikerne viser interesse i å satse på ny teknologi og nye måter å bygge på, for at ballastfritt spor virkelig skal få en plass i den norske måten å bygge jernbane på.

## 5.8 Mulig bruk av resultatene

Resultatene fra analysen kan brukes til å få en større forståelse av ballastfritt spor i Norge, og gi et bedre bilde av den mulige bruken i en norsk situasjon. Det som kanskje er det mest sentrale resultatet fra denne studien er nok de erfaringene som er opparbeidet underveis når det kommer til hva som må studeres nærmere, og hva man bør innhente tall og data på.

En svakhet ved denne analysen er at bakgrunnsdataene er konkurransesensitive, og tall for de forskjellige elementene i anbudet kan derfor ikke gjøres offentlige. Figur 4.1 viser for eksempel bare at det er forskjeller mellom anbudene, den sier ikke engang noe om de relative forskjellene. Dette begrenser videre bruk av tall fra studien, og på tross av at casestudien, som tidligere diskutert ikke gir en komplett gjenspeiling av det totale bildet når det kommer til ballastfritt spor, vil de kunne være med på å gi en eventuell ny studie flere holdepunkter og en referanse å støtte seg på.

## 6 Konklusjon

Konklusjonen fra denne analysen vil være relativt sammensatt. Den vil også bære preg av hindringer som det ikke var forventet at kom til å bli et fokuspunkt i forkant av studien.

### Investeringskostnaden

Investeringskostnaden er, som studier fra andre land samt all studert litteratur tilsier, høyere for et ballastfritt spor enn for et ballastspor. Det tallet som brukes i denne analysen som investeringskostnad er nok ikke generaliserbart utover akkurat denne casens avgrensninger. Dette kommer av at tallet er den faktiske prisen som er kommet inn fra entreprenøren som bygger akkurat dette sporet, og ikke en generell kostnad for et hvilket som helst ballastfritt spor. Kostnaden er samtidig en god del høyere enn hva man ellers ser, noe som understøtter at denne kostnaden ikke er generaliserbar.

### Vedlikeholdskostnaden

Det er veldig vanskelig å få tak i gode tall for vedlikehold, avgrense til hva man vil ha med, og tilpasse til ønsket situasjon. Dette gjør den svært usikker, men ut ifra den gjennomførte studiens avgrensninger og bakgrunnsmateriale er den høyere enn for ballastfritt spor – hovedsaklig fordi kostnaden til ballastrensing faller bort. Dette stemmer overens med studier fra andre land samt all studert litteratur.

### LCC

Livsløpskostnaden er trolig høyere for et ballastert jernbanespor enn for et ballastfritt spor. Et mer nøyaktig datamateriale og større erfaring på vedlikeholdsbehovet for et ballastfritt spor er nødvendig for å kunne si dette med sikkerhet. På bakgrunn av usikkerheten knyttet til dataene som går inn i denne analysen, samt resultatet som kommer ut, kan man ikke si at et ballastfritt spor vil være mer lønnsomt enn et ballastspor over en 60 års analyseperiode. Det man imidlertid kan si er at trenden ligner på den man ser i tilsvarende studier fra andre land, og at dette dermed er et tema som man kan ha stor nytte av å studere videre.

### Analysen

Analysemetoden som er brukt har belyst de temaene som ønskes undersøkt, hvor investeringskostnad og vedlikeholdskostnad som munner ut i en livsløpskostnad har vist seg å komme tydelig fram. Å benytte en casestudie er, på bakgrunn av erfaringer gjort under studien, den eneste måten å studere kostnadene for denne typen jernbanespor i norsk situasjon. Man mangler erfaring til å kunne si noe mer generelt om sporets kostnad. Det kan videre anbefales å bruke en slik case-studie for å sammenligne kostnader for løsninger når man har lite erfaringsdata. Konkrete caser gjør det lettere å konsentrere seg om det man ønsker å rette fokuset mot. Om man vurderer at en type kostnad blir den samme for løsningene trenger man ikke erfaringstall i det heletatt.

Diskontering er en viktig del av denne studien, da kostnadene uten diskontering vil gi et feil bilde på den virkelige økonomiske situasjonen, og få det til å se ut som fremtidige kostnader vil ha mye mer innvirkning på livsløpskostnaden. Det er derfor viktig å benytte diskonteringsrente, slik som metodehåndboka til nåværende Bane NOR anbefaler, og beregne nåverdien.

### Avgrensning

Avgrensningene av denne studien er bevisst gjort for å sette fokus på kostnadene. Faktorer som miljøpåvirkning, bransjens synspunkter, politikk og dynamikken til rullende materiell er i stor grad satt til side, og kun blitt nevnt i diskusjonen. Dette gir ikke den fulle og hele sannheten – heller ikke når det kommer til økonomi, og en studie med et større omfang vil gi en bedre gjengivelse av det totale bildet.

## 7 Videre arbeid

Gjennom hele denne studien er det blitt avdekket flere faktorer som kan være hensiktsmessig å studere for å kunne gi grunnlag for videre forskning på ballastfritt spor med større reliabilitet. Noen anbefalinger etter gjennomføringen av denne studien følger under. Disse kan med fordel gjennomføres sammen eller separat, som bachelor-, prosjekt- eller masteroppgaver, eller som egne studier eller prosjekter. Det som vil være essensielt er tilgangen på et godt datamateriale og gjerne en reliabel case man kan studere.

