

Metodikk for å minimere total kostnaden til jernbaneinfrastruktur

Lars Bergerud

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juni 2018

Hovedveileder: Elias Kassa, IBM

Medveileder: Trude Anke, Bane NOR

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg- og miljøteknikk



Oppgavens tittel: Metodikk for å minimere total kostnadene til jernbaneinfrastruktur	Dato: 04.06.18
	Antall sider (inkl. bilag): 100
	Masteroppgave x Prosjektoppgave
Navn: Lars Bergerud	
Faglærer/veileder: Elias Kassa	
Eventuelle eksterne faglige kontakter/veiledere: Trude Kristoffersen Anke	

Ekstrakt:
Det er ønskelig å redusere total kostnaden til jernbaneinfrastruktur. I denne oppgaven regnes total kostnaden som summen av investering, drift- og vedlikeholdskostnader. Hensikten med oppgaven er å lage en metode som minimerer total kostnaden til jernbaneinfrastruktur. Kostnaden skal minimeres med hensyn på de ulike strekningstypene: bro, tunnel og dagsone.

Oppgaven skal løses ved å gjennomføre intervjuer, datainnsamling og en case-studie. Det er plukket ut tre aktuelle banestrekninger i Norge. Intervjuene vil være av personell på disse strekningene. I tillegg til intervjuene brukes Bane NORs interne systemer og arkiver til datainnsamling. Til case-studien er det plukket ut en strekning med tre ulike alternativer til trasé. Metoden og resultatene fra oppgaven brukes til å avgjøre om inkluderingen av drift- og vedlikeholdskostnadene vil påvirke valget av trasé.

Det er stor usikkerhet tilknyttet resultatene. Det er ikke grunnlag for å si at det forebyggende vedlikeholdet er mer omfattende for tunneler eller broer enn for dagsoner. Beregningene viser at de generiske arbeidsrutinene relevant for dagsoner er større enn de for tunneler. En tunnel som er vann- og frostsikret med kontaktstøpt betonghvelv vil ha færre objekter å kontrollere enn tunneler med hvelv av betongelementer. Forskjellen i kostnader til forebyggende vedlikehold vil ikke være utslagsgivende. Stålbroer vil ha mer omfattende vedlikehold enn betongbroer på grunn av overflatebehandlingen som skal hindre at stålet korroderer. Inkluderingen av drift- og vedlikeholdsoppgaver vil ikke føre til endringer i valg av trasé. Ved valg av ulike løsninger for tunneler og broer, vil inkluderingen av drift- og vedlikeholdskostnader påvirke valget.

Oppgaven har hatt flere avgrensninger. Vedlikehold består av tre deler, korrektivt vedlikehold, forebyggende vedlikehold og fornyelse. Masteroppgaven er avgrenset til å kun handle om forebyggende vedlikehold. Mangel på aktuell og relevant data har bidratt til å avgrense oppgaven. Store deler av resultatene er basert på vedlikeholdsplanen for Holm – Nykirke. Andre avgrensninger i oppgaven er at kostnader i tilknytning til stasjonsområder og signalanlegget er utelatt.

Stikkord:

1. Forebyggende vedlikehold
2. Totalkostnad
3. Tunnel
4. Bro

(sign.)


Forsidebildet viser de tre alternative til trasé som utredes på parsellen Nykirke – Barkåker. Denne strekningen er en del av case-studien i oppgaven. Bildet er hentet fra Bane NOR (<http://www.banenor.no/Prosjekter/Inter-City-/Prosjektartikler1/Nykirke--Barkaker-planarbeidet-er-i-gang/> hentet: 30.05.18).

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet av Lars Bergerud ved Insitutt for bygg- og miljøteknikk Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, NTNU. Oppgaven ble skrevet våren 2018 og tilsvarer 30 studiepoeng, TBA 4955, Jernbane masteroppgave. Masteroppgaven er en videreføring av prosjektoppgaven i emnet TBA 4590 Jernbane, fordypningsprosjekt høsten 2017.

Bakgrunnen for valg av oppgave og tema for oppgaven er interessen for jernbane. Gjennom sommerjobber og deltidsjobb som sporplanlegger i Bane NOR har trasévalg og hvilke faktorer som spiller inn, vært av stor interesse. Jernbanesektoren er mye i media og påvirker mange i deres hverdag. Ønsket om å kutte kostnader og å øke effektiviteten vil alltid være der. Å velge et tema som tar for seg dette var viktig for meg. Drift- og vedlikehold blir ofte glemt litt i store samferdselsprosjekter. Mange anser arbeidet som ferdig når en ny veg eller jernbanelinje åpner. Det er derimot da arbeidet begynner. Dette er anlegg som skal driftes og vedlikeholdes i 100 år. Selve konstruksjonen av anlegget tar mye kortere tid enn det. Ved å belyse drift- og vedlikehold av jernbaneinfrastruktur, kan man bidra til å velge løsninger som vil redusere kostnadene mange år frem i tid, ikke bare i investeringsfasen. I samarbeid med NTNU og Bane NOR kom vi frem til oppgavens tema og problemstilling.

Jeg vil takke min hovedveileder Elias Kassa for hans bidrag og hjelp underveis i arbeidet med masteroppgaven. Jeg vil også takk min med-veileder i Bane NOR, Trude Anke. Som leder for teknikk og konsept i Utbyggingsdivisjonen har hun et stort nettverk som har vært til stor hjelp i arbeidet. Håkon Andreassen ved Bane NORs kontor på Marienborg i Trondheim fortjener også en stor takk. Uten hans hjelp til å koordinere mellom NTNU og Bane NOR hadde det ikke vært mulig å gjennomføre denne oppgaven. Tusen takk til alle ansatte ved NTNU og Bane NOR som har bidratt underveis i arbeidet.



Lars Bergerud

Trondheim, juni 2018

Sammendrag

Bakgrunnen for denne oppgaven er at jernbaneprosjekter er kostbare investeringer. Derfor er det ønskelig å redusere totalkostnaden til jernbaneinfrastruktur. I oppgaven regnes totalkostnaden som summen av investering-, drift- og vedlikeholdskostnader. Hensikten er å lage en metode som minimerer totalkostnaden til jernbaneinfrastruktur. Kostnaden skal minimeres med hensyn på de ulike strekningstypene: bro, tunnel og dagsone.

Oppgaven har hatt flere avgrensninger. Vedlikehold består av tre deler, korrektivt vedlikehold, forebyggende vedlikehold og fornyelse. Masteroppgaven er avgrenset til å kun handle om forebyggende vedlikehold. Mangel på aktuell og relevant data har bidratt til å avgrense oppgaven. Store deler av resultatene er derfor basert på vedlikeholdsplanen for Holm-Nykirke. Andre avgrensninger i oppgaven er at kostnader i tilknytning til stasjonsområder og signalanlegg er utelatt.

Som følge av mangel på data, vil det være knyttet stor usikkerhet til resultatene. Basert på datainnsamlingen og beregningene som er utført er det ikke grunnlag for å si at det forebyggende vedlikeholdet er mer omfattende for tunneler og broer enn for dagsoner. Basert på data fra parsellen Holm-Nykirke vil vedlikeholdet av dagsoner være mer omfattende og kostbart per meter enn for tunneler. Broer er ikke inkludert i denne planen. De mest omfattende vedlikeholdsoppgavene var belysning og kontroll og testing av strømforsyning (UPS). En tunnel som er vann- og frostsikret med kontaktstøpt betonghvelv vil ha færre objekter å kontrollere enn tunneler med hvelv av betongelementer. Forskjellen i kostnader til forebyggende vedlikehold vil ikke være utslagsgivende. Et kontaktstøpt betonghvelv vil ha omtrent 7% høyere investeringskostnader per meter. Litteraturstudiet og datainnsamlingen viser at stålbroer vil ha mer omfattende vedlikehold enn broer av betong. Dette skyldes at stålbroer må overflatebehandles med jevne mellomrom for å forhindre at stålet korroderer. Stålbroer vil også ha høyere investeringskostnader.

Valg av trasé er en kompleks problemstilling og avhenger av mange faktorer. På bakgrunn av oppgavens resultater og analyser vil ikke inkluderingen av drift- og vedlikeholdskostnader føre til endringer i valg av trasé. Kostnadene til forebyggende vedlikehold per meter over en periode på 40 år vil være små sammenlignet med for eksempel investeringskostnadene til en bro eller tunnel per meter. Ved valg av ulike løsninger for tunneler og broer vil inkluderingen av drift- og vedlikeholdskostnadene påvirke valget.

Summary

Investments due to railway projects are highly expensive. The Norwegian railway infrastructure manager, Bane NOR, intends to reduce the total cost for railway infrastructure. The concept total cost in this thesis is defined as the sum of the investment-, operation- and maintenance costs. The purpose of this thesis is to formulate a methodology towards minimizing the total costs of railway infrastructure. The cost will be minimized considering the types of the different track stretches: bridges, tunnels and open tracks (embankments).

The master thesis has several constraints. Maintenance consists of three parts, corrective maintenance, preventive maintenance and renewal. The thesis is limited to preventive maintenance due to lack of relevant data. The maintenance plan for Holm – Nykirke is used as a main data source and used as a basis for the results and conclusions of this thesis. The other limitations in this work is that cost driving systems related to stations and signal systems are not included in the calculations.

Due to the lack of relevant data, the results from this work will not give a conclusive result. Based on the collected data and the subsequent calculations it is not possible to say that the preventive maintenance of the tunnels and bridges cost more than for open track. The results from the stretch Holm - Nykirke shows that the maintenance of open track is more comprehensive than for tunnels. The major maintenance tasks are control and testing of the lighting and energy supply (UPS). Tunnels with a concrete layer in contact with the rocks will have less preventive maintenance than a vault of concrete elements because of less objects to inspect. The difference in costs for preventive maintenance will not be decisive. A tunnel with a concrete arch in contact with the rocks will have 7% higher investment costs per meter. Bridges are not included in the maintenance plan. The literature and data collection show that steel bridges will have more preventive maintenance than concrete bridges. Steel bridges need frequent maintenance in the form of repainting to stop corrosion. In addition, steel bridges will have higher investment costs.

The choice of route is a complex problem and dependent on several factors. The study shows that the operation and maintenance costs will not affect the selection of route significantly. The costs related to preventive maintenance is small over a period of 40 years compared with the investments costs for bridges and tunnels. However, the choice of different solutions for bridges and tunnels will be affected by the operation and maintenance costs.

Innholdsfortegnelse

Forord	i
Sammendrag	iii
Summary	v
Figurliste.....	ix
Tabelliste	x
Ordforklaringer og forkortelser	xi
1. Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Hensikt og forskningsspørsmål	2
1.3 Oppgavens oppbygging.....	3
1.4 Oppgavens avgrensninger	4
2. Litteraturstudie	7
2.1 Metode for litteratursøk.....	7
2.1 Sporgeometri	9
2.2 Vedlikehold	12
2.2.2 Forebyggende vedlikehold	13
2.2.3 Tunneler	14
2.2.4 Broer.....	19
2.2.5 Vedlikehold på høyhastighetsbaner i Europa.....	20
2.3 Drift	22
2.4 Optimalisering	23
2.4.1 Det optimale designet.....	23
2.4.2 LCC-rapport Bane NOR.....	25
2.5 Oppsummering	28
3. Metode.....	31
3.1 Datainnsamling.....	31
3.2 Kostnadsberegning	33
3.3 Optimalisering	35
3.4 Case-studie	38
4. Resultat.....	39
4.1 Datainnsamling.....	39
4.1.1 Holm - Nykirke	39
4.1.2 Vedlikeholdsbudsjett.....	44
4.2 Vann- og frostsikring i tunnel	45

4.3 Broer.....	48
4.4 Dagsone.....	50
4.5 Drift.....	51
5. Case-studie.....	53
5.1 Alternativer til trasé.....	53
5.2 Sammenligning og diskusjon.....	55
6. Diskusjon.....	59
7. Konklusjon.....	69
8. Videre arbeid.....	71
9. Referanser.....	73
Vedlegg.....	A

Figurliste

Figur 1 Traséringstabell for linjehastighet 250 km/t. Hentet fra (Bane NOR, 2017d, prosjektering, sporets trasé).....	11
Figur 2 Hvelv med betongelementer, hentet fra (Bane NOR, 2017a, kapittel 5).....	16
Figur 3 Kontaktstøpt betonghvelv i direkte kontakt med bergsikringen, hentet fra (Bane NOR, 2017a, kapittel 5).....	17
Figur 4 Metode for masteroppgaven	31
Figur 5 Kostnadsfaktorer.....	36
Figur 6 Buebro, hentet fra (Bane NOR, 2015b, s. 52).	49
Figur 7 FFB-bru, hentet fra (Bane NOR, 2015b, s. 53).	49
Figur 8 Oversikt over de tre alternative korridorene mellom Nykirke og Barkåker. Hentet fra (Bane NOR, 2016c, s.8).	54
Figur 9 Kostnadsfaktorene i forhold til hverandre.	66

Tabelliste

Tabell 1 Oversikt over et utvalg søkeord og antall treff.	8
Tabell 2 Oversikt over noen relevante artikler med tilhørende søkeord.	8
Tabell 3 Krav til dynamiske parametere for linjeføring. Hentet fra (Bane NOR, 2017d).	10
Tabell 4 Andel av vedlikeholdskostnadene tilknyttet ulike delsystemer på høyhastighetsbaner i Europa. Hentet fra (Lopez-Pita et al., 2008, s.17).....	21
Tabell 5 Vedlikeholdskostnader til ulike delsystemer på høyhastighetsbaner i Europa. Hentet fra (Lopez-Pita et al., 2008, s.19).....	22
Tabell 6 Teknisk levetid for ulike delsystemer. Hentet fra (Jernbanedirektoratet, 2015, s. 45)	26
Tabell 7 Matrise som viser faktorene tilknyttet broer.	37
Tabell 8 Estimert omfang av kontroll av hengemast på Holm-Nykirke. Hentet fra (Bane NOR, 2016b, vedlegg a)	40
Tabell 9 Tabell over de mest omfattende vedlikeholdsoppgavene på strekningen Holm-Nykirke.....	41
Tabell 10 Oversikt over andelen av det forebyggende vedlikeholdet som er tilknyttet de ulike strekningstypene.....	42
Tabell 11 Mannskapspriser fordelt på faggrupper. Tilsendt fra (Frøystein og Kvernmo, 2018).	43
Tabell 12 Vedlikeholdskostnader tilknyttet de ulike strekningstypene.	44
Tabell 13 Oversikt over andelen av ulike strekningstyper for hvert alternativ. Hentet fra (Bane NOR, 2016c).	56
Tabell 14 Grov oversikt over antall meter av ulike strekningstyper for hvert alternativ. Hentet fra (Bane NOR, 2016c).	56
Tabell 15 Oversikt over investeringskostnadene tilknyttet hver strekningstype for hvert alternativ.....	57
Tabell 16 Kostnader for de ulike alternativene inkludert vedlikeholdskostnader.....	57

Ordforklaringer og forkortelser

Her presenteres noen ordforklaringer og forkortelser. Øvrige forkortelser og parametere presenteres der de opptrer i oppgaven.

Generiske arbeidsrutiner = brukes i denne oppgaven om oppgavene som utføres med bestemte intervaller. I oppgaven brukes det på lik linje med forebyggende vedlikehold. Utførelsen av generiske arbeidsrutiner og forebyggende vedlikehold forlenger levetiden og reduserer sannsynligheten for svikt på infrastrukturen.

Hvite tider = Hvite tider er når det er helt togfritt for person- og godstog. Det er i dette tidsrommet det vil være optimalt å gjennomføre vedlikehold. Det kan være arbeidsmaskiner på sporet i hvite tider.

Tverrslag = ankomsttunneler til hovedtunnelen. De går på tvers av hovedtunnelens lengderetning. I tunnelens driftsfase brukes de som nødutganger og innganger til tunnelen for å utføre vedlikehold.

Viadukt = er en lang brokonstruksjon. I denne oppgaven brukes det om broer som går over land.