### 7.1 Gode tall for vedlikeholdskostnader

En stor svakhet ved den gjennomførte studien er dårlig tilgang på gode tall for vedlikehold. Gode tall ville gitt en mye større forståelse av hva et spor faktisk koster, og dette bør derfor studeres nærmere. Man burde samle tilgjengelig informasjon hos en sentral kilde, og deretter etablere en strukturert oversikt over kostnader som påløper gjennom sporets levetid, både for ballastspor og ballastfritt spor. Disse kostnadene bør være enhetspriser, eksempelvis per meter, slik at tallene kan benyttes for andre strekninger. Man kan med fordel også ha korrigeringsfaktorer for kortere og lengre traséer.

I tillegg kan en slik database inneholde korrigeringsfaktorer for situasjonen sporet befinner seg i. Er sporet plassert på dårlige masser vet man kanskje at sporet erfaringsmessig trenger en større andel vedlikehold enn et spor som ligger på fjell. Man kan også ha korrigeringer som tar høyde for lokale værdata som nedbør, snømengder, årsmiddeltemperatur, frostmengder, solforhold, tunnelsituasjon og lokalt miljø – eksempelvis med stor nærhet til saltvann, flomveier eller bilveier som kan medføre en økt slitasje på skinnene. På en sån måte kan man etterhvert få et relativt detaljert datagrunnlag å jobbe ut fra, som gjør det mulig å med stor nøyaktighet kartlegge vedlikeholdsbehovet.

En slik kostnadsdatabase kan over tid med fordel brukes når man skal velge ut hvilke prosjekter som skal gjennomføres, da ved å benytte investeringskostnad, men også vedlikeholdskostnader som bestemmende parametere. Det kan altså da gjennomføres livsløpskostnader allerede i tidligfasen av et prosjekt, noe som vil gi langt større forståelse av det totale kostnadsbildet gjennom hele prosjektets levetid.

Om en slik datasamling fungerer godt kan det etterhvert også settes opp som et dataprogram. Med inputparametere, valg av sporets beliggenhet, prøver av undergrunn, grunnvann og andre egenskaper sporet skal ha kan da programmet regne seg fram til livsløpskostnaden og skrive ut resultatene i ønskede rapporter direkte.

## 7.2 Finne en generalisert kostnad for det ballastfrie sporet

Som omtalt i diskusjonen er byggekostnaden til det ballastfrie sporet hentet fra anbudet til prosjektet Arna – Bergen, og er et anbud vunnet av entreprenører fra utlandet. Som diskutert i kapittel 5.6 Konkurransesituasjon, usikkerhet, erfaring og foretrukne løsninger, er det mange usikkerheter knyttet til markedssituasjonen.

Investeringskostnaden som benyttes i denne analysen for det ballastfrie sporet kan med stor sannsynlighet være preget av nettopp dette. Over tid, og med erfaring fra flere prosjekter, vil trolig denne kostnaden stabilisere seg på et kjent nivå, om dette er en høyere eller lavere kostnad enn den kostnaden som er benyttet i denne analysen er vanskelig å si. Som diskutert over vil den nok trolig være lavere, men det kan absolutt være faktorer som påvirker dette.

Hvis man gjør flere studier for å finne en mest sannsynlig kostnad, og flere prosjekter med ballastfritt spor i Norge vil dette åpne mulighetene for flere og mer eksakte analyser og vurderinger mellom ballastspor eller ballastfritt spor. Det vil da bli mulig å kalkulere hvilken kostnad hver av disse alternativene får. For de som administrerer jernbaneprosjekter vil denne markedsprisen gi gevinst i form av at man i større grad vet omtrentlig hva entreprenørene bør prise, og for entreprenørene vil det gi gevinst i form av at de med sikkerhet vet omtrentlig hva det kommer til å koste de å bygge dette sporet.

Hvordan man skal komme fram til denne kostnaden er vanskelig å si, men trolig må det som beskrevet over gjennomføres flere jernbaneprosjekter med ballastfritt spor i Norge først. Man kan deretter begynne å se en trend i kostnadene, og videre kan man forsøke å justere denne etter hvordan trenden i andre land har vært ved implementering av ballastfritt spor – har kostnaden gått opp eller ned over tid? Denne markedsprisen kan deretter justeres etter hvert som prosjekt med ballastfritt spor ferdigstilles, og prisen kan få større og større sikkerhet.

## 7.3 Ballastfritt spor og nedetid

Som presentert i denne studien er vedlikeholdskostnadene omtrent halvparten for ballastfritt spor enn hva de er for ballastspor. Dette må også bety at vedlikeholdsarbeidet er, om ikke nødvendigvis halvparten, så allikevel mye mindre. Det vil altså være et mindre behov for det man kaller hvite tider, altså tider hvor det ikke er trafikk på sporet på grunn av vedlikehold.

I Norge har man et stort ønske om å få mer av godstransporten over på jernbane, men dilemmaet oppstår når relativt saktegående godstog skal trafikkere de samme linjene som persontog med stadig økende hastigheter. For at godstogene ikke skal være til hinder for persontogene kjører man en del av disse på natten når det ikke går persontog, men det er også da man som regel driver små vedlikeholdsarbeider. Med mindre vedlikehold vil det altså da være mulig å ha flere timer med trafikk på sporet, og dermed åpner det også for kjøring av flere godstog på natten.



De fordelene dette bringer med seg burde på en eller annen måte tas med som en del av vurderingskriteriene når man skal ta avgjørelser på om ballastspor eller ballastfritt spor skal bygges. Så lenge det fortsatt er et ønske om å få mer gods over på bane, og den ene sporløsningen i større grad tilrettelegger for dette enn den andre, så bør dette legges inn som en kostnadsbesparelse eller verdiøkning i analysene som gjøres.

Det bør i den forbindelse også kartlegges og etableres en god databank på trafikantnyttens som oppstår på grunn av mindre vedlikehold på dagtid, og besparelser ved at man slipper å stenge sporet for trafikk. Disse kan potensielt bli veldig store hvis det er en høyt trafikkert strekning, og er derfor verdt å studere.

#### 7.4 En konsekvensutredning av ballastfritt spor

En konsekvensutredning gjennomføres som regel som et ledd i å belyse hvilke konsekvenser et prosjekt vil få når det kommer til kulturminner, miljø, samfunn og naturressurser, og er en bred analyse som i teorien skal ta høyde for «alt». En slik konsekvensutredning, av hvilke påvirkninger bygging av ballastfritt spor kan ha, vil være til stor nytte både for å kunne prissette ulemper eller fordeler, men også for å bedre forstå de utfordringene som finnes, og kanskje videre hva som kan redusere risiko og usikkerheter.

#### 7.5 Sammenligne forskjellige typer ballastfritt spor

En sammenligning av hvordan forskjellige typer ballastfritt spor vil passe i norsk situasjon vil gi en mye bedre styring slik at man kan velge den mest optimale løsningen. Det er flere ting som må tas inn i denne vurderingen, være seg kostnad, hvor kompatibel denne sporløsningen er med det rullende materiellet som benyttes i Norge, og hvordan sporet blir påvirket av klimaet og topografien vi har.

Det kan for eksempel være at enkelte løsninger for ballastert spor ikke er gunstig fordi de egner seg dårlig under store temperatursvingninger, eller at noen typer spor egner seg svært godt fordi de gir noe rom for bevegelse av undergrunnen. Det kan i tillegg være enkelte spor som muliggjør det å benytte større eller mindre mengder sprengstein eller borekaks fra TBM-driving, og derfor egner seg bedre på steder hvor man skal fjerne store mengder fjell. Dette bør studeres og kartlegges, slik at man til enhver tid har det klart for seg hvilke typer ballastfritt spor som egner seg best i en gitt situasjon.

## 8 Kilder

Alchian, A. A. (1955). The rate of Interest, Fisher's Rate of Return over Costs and Keynes' Internal Rate of Return, *The American Economic Review*, vol. 45, nr. 5, s. 938-943.

Bane NOR (2016a). *Dobbeltspor Arna-Bergen*. Tilgjengelig fra: <https://www.banenor.no/contentassets/f44b5aeb5bdd425bb4c57d7fa036c86e/brosjyre-arna-bergen-mai-2016.pdf> (Hentet 31. januar 2019).

Bane NOR (2016b). *Fakta om prosjektet*. Tilgjengelig fra: <https://www.banenor.no/Prosjekter/prosjekter/ringeriksbanenoge16/om-prosjektet/> (Hentet 31. januar 2019).

Bane NOR (2017a) 530.10 Overbygning/Vedlikehold/Ballast. Tilgjengelig fra: <https://trv.jbv.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Ballast> (Hentet: 11. september 2018).

Bane NOR (2017b). *RAM og Sikkerhet*. Tilgjengelig fra: <https://www.banenor.no/Marked/Leverandorinfo/Sikkerhet-og-kvalitet/RAM-og-Sikkerhet/> (Hentet: 19. september 2018).

Bane NOR (2018a) *Historisk oversikt*. Tilgjengelig fra: <https://www.banenor.no/Jernbanen/Historie/Historisk-oversikt-jernbanen-i-Norge/> (Hentet: 30. januar 2019).

Bane NOR (2018b) *Follobaneprosjektet*. Tilgjengelig fra: <https://www.banenor.no/contentassets/c41bdc8a8838440f89429e22388fbc0c/ffollobanen-presentasjonsbrosjyre-2018.pdf> (Hentet 31. januar 2019).

Bane NOR (2018c). *Mer om prosjektet – Hvorfor og hva bygger vi på strekningen Arna-Bergen*. Tilgjengelig fra <https://www.banenor.no/Prosjekter/prosjekter/Arna-Bergen/mer-om-prosjektet/> (Hentet 13. mars 2019).

Bane NOR (2018d) 530.6.10 Overbygning/Prosjektering/Sporkonstruksjoner/Vedlegg/Sporkonstruksjoner. Tilgjengelig fra: <https://trv.jbv.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Sporkonstruksjoner/Vedlegg/Sporkonstruksjoner> (Hentet: 9. mars 2019).

Bane NOR (2019a) 530.6 Overbygning/Prosjektering/Sporkonstruksjoner. Tilgjengelig fra: <https://trv.banenor.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Sporkonstruksjoner> (Hentet: 8. mars 2019).

Bane NOR (2019b) 532.13 *Overbygning/Vedlikehold/Sporjustering og stabilisering*.