ERTMS = European Rail Traffic Management System

FFB-bro = fritt frambygg-bro

IC = InterCity

LCC = Life Cycle Costs

UPS = avbruddsfri strømforsyning. Det er et av jernbanens reservestrømsystemer.

1. Innledning

I innledningen presenteres først bakgrunnen for oppgaven. Videre tar den for seg hensikten med oppgaven og forskningsspørsmålene. Oppgavens begrensninger og oppgavens oppbygging presenteres til slutt i kapittelet.

1.1 Bakgrunn

Det er forventet at total transportvekst for persontransport vil øke med 40% frem mot 2050. Veksten for godstransport er ventet å være 80% frem mot 2050. Befolkningsvekst og økonomisk vekst bidrar til denne utviklingen. Nesten 60% av befolkningsveksten er forventet å skje i og rundt de store byene (Bane NOR, 2015a). I byområdene er målet at veksten i persontransport skal tas med kollektivtransport, sykkel og gange. Dette kalles nullvekstmålet (*Meld. St. 33 (2016-2017)*, 2016). Utviklingen av jernbanen er en sentral del for å kunne oppnå nullvekstmålet. Flere store og kostbare jernbaneanlegg er under planlegging og bygging i Norge. InterCity på Østlandet er den største satsingen. I Norge består jernbanenettet av 4 208 km med spor. I 2016 var 269 km av dette dobbeltspor, resten er enkeltspor (Jernbanedirektoratet, 2017). Den store andelen enkeltspor medfører begrensninger for kapasiteten på jernbanenettet.

Norge er et land med kupert terreng. Det fører enten til store inngrep i naturen eller at jernbanenettet må tilpasses terrenget. Å tilpasse jernbanenettet til terrenget gir krappe kurver og bratte stigninger. Konsekvensen av det er redusert makshastighet på strekningen. For å redusere reisetiden mellom byene og gi et bedre tilbud, må det bygges for høyere hastigheter enn det topografien i Norge tillater. Det gir store inngrep i naturen og omgivelsene.

InterCity (IC) er et prosjekt som handler om å bygge dobbeltspor mellom flere av de største byene på Østlandet. Ytterpunktene i IC-prosjektet er Lillehammer, Halden og Skien. Innen 2034 skal det bygges dobbeltspor for hastigheter opp til 250 km/t mellom disse byene. Formålet med IC-prosjektet er å gi halvannen million av Norges innbyggere raskere reiser og flere avganger på strekningene. IC er på oppdrag fra Stortinget og beskrives i Nasjonalt Transportplan(NTP). Utbyggingen er trinnvis og dobbeltsporet til ytterpunktene av IC-trianglet skal være ferdig i 2034 (Bane NOR, 2017c).

Mange faktorer er med på å påvirke hvor de nye traséene skal gå. Dette er faktorer som arealbruk, miljø, sporgeometri, kulturarv og økonomi. IC-prosjektet innebærer også utbyggingen av 25 nye stasjoner. Hvor disse stasjonene skal ligge er politiske temaer som

mange har meninger om. Å bestemme traséen til en ny jernbanestrekning er et komplekst tema. Økonomi vil ha stor innvirkning på resultatet.

Det vil være strenge sporgeometriske krav til en jernbanestrekning med makshastighet lik 250 km/t. For å tilfredsstillere kravene til linjeføringen brukes tunneler og broer som elementer. Tunneler og broer er kostbare og vil ha en stor innvirkning på investeringskostnadene til et prosjekt. Bane NOR SF og Jernbanedirektoratet ønsker å redusere livsløpskostnadene til jernbaneanlegg. I den sammenheng er det ønskelig å systematisk inkludere drift- og vedlikeholdskostnadene når det skal bestemmes hvor en ny trasé skal gå. På den måten kan man velge løsningen som vil gi de minste total kostnadene og en optimal kombinasjon av investering og drift/vedlikehold.

Litteraturstudiet viser at det ikke er mye tilgjengelig litteratur på området som behøves til denne oppgaven. Innenfor sporgeometri er det en god del litteratur på hva som vil være den optimale geometrien for høyhastighetsbaner og at den optimalt sett bør være så rett som mulig. Når det kommer til valg av trasé for en ny jernbanelinje er det mange faktorer som spiller inn. Det har ført til at drift- og vedlikeholdskostnadene har kommet langt bak i køen. Også fordi det ikke er noen systematisk måte å inkludere dette på.

Artikkelen "*Maintenance costs of high-speed lines in Europe*" (Lopez-Pita *et al.*, 2008) tar for seg vedlikeholdskostnader på høyhastighetsbanene i Europa og er blant den mest relevante litteraturen for denne oppgaven. Her tar de for seg hvor stor andel av vedlikeholdskostnadene de ulike delsystemene står for. Her er det kun en liten andel av kostnadene som er tilknyttet tunnel eller bro. Samtidig vet man ikke hvordan tunneler og broer påvirker kostnadene for de andre fagområdene. Basert på vedlikeholdsplanen for Holm-Nykirke er nesten alle vedlikeholdsoppgavene for tele tilknyttet tunnelen. Derfor vil det være naturlig å anta at det vil være en større andel av vedlikeholdskostnadene som er tilknyttet tunneler og broer enn det som kommer frem i artikkelen "*Maintenance costs of high-speed lines in Europe*" (Lopez-Pita *et al.*, 2008). I den artikkelen har de kun sett på vedlikeholdet av selve konstruksjonen tunnel eller bro, ikke vedlikehold av teleutstyr eller andre tekniske installasjoner i tunnelen.

1.2 Hensikt og forskningsspørsmål

Tunneler og broer er kostbare elementer og vil ha stor innvirkning på investeringskostnadene. For å inkludere drift- og vedlikeholdskostnadene er det viktig å kartlegge hvordan tunneler og broer påvirker disse kostnadene. Hensikten med denne oppgaven er å lage en metode som, på

bakgrunn av andelen tunneler og broer, inkluderer drift- og vedlikeholdskostnadene i planleggingsfasen. Med denne metoden skal en estimere total kostnaden til traséalternativet.

For å løse denne oppgaven er det definert fire forskningsspørsmål som skal løses underveis i arbeidet.

- Hvilke parametere har størst innvirkning på drift- og vedlikeholdskostnadene til en jernbanelinje?
- Hvordan påvirker andelen tunneler og broer drift- og vedlikeholdskostnadene til en jernbanelinje?
- Hvordan påvirker ulike tunnel- og broløsninger drift- og vedlikeholdskostnadene?
- Hvordan vil det å inkludere drift- og vedlikeholdskostnadene i planleggingsfasen påvirke valget av trasé?

Det første forskningsspørsmålet kan løses ved å samle inn vedlikeholdsdata. Vedlikeholdsoppgavene som har det største omfanget, vil ha størst innvirkning på kostnadene. Det kan være parametere som ikke har noe med tunneler eller broer å gjøre. For å kunne gi svaret på det andre spørsmålet må en kunne dele opp drift- og vedlikeholdsoppgaver etter hvilken strekningstype de er relevante for, henholdsvis tunnel, bro og dagsone. Ved å dele opp vedlikeholdsoppgavene etter strekningstype, kan en estimere kostnadene til vedlikeholdet av en tunnel. Det vil vise hvordan andelen tunneler påvirker drift- og vedlikeholdskostnadene.

Spørsmål nummer tre kan løses ved å sammenligne kostnader for tunneler og broer med de ulike løsningene. Det fjerde spørsmålet løses ved en case-studie. I case-studien benyttes metoden som er utviklet underveis på ulike alternativer til trasé på strekningen Nykirke-Barkåker på Vestfoldbanen. De ulike alternativene vil ha varierende andel tunnel og bro. I case-studien kan man se om drift- og vedlikeholdskostnadene til tunnelene og broene vil påvirke valget av traséen.

1.3 Oppgavens oppbygging

Masteroppgaven består av 9 kapitler. Til skrivingen av masteroppgaven ble boken "*Masteroppgaven, hvordan begynne – og fullføre*" (Everett og Furseth, 2016) og dokumentet "*Råd og retningslinjer for rapportskriving ved prosjekt- og masteroppgaver*" (Institutt for bygg anlegg og transport, 2013) brukt som hjelpemidler.

Kapittel 1 er en innledning til oppgaven. Her presenteres bakgrunn for oppgaven, problemstillingen, oppgavens oppbygging og avgrensninger.

Kapittel 2 er oppgavens litteraturstudie. Fremgangsmåten og funnene i litteraturstudiet blir presentert. Det beskrives blant annet hvordan vedlikehold av tunneler og broer utføres, fremgangsmåten for matematisk optimalisering og hvordan man utfører en LCC-analyse.

Kapittel 3 beskriver oppgavens metode. Her beskrives det hvordan dataen er samlet inn og hvordan oppgavens beregninger utføres.

Kapittel 4 presenteres oppgavens resultater og analyser. Resultatene fra de ulike delene av datainnsamlingen og beregningene går gjennom og redegjøres for.

Kapittel 5 handler om oppgavens case-studie. De ulike alternativene til trasé mellom Nykirke og Barkåker på Vestfoldbanen presenteres. Det redegjøres for hvilket alternativ som vil være det mest økonomiske ved bruk av oppgavens metode og resultater.

Kapittel 6 er diskusjonsdelen i masteroppgaven. Diskusjonen handler om resultatene fra datainnsamlingen og hvordan de ulike strekningstypene kan påvirke drift- og vedlikeholdskostnadene. Styrker og svakheter ved oppgaven diskuteres til slutt.

Kapittel 7 oppsummerer og konkluderer på bakgrunn av resultatene og diskusjonsdelen.

Kapittel 8 forslår videre arbeid innenfor oppgavens tema.

Kapittel 9 er oppgavens referanser.

1.4 Oppgavens avgrensninger

Vedlikehold kan deles inn i tre deler: forebyggende vedlikehold, korrektivt vedlikehold og fornyelse. Det forebyggende vedlikeholdet er generiske arbeidsrutiner med bestemt intervaller. I oppgavens beregninger er det kun forebyggende vedlikehold som er inkludert. Forebyggende vedlikehold er lettere å planlegge og legges til hvite tider. Korrektivt vedlikehold er mer uregelmessig og vanskeligere å planlegge for. For å beregne dette behøves større mengder erfaringsdata enn det som finnes for de aktuelle strekningene i dag. Dette er nye strekninger som nylig har blitt tatt i bruk, eller ikke er i bruk enda. Nye strekninger vil ha oppstartsproblemer. Problemer som oppstår i starten av driften. Oppstartsproblemene er ikke representative for senere drift og vedlikehold av strekningene. Derfor er kun forebyggende

vedlikehold inkludert i beregningene. Fornyelse av komponenter eller delsystemer skjer ved bestemte intervaller eller ved behov. Dette er heller ikke inkludert i beregningene.

Videre er det antatt at alt av generiske arbeidsrutiner utføres i hvite tider. Ekstra kostnader ved stopp i trafikken er derfor ikke inkludert. Det forebyggende vedlikeholdet er lettere å tilpasse ruteplan og unngå togtrafikken. Da unngår man kostnader i forbindelse med forsinkelser.

En generisk arbeidsrutine som er felles for flere strekningstyper, antas å ta like lang tid å utføre per meter på alle strekningstyper. For eksempel at det tar like lang tid å kontrollere kontaktledningen i en dagsone og en tunnel. Korrektivt vedlikehold kan være mer krevende å utføre på broer og i tunneler fordi det kan være vanskeligere å komme til området hvor feilrettingen skal skje. I oppgaven er ikke korrektivt vedlikehold inkludert.

Stasjoner er svært kostbare konstruksjoner og plasseringen avhenger av mange ulike faktorer. Holmestrand stasjon er en unik stasjon og det er lite sannsynlig at en slik stasjon vil bli bygget igjen på grunn av dens kompleksitet. Plassering av stasjoner er komplekse problemer med få standardløsninger. Derfor er stasjoner utelatt fra beregningene i oppgaven. Holmestrand stasjon er utelatt fra beregningene, basert på vedlikeholdsplanen for Holm -Nykirke, der dette ble vurdert til å være vesentlig og nødvendig.

Kostnader tilknyttet drift og vedlikehold av signalanlegg er ikke inkludert i oppgaven. Vedlikeholdet av signalanlegget er uavhengig av strekningstype og det vil ikke gi noen forskjeller mellom strekningstypene. I tillegg skal store deler av signalanlegget skiftes ut. Det nye signalanlegget ERTMS skal innføres. Vedlikeholdet av det gamle signalanlegget vil ikke være relevant i like stor grad.

Driftskostnader er også en del av oppgavens begrensninger. Driftskostnader har flere faktorer og den eneste som er belyst i oppgaven er snørydding. Kostnader knyttet til andre faktorer som banestrømforsyning er ikke inkludert i oppgaven.

Datainnsamlingen har blitt en naturlig begrensning for oppgavens resultat. Kostnadene til Bane NOR føres ikke på hver enkelt vedlikeholdsoppgave. Å bestemme hvor stor del av vedlikeholdskostnadene som går til ulike strekningstyper blir derfor vanskelig. Slik har datainnsamlingen vært begrensende for oppgavens resultater.

2. Litteraturstudie

I dette kapitlet presenteres litteraturen som er benyttet i masteroppgaven og eksisterende forskning. Kapitlet bygger videre på prosjektoppgaven som ble gjennomført som en del av faget TBA4590 - Jernbane fordypningsprosjekt.

2.1 Metode for litteratursøk

Litteratursøket startet med å undersøke litteraturen veileder Elias Kaasa tipset om. På oppfordring fra han ble Martin Lindahl sin rapport "*Track geometry for high-speed railways*" (Lindahl, 2001) og Bjørn Kufver sin doktoravhandling "*Optimisation of horisontal alignments for railways*" (Kufver, 2000) undersøkt. Disse referansene ble hovedsakelig brukt til delen om sporgeometri i oppgaven. Videre anbefalte Bane NOR å benytte seg av nettsiden for lærebøker i jernbaneteknikk, jernbanekompetanse.no (*Lærebøker i jernbaneteknikk*, 2012). Sammen med Bane NOR sitt tekniske regelverk ble denne siden brukt til å lese seg opp på vedlikehold og vedlikehold av tunneler og broer (Bane NOR, 2017e). Læreboken i faget TBA 4222 Advanced Railway technology "*Modern Railway Track*" av Coenraad Esveld har også blitt brukt i litteraturstudiet (Esveld, 2001). Flere rapporter og utredninger fra Bane NOR ble også brukt. For eksempel utredningen om "*Life Cycle Costs*" (Bane NOR, 2012) i jernbanesammenheng og prosjekteringsveilederen "*Anbefalt konstruksjonsprinsipp for jernbanetunneler*" (Bane NOR, 2017a).

I søkeprosessen på internett var det hovedsakelig Google Scholar og NTNU Universitetsbibliotek sin søketjeneste Oria som ble brukt. For å systematisere søket, ble resultatene satt opp i to tabeller, en med søkeord og hvor mange treff det ga, og en med mulig relevante artikler og tilhørende informasjon til denne artikkelen. Tabellene 1 og 2 viser oversikten over søkeord og relevante artikler.

Tabell 1 Oversikt over et utvalg søkeord og antall treff.

Søkeord	Søkemotor	
	Google scholar	Oria
"Track alignment high speed"	0	0
"Track alignment" high speed	2630	552
"Track geometry high speed"	3	13
"Track maintenance high speed"	5	5
maintenance high speed railway	348 000	43 316
"railway tunnel maintenance"	28	1
jernbanetunnel vedlikehold	96	0
"maintenance railway bridges"	0	18
vedlikehold jernbane	1810	63
"railway substructure"	352	74
"railway substructure maintenance"	3	0

Tabell 1 viser antall treff på forskjellige søkeord. Dette er et utvalg av søkeordene som ble brukt og viser fremgangsmåten for litteratursøket. Antallet treff falt veldig med en gang det ble brukt apostrof rundt søkeordet.

Tabell 2 viser en oversikt over noen artikler som kunne være relevante for oppgaven. Denne oversikten ble laget for å lettere kunne finne tilbake til artiklene hvis de viste seg å være relevante.

Tabell 2 Oversikt over noen relevante artikler med tilhørende søkeord.

Tittel/navn	Søkemotor	Dato	Søkeord
<i>Design of railway track for speed and high-speed railways</i>	Oria	19.09.2017	track alignment high speed
<i>Maintenance costs of high-speed lines in Europe: state of the art</i>	Google scholar	25.09.2017	maintenance cost high-speed lines
<i>Field investigation on effects of railway track geometric parameters on rail wear</i>	Google scholar	26.09.2017	rail maintenance due superelevation
<i>LCC for ballastert jernbanespor</i>	Oria	11.10.2017	vedlikeholdskostnader jernbane
<i>Tunnel maintenance in Japan</i>	Google scholar	06.11.2017	Tunnel maintenance

Litteraturstudiet starter med en gjennomgang av sporgeometrien og tilhørende krav og parametere til linjeføringen. Det er disse kravene som er rammeverket til trasévalget. Deretter er det en gjennomgang av vedlikeholdet som er aktuelt for oppgaven, spesielt rettet mot tunneler og broer. Videre er det et eget delkapittel om optimalisering og ulike metoder for

optimalisering. "Life Cycle Costs"-analyser i jernbanesammenheng blir belyst som en del av optimaliseringen. Til slutt følger en kort oppsummering om litteraturen som har blitt brukt i oppgaven.

2.1 Sporgeometri

Sporgeometri er de ulike geometriske parameterne til sporets trasé og linjeføringen til linjen. Sporgeometri deles hovedsakelig inn i horisontal og vertikal linjeføring.

Horisontal linjeføring er linjeføring i XY-planet. Den består av tre elementer: rettlinjer, sirkelkurver og overgangskurver. Sirkelkurver har konstant radius gjennom hele kurven. Overgangskurver er overgangen mellom rettlinjer og sirkelkurver. Den skal sikre en mer behagelig overgang mellom to radier og overhøyder. Overgangskurven brukes for å øke komforten for passasjerene. (Jernbanekompetanse.no, 2017b)

Vertikal linjeføring er i XZ-planet. Den består av to elementer: rettlinjer og sirkelkurver. Rettlinjene er tangenter med konstant stigning. Sirkelkurvene benyttes til å endre stigningen i planet. Kurvene skal gi en behagelig overgang mellom to tangenter med ulik stigning. Stigning og fall angis i promille. (Jernbanekompetanse.no, 2017b)

Sporvidde og overhøyde er også sporgeometriske parametere. Sporvidden er den horisontale, vinkelrette avstanden mellom skinnene. Sporvidden er satt til å være 1435 mm. For å unngå problemene som oppstod med risting i Holmestrandsporten er denne senere økt til 1437 mm (Bane NOR, 2017b). Overhøyde er høydeforskjellen mellom skinnene i en kurve. Overhøyde brukes for å kompensere for sideakselerasjon som oppstår i horisontalkurver. Overhøyden oppgis i millimeter. (Bane NOR, 2017d)

Til de sporgeometriske parameterne er det flere krav. Kravene er hentet fra Bane NOR sitt tekniske regelverk.

"Bane NORs tekniske regelverk er

- *et viktig styringsverktøy og et viktig hjelpemiddel ved utforming, bygging, dimensjonering av jernbaneanlegg.*
- *En samlebetegnelse for normaler innenfor de ulike jernbanetekniske fagområdene."*

(Bane NOR, 2017e)

Kravene er utformet for sikkerhet og komfort for passasjerene. Hastigheten på linjen vil påvirke kravene. I denne oppgaven tas det utgangspunkt i 250 km/t som maksimal hastighet. IC dimensjoneres for 250 km/t. Ved høye hastigheter vil det være strengere krav enn ved lave hastigheter. Det er de normale kravene i det tekniske regelverket som er utgangspunktet. I noen tilfeller kan minstekravene benyttes. I tillegg til de geometriske parameterne er det flere dynamiske parametere som påvirker linjeføringen. De dynamiske parameterne har bakgrunn i hastigheten på linjen og de geometriske parameterne. Sammen med kravene til de geometriske parameterne, vil disse kravene være avgjørende for linjeføringen og traseen. Kravene er i tabell 3.

Tabell 3 Krav til dynamiske parametere for linjeføring. Hentet fra (Bane NOR, 2017d).

Symbol	Definisjon	Normale krav	Minste krav
a)	R_{min} Minste radius	250 m	190 m
b)	h_{maks} Maksimal verdi for overhøyden		150 mm
c)	h_{avsp} Grense for overhøyde pga. avsporingfare ved lave hastigheter		$\frac{R - 100}{2} mm$
d)	$\left(\frac{\Delta h}{L}\right)_{maks}$ Grenseverdi for rampestigning		1:400
e)	I_{maks} Grenseverdi for manglende overhøyde (ukompensert sideakselerasjon)	$R \leq 600: 100 mm$ $R > 600: 130 mm$	$(0,65 \frac{m}{s^2})$ $(0,85 \frac{m}{s^2})$
f)	$\left(\frac{dl}{dt}\right)_{maks}$ Grenseverdi for variasjon i manglende overhøyde (rykk)	50 mm/s (tilsv. $\Psi = 0,33 m/s^4$)	70 mm/s (tilsv. $\Psi = 0,46 m/s^4$)
g)	$\left(\frac{dh}{dt}\right)_{maks}$ Grenseverdi for rampestigningshastighet	35 mm/s	46 mm/s
h)	E_{maks} Grenseverdi for overskuddsoverhøyde	70 mm	100 mm
i)	V_g Hastighet for langsomtgående tog		80 km/t

Disse kravene gir rammeverket for sporgeometrien. Linjeføringen skal ligge innenfor disse kravene. På bakgrunn av kravene har man i Bane NORs tekniske regelverk regnet ut kravene

til lengde på overgangskurve, overhøyde og minste radius i horisontalkurvatur. Figur 1 viser kravene til en linje med hastighet lik 250 km/t.

Hastighet 250 km/h				
Hastighet 250 km/h	Normale krav		Minste krav	
	F.o.m. radius [m]	L [m]	h [mm]	L [m]
2900			189	125
3000			181	120
3200			159	105
3400	179	90	136	90
3600	169	85	128	85
3800	159	80	121	80
4000	159	80	113	75
4500	139	70	98	65
5000	129	65	91	60
6000	109	55	75	50
7000	89	45	68	45
8000	79	40	60	40
9000	69	35	53	35
10000	69	35	45	30
15000	50	25	30	20

Figur 1 Traséringstabell for linjehastighet 250 km/t. Hentet fra (Bane NOR, 2017d, prosjektering, sporets trasé).

I tillegg til disse kravene vil det være krav til lengden på horisontale elementer. Det normale kravet er $0,5 \cdot v$, altså 125 meter. Minstekravet er $0,25 \cdot v$, tilsvarende 62,5 meter.

Til vertikal linjeføring er begrensinger på stigningen til rettlinjene og krumningen til vertikalkurvene. Normalt krav til maksimal stigning/fall på bane med blandet trafikk er 12,5%. Med dimensjonerende hastighet lik 250 km/t, er normalkravet til minste radius i vertikale sirkelkurver ca. 24 000 meter. Minstekravet er ca. 16 000 meter.

2.2 Vedlikehold

Bane NOR sin vedlikeholdshåndbok definerer vedlikehold slik (Bane NOR, 2011, s. 6):

"En kombinasjon av alle tekniske og administrative aktiviteter, inkludert ledelsesaktiviteter som har til hensikt å opprettholde eller gjenvinne en tilstand som gjør en enhet i stand til å utføre en krevd funksjon"

I dag er utgangspunktet at traséen skal planlegges slik at komforten blir høy og gir et lavt vedlikeholdsbehov. (Bane NOR, 2017d)

Over tid brytes sporet ned og det vil være et behov for vedlikehold. Årsakene til at sporet brytes ned deles inn i tre hovedkategorier:

- Naturgitte forhold
- Trafikken
- Sporarbeider

I tillegg til disse faktorene vil sporgeometrien påvirke nedbrytningshastigheten til sporet. Ved sporgeometriske feil vil sporet brytes ned raskere. Typiske sporgeometriske feil er feil i sporvidden og overhøyden. I krappe kurver kan hjulflensen komme i kontakt med skinnen. Det medfører ekstra slitasje på både skinne og hjul. I kurver med stor ukompensert sideveis akselerasjon vil den ytre skinnen bære en større last enn den indre. Det fører til at den ytre skinnen slites mer enn den indre. I vertikale stigninger øker trekkraften som behøves for å trekke toget opp stigningen. Slitasjen på skinnene øker som følge av dette. Hyppigere bremsing vil også medføre større slitasje på sporets komponenter. Et resultat av dette er økte kostnader til vedlikehold i områder med bratte stigninger. (Bababeik og Monajjem, 2012)

I artikkelen "*Field investigation on effects of railway track geometric parameters on rail wear*" (Sadeghi og Akbari, 2006) har de undersøkt effektene av sporgeometriske parametere sin innvirkning på slitasje av skinnene. Flere forskjellige strekninger ble vurdert og testet ut for å se på slitasjen. Konklusjonene fra denne feltstudien er at på rette strekninger er det feil i sporvidden som vil forårsake størst slitasje på skinnene. Ved for smal sporvidde vil den laterale slitasjen øke, mens ved for bred sporvidde vil den vertikale slitasjen øke. Stigning i den langsgående retningen vil kun føre til lokal slitasje der hvor hjulene til lokomotivene spinner. I kurver vil den innerste skinnen få lateralt slitasje som følge av for smal sporvidde og høy overhøyde. Høy overhøyde og smal sporvidde vil også føre til vertikal slitasje på skinnen. På

den ytterste skinnen vil for smal og for bred sporvidde føre til både lateral og vertikal slitasje. Høy overhøyde vil også føre til slitasje på den ytterste skinnen, men i mindre grad enn på den indre. Denne feltstudien viser at sporgeometriske feil vil føre til høyere slitasje på skinnene. Det er derimot ikke mulig å si at slitasjen skyldes om det er en kurve eller rett strekning, kun at slitasjen blir større ved sporgeometriske feil. Kurven som ble undersøkt har en radius på 2000 meter med overhøyde på 22 mm. Hastigheten var 60 km/t og det var konstant stigning 6,5‰ i kurven. På den rette strekningen var stigningen 3,1‰. Hastigheten er langt under 250 km/t som er den aktuelle hastigheten i denne oppgaven, men studien viser allikevel hva slags sporgeometriske feil som vil kunne føre til økt slitasje på skinnene. Studien gir ikke grunnlag for å si at slitasjen blir større ved sporgeometriske feil i kurver enn på rette strekninger. (Sadeghi og Akbari, 2006)

Sporet deles inn i ulike kvalitetsklasser avhengig av hastigheten på strekningen. Den beste kvalitetsklassen er K0 og er beregnet på linjehastigheter over 145 km/t (Bane NOR, 2017d). I de enkelte kvalitetsklassene er det krav til sporgeometri og sporets beliggenhet. Det stilles blant annet krav til sporvidde, ujevnheter i overhøyde. Med kvalitetsklasse K0 vil det være lavere toleranse for feil hos disse faktorene enn i lavere kvalitetsklasser. Det er K0 som vil være den aktuelle kvalitetsklassen i dette tilfellet. På Gardermobanen er det kvalitetsklasse K0. Som en følge av det kjøres vedlikeholdstoget 6 ganger i året på Gardermobanen i motsetning til 2 ganger i året som på resten av jernbanenettet. (Frøystein og Kvernmo, 2018)

2.2.2 Forebyggende vedlikehold

Vedlikehold deles inn i forebyggende og korrektivt vedlikehold. Forebyggende vedlikehold er vedlikehold som følger bestemte intervaller eller kriterier. For eksempel kan det være en oppgave som utføres hvert år, eller en oppgave som utføres når en komponent har oppnådd en viss slitasje. Hensikten med forebyggende vedlikehold er å forlenge levetiden til komponentene og å være i forkant av eventuelle feil og skader som oppstår. Korrektivt vedlikehold er feilretting. Det vil si at det er vedlikehold som utføres etter at feilen har oppstått. Det må utføres vedlikehold for å få komponenten tilbake til den tilstanden den skal være i for å fungere. Det forebyggende vedlikeholdet til Bane NOR omhandler i stor grad de generiske arbeidsrutinene og oppgaver som sporpakking, skinnsliping og inspeksjoner av tunneler. (Jernbanekompetanse.no, 2017a)

En del av de generiske arbeidsrutinene er kjøring med målevognen ROGER 1000. Denne kjører over hele jernbanenettet to ganger i året. På Gardermobanen kjører den 6 ganger i året. På de

nye IC-strekningene antas det at den vil kjøre 4 ganger i året (Lien, 2017). Målevognen brukes til å foreta inspeksjoner av sporgeometrien og kontaktledningsnett. Den tar også bilder av jernbanelinjen for hver 20ende meter. Dette hjelper til med å planlegge vedlikeholdsarbeidet og kontrollere vedlikeholdet som har blitt utført. (Vasset, 2015)

De generiske arbeidsrutinene er i stor grad kontroller og inspeksjoner av infrastrukturen. I tillegg vil det være oppgaver som skinnesliping, ballastrensing og pakking av sporet. Ballastrensing er at ballasten renses for stein og materiale som ikke har den ønskede kornstørrelsen, 31,5 mm – 63 mm. Det gjennomføres hvert 20. år på Gardermobanen (Hofgaard, 2016). Pakking av sporet er en horisontal justering av sporets beliggenhet. Pakking av sporet medfører ytterligere knusing av ballasten og et økt behov for ballastrensing (Esveld, 2001).

Korrektivt vedlikehold er ofte dyrere å gjennomføre per meter enn forebyggende vedlikehold. Totalt sett brukes det allikevel langt mer på forebyggende vedlikehold. I 2017 var Bane NORs vedlikeholdsbudsjett på 3,6 milliarder kroner. Av dette var 1,1 milliard satt av til forebyggende vedlikehold, 2,1 til fornyelse og 0,4 til korrektivt vedlikehold. Korrektivt vedlikehold utgjør en mindre del av budsjettet enn det forebyggende. (Skogan, 2017)

2.2.3 Tunneler

På jernbanenettet i Norge er det 754 tunneler (Jernbanedirektoratet, 2017). Jernbanetunneler dimensjoneres for en brukstid på mer enn 100 år. For å sikre den lange levetiden må også tunneler vedlikeholdes. Verken selve tunnelkonstruksjonen eller utstyret i tunnelene er vedlikeholdsfritt. Hvor stort behovet for vedlikehold er, avhenger av flere faktorer, som togtetthet, geologiske forhold og vann- og frostsikringen i tunnelen. Regelverket sier at tunneler skal inspiseres hvert 5. år. Spesielt utsatte stede skal inspiseres hvert år. Rapportene fra disse inspeksjonene brukes som grunnlag og dokumentasjon for hvor det skal utføres vedlikeholdstiltak (Jernbanekompetanse.no, 2012). Sammenlignet med en veitunnel vil det være mindre behov for vedlikehold i en jernbanetunnel. Årsaken til dette er at eksos og veisalt fører til et økt vedlikeholdsbehov. (Bane NOR, 2017a)

Vann- og frostproblematikk

En stor del av vedlikeholdet i eldre tunneler skyldes vann og frost i tunnelen. Direkte drypp og rennende vann som treffer konstruksjoner av stål og betong kan medføre store skader og er ikke ønskelig. Det kan for eksempel oppstå rustskader på skinnene som fører til slag på skinnene når hjulene passerer. En kan i tillegg få korrosjonsskader på tekniske installasjoner i tunnelen. Fritt vann og frost kan også skape store utfordringer. Is innsnevrer profilet eller vokser inn i sporet. Det utgjør en betydelig sikkerhetsrisiko. Det er ikke realistisk eller økonomisk forsvarlig å tette

berget så mye at man ikke får noen utfordringer som følge av vann i tunnelen (Bane NOR, 2017a). I nye tunneler vil vann- og frostsikringen være langt bedre og problematikken relatert til vann og frost vil være betydelig redusert (Lien, 2017).