Tilgjengelig fra:

[https://trv.jbv.no/wiki/Overbygning/Vedlikehold/Sporjustering\\_og\\_stabilisering](https://trv.jbv.no/wiki/Overbygning/Vedlikehold/Sporjustering_og_stabilisering) (Hentet: 3. mai 2019).

Bastin, R. (2006). Development of German non-ballasted track forms, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Transport*, vol. 159, s. 25-39.

Blanchard, B. S., Verma, D. & Peterson, E. L. (1995). *Maintainability: A Key to Effective Serviceability and Maintenance Management*. New York: John Willey and Sons Inc.

Bogstad, J. B. (2015) Ulriken tunnel - Vurdering av ingeniørgeologiske utfordringer og behov for videre undersøkelser/oppfølging under TBM-driving. Masteroppgave. NTNU.

Chen, M. S. & Chuang, C. C. (1999). An analysis of light buyer's economic order model under trade credit, *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, vol. 15, nr. 1, s. 23-34.

Esveld, C. (1997). *Innovations in railway track*. TU Delft, Netherlands.

Esveld, C. (2001). *Modern Railway Track Second Edition*. Nederland: MRT-Productions.

Esveld, C. (2010). Recent Developments in high-speed track. *First International Conference on Road and Rail Infrastructure*. Opatija, Croatia, 17.-18. Mai 2010. Delft: Delft University of Technology.

Franz, Q. (2001). *Innovative Track Systems Technical Construction*. TÜV Rheinland InterTraffic, Cologne.

Hokstad, P. (1998) *Life Cycle Cost Analysis in Railway Systems*. (STF38 A98424).

Trondheim: SINTEF. Tilgjengelig fra:

[https://www.sintef.no/globalassets/upload/teknologi\\_og\\_samfunn/sikkerhet-og-palitelighet/rapporter/stf38-a98424.pdf](https://www.sintef.no/globalassets/upload/teknologi_og_samfunn/sikkerhet-og-palitelighet/rapporter/stf38-a98424.pdf) (Hentet: 27. februar 2019).

IRIS (2016). *GUIDELINE 4: 2016 RAMS/LCC* (Hentet: 15. oktober 2018).

Jernbanekompetanse (2012). *Kriterier for valg av tunnelkonsept*. Tilgjengelig fra:

[https://www.jernbanekompetanse.no/wiki/Kriterier\\_for\\_valg\\_av\\_tunnelkonsept](https://www.jernbanekompetanse.no/wiki/Kriterier_for_valg_av_tunnelkonsept) (Hentet 6. februar 2019).

Jernbanekompetanse (2015a). *Fast spor*. Tilgjengelig fra:

[https://www.jernbanekompetanse.no/wiki/Fast\\_spor](https://www.jernbanekompetanse.no/wiki/Fast_spor) (Hentet: 13. september 2018).

Jernbanekompetanse (2015b) *Skinnesliping*. Tilgjengelig fra: <https://www.jernbanekompetanse.no/wiki/Skinnesliping#Innledning> (Hentet: 20. mars 2019).

Jernbanekompetanse (2017) *Vedlikeholdsmetodikk*. Tilgjengelig fra: [https://www.jernbanekompetanse.no/wiki/Vedlikeholdsmetodikk#Strategi\\_for\\_skinner](https://www.jernbanekompetanse.no/wiki/Vedlikeholdsmetodikk#Strategi_for_skinner) (Hentet: 20. mars 2019).

Jernbaneverket (2008). *Slik bygges jernbanetunneler*. Tilgjengelig fra: <https://www.banenor.no/contentassets/9eac907f17454cbb9dacff4abf2df461/slik-bygges-jernbanetunneler---jbv.pdf> (Hentet: 03. september 2018).

Jernbaneverket (2011). *STY-601058 HÅNDBOK FOR VEDLIKEHOLD*. Tilgjengelig fra: <https://www.banenor.no/globalassets/documents/sty-dokumenter/kompetansekrav-signalvag/601058-000.pdf> (Hentet 18. mars 2019).

Jernbaneverket (2015a) *Jernbanen mot 2050*. Tilgjengelig fra: <https://www.banenor.no/contentassets/3b8f6db0edf44b35b659d05fbe1a10ff/perspektivanalyse--jernbanen-mot-2050.pdf> (Hentet: 31. januar 2019).

Jernbaneverket (2015b). *Follobanen, størst, urban, utfordrende, raskere*. Tilgjengelig fra: [https://www.banenor.no/globalassets/documents/prosjekter/follobanen/jbv\\_follobanen\\_nor\\_5\\_2411.pdf](https://www.banenor.no/globalassets/documents/prosjekter/follobanen/jbv_follobanen_nor_5_2411.pdf) (Hentet: 06. september 2018).

Jernbaneverket (2015c), *Metodehåndbok*. Tilgjengelig fra: <https://www.jernbanedirektoratet.no/contentassets/f9ed15eb368e4abb9dc6d2f558432135/metodehandbok-2015.pdf> (Hentet: 6. mars 2019).

Jernbaneverket (2016) *Estimering av kostnadsdrivere for vedlikehold av jernbanen*. Tilgjengelig fra: <https://www.jernbanedirektoratet.no/contentassets/03a365b2dcf04eb6a1779a34752a0fb6/estimering-av-vedlikeholdskostnader-jernbanen.pdf>.