I jernbanetunneler i Japan er også vann en utfordring. I likhet med Norge er det mange gamle tunneler som ikke er vann- og frostsikret. Under inspeksjoner av tunneler legges det derfor stor vekt på å kartlegge vannlekkasjer og avskalling. Tiltak mot avskalling vil i stor grad være å fjerne løs betong og stein før den faller ned av seg selv. (Asakura og Kojima, 2003)

Vann- og frostsikring

Vann- og frostsikringsdelen er basert på Bane NORs prosjekteringsveileder for anbefalt konstruksjonsprinsipp for jernbanetunneler (Bane NOR, 2017a). De vanligste metodene for vannsikring i tunneler kan deles inn i to hovedgrupper:

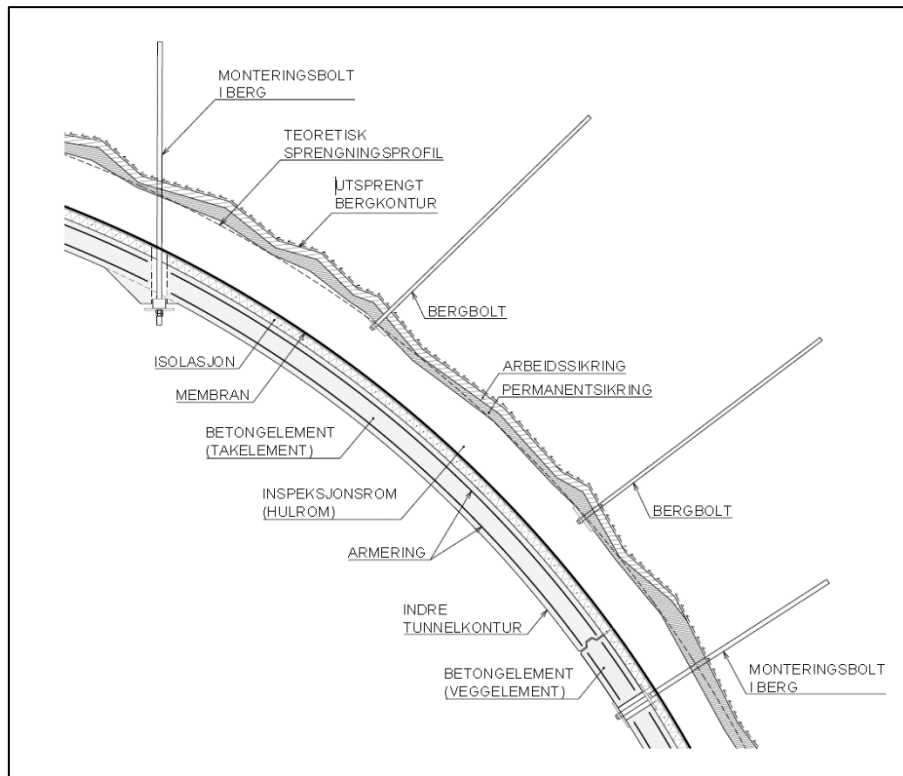
1. Frittstående konstruksjoner
2. Konstruksjoner i direktekontakt med bergsikring

Bane NOR bruker i dag fire ulike typer vann- og frostsikring:

1. Hvelv av betongelementer
2. Hvelv av PE-skum brannbeskyttet med nettarmert sprøytebetong
3. Kontaktstøpt betonghvelv med membran
4. Permanent sprøytebetongkledning vanntett med sprøytebar membran

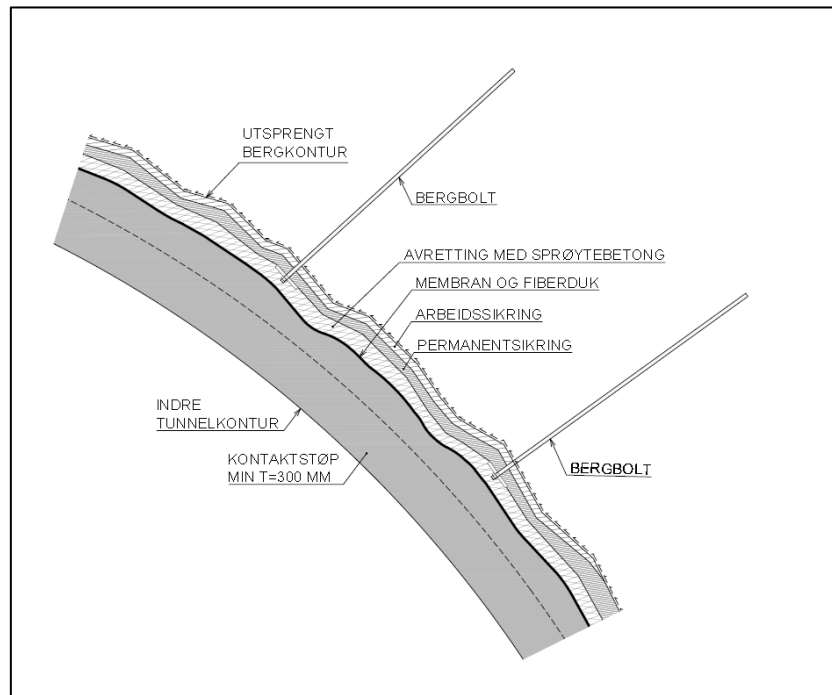
Videre i denne oppgaven er det løsning 1 og 3 som kommer til å bli nærmere beskrevet etter ønske fra Bane NOR.

Frittstående konstruksjoner er hvelvkonstruksjoner som ikke er i direkte kontakt med bergsikringen. Det blir et luftrom mellom hvelvet og bergsikringen. Hvelv av betongelementer er en slik løsning. Vannsikringen oppnås ved at det monteres en kontinuerlig dukmembran på baksiden av betongelementene. Hvis det er behov for frostsikring, kan dette monteres på baksiden av elementene. Det vil ikke være behov for visitasjon bak konstruksjonen i driftsfasen. Dette er en robust løsning for vann- og frostsikring. Denne løsningen har mange objekter som kan feile, det gir et økt behov for kontroller og inspeksjoner. Montering av elementene krever spesialisert løfteutstyr på grunn av de store og tunge elementene. Sikkerheten vil være en utfordring ved montering av betongelementene. Vann- og frostsikringsløsningen med hvelv av betongelementer er illustrert i Figur 2.



Figur 2 Hvelv med betongelemerter, hentet fra (Bane NOR, 2017a, kapittel 5).

Kontaktstøpt betonghvelv med membran er en vannsikring som er i direkte kontakt med bergsikringen via membranen. Bak membranen er det en filtduk som er montert på bergsikringen. Det etableres en kontinuerlig kontaktstøp. Denne løsningen er ikke isolert. Det antas at frostsprengningen ikke vil være noe problem da betongutstøpningen vil være tørr og uten tilgang på vann. Denne løsningen er svært ressurskrevende ved montering. Det er en krevende montering som krever stor nøyaktighet og høy kvalitet. Løsningen er robust med få komponenter som kan feile. Etter at konstruksjonen er ferdig, er det ikke mulig å utføre vedlikehold på membranen eller drensiktet. I tunnelens levetid medfører denne vannsikringen svært lite vedlikehold (Bane NOR, 2017a). Løsningen er illustrert i Figur 3.



Figur 3 Kontaktstøpt betonghvelv i direkte kontakt med bergsikringen, hentet fra (Bane NOR, 2017a, kapittel 5).

Begge disse løsningene er robuste løsninger som det forventes et begrenset omfang av feil med. Forebyggende vedlikehold kan gjennomføres i hvite tider og påvirker ikke togtrafikken. Løsningen med hvelv av betongelementer har flere komponenter enn et kontaktstøpt betonghvelv. Flere komponenter er flere komponenter som kan feile. Det gir et økt behov for kontroller og inspeksjoner sammenlignet med et kontaktstøpt betonghvelv. Det vil alltid være et usikkerhetsmoment knyttet til tunneler. Man kan ikke si med 100% sikkerhet hvordan berget vil utvikle seg over tid. Å kunne inspisere tilstanden til bergsikringen og berget gir derfor en ekstra trygghet. Dette er lettere med konstruksjoner som monteres i direkte kontakt med bergsikringen. I Teknisk regelverk er løsninger med hvelv av betongelementer tatt bort. Investeringskostnadene for et hvelv av betongelementer er 1400-1600 kr/m², et kontaktstøpt betonghvelv har investeringskostnader i området 1400-1700 kr/m². (Bane NOR, 2017a)

Andre faktorer

Det vil være flere faktorer som påvirker vedlikeholdet i en tunnel. Den begrensede plassen vil være en av dem. I nye tunneler på IC-strekninger vil det ikke være lov til å jobbe i nabosporet til passerende tog på grunn av den høye hastigheten. Vedlikeholdspersonell må derfor enten ha et fysisk skille mellom seg og nabosporet eller forlate tunnelen når det kommer tog i motgående spor. I Romeriksporten er det for eksempel bare to tverrslag på over 14 km (Frøystein og Kvernmo, 2018). Det reduserer tilgjengeligheten og det blir mer omfattende å få utført vedlikehold. I nye tunneler som Holmestrandsporten vil det derimot være langt flere tverrslag.

For nye dobbeltsporstunneler stilles det krav til utgang til et sikkert sted minst en gang hver 1000. meter. I parallelle enkeltsporstunneler skal det etableres passasjer mellom løpene minst en gang for hver 500. meter (Bane NOR, 2017a). Det vil derfor være mindre tidkrevende å utføre vedlikeholdet i nye tunneler.

De generiske arbeidsrutinene og det forebyggende vedlikeholdet vil bli utført i hvite tider. På den måten unngår man at vedlikeholdsarbeidet vil påvirke trafikken på linja. Omfanget av de generiske arbeidsrutinene blir derfor ikke påvirket i særlig stor grad av den begrensede plassen. Flere av de generiske arbeidsrutinene er felles for alle strekningstyper, som kontroll av kontaktledningsnett. Kontrollen av kontaktledningsnett vil være like omfattende på en åpen linje som i en tunnel eller på en bro. På bakgrunn av dette vil det ikke være noen forskjell i kostnadene knyttet til felles arbeidsrutiner avhengig av strekningstype. Korrektivt vedlikehold vil derimot påvirkes. Det vil være vanskeligere og mindre tilgjengelig for korrektivt vedlikehold og feilretting i tunneler og på broer. Feilrettingen vil ta lenger tid fordi området med feil kan være mindre tilgjengelig. Det medfører økte vedlikeholdskostnader i tunneler og broer.

Det vil være generiske arbeidsrutiner som er særegne for tunneler. Disse rutinene er hovedsakelig tilknyttet inspeksjon av fjellet og av alle objekter som er i tunnelen. Blant de objektene som er særegne for tunneler er:

- Vifter
- Brannvarslingsanlegg
- En del tekniske installasjoner
- Rømningsveier
- Renhold av tunnel

Disse objektene må inspiseres og kontrolleres jevnlig. Det gir økte vedlikeholdskostnader for en tunnel. Renholdet av en jernbanetunnel vil være langt mindre omfattende enn renholdet av en veitunnel, men det vil fortsatt være kostnader knyttet til renholdet av tunnelen. Nye tunneler inneholder langt flere tekniske installasjoner enn eldre tunneler. De tekniske installasjonene må inspiseres og kontrolleres. De generiske arbeidsrutinene for tunnel blir mer omfattende (Lien, 2017).

På en åpen linje vil man som regel oppleve setninger av sporet i løpet av de første årene strekningen driftes. Det tar tid før grunnen setter seg som følge av den økte belastningen. I en tunnel vil en ikke ha dette problemet. Her er grunnen mye hardere og sporet er stabilt fra dag én. En konsekvens av hardere grunnforhold er at pukken knuses raskere og det dannes mer

finstoff i ballasten. I en tunnel brukes det ofte mindre pukk enn på en åpen linje. Det er kostbart med stort tverrsnitt i tunneler og det er derfor ønskelig med så lite tverrsnitt som mulig. En konsekvens av det er at man vil ha et større behov for ballastrensing enn på en åpen linje (Frøystein og Kvernmo, 2018). I ettertid har tykkelsen på ballastlaget i tunneler blitt økt for å unngå at den knuses fortere (Anke og Geekie, 2018).

2.2.4 Broer

Det er 2634 broer på jernbanenettet i Norge (Jernbanedirektoratet, 2017). Broer er i likhet med tunneler blant de mest kritiske elementene på en jernbanelinje med tanke på sikkerhet. På grunn av de strenge kravene til sporgeometrien kan en ikke unngå å benytte seg av broer på jernbanenettet i Norge. For å opprettholde sikkerheten må broer inspiseres jevnlig. Inspeksjonene som foretas på jernbanebruer i Norge kan deles inn i årlige inspeksjoner, hovedinspeksjoner, spesialinspeksjoner og levetidskontroll. Hovedinspeksjonen gjennomføres hvert sjettede år og er mer omfattende enn de årlige inspeksjonene. Skader som kan oppstå på broer deles inn i flere kategorier. Det kan være skader i grunnen, skader på grunn av bevegelse i konstruksjonen, overflateskader, materialskader på grunn av vann etc. (Jernbanekompetanse.no, 2015)

Det er mange ulike typer og utforminger for broer. I teknisk designbasis for IC er det plukket ut ti ulike typer broer som skal dekke alle behov (Bane NOR, 2015b). Det skilles ofte mellom broer i betong eller stål.

Trau er en brotype som er ofte brukt og gjerne for korte spennvidder, under 30 meter. De bygges i betong og er en brotype som vil bli mye brukt på IC-prosjektet. Bjelkebroer bygges også ofte i betong og har et tverrsnitt som en T-bjelke. Bjelkebroer blir antatt til å være en av de mest effektive løsningene for broer over land. Også disse broene passer best for spennvidder under 30 meter. For spennvidder mellom 40 og 70 meter er kassebroer i betong en aktuell løsning. (Bane NOR, 2015b)

Det er flere brotyper som er samvirkebroer. En samvirkebro er en bro med et tverrsnitt satt sammen av stål og betong. Hvilken brotype som velges og hvilke materialer som er aktuelle avhenger av flere faktorer. For å redusere kostnadene kan man standardisere utformingen av jernbanebroer. I den sammenheng ble det undersøkt hvilke faktorer som påvirker levetidskostnadene (Bane NOR, 2017f). Brokonstruksjonen blir delt opp i fire elementer. De fire elementene er overbygning, bæresystem, lager og fuger, fundament og landkar. For

bæresystemet er det materialvalget som er den viktigste faktoren når det kommer til levetidskostnader. Derfor er det materialvalget og effektene av dette som belyses videre i oppgaven.

I artikkelen "*Steel versus steel reinforced concrete bridges: environmental assignment*" (Horvath og Hendrickson, 1998) er forskjellen i levetidskostnader for broer av stål og betong, med stålarmringer, undersøkt. Her sammenlignes bjelker av stål og av betong. Sammenligningen viser at investeringskostnadene var langt høyere for stål enn for betong. For den 428 meter lange broen, som var gjenstand for undersøkelsen, var betong 37% billigere. Vedlikeholdskostnadene er mer komplisert å beregne for de to alternativene. Derfor er det kun kostnaden ved overflatebehandlingen av stålet som ble beregnet. Dette er fordi stål må overflatebehandles jevnlig for å unngå at det skal korrodere. Betong trenger ikke denne overflatebehandlingen fordi betongoverdekningen hindrer at stålarmringen korroderer. I artikkelen anslås det at det er behov for overflatebehandling av stålbjelkene hvert åttende år. Hvis en antar at broen vil ha en levetid på 80 år, må stålet overflatebehandles ti ganger, inkludert den første overflatebehandlingen. Det er ikke estimert akkurat hvor mye det koster å behandle hele broen, men det er anslått at det behøves maling til 6500 USD for en overflatebehandling av broen. Det er kun kostnadene til malingen og ikke til annet utstyr eller utførelsen av arbeidet, som vil komme i tillegg. Stålbroyer vil på bakgrunn av dette ha høyere vedlikeholdskostnader enn broer av betong. Betongbroyer er forholdsvis nye sammenlignet med stålbroyer.

2.2.5 Vedlikehold på høyhastighetsbaner i Europa

I artikkelen "*Maintenance costs of high-speed lines in Europe*" (Lopez-Pita *et al.*, 2008) tar de for seg vedlikeholds-kostnader på høyhastighetsbaner i Europa. Her vurderes det hvilke deler av jernbaneanlegget som står for de største delene av vedlikeholdskostnadene. De kommer frem til fem egenskaper ved anlegget som påvirker vedlikeholdskostnadene.

- Sporgeometri
- Infrastruktur
- Utstyr som gjør driften lettere, som kryssingsspor
- Energiforsyning
- Kommunikasjon- og telekommunikasjonsutstyr

Resultatene fra undersøkelsene av vedlikeholdskostnader på høyhastighetslinjer i Europa viser at vedlikeholdet av tunneler og broer bare står for 3-5% av vedlikeholdskostnadene. Den største andelen av vedlikeholdskostnadene går til sporet med 45-55%. Se Tabell 4.

Tabell 4 Andel av vedlikeholdskostnadene tilknyttet ulike delsystemer på høyhastighetsbaner i Europa. Hentet fra (Lopez-Pita et al., 2008, s.17).

<i>Delsystem</i>	<i>Andel av vedlikeholdskostnadene [%]</i>
<i>Spor (overbygning)</i>	45- 55
<i>Tunneler og broer</i>	3-5
<i>Kontaktledningsnett og energiforsyning</i>	20-25
<i>Signal og telekommunikasjon</i>	17-22

Det er ikke alt vedlikeholdet som vil være relevant for alle strekningstyper, men Tabell 4 viser fortsatt at vedlikeholdet tilknyttet selve tunnelene og broene vil utgjøre en liten andel av de totale vedlikeholdskostnadene. Her vil det også være viktig å påpeke hvor stor del av linjen som er tunnel eller bro. Topografien i Norge tilsier at man vil ha et større behov for tunneler og broer enn mange andre land i Europa.

Tabell 4 er beregnet på linjer hvor det kun kjører høyhastighetstog. Linjehastigheten på de undersøkte strekningene i denne artikkelen er 300 km/t. Altså høyere hastighet enn man vil ha på IC-strekningene. På IC-strekningene vil en også ha blandet trafikk. Tunge godstog vil gi økt slitasje og økte vedlikeholdskostnader. På linjen mellom Barcelona i Spania og Perpignan i Frankrike økte de estimerte vedlikeholdskostnadene for sporet med 27% som følge av blandet trafikk. Økningen i vedlikeholdskostnader skyldes hovedsakelig et økt behov for sliping av skinner og pakking av sporet. Det er ingen signifikant endring i vedlikeholdskostnadene for de andre delsystemene av linjen. Tabell 5 viser vedlikeholds-kostnadene knyttet til de enkelte delsystemene.

Tabell 5 Vedlikeholdskostnader til ulike delsystemer på høyhastighetsbaner i Europa. Hentet fra (Lopez-Pita et al., 2008, s.19).

Delsystem	Vedlikeholdskostnader [USD/km]	Andel [%]
Spor	29 200	52
Tunneler og broer	2 336	4
Kontaktledningsnett og energiforsyning	13 140	23
Signal og telekommunikasjon	11 680	21
Totalt	56 356	100

Kostnadene i Tabell 5 er kun for høyhastighetstog. Kostnadene vil antageligvis være høyere for linjer med blandet trafikk. Det vil avhenge av flere faktorer, som for eksempel hvor stor andelen godstog på linjen er.

2.3 Drift

I Bane NOR sin håndbok for vedlikehold defineres drift som "*Sentral og desentral teknisk administrativ støtte, banestrømforsyning, sambandsleie, planlegging, drift av bygninger og publikumsområder, snørydding og trafikkstyring*". (Bane NOR, 2011)

I denne sammenheng er det hovedsakelig banestrømforsyning og snørydding som er aktuelt å ta med videre i oppgaven. Det vil være forandringer i energiforbruk med skiftende stigning. Lokomotiver forbruker forskjellig mengde drivstoff avhengig av typen lokomotiv, trekkraft og produsert kraft. Når et tog begynner å bevege seg, vil lokomotivet produsere store trekkrefter for å komme i gang. Hvor store trekkrefter lokomotivet må produsere underveis avhenger av stigningen. Ved bratte stigninger må det produseres en større trekkraft for å opprettholde minimumshastigheten. Det øker energiforbruket og gir høyere driftskostnader (Bababeik og Monajjem, 2012).

I sin rapport, påpeker også Lindahl (Lindahl, 2001) at vertikale stigninger vil føre til økt energiforbruk og økt behov for energi. På den måten kan en si at vertikal stigning vil føre til økte driftskostnader.

Som en kan se av definisjonen av drift er også snørydding en del av den daglige driften på et jernbaneanlegg. Snørydding vil det ikke være behov for i en tunnel. Snørydding vil normalt være en stor del av den daglige driften om vinteren. På baner med hastighet opptil 250 km/t vil

ikke snø i sporet være et stort problem. På grunn av den høye hastigheten vil snøen blåses vekk fra sporet når toget passerer. Snøryddingen er derfor i stor grad knyttet til sidespor og sporveksler. (Frøystein og Kvernmo, 2018)

2.4 Optimalisering

Det er flere metoder og fremgangsmåter som kan benyttes for matematisk optimalisering. I dette delkapittelet presenteres det en generell fremgangsmåte og en metode som er aktuell for å løse problemer som denne oppgaven byr på.

2.4.1 Det optimale designet

Dette delkapittelet er basert på boken "*Introduction to optimum design*" (Arora, 2012c). Hvor en jernbanetrasé skal gå avhenger av flere faktorer. Hva som vil være den optimale traséen vil være avhengig av hva som legges til grunn. En optimaliseringsprosess består av flere steg og er en iterativ prosess. Det prøves flere ganger inntil det oppnås et akseptabelt resultat. Det deles inn i fem steg:

- Steg 1: Definere og formulere problemet. Hva vil man oppnå med metoden og prosjektet? Hvilke krav skal tilfredsstilles?
- Steg 2: Samle data og informasjon. Trenger tilstrekkelig med bakgrunnsdata for å kunne lage en metode som skal løse problemet.
- Steg 3: Definere variablene, optimeringsvariablene.
- Steg 4: Definere optimeringskriteriet. Hvilket kriterium legges til grunn for en optimal trasé?
- Steg 5: Formulere betingelsene og rammeverket for systemet. Hva slags begrensninger vil metoden ha og hvordan vil de påvirke resultatet?

Det er flere ulike metoder for optimalisering. Alle problemer har et optimaliseringskriterium som brukes til å sammenligne forskjellige alternativer. Problemene som skal løses må ofte tilfredsstille visse krav og begrensninger i tillegg. Det kan være begrensninger som setter krav til likhet eller ulikhet. En begrensning kan være at vann- og frostsikringen må være betong-elementer. En ulikhetsbegrensning kan være at radiusen på horisontalkurvaturen må være over et visst nivå. (Arora, 2012c)

På bakgrunn av hva som er optimaliseringskriteriet i denne oppgaven kan en bruke en generell matematisk modell for optimalt design. Målet er å minimere en kostnadsfunksjon med flere variabler og begrensninger.

Minimere en kostnadsfunksjon med flere variabler.

$$f(\mathbf{x}) = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Hvor p er likhetsbegrensninger

$$h_j(\mathbf{x}) = h_j(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0; \quad j = 1 \text{ for } p$$

Og m er ulikhetsbegrensninger eller intervallbegrensninger.

$$g_i(\mathbf{x}) = g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq 0; \quad i = 1 \text{ for } m$$

Dette er en standard optimeringsmodell som kan brukes og tilpasses til mange ulike fagområder. Funksjonene må være avhengige av noen designparametere. Hvis designparameterne ikke inngår i funksjonen, er det ikke nødvendig å ha dem med i modellen. I en slik modell kan en ikke ha flere avhengige likehetsbegrensninger enn designvariabler, da har man et overbestemt system. (Arora, 2012c)

Det finnes flere ulike metoder for optimering. Metodene klassifiseres normalt i to kategorier. Optimeringskriteriet er de forholdene en funksjon må tilfredsstille i minimumspunktet. Optimeringsmetoder som søker løsninger, for eksempel med numeriske metoder, kalles ofte optimeringskriteria eller indirekte metoder. Søkemetoder er basert på at man starter med et estimat av hva som vil være det optimale designet. Normalt vil ikke dette estimatet tilfredsstille kravene til optimeringskriteriet. Derfor endrer man på estimatet og tester det på nytt inntil man har et estimat som tilfredsstillter optimeringskriteriet. (Arora, 2012b)

Hva slags metode som bør brukes for optimering, avhenger av hvor avansert funksjonen er i utgangspunktet. Det finnes flere ulike typer verktøy for å løse optimeringsproblemene. En kan for eksempel bruke programmer som Excel solver, MATLAB Optimization Tool Box eller Mathematica Optimization box til å løse optimeringsproblemene numerisk. Til funksjoner som ikke er for avanserte, brukes gjerne Excel. De ulike metodene i Excel kan klassifiseres i fire kategorier.

Kategoriene er derivasjonsbaserte metoder, direkte søkemetoder, derivasjonsfrie metoder og naturinspirerte metoder. For denne oppgaven er derivasjonsbaserte metoder mest aktuelt. Metodene baseres på at antagelsene om at alle funksjoner som skal løses er kontinuerlige og deriverbare minst to ganger. De derivasjonsbaserte metodene kalles også for stigningsgradbaserte metoder. De fleste metodene som klassifiseres som dette er basert på den følgende funksjonen:

$$x_i^{(k+1)} = x_i^{(k)} + \Delta x_i^{(k)}; \quad i = 1 \text{ til } n; \quad \text{og } k = 0, 1, 2, \dots$$

I denne funksjonen referer i til variabelens nummer og k til iterasjonsnummeret. For å finne en løsning starter man med et estimat av funksjonens variabler. Ved å velge forskjellige startverdier, får man forskjellige optimale løsninger. Ved å bruke verdiene fra funksjonene og stigningsgraden, får man en endring i $\Delta x_i^{(k)}$. Slik oppdateres funksjonen og prosessen repeteres inntil man har en løsning som tilfredsstillere kriteriene. (Arora, 2012a)

De fleste optimeringsproblemer involverer funksjoner med flere variabler. Derfor betraktes det som vektorberegninger. For å avgjøre maksimum og minimum til en funksjon må en finne stigningstallet til kurven. Dette gjøres ved å derivere funksjonen og sette den lik 0. For funksjoner med flere variabler får man partiellderiverte funksjoner. Den deriverte av funksjonen f med hensyn på x_1 noteres slik.

$$f_{x_1} = \frac{\partial f(x)}{\partial x_1}$$

For funksjoner som ikke er så avanserte, er dette en passende metode for å finne minimum av funksjonen. Enkle kvadratiske funksjoner løses gjerne på denne måten. (Arora, 2012a)

2.4.2 LCC-rapport Bane NOR

For å vurdere kostnadene ved ulike alternative løsninger benyttes LCC- analyser. Det er en økonomisk analyse som brukes til å vurdere kostnadene til et prosjekt i hele prosjektets levetid. Begreper som totalkostnad, livsløpskostnad og levetidskostnader brukes også om LCC. Formålet med bruken av bruken av LCC-analyser er å optimalisere bruken av ressurser og minimere totalkostnaden til et prosjekt. I jernbanesammenheng vil det si å velge det alternativet for infrastrukturen som på sikt vil gi de laveste kostnadene. I forbindelse med utbyggingen av InterCity har Bane NOR laget en egen rapport på LCC-analyser. Kapittel 2.4.2 er basert på denne rapporten. (Bane NOR, 2012)

For å kunne estimere de fremtidige utgiftene i en LCC-analyse er det behov for en del data. Som beregningsgrunnlag trenger man denne dataen:

- Levetid på komponenter og delsystemer
- Vedlikeholdsintervaller
- Samtidighet i bytte av komponenter
- Kostnader for nye komponenter og delsystemer
- Erfaringskostnader fra de ulike drift- og vedlikeholdsoppgavene

- Drift- og vedlikeholdsstrategi for fremtiden.

Jernbaneinfrastrukturen består av mange forskjellige komponenter og delsystemer. De forskjellige delene av infrastrukturen vil ha ulik levetid. Noen komponenter må skiftes ut oftere enn andre. For å kunne kartlegge drift- og vedlikeholdskostnadene på lang sikt, må levetiden til komponentene inkluderes. I Jernbanedirektoratets metodehåndbok for samfunnsøkonomiske analyser legges følgende tekniske levetider til grunn for ulike typer investeringer (Jernbanedirektoratet, 2015).

Tabell 6 Teknisk levetid for ulike delsystemer. Hentet fra (Jernbanedirektoratet, 2015, s. 45)

<i>Delsystem</i>	<i>Levetid</i>
<i>Underbygning</i>	100 år
<i>Overbygning</i>	40 år
<i>Elektroanlegg</i>	40 år
<i>Signalanlegg</i>	25 år
<i>Kontaktledningsanlegg</i>	75 år
<i>Tele</i>	15-20 år

Som en kan se av Tabell 6 vil underbygningen med tunneler og broer ha den lengste estimerte levetiden. I løpet av levetiden til en tunnel vil det derfor være behov for utskiftninger av de andre komponentene og delsystemene. I samferdselsprosjekter er analyseperioden som regel 40 år (Jernbanedirektoratet, 2015). Det er den for at det skal være lettere å sammenligne virkningene mellom ulike samferdselsprosjekter.

For å kunne vite når kostnadene ved vedlikeholdet påløper, er man avhengig av å vite vedlikeholdsintervallene for de ulike fagområdene og komponentene. Kostnader som påløper langt frem i tid, er billigere enn kostnader som påløper i dag. Inntekter vil man helst få med en gang, mens kostnader vil man ha senere. Intervallene går opp til 10 eller 20 år.

For å regne på de fremtidige utgiftene til et prosjekt, må de regnes om til nåverdi. Det gjøres ved diskontering. Diskontering er en omregning av summer som vil påløpe på forskjellige tidspunkt, til et bestemt tidspunkt. For eksempel at vedlikeholdskostnader som vil påløpe hvert år mange år frem i tid, regnes om til en sum til det nåværende året. 100 kr et år frem i tid, er mindre enn 100 kr i dag. Det er fordi man kunne satt 100 kr i banken og tjent på rentene. Derfor minker verdien av en fast sum. For å diskontere et beløp, brukes det en diskonteringsfaktor.

Den er:

$$\frac{1}{(1+r)^n}$$

n = antall år frem i tid

r = diskonteringsrenten

I Bane NOR sine kalkuleringer brukes diskonteringsrenten lik 4% (Bane NOR, 2012). Ved bruk av diskonteringsfaktoren kan en altså regne seg frem til dagens verdi av en fremtidig sum. Slik kan man sammenligne levetidskostnaden til ulike alternative traséløsninger. Det alternativet som gir de laveste livsløpskostnadene vil være det mest økonomiske alternativet på sikt.

For å kunne planlegge det fremtidige vedlikeholdet, må man basere seg på tidligere erfaringer. På bakgrunn av tidligere erfaringer, kan man estimere omfanget og tidsbruken tilknyttet vedlikeholdsoppgavene. Ved å estimere omfanget av vedlikeholdsoppgavene, kan man regne ut kostnadene til hver enkelt oppgave.