Jernbaneverket & Statens vegvesen (2014) *Bruk av TBM: Erfaringer i fra tidlig fase og anbud Ulriken jernbanetunnel*.

Kothari, C. R. (2004) *Research methodology: Methods and techniques*. Second Edition. New Delhi: New Age International Pvt Ltd.

Lichtberger, B. (2005). *Track Compendium: formation, permanent way, maintenance, economics*. 1.edt. Hamburg: Eurailpress.

Michas, G. (2012). *Slab track systems for high-speed railways*. Master's degree project. Royal Institute of Technology (KTH).

Nigel, O. & Franz, Q. (2001). *Innovative Track Systems Criteria for their selection*. TÜV Rheinland InterTraffic, Cologne.

Norconsult (2018) *Arna – Fløen (Ulriken tunnel) Normalprofil* [detaljtegning].

Patra A. P. (2007). *RAMS and LCC in Rail Track Maintenance*. Licentiate thesis. Luleå University of Technology.

Patricò, F. & Giunta, M. (2016) Issues and Perspectives in Railway Management from a Sustainability Standpoint, *1st International Conference on Transportation Infrastructure and Materials*. Xi'An, Kina, 16.-18.juli 2016. Reggio Calabria, Italia: University Mediterranea of Reggio Calabria.

Patricò, F. G. & Giunta, M. (2018). LCC-Based Appraisal of Ballasted and Slab Tracks: Limits and Potential, *THE BALTIC JOURNAL OF ROAD AND BRIDGE ENGINEERING*, Vol.13, s. 475-499. <https://doi.org/10.7250/bjrbe.2018-13.429>.

RAIL.ONE (2011). *RHEDA 2000 BALLASTLESS TRACK SYSTEM*. Tilgjengelig fra: [https://www.railone.com/fileadmin/daten/05-presse-medien/downloads/broschueren/en/Rheda2000\\_EN\\_2011\\_ebook.pdf](https://www.railone.com/fileadmin/daten/05-presse-medien/downloads/broschueren/en/Rheda2000_EN_2011_ebook.pdf).

RAIL.ONE (2014) *CONCRETE SLEEPERS*. Tilgjengelig fra: [https://www.railone.com/fileadmin/daten/05-presse-medien/downloads/broschueren/en/ConcreteSleepers\\_2014\\_EN.pdf](https://www.railone.com/fileadmin/daten/05-presse-medien/downloads/broschueren/en/ConcreteSleepers_2014_EN.pdf) (Hentet: 4. mars 2019).

Ross, S. A. (1995). Uses, Abuses, and Alternatives to the Net-Present-Value Rule, *Financial Management*, vol. 24, nr. 3, s. 96-102.

Schilder, R. & Diederich, D. (2007) Installation Quality of Slab Track – A Decisive Factor for Maintenance, *European rail technology review*, vol.47, s. 76-78.

Standard Norge (2013). *Livsløpskostnader (LCC) og levetid*. Tilgjengelig fra: <http://www.standard.no/fagomrader/bygg-anlegg-og-eiendom/fasilitetsstyring/livslopskostnader-lcc-og-levetid/> (Hentet 14. november 2018).

Teixeira, P. F. *et al.* (2006). Improvements in High-Speed Ballasted Track Design, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 1943, s. 43-49.

Tellis, W. (1997) Introduction to Case Study. *The Qualitative Report*, vol. 3, no. 2, s. 1-14.

Zainal, Z. (2007) Case study as a research method, *Jurnal Kemanusiaan*, vol. 5, no. 1, u.s.

## 9 Vedlegg

- A Masteravtale
- B Taushetserklæring
- C Sporkonstruksjoner ballastspor

## A Masteravtale



1 av 3

**Masteravtale***Sist oppdatert 29. juni 2018*

<b>Fakultet</b>	IV - Fakultet for ingeniørvitenskap
<b>Institutt</b>	Institutt for bygg- og miljøteknikk
<b>Studieprogram</b>	MIBYGG
<b>Emnekode</b>	194_TBA4955_1

<b>Studenten</b>	
<b>Etternavn, fornavn</b>	Holager, Eivind
<b>Fødselsdato</b>	20.11.1995
<b>E-postadresse ved NTNU</b>	eivihola@stud.ntnu.no

<b>Oppgaven</b>	
<b>Oppstartsdato</b>	15.01.2019
<b>Leveringsfrist</b>	11.06.2019
<b>Arbeidstittel</b>	Sammenligning mellom kostnaden for fastspor og ballastspor i tunnel
<b>Problembeskrivelse</b>	<p>Gjennom årene har man sett at den tradisjonelle måten å bygge jernbanespor på har gitt sporet stort behov for vedlikehold. Med større krav til ballastsporets nøyaktighet på grunn av høyere hastighet har man derfor tatt i bruk alternative sporkonstruksjoner i flere andre land. I Norge har man svært lite erfaring på nettopp det med alternative sporkonstruksjoner, men man har nå igangsatt bygging av fastspor flere steder i landet. Oppgaven går ut på å finne en livssyklus-kostnad, som skal være grunnlag for økonomisk sammenligning av tradisjonelt ballastspor og fastspor, og gi svar på følgende problemstilling: Hva er den mest lønnsomme sporkonstruksjonen i norske tunneler sett i et livsløpsperspektiv – fastspor eller ballastspor? Hvilken fastsporkonstruksjon vil egne seg best for et fastspor bygget i en norsk tunnel?</p>