Det vil være vanskelig å oppdrive nøyaktige tall for hvert enkelt av disse punktene. Derfor vil det være store usikkerheter i estimatene. I en LCC-analyse for et jernbaneanlegg må en vurdere alle kostnadene som vil påløpe i levetiden til anlegget. Disse kostnadene deles gjerne inn i fire kategorier:

- Investeringskostnader, alle kostnader som er tilknyttet anskaffelsen, installasjon, opplæring i bruk av nytt utstyr osv.
- Vedlikehold- og fornyelseskostnader
- Driftskostnader til materialer, energi, forsinkelse osv.
- Administrasjonskostnader

En LCC-analyse kan deles inn i ulike trinn. Det første trinnet er å definere problemet og hva som er hensikten med analysen. Trinn to vil være å definere de ulike kostnadskategoriene som skal tas med i analysen. I denne oppgaven er formålet å dele inn kostnadene etter hvilken strekningstype det er. Derfor vil det være de ulike kostnadskategoriene i denne oppgaven. I tillegg deles kostnadene inn etter fagområde. Tredje trinn vil være å modellere systemet. Det vil si at man lager modellen som skal beregne kostnadene. Etter det vil det være behov for innsamling av data. Det er trinn fire. De to siste trinnene i analysen vil være utviklingen av en kostnadsprofil og en evaluering til slutt. (Bane NOR, 2012)

Som nevnt tidligere vil det ofte være stor usikkerhet knyttet til estimatene i en LCC-analyse. Det vil være ressurskrevende å utføre slike analyser. Derfor konsentreres analysene om de

største kostnadsdriverne og forskjellene mellom ulike alternativer. I denne oppgaven vil forskjellene ligge i hvor stor andel tunnel og broer det er på en strekning. Det er derfor viktig å beregne hvilke økonomiske forskjeller det vil medføre å ha høy vs. lav andel tunnel eller bro på en strekning. (Bane NOR, 2012)

2.5 Oppsummering

På bakgrunn av litteraturen er det naturlig å tro at tunneler og broer vil føre til økt behov for vedlikehold. Spesielt tunneler har flere særegne objekter som må inspiseres og kontrolleres. Foreløpig er det lite litteratur eller data som kan bekrefte dette. Tunneler og broer vil utvilsomt ha et behov for vedlikehold, men hvor stort det er sammenlignet med en dagsone er usikkert. Artikkelen "*Maintenance costs of high-speed lines in Europe*" (Lopez-Pita *et al.*, 2008) tar for seg vedlikeholdskostnadene på ulike deler av jernbaneinfrastrukturen. Her konkluderes det med at kostnadene tilknyttet tunneler og broer er kun 3-5% av de totale vedlikeholdskostnadene. Det vil altså være noen kostnader som påløper som følge av tunneler og broer, men denne er liten sammenlignet med for eksempel vedlikeholdskostnadene til sporet.

Det er flere studier som tar for seg sporgeometrien og hva som vil være den optimale sporgeometrien, som Martin Lindahl sin rapport "*Track geometry for high-speed railways*" (Lindahl, 2001) og Bjørn Kufver sin doktorgradavhandling "*Optimisation of horizontal alignments for railways*" (Kufver, 2000). Det er derimot lite forskning på hva som vil være den optimale sporgeometrien sett i sammenheng med andel tunneler og broer. På grunn av topografien i Norge og det kupert terrenget er det et interessant perspektiv.

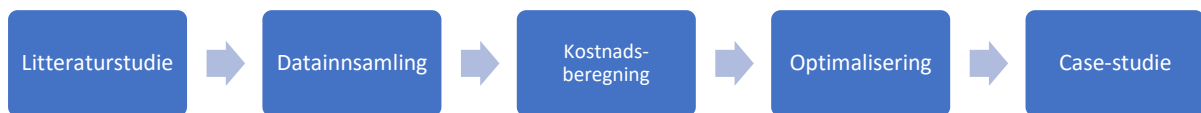
Litteraturen om vedlikehold av tunneler er ofte basert på eldre tunneler. Det er ikke basert på tunneler med så god vann- og frostsikring som tunneler kan bygges med i dag. Det gjør at store deler av den litteraturen ikke er så relevant for nye anlegg. Det er langt mindre litteratur tilgjengelig for broer enn for tunneler. Broer vil være mye kortere enn de fleste tunneler og de vil ikke ha det samme behovet for tekniske installasjoner, vifter, rømningsveier etc. Dette gjør at vedlikeholdet tilknyttet en bro hovedsakelig er vedlikeholdet av selve konstruksjonen. Det vil fortsatt være interessant å se på hvordan ulike broløsninger påvirker drift- og vedlikeholdskostnadene.

Driftskostnadene kan være redusert fordi man ikke har behov for snørydding i tunneler. I nye tunneler vil det være mange objekter som må inspiseres og kontrolleres. Dette er ressurskrevende oppgaver og vil gi økt vedlikehold. Det er derimot lite litteratur som har tatt for seg dette og få tall underbygger disse påstandene. Man vil ha forskjellige typer kontroller

på dagsoner, tunneler og broer, men hvilke kontroller som vil være mest omfattende er det lite litteratur på. Dette har en sammenheng med at de mest aktuelle anleggene i Norge har vært i drift i kort tid og derfor ikke rukket å opparbeide seg erfaringer eller få god data på vedlikeholdet.

3. Metode

Metodekapittelet er delt inn i fem deler, se Figur 4. Hver del tar for seg en del av prosessen i masteroppgaven. Det starter med litteraturstudien. Deretter er datainnsamling neste steg. Datainnsamlingen er grunnlaget som brukes til kostnadsberegningen. Kostnadsberegningen skal gi kostnadsfaktorer som brukes i optimaliseringen av andel tunneler og broer. Siste steg i prosessen er å teste metoden på en case-studie. Case-studien vil vise om metoden vil føre til endringer fra dagens valg av trasé. Fremgangsmåten for litteraturstudiet er beskrevet i kapittel 2.



Figur 4 Metode for masteroppgaven

3.1 Datainnsamling

For å se hvilke data som må samles inn, kan en ta utgangspunkt i målet med oppgaven og de ulike forskningsspørsmålene. **Målet med oppgaven er å lage en metode som, på bakgrunn av andelen tunneler og broer, inkluderer drift- og vedlikeholdskostnadene i planleggingsfasen, slik at man kan optimalisere traséen med hensyn på total kostnadene.**

De fire forskningsspørsmålene er:

- Hvilke parametere har størst innvirkning på drift- og vedlikeholdskostnadene til en jernbanelinje?
- Hvordan påvirker andelen tunneler og broer drift- og vedlikeholdskostnadene til en jernbanelinje?
- Hvordan vil ulike tunnel- og broløsninger påvirke drift- og vedlikeholdskostnadene?
- Hvordan vil det å inkludere drift- og vedlikeholdskostnadene i planleggingsfasen påvirke valget av trasé?

Metoden som er benyttet til datainnsamlingen er intervjuer. Med hjelp fra med-veileder Trude Anke i Bane NOR ble det opprettet kontakt med flere aktuelle personer for intervjuene. For å lage metoden, som er målet med oppgaven, er det behov for flere ulike typer data. Først og

fremst er det behov for å kartlegge kostnadene til ulike typer drift- og vedlikeholdsoppgaver. I Bane NOR er det Utbyggingsdivisjonen som sitter på investeringskostnadene, men det er de enkelte banestrekningene som har drift- og vedlikeholdskostnadene. For å finne aktuelle kostnadstall ble tre banestrekninger plukket ut som de mest aktuelle strekningene. Dette var Dovrebanen Sør, Gardermobanen og Vestfoldbanen. I dag er det ingen strekninger i Norge hvor det kjøres i 250 km/t. Disse strekningene ansees som de mest aktuelle fordi det er flere nye parseller på strekningene og det kjøres med høy hastighet. Gardermobanen er i dag den strekningen med høyest makshastighet i Norge, 210 km/t (Frøystein og Kvernmo, 2018).

Banesjefene på de aktuelle banestrekningene ble kontaktet. Banesjefene fant en kontaktperson hver som skulle hjelpe til med datainnsamlingen. Med Vestfoldbanen og Gardermobanen ble det gjennomført møter/intervjuer med kontaktpersonene som ble oppgitt av banesjefene. På Dovrebanen Sør har det kun vært kontakt via telefon og e-post. Det ble ikke utarbeidet et fast spørreskjema felles for møtene og intervjuene, men det var på forhånd forberedt hva slags informasjon som kunne være viktig. Informasjon som:

- Vedlikeholdsplaner
- Vedlikeholdsbudsjetter
- Oppgaver som er særegne for de enkelte strekningstypene på linjen.
- Omfanget av drift- og vedlikeholdsoppgaver

I datainnsamlingen fokuseres det på vedlikeholdsoppgavene som er særegne for de enkelte strekningstypene. Det er disse vedlikeholdsoppgavene som vil gi forskjeller i kostnadene. Mange av oppgavene vil være felles for alle strekningstypene og ikke gi noen forskjeller i drift- og vedlikeholdskostnadene.

Vedlikeholdsintervallene til de ulike oppgavene vil ha stor innvirkning. For å kunne beregne kostnadene over lenger tid er det viktig å undersøke når kostnadene vil påløpe. Intervallene kan kartlegges ved hjelp av intervjuene og teknisk regelverk (Bane NOR, 2017e).

Til datainnsamlingen brukes også Bane NORs dokumentarkiv ProArc og BaneData. ProArc er et dokumentarkiv som inneholder informasjon om pågående eller ferdige prosjekter. Her kan man søke opp dokumenter tilhørende forskjellige strekninger og se hva som kan være aktuelt for å inkludere i oppgaven. For eksempel kan man finne tekniske tegninger over broer eller tunneler. BaneData inneholder informasjon om alle forskjellige typer objekter på og langs jernbanenettet.

Til innsamling av investeringskostnader på aktuelle prosjekter, ble Utbyggingsdivisjonen i Bane NOR kontaktet. På tre store prosjekter, Farriseidet- Porsgrunn, Holm- Nykirke, Langset-Kleverud, var det laget en oversikt over andelen kostnader tilknyttet de ulike strekningstypene. Denne viser løpemeterkostnaden på de ulike broene, tunnelene og dagsone på strekningene. Oversikten brukes som grunnlag for investeringskostnadene i beregningene. Oversikten er laget av Jan-Ove Geekie, Senior Estimator i Utbyggingsdivisjonen.

3.2 Kostnadsberegning

Dataen fra datainnsamling ble videre brukt til kostnadsberegningene. Formålet med datainnsamlingen var hovedsakelig å estimere kostnadene ved drift og vedlikehold. Etter å ha estimert kostnadene kan man lage kostnadsfaktorer som er grunnlaget til modellen.

Ved hjelp av datainnsamlingen og kostnadsberegningene kan man finne løsningen på de to første forskningsspørsmålene. Kostnadsberegningene er basert på følgende dokumenter og data:

- Vedlikeholdsplan Holm- Nykirke (Bane NOR, 2016b).
- Vedlikeholdsbudsjett for 2018 for Dovrebanen Sør (Rudihagen, 2018) og Vestfoldbanen (Lien, 2018).
- Mål og resultatavtale 2018 for Vestfoldbanen (Lien, 2018).
- Oversikt over investeringskostnader fra Utbyggingsdivisjonen (Geekie, 2018).

Vedlikeholdsplanen for Holm – Nykirke ble brukt til å vurdere hvilke vedlikeholdsoppgaver som er de mest omfattende og å dele opp vedlikeholdsoppgavene etter strekningstype. Her er det spesifisert hvilke oppgaver som er relevant for de ulike strekningstypene. Det er tatt hensyn til antallet personer som behøves for å gjennomføre arbeidet. Dette tolkes slik at hvis to personer jobber i fem timer, så er dette oppført som ti timer i vedlikeholdsplanen. Maskiner og utstyr som er nødvendig for å utføre kontrollene, inspeksjonene og vedlikeholdet er ikke inkludert. Kostnadene er estimert ved hjelp av mannskapspriser for de ulike fagområdene. Maskinpriser, reisetid og administrasjonskostnader er ikke inkludert i beregningene. De estimerte kostnadene basert på denne planen er derfor langt lavere enn i praksis. Kostnadene kan allikevel gi en formening om hvilke vedlikeholdsoppgaver som er de mest omfattende og tidkrevende.

Kostnadsberegningene for vedlikeholdsplanen blir utført ved å multiplisere antallet timer for oppgaven med mannskapsprisen for det aktuelle fagområdet. Denne summen diskonteres tilbake til det første året. Deretter summeres alle beløpene for hele analyseperioden på 40 år for den aktuelle arbeidsrutinen. Analyseperioden settes til 40 år. Dette er i tråd

Jernbanedirektoratets metodehåndbok for samfunnsøkonomiske analyser (Jernbanedirektoratet, 2015). Ettersom vedlikeholdsplanen kun er basert på strekningen Holm-Nykirke er det ingen broer som er inkludert i denne planen. Estimeringen av broer kan derfor ikke gjøres på bakgrunn av vedlikeholdsplanen. Oppgavene som har det største omfanget, vil være de største kostnadsdriverne.

Mannskapsprisene som brukes er satser for 2018. Det vil være store usikkerheter til hvordan prisene på mannskap og maskiner vil utvikle seg i fremtiden. I denne oppgaven er det derfor regnet uten prisstigning på mannskapsprisene. Kostnadsberegningene utføres for å kunne skille vedlikeholdskostnadene på de ulike strekningstypene. Hvis en antar at prisstigningen ville vært lik for alle fagområder, vil det ikke ha noen innvirkning om man regner med prisstigningen eller ikke. Hovedformålet med denne kostnadsberegningen er som sagt å undersøke forskjellene mellom de ulike strekningstypene.

I kostnadsberegningene brukes også vedlikeholdsbudsjettene for Dovrebanen Sør og Vestfoldbanen. Budsjettene brukes til å utføre enkle analyser for kostnader tilknyttet strekningstypene. På Vestfoldbanen og Dovrebanen Sør er det ulike andeler av de forskjellige strekningstypene. Ved å se på vedlikeholdskostnadene per meter, kan man se hvordan de forskjellige sonene påvirker kostnadene. I BaneData finnes alle objekter på en strekning. Det er oversikter over alle tunneler eller broer på en angitt bane. I beregningene er dette brukt til å beregne andel tunnel og bro på Vestfoldbanen og Dovrebanen Sør.

Tidspunktet for når vedlikeholdet utføres vil påvirke kostnadene. Ved å utføre vedlikeholdet i hvite tider slipper man å påvirke trafikken på sporet. På baner med linjehastighet over 130 km/t, er det ikke tillatt å jobbe i nabosporet uten fysiske skiller mellom sporene (Bane NOR og Oksnes, 2018). Dette kan løses ved å sette ned hastigheten til 130 km/t, sette opp gjerder eller benytte seg av vedlikeholdstoget. Vedlikeholdstoget er et tog med åpen bunn slik at man kan vedlikeholde sporet uten å påvirke trafikken i nabosporet. Foreløpig brukes ikke dette så mye i dag på grunn av kostnadene ved å ha det bemannet.

Beregningene på investeringskostnadene viser hvordan løpemeterkostnadene varierer fra en tunnel til en annen. Det er flere faktorer som påvirker kostnadene enn kun strekningstype. I beregningene inkluderes det faktorer for hver strekningstype som kan påvirke kostnadene. Figur 5 viser oversikten over de ulike kostnadsfaktorene.

3.3 Optimalisering

Etter utarbeidelsen av kostnadsfaktorene brukes disse som grunnlaget i optimaliseringsprosessen. Hovedparameterne i optimaliseringen vil være andelen tunneler og broer. Videre inkluderes det også hvilken vann- og frostsikring som benyttes. Det inkluderes fordi det er ønskelig å undersøke om det gir forskjeller i drift- og vedlikeholdskostnadene. Metodene for vann- og frostsikring som inkluderes er hvelv av betongelementer og kontaktstøpt betonghvelv. Derfor er det to forskjellige kostnadsfaktorer for tunneler.

Optimaliseringsprosessen baserer seg på stegene fra kapittel 2.4.1 Det optimale designet (Arora, 2012c). Første steget er å definere problemet. Problemet her vil være å optimalisere en trasé på bakgrunn av hele anleggets total kostnader. Fordi tunneler og broer er kostbare konstruksjoner, er man interessert i en trasé som gir den laveste total kostnaden basert på andelen tunneler og broer.

Neste steg vil være å samle tilstrekkelig med informasjon og data til å lage en metode for optimaliseringen. Dette vil være dataen og kostnadsberegningene fra datainnsamlingen. Deretter må designvariablene til funksjonen bestemmes. I denne oppgaven er det som nevnt tidligere andelen tunneler og broer som er designvariablene. Man vil finne den optimale andelen tunneler og broer på en strekning. Det vil inngå flere variabler i metoden, men dette er ikke en del av designvariablene. De andre variablene som inkluderes er vann- og frostsikringsmetode for tunneler, konstruksjonsmaterialet for bærekonstruksjoner for broer og lengden på broer.

Optimeringskriteriet vil være å minimere total kostnaden. Total kostnaden er summen av investering-, drift- og vedlikeholdskostnadene. Optimeringskriteria:

$$\text{Minimere } C_t = C_i + C_o + C_m$$

C_i = investeringskostnad, C_o = driftskostnad, C_m = vedlikeholdskostnad og C_t = total kostnad. Den traséløsningen som gir den minste total kostnaden vil være den optimale løsningen. I en LCC-analyse inkluderes ofte kostnader tilknyttet forsinkelser. Dette inkluderes ikke i denne oppgaven da det antas at de generiske arbeidsrutinene kan utføres i hvite tider uten å føre til forsinkelser for trafikken.

Det siste steget i optimaliseringsprosessen er å fastsette begrensningene og rammene for løsningene. De to designvariablene i optimaliseringen er som nevnt tidligere andelen tunneler, t , og andelen broer, b . Begrensninger for disse variablene vil være:

$$0 \leq t \leq 1$$

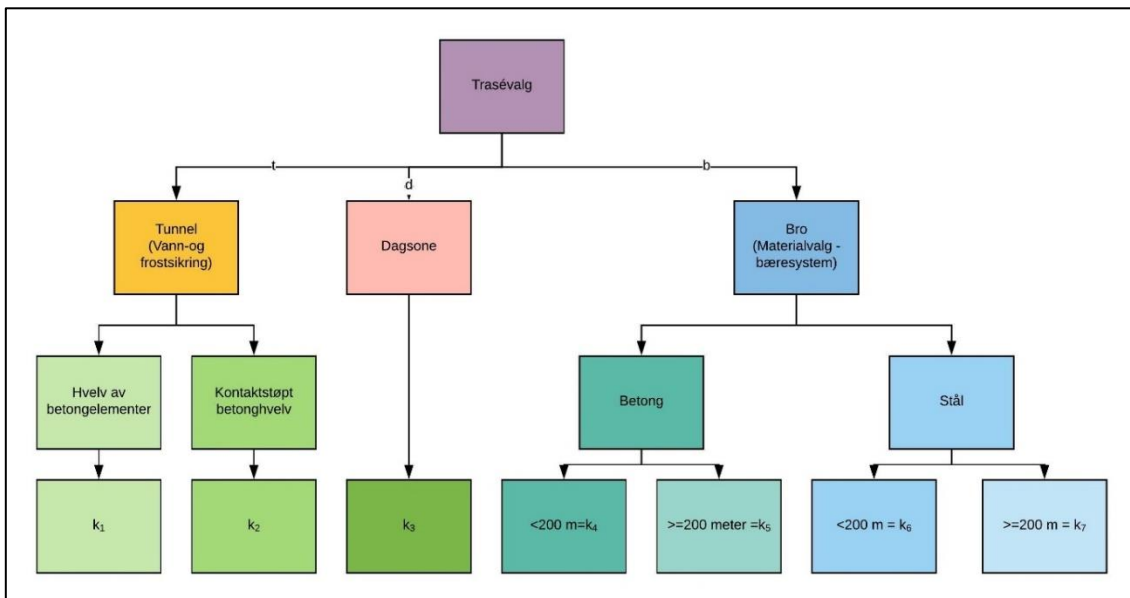
$$0 \leq b \leq 1$$

$$t + b \leq 1$$

Andelen tunneler og broer kan ikke være større enn 1. I et tilfelle hvor andelen tunneler og broer er lik 1, vil det ikke være noe dagsone. Andelen dagsone er:

$$\text{Andel dagsone (d)} = 1 - (t + b)$$

I kapittel 2.2 Sporgeometri blir kravene til en jernbanetrasé gjennomgått. Disse vil være rammeverket og begrensningene for hvor en trasé kan gå. Disse inkluderes ikke i modellen fordi alle alternativer må forholde seg til de samme kravene. Det som vil ha en innvirkning på resultatet er andelen tunneler og broer. Det er ingen begrensninger for maksimal andel tunnel eller bro. Noen steder kan det være ønskelig å legge en del av traséen under bakken for å verne områdene over. Det er altså flere faktorer som påvirker valget av trasé, men det er ingen begrensning for hvor stor andel av en strekning som kan være tunnel eller bro annet enn økonomien. Økonomien vil være en begrensende faktor og det er derfor totalkostnadene skal minimeres i oppgaven.



Figur 5 Kostnadsfaktorer

Det vil være sju kostnadsfaktorer for totalkostnadene til jernbaneanlegget, se Figur 5. En stor andel av driftskostnadene er tilknyttet snørydding. Det vil ikke være behov for snørydding i

tunneler, men på broer og dagsoner. Årsaken til at det er disse faktorene som er plukket ut er en forventning om at det kan påvirke resultatet. Vann- og frostsikring er viktig i tunneler og vil ha stor betydning for levetiden og kostnadene tilknyttet tunnelen. Det skilles mellom broer med bæresystemer av betong og stål fordi materialvalget vil være en viktig faktor når det kommer til levetidskostnadene for en jernbanebro.

Kostnadsfaktoren er en faktor for totalkostnaden knyttet til den aktuelle strekningstypen. t , d og b er andeler av strekningen som er den strekningstypen. t er andelen tunneler på strekningen.

$$t = t_1 + t_2$$

$t_1 =$ andelen tunneler med betongelementer som vann – og frostsikring

$t_2 =$ andelen tunneler med kontaktstøpt betonghvelv som vann – og frostsikring

$d =$ andel dagsone

$b =$ andel broer på strekningen

$$b = b_1 + b_2 + b_3 + b_4$$

$b_1 =$ andelen broer med bæresystem av betong og lengde under 200 meter

$b_2 =$ andelen broer med bæresystem av betong og lengde over eller lik 200 m

$b_3 =$ andel broer med bæresystem av stål og lengde under 200 meter

$b_4 =$ andel broer med bæresystem av stål og lengde større eller lik 200 meter

Tabell 7 er en mer oversiktlig fremstilling av faktorene tilknyttet broer.

Tabell 7 Matrise som viser faktorene tilknyttet broer.

	Under 200 meter	Større eller lik 200 meter
Betong	b_1	b_2
Stål	b_3	b_4

Det generelle uttrykket for totalkostnaden til jernbaneanlegget kan blir:

$$C_t = (t_1 k_1 + t_2 k_2 + d k_3 + b_1 k_4 + b_2 k_5 + b_3 k_6 + b_4 k_7) \times l$$

$l =$ lengden på strekningen i meter

$k_n =$ kostnadsfaktorene i pris per meter for totalkostnaden

Metoden tar ikke hensyn til andre faktorer enn de ulike andelene av de aktuelle strekningstypene. Derfor vil ikke dette kunne brukes som en metode for å søke frem den optimale traséen. Den kan brukes når man har kommet frem til noen ulike alternativer til trasé. Metoden vil kunne

brukes til å estimere total kostnadene til alternativene og avgjøre hvilket alternativ som vil være det mest økonomiske på sikt.

3.4 Case-studie

For å undersøke hvordan modellen påvirker valget av trasé blir det gjennomført en case-studie. Målet med case-studien er å svare på det fjerde forskningsspørsmålet.

- Hvordan vil det å inkludere drift- og vedlikeholdskostnadene i planleggingsfasen påvirke valget av trasé?

Ved å studere alternativene til valg av trasé på strekningen Nykirke-Barkåker og benytte seg av optimaliseringsmodellen, kan man undersøke om drift- og vedlikeholdskostnadene vil påvirke valget av traséløsning. Ved hjelp av en slik case-studie får man undersøkt om metoden vil ha noen innvirkning på et reelt prosjekt. Case-studien tar for seg en strekning som fortsatt er under planlegging. På strekningen er det plukket ut tre alternative korridorer. De ulike alternativene har forskjellig andel tunnel og bro. Ved å benytte seg av metoden og resultatene fra datainnsamlingen på de ulike alternativene, kan man se hvilket alternativ som vil være mest økonomisk på lang sikt. Hvis det blir store forskjeller i kostnadene for de ulike alternativene, vil drift- og vedlikeholdskostnadene kunne påvirke det endelige valget av trasé. Planlagt byggestart for strekningen er sommeren 2019.

4. Resultat

I dette kapittelet presenteres oppgavens resultater og analyser. Resultatene fra datainnsamlingen og de ulike analysene gjøres rede for. Det går gjennom hvordan beregningene er utført og hva det kan brukes til.

4.1 Datainnsamling

I datainnsamlingen ble de aktuelle banene brukt for å samle kostnadstall og erfaringsdata fra vedlikeholdet på strekningene. Grunnen til at nettopp disse banene ble plukket ut, var at de var relativt nye strekninger og det kjøres med relativt høy hastighet. På nye strekninger vil man ha mindre erfaringsdata og et tynnere beregningsgrunnlag. Eldre strekninger vil ha mer erfaringsdata, men vil ikke nødvendigvis være relevant for beregningene som skal gjøres i oppgaven. Et eksempel på det er Romeriksporten på Gardermobanen. Denne tunnelen er for gammel og har mye større problemer med vann i tunnelen enn det nye tunneler vil ha. Derfor er ikke vedlikeholdsdata fra Romeriksporten relevant for oppgaven. Ved hjelp av datainnsamling og kostnadsberegningene kan de to første forskningsspørsmålene besvares. Til dette ble hovedsakelig data fra strekningen Holm - Nykirke benyttet. I oppgaven brukes investeringskostnadene fra tre prosjekter, Holm - Nykirke, Langset - Kleverud og Farriseidet - Porsgrunn.

4.1.1 Holm - Nykirke

Holm – Nykirke er en parsell på Vestfoldbanen. Denne strekningen ble åpnet i november 2016. Parsellen er en del av IC-utbyggingen og er 14,2 km lang. Holmestrandsporten utgjør 12,3 km av strekningen. Strekningen er dimensjonert for 250 km/t. Inntil nytt signalanlegg er bygget ut, kjøres det i 200 km/t på strekningen. I sammenheng med ferdigstillelse av denne parsellen ble det utarbeidet en vedlikeholdsplan. I vedlikeholdsplanen er omfanget av ulike generiske arbeidsrutiner estimert. Det er delt inn i 6 ulike fagområder. Kategorien spesielle komponenter er komponenter som ikke dekkes av eksisterende generiske arbeidsrutiner i teknisk regelverk.

- Høyspent/KL
- Lavspent
- Overbygning
- Underbygning
- Signal

- Tele
- Spesielle komponenter

For å beregne hvilke oppgaver og parametere som er de mest omfattende, estimeres det årlige omfanget av hver oppgave. Dette gjøres ved å summere antallet timer for de ulike intervallene og dividere på antallet år intervallene dekker. Som et eksempel kan kontrollen av hengemastene i Holmestrandsporten brukes. Kontrollene av hengemastene deles inn i tre ulike intervaller, 12, 60 og 120 måneder. Tiårskontrollen er den mest omfattende. Omfanget av oppgavene tilknyttet hengemastene er i Tabell 8.

Tabell 8 Estimert omfang av kontroll av hengemast på Holm-Nykirke. Hentet fra (Bane NOR, 2016b, vedlegg a)

<i>Beskrivelse</i>	<i>Intervaller [måneder]</i>	<i>Estimert omfang [timer]</i>
<i>Kontroll av hengemast</i>	12	14
	60	35
	120	49

Det årlige estimerte omfanget av kontrollen av hengemastene regnes ut slik:

$$\begin{aligned} \text{Estimert årlig tidsbruk} &= \frac{14 + 14 + 14 + 14 + 35 + 14 + 14 + 14 + 14 + 49}{10} \\ &= 19,6 \text{ timer} \end{aligned}$$

Dette gjøres for hver oppgave i vedlikeholdsplanen. Planen skiller på hvilke oppgaver som er relevant for tunnel, dagsone og stasjonshallen. Oppgavene som kun er relevante for stasjonshallen er utelukket fra beregningene, se kapittel 1.4. For å få svar på hvilke parametere som påvirker vedlikeholdskostnadene i størst grad, ble dette gjort for alle de generiske arbeidsrutinene. De mest omfattende vedlikeholdsoppgavene er satt opp i Tabell 9. Høyspent/KL og lavspent er fagområdene med størst, årlig omfang av de generiske arbeidsrutinene.

Tabell 9 Tabell over de mest omfattende vedlikeholdsoppgavene på strekningen Holm- Nykirke.

Beskrivelse	Fagområde	Strekningstype	Årlig estimert omfang [timer]
Utliggere	Høyspent/KL	Alle	171
Kontaktledning	Høyspent/KL	Alle	130
Avspenning lodd	Høyspent/KL	Alle	104
Returkrets	Høyspent/KL	Dagsone	100
Belysning	Lavspent	Alle	560
Fordelingsskap	Lavspent	Tunnel	100
Sporveksel K0	Overbygning	Alle	121
Sporveksel K0 – rengjøring og smøring	Overbygning	Alle	93
Alarm – og adgangskontrollanlegg	Tele	Tunnel	150
Strømforsyning (hjelpkraft) - UPS	Lavspent	Dagsone	420

På denne strekningen er det ingen broer. Det er derfor ikke estimert hvor omfattende vedlikeholdet relevant for broer er. Som en kan se av Tabell 9 er det mest omfattende generiske arbeidsrutinene oppgaver som gjelder alle strekningstypene på strekningen eller kun dagsone. Dette er oppgaver som kontroll av belysning og av utliggere på KL-anlegget. Kontroll av strømforsyning er den mest omfattende oppgaven som kun er relevant for dagsonen. Kontroll av alarm- og kontrollanlegg er den mest omfattende oppgaven som kun er relevant for tunnelen. Som nevnt tidligere vil det være noen spesielle komponenter som ikke er en del av de generiske arbeidsrutinene i teknisk regelverk. Eksempler på dette er tiårskontrollen av betongelementene og kontroll av aktivt brannslukningsanlegg. På denne strekningen er alle de spesielle komponentene relatert til tunnelen og stasjonen. Kontroll av stålhimlingen i stasjonsområdet er, i likhet med andre oppgaver som kun er relevant for stasjonsområdet, utelatt fra beregningene.

UPS er avbruddsfri strømforsyning og er en del av reservestrømforsyningen. UPS skal opprettholde strømforsyningen slik at det ikke blir brudd i strømforsyningen hvis den ordinære strømkilden faller ut. Langs jernbanen er det plassert transformator kiosker. Der det er UPS-anlegg i transformator kioskene vil det slå inn umiddelbart ved stans i det ordinære

strømforsyningsanlegget (Jernbanekompetanse.no, 2018). Kontroll og testing av UPS er den nest mest omfattende arbeidsrutinen som er satt opp i vedlikeholdsplanen. Det er 14 UPS-anlegg i dagsonen og 15 i stasjonshallen. Fordi stasjonshallen er utelukket fra beregningene, halveres omfanget av denne rutinen. Det er antatt at UPS-anleggene i stasjonshallen er beregnet på installasjoner i stasjonshallen og derfor ikke relevant for resten av strekningen. Til tross for at estimatet er halvert, er det altså den nest mest omfattende arbeidsrutinen i vedlikeholdsplanen.