<b>Tilknyttede ressurser</b>	
<b>Veileder</b>	Elias Kassa
<b>Eventuelle medveiledere</b>	Juan Barrera
<b>Eventuelle medstudenter</b>	



## Eventuelle emner som skal inngå i mastergraden

Emnekode	Emnenavn	Sp	Nivå	Semester
----------	----------	----	------	----------

## Retningslinjer - rettigheter og plikter

### Formål

Avtale om veiledning av masteroppgaven er en samarbeidsavtale mellom student, veileder og institutt som regulerer veiledningsforholdet, omfang, art og ansvarsdeling

Masterstudiet og arbeidet med masteroppgaven er regulert av Universitets- og høgskoleloven, NTNUs studieforskrift og gjeldende studieplan for masterprogrammet.

### Veiledning

Studenten har ansvar for å

- Avtale veiledningstimer innenfor de rammene avtalen gir
- Utarbeide framdriftsplan for arbeidet i samråd med veileder, inkludert plan for når veiledningen skal finne sted
- Holde oversikt over antall brukte veiledningstimer sammen med veileder
- Gi veileder nødvendig skriftlig materiale i rimelig tid før veiledningen.
- Holde instituttet og veileder orientert om eventuelle forsinkelser.

Veileder har ansvar for å

- Avklare forventninger om veiledningsforholdet og hvordan veiledningen skal foregå
- Sørge for at det søkes om eventuelle nødvendige godkjenninger (etikk, personvernhenst).)
- Gi råd om formulering og avgrensning av tema og problemstilling, slik at arbeidet er gjennomførbart innenfor normert eller avtalt studietid.
- Drøfte og vurdere hypoteser og metoder.
- Gi råd vedrørende faglitteratur, kildemateriale/datagrunnlag/dokumentasjon og evt. ressursbehov
- Drøfte framstillingsform (disposisjon, språklig form mv.).
- Drøfte resultater og tolkningen av dem.
- Holde seg orientert om progresjonen i studentens arbeid i henhold til den avtalte tids- og arbeidsplan, og følge opp studenten ved behov.
- Sammen med studenten holde oversikt over antall brukte veiledningstimer.

Instituttet har ansvar for å

- sørge for at avtalen blir inngått.
- finne og oppnevne veileder(e).
- inngå avtale med annet institutt/ fakultet/institusjon dersom det er oppnevnt ekstern biveileder.
- i samarbeid med veileder holde oversikt over studentenes framdrift, oversikt over antall brukte veiledningstimer, og følge opp dersom studenten er forsinket i henhold til avtale.
- oppnevne ny veileder og sørge for inngåelse av ny avtale dersom:
  - veileder blir fraværende på grunn av forskningstermin, sykdom, reiser o.a., og om studenten ønsker det.

- student eller veileder ber om å få avslutte avtalen fordi en av partene ikke følger den.
- andre forhold gjør at partene finner det hensiktsmessig med ny veileder.
- gi studenten beskjed når veiledningsforholdet opphører.
- informere veiledere om ansvaret for å ivareta forskningsetiske forhold, personvernensyn og veiledningsetiske forhold.

Blir veiledningsforholdet problematisk for en av partene, kan student eller veileder be om å bli løst fra veiledningsavtalen. Instituttet må i et slikt tilfelle oppnevne ny veileder.

*Avtaleskjemaet skal signeres når retningslinjene er gjennomgått.*

Signaturer

Institutt	Veileder	Student
sted og dato	sted og dato	sted og dato
22/1-19	Trondheim	Trondheim
Elin Tøuset	22.01.2019	22.01.2019
	Blis	Eivind Holager

## B Taushetserklæring



I

### Taushetserklæring i Bane NOR

Denne taushetserklæringen skal signeres av personer som etter kontrakt med Bane NOR eller på annen måte gis tilgang til informasjon av Bane NOR.

Jeg erkjenner å ha taushetsplikt innenfor disse rammene:

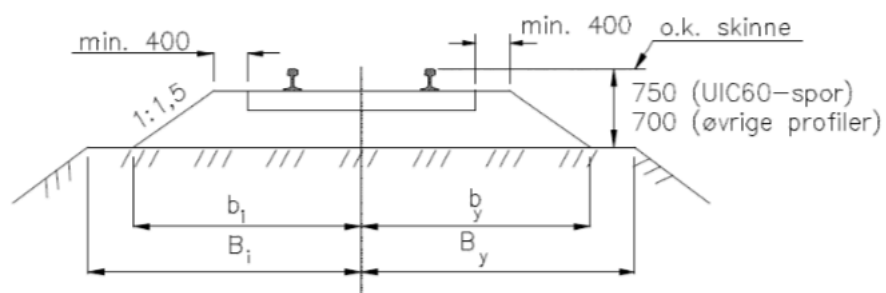
- Informasjon som er egnet til å skade eller svekke de legitime interessene til Bane NOR, Bane NORs forretningspartnere eller andre, er taushetsbelagt. Slik informasjon vil typisk være informasjon som gjelder kommersielle eller kontraktsmessige forhold, sikkerhetsrelaterte forhold og personopplysninger. Taushetsplikten omfatter under enhver omstendighet all informasjon som er omfattet av lovbestemt taushetsplikt, som for eksempel informasjon som er underlagt taushetsplikt etter sikkerhetsloven § 12 og sikringsforskriften § 3-4. Taushetsplikten omfatter ikke informasjon som er alminnelig kjent.
- Jeg har plikt til å forhindre at uvedkommende får tilgang til taushetsbelagt informasjon. Uvedkommende er i denne sammenhengen enhver som ikke har et reelt og saklig behov for informasjonen i sitt arbeid for Bane NOR. Informasjon underlagt lovbestemt taushetsplikt kan bare deles dersom det foreligger rettslig grunnlag, for eksempel at den etter lov eller forskrift kan deles eller at det foreligger en rettslig kjennelse om utgivelse.
- Jeg har plikt til å sette meg inn i lovbestemmelser og forskrifter om taushetsplikt som er relevant for mitt arbeidsområde, samt de instruksjoner om taushetsplikt som Bane NOR har pålagt meg eller min virksomhet å følge.
- Jeg skal ikke benytte taushetsbelagt informasjon for andre formål enn det formål som er grunnen til at Bane NOR har gitt meg tilgang til informasjonen. Jeg skal ikke benytte taushetsbelagt informasjon i tjeneste eller arbeid for andre enn Bane NOR.
- Taushetsplikten gjelder uten tidsbegrensning, og jeg er klar over at taushetsplikten også gjelder etter at oppdraget eller min kontakt med Bane NOR er avsluttet.
- Jeg er klar over at brudd på taushetsplikten etter omstendighetene kan gi grunnlag for straff, erstatningsansvar og sanksjoner fra Bane NOR. Jeg er kjent med at manglende kjennskap til lovbestemmelser og forskrifter om taushetsplikt ikke fritar for straff. Det samme gjelder ved brudd på de instruksjoner om taushetsplikt som Bane NOR har pålagt meg eller min virksomhet å følge.
- Taushetsplikten er ikke til hinder for å melde fra om kritikkverdige forhold til Bane NORs varslingskanal eller til tilsynsmyndighet eller annen offentlig myndighet.

[Signatur]

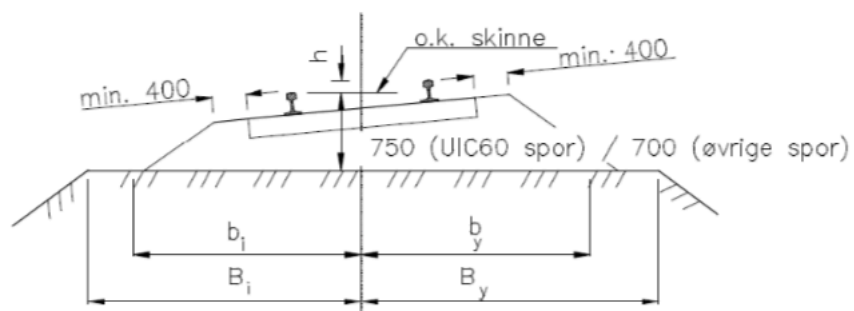
EIVIND HOLAGER

## C Sporkonstruksjoner ballastspor

### Enkeltspor

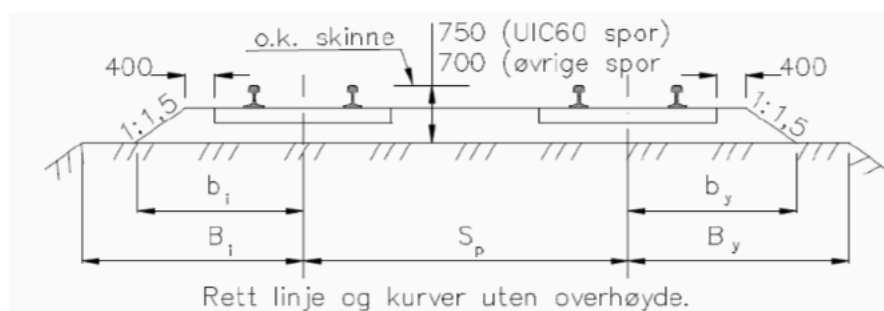


Rett linje og kurver uten overhøyde

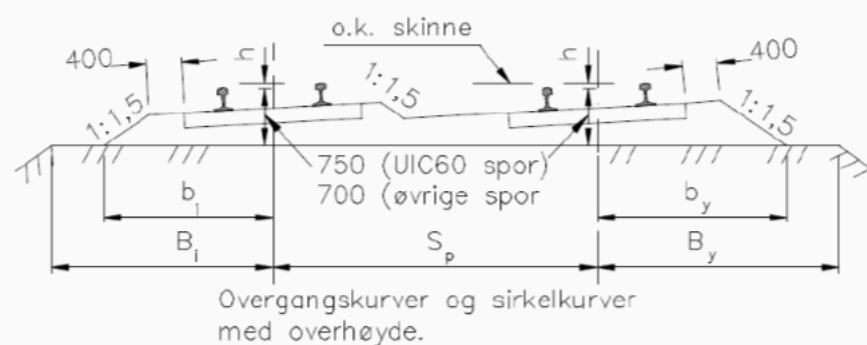


Overgangskurver og sirkelkurver med overhøyde.

### Dobbeltspor

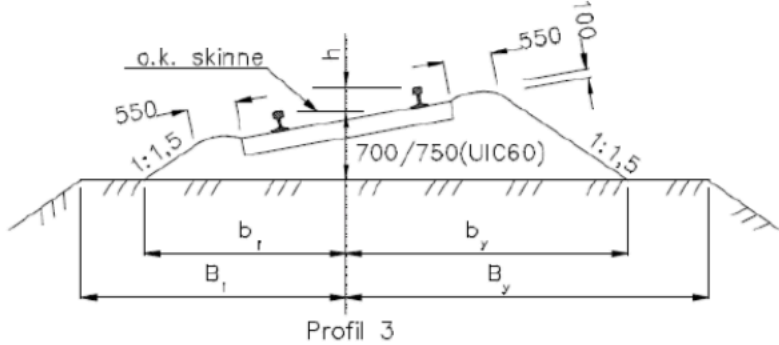
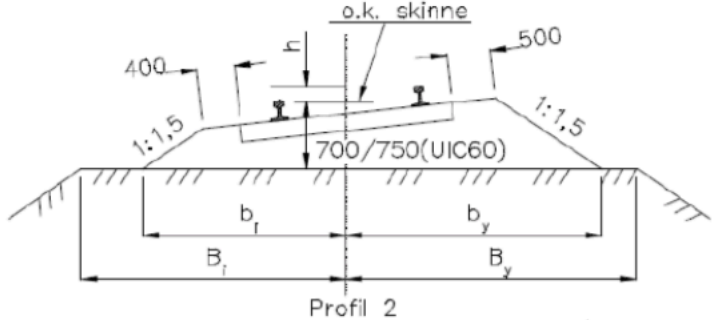
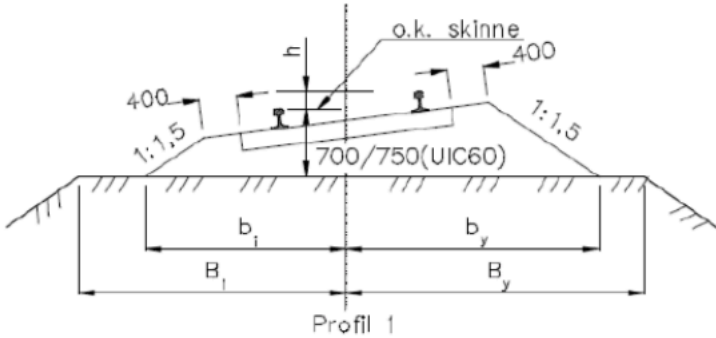


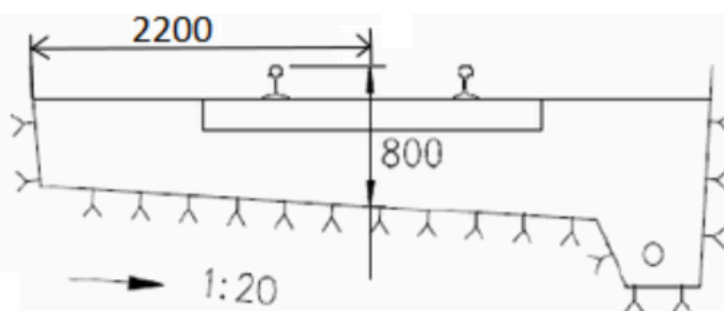
Rett linje og kurver uten overhøyde.



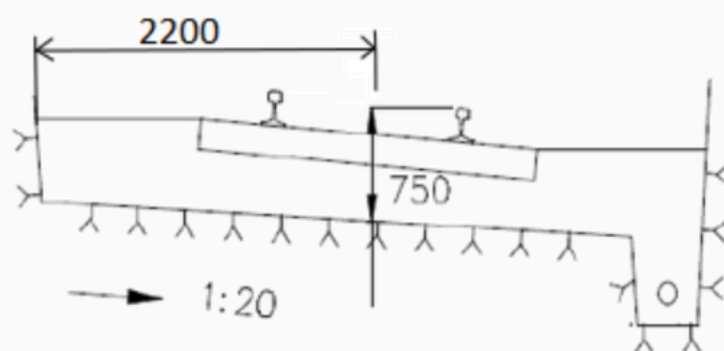
Overgangskurver og sirkelkurver med overhøyde.

I skarpe kurver

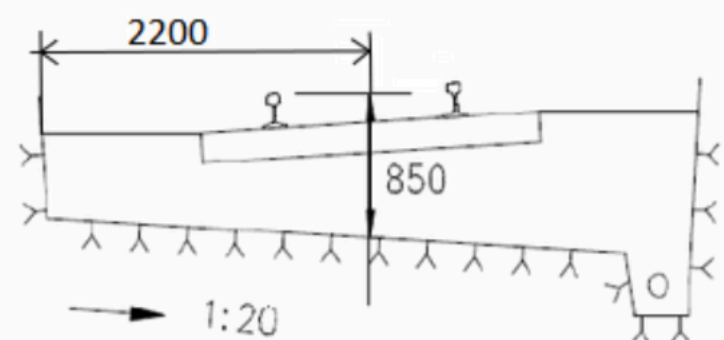


**Enkeltspor på hardt underlag**

Rett linje og kurver uten overhøyde



Overgangskurver og sirkelkurver med overhøyde



Overgangskurver og sirkelkurver med overhøyde

**Dobbeltspor på hardt underlag**