For å vurdere hvordan de ulike strekningstypene påvirker drift- og vedlikeholdskostnadene, må en undersøke omfanget av de generiske arbeidsrutinene som vil være forskjellig for strekningstypene. Dette ble gjort ved å summere opp omfanget av oppgavene som kun var relevant for en strekningstype. For å finne andelen ble dette dividert på vedlikeholdsomfanget innenfor hvert fagområde og totalt.

Tabell 10 Oversikt over andelen av det forebyggende vedlikeholdet som er tilknyttet de ulike strekningstypene.

Fagområde	Tunnel [timer]	Andel tunnel [%]	Dagsone [timer]	Andel dagsone [%]
Høyspent/KL	33	4,5	210,1	28,7
Lavspent	156	12	420	33,7
Overbygning	0	0	0,5	0,2
Underbygning	15,3	78,1	4,05	20,6
Tele	224,3	88,4	23	9,1
Spesielle komponenter	118	81,2	0	0,0
Sum	546,7	21	657,7	24,8

Fagområdet signal er utelukket fra denne oversikten og beregningen som en av oppgavens avgrensninger. Se kapittel 1.4 for mer informasjon.

Det totale omfanget av det forebyggende vedlikeholdet er 2648 timer. Vedlikeholdet som kun er relevant for tunnel er estimert til 546,7 timer, som utgjør 21% av det totale behovet. Som en kan lese av Tabell 10 utgjør andelen vedlikehold kun relevant for dagsone 24,8% av det totale behovet. På strekningen er det en større andel av vedlikeholdet som er tilknyttet dagsone enn tunnel. Til tross for at andelen dagsone er langt mindre enn andelen tunnel. Dette skyldes i stor grad arbeidsrutinen tilknyttet UPS-anleggene som ikke regnes som relevant for tunnelene. Uten denne rutinen ville det totalt sett vært mer omfattende forebyggende vedlikehold tilknyttet tunnelen, men per kilometer ville fortsatt omfanget vært større i dagsonene 13,4 % av strekningen er dagsone, resterende 86,7% er i tunnel eller stasjonsområdet inne i tunnelen. Uten

stasjonen inkludert i beregningene regnes tunnelen som at den er 10,07 kilometer lang (Geekie, 2018). Fordeles timene med vedlikehold på antall kilometer med den aktuelle strekningstypen, utgjør vedlikeholdet kun relatert til dagsone 346,1 timer per km, for tunnel er det 54,3 timer per km. Per kilometer er altså de generiske arbeidsrutinene på en dagsone langt mer omfattende enn i en tunnel. Med så korte dagsoner som det er på denne strekningen, vil datagrunnlaget være lite. Usikkerhetene blir for store til å konkludere med at dagsoner vil ha mer omfattende generiske arbeidsrutiner enn tunneler. Spesielt ettersom en så stor del av det forebyggende vedlikeholdet i dagsoner er knyttet til to oppgaver, kontrollen av returkretsen og UPS. De to oppgavene står for 520 timer av 657,7 timer tilknyttet dagsonen.

Kostnadene tilknyttet det forebyggende vedlikeholdet vil avhenge av mannskapspriser og maskinpriser. Mannskapsprisene for de ulike fagområdene er i Tabell 11. I kostnadsberegningene er det kun mannskapsprisene som er inkludert. Flere oppgaver vil kreve utstyr eller maskiner, men store deler av de generiske arbeidsrutinene er visitasjoner, inspeksjoner og kontroller som ikke krever maskiner.

Tabell 11 Mannskapspriser fordelt på faggrupper. Tilsendt fra (Frøystein og Kvernmo, 2018).

<i>Faggruppe kategori</i>	<i>Timerate mannskapspriser (NOK-2018)</i>
<i>Linjen (overbygning og underbygning)</i>	835
<i>Signal/KL/EL</i>	1010
<i>Tele</i>	855

Ved å multiplisere mannskapsprisen med antall timer for hver arbeidsrutine, kan man få en oversikt over hvilke oppgaver som vil være de mest kostbare. Her regnes det ikke med det årlige estimerte omfanget, men med antall timer hvert år for de ulike intervallene. Hver sum diskonteres med en diskonteringsrente på 4%. En tunnel skal ha en levetid på 100 år, men i denne sammenheng er analyseperioden satt til 40 år, som nevnt i kapittel 3.3. Etter 40 år vil de diskonterte summene være såpass redusert at deres innvirkning på resultatet ville vært liten. Som et eksempel på dette kan en se på kontrollen av returkretsen. Med et fast intervall på 100 timer i året og en mannskapspris på 1010 kr, koster denne kontrollen 97 115 kroner ett år frem i tid. 40 år frem i tid er kostnaden ved denne kontrollen redusert til 21 037 kroner som følge av diskontering. I Tabell 12 er kostnadene fordelt på strekningstypene.

Tabell 12 Vedlikeholdskostnader tilknyttet de ulike strekningstypene.

<i>Fagområde</i>	<i>Tunnel [kr]</i>	<i>Andel Tunnel [%]</i>	<i>Dagsone [kr]</i>	<i>Andel Dagsone [%]</i>	<i>Totalt [kr]</i>
<i>Høyspent/KL</i>	620 585	4,3	4 147 684	29	14 286 112
<i>Lavspent</i>	3 019 574	12,2	8 396 095	33,9	24 775 831
<i>Overbygning</i>	0	0,0	8 263	0,2	4 605 803
<i>Underbygning</i>	246 024	87,6	61 805	22	280 772
<i>Tele</i>	3 759 760	87,1	31 206	0,7	4 314 839
<i>Spesielle komponenter</i>	1 950 182	83,2	0	0,0	2 345 310
<i>Sum</i>	9 596 125	19	12 645 053	25	50 608 667

Intervallene for de generiske arbeidsrutinene varierer i stor grad. Det vil i mange tilfeller være mer omfattende femårs- eller tiårskontroller. Ved å regne på kostnadene, kan en regne på effekten av mer omfattende kontroller fem eller ti år frem i tid. Det er antatt at hele tiårskontrollen utføres etter ti år og ikke at kontrollen fordeles ut over flere år. Som en kan se i tabell 11 utgjør kostnadene tilknyttet tunnelen 19% av kostnadene totalt. Kostnadene tilknyttet dagsonene utgjør 25 av kostnadene totalt. Det er altså ingen store forskjeller sammenlignet med tidsbruken til de ulike generiske arbeidsrutinene. Kostnadene til det forebyggende vedlikeholdet relatert til tunnel ble 9,6 millioner kr eller 952 942 kr per kilometer. De generiske arbeidsrutinene av dagsone koster 12,6 millioner kr, 6 655 291 kr per kilometer. Per kilometer blir vedlikeholdet altså langt dyrere for dagsoner enn for tunneler basert på vedlikeholdsplanen for Holm – Nykirke.

4.1.2 Vedlikeholdsbudsjett

Vedlikeholdsbudsjettene på ulike strekninger kan brukes til å vurdere effekten av andelen tunneler og broer på en strekning. Dovrebanen Sør, fra Eidsvoll til Hamar, hadde i 2015 et budsjett for det forebyggende vedlikeholdet på 9,7 millioner kroner. I 2018 er budsjettet 16,8 millioner kroner. Forskjellen fra 2015 til 2018 er at dobbeltsporet mellom Langset og Kleverud er tatt i bruk. Justert for prisstigning, tilsvarer 9,7 millioner i 2015, 10,4 millioner i 2018. Det betyr at etter utbyggingen av parsellen Langset – Kleverud har kostnadene til forebyggende vedlikehold steget med 6,4 millioner kroner. Dovrebanen Sør består av ca. 58,4 km med spor. Av disse er 4,8 km i tunnel, fordelt på de tre tunnelene Molykkjatunnelen, Ulvintunnelen og Morstuatunnelen. Strekingen består også av 47 broer. Av disse er 38 av dem under ti meter lange. To av broene er over 100 meter, Minnesund bru på 361,5 meter og Pelet plate K75 på parsellen Langset – Strandlykkja på 101,9 meter. Totalt er det 803,9 meter med bro på

strekningen. Det utgjør en andel på 1,38%. Andelen tunneler er 8,2%. Hvis en antar at vedlikeholdsbudsjettet på 16,8 millioner kroner holdes konstant, tilsvarer det 332,5 millioner kroner over 40 år. Fordelt på 58,4 km med spor er det 5 693 kr per meter.

Vestfoldbanen består av fire delstrekninger med til sammen 166,6 km med spor. 24,687 km er tunnel fordelt på seks tunneler, med Holmestrandsporten og Lieråsen som de to lengste, begge over ti kilometer. På strekningen er det 119 broer, hvor 70 er under ti meter lange. Ni broer er over 100 meter og fire broer er over 200 meter lange. De to lengste er Bru Strømløpet på 451,1 meter og Bremsa bru på 380 meter. Broene utgjør en total lengde på 3,713 km. Det er en andel på 2,2% av hele strekningen på 166,6 km. Tunnelene utgjør en andel på 14,8%. Budsjettet for Vestfoldbanen er i 2018 126, 87 millioner kroner. Av dette er 64,79 millioner til forebyggende vedlikehold. Hvis en antar at summen til forebyggende vedlikehold holdes konstant, gir dette en totalsum på 1,28 milliarder kroner i løpet av analyseperioden på 40 år. Det er 7 697 kr per meter fordelt på 166,60 km med spor. Hvis fornyelse, drift og korrektivt vedlikehold hadde vært inkludert, ville kostnadene per meter vært høyere. Det totale budsjettet for Vestfoldbanen i 2018 er på 126, 87 millioner kroner. Hvis denne summen antas å være lik i 40 år, tilsvarer det totalt 2,5 milliarder kroner. Det er ca. 15 000 kr per meter.

Sammenlignet med Dovrebanen Sør er kostnadene til forebyggende vedlikehold langt høyere for Vestfoldbanen enn for Dovrebanen Sør. Over en periode på 40 år, er kostnadene til det forebyggende vedlikeholdet over 2000 kr mer per meter på Vestfoldbanen enn Dovrebanen Sør.

4.2 Vann- og frostsikring i tunnel

Det er flere ulike typer tunneler og konsepter for tunneler. Hvilke løsninger man velger vil påvirke kostnadene til tunnelen. I denne oppgaven er det valgt ut to ulike løsninger for vann- og frostsikring for å se hvordan de to løsningene påvirker drift- og vedlikeholdskostnadene. I metoden skilles det mellom tunneler med hvelv av betongelementer og tunneler med kontaktstøpt betonghvelv som vann- og frostsikring.

Det vil være forskjeller mellom de to løsningene både på vedlikeholdskostnader og investeringskostnader. Forskjellene mellom disse to løsningene vil ikke påvirke andre deler av vedlikeholdet enn akkurat tunnelkonstruksjonen (Bane NOR, 2015c). Forskjellen i de generiske arbeidsrutinene vil ligge i kontrollen av fjellet og ingeniørkontrollen. Som nevnt tidligere vil en løsning med kontaktstøp gi færre komponenter som kan feile. Det er færre objekter som må vedlikeholdes og kontrolleres. Det er objekter og komponenter i selve konstruksjonen og vann- og frostsikringen. Forskjellen i vedlikehold vil derfor ligge i omfanget av

vedlikeholdsoppgavene for tunnelen. Underbygningen er fagområdet med de minst omfattende generiske arbeidsrutinene.

Vedlikeholdskostnader

I Holmestrandporten er det estimert at tiårs-kontrollen av betongelementene vil ta 250 timer. (Bane NOR, 2016b). Med betongelementer vil det være behov for jevnlig kontroll av laskeplater, bolter og fuger (Bane NOR, 2015c). Hulrommet bak betongelementene må inspiseres til en viss grad selv om det ikke er ønskelig. Dette kan gjøres via inspeksjonsluker. Det må gjøres fordi det ikke er mulig å si noe om tilstanden til berget bak elementene uten å foreta inspeksjoner bak elementene. Det vil være enklere å tette membranen hvis den blir ødelagt, men det er større lekkasjepotensial på grunn av alle boltene (Hansen, 2015). Ekskludert Holmestrand stasjon er dette en strekning på 10,07 km. Dette vil være i tillegg til de andre generiske arbeidsrutinene som kontroll av minste tverrsnitt, fjellkontroll og ingeniørkontrollen av fjelltunnel. I tillegg skal måleboltene kontrolleres. Det årlige estimerte omfanget av disse oppgavene er 40,33 timer, inkludert 10-årskontrollen av betongelementene.

Grunnet færre komponenter og objekter med en kontaktstøp vil det være mindre omfattende generiske arbeidsrutiner. For en tunnel med kontaktstøpt betonghvelv er det ikke mulig å inspisere noe annet enn selve støpen. Det er ingen andre komponenter å inspisere. Sprekker berget bak støpen opp, så vil også støpen sprekke. Det er ikke behov for noen ekstra inspeksjoner eller kontroller. Det vil derimot være behov for spyling av drensnett for å hindre at dette går tett. Dette må gjøres minimum hvert femte år. Eventuelle lekkasjer i membranen er vanskelige å tette, men lekkasjepotensialet er lavere enn for betongelementer. Derfor antas det at det ikke er behov for kontroller utover de eksisterende generiske arbeidsrutinene i teknisk regelverk. Ved å anta at det ikke vil være behov for like omfattende tiårskontroller, som av betongelementer, reduseres det årlige estimerte vedlikeholdsomfanget fra 40,33 timer til 15,33 timer. Dette vil redusere kostnadene knyttet til det forebyggende vedlikeholdet. Bare mannskapet til tiårskontrollene vil over en periode på 40 år koste minimum 344 000 kr. Det er hvis hele tiårskontrollen utføres hvert tiende år. I tillegg kommer kostnadene til maskiner, utstyr, administrasjon og reisetid. En reduksjon i det årlige omfanget av de forebyggende vedlikeholdet på 25 timer, gir en reduksjon i kostnader på ca. 413 000 kroner i mannskapskostnader over 40 år.

Investeringskostnader

Det vil være forskjeller i investeringskostnadene. Holmestrandporten er en av flere nye tunneler som bygges med betongelementer. På strekningen Farriseidet – Porsgrunn på

Vestfoldbanen bygges alle de nye tunnelene med betongelementer. Gjennomsnittlig løpemeterpris for Holmestrandsporten og tunnelene på parsellen Farriseidet – Porsgrunn er 345 536 kr. Dette er for investeringskostnaden i 2016-kr. For tunneler med kontaktstøpt betonghvelv er det tunnelene på Fellesprosjektet på Dovrebanen Sør som er aktuelle. De hadde gjennomsnittlig investeringskostnad per meter på 509 800 kr. På Fellesprosjektet er det bare Ulvintunnelen som er over 1000 meter med en lengde på 4010 meter. Morstuatunnelen og Molykkjåtunnelen er henholdsvis 196 og 625 meter. Det er flere faktorer som påvirker løpemeterkostnaden til en tunnel. Lengden på tunnelen er en av dem. Med bare en tunnel over 1000 meter som datagrunnlag, blir det store usikkerheter. Portalene blir antatt til å være de mest kostbare delene av en tunnel (Anke og Geekie, 2018). Det vil gi høyere løpemeterpris for kortere tunneler enn for lengre. Det er derimot ikke slik at alle korte tunneler vil ha høyere løpemeterpris enn lange tunneler, men det er en faktor som gjerne vil drive løpemeterkostnaden oppover.

Over 150 000 kr i forskjell per meter er en stor forskjell. Det kan være mange årsaker til denne forskjellen og skyldes nødvendigvis ikke forskjellen i løsning for vann- og frostsikring. RAMS-analyser for vann- og frostsikring (Hansen, 2015) viser at investeringskostnadene er relativt like for de to alternativene, men at direkte kontaktstøpt betonghvelv er litt dyrere. For Fellesprosjektet ble det beregnet en kostnad per løpemeter på 62 000 kr for kontaktstøpen. Dette er 7% høyere enn for betongelementene på Farriseidet – Porsgrunn, hvor kostnaden per løpemeter var 57 800 kr. For en tunnel på fem kilometer, tilsvarer det 21 millioner kroner. Begge alternativene har en forventet levetid på 100 år.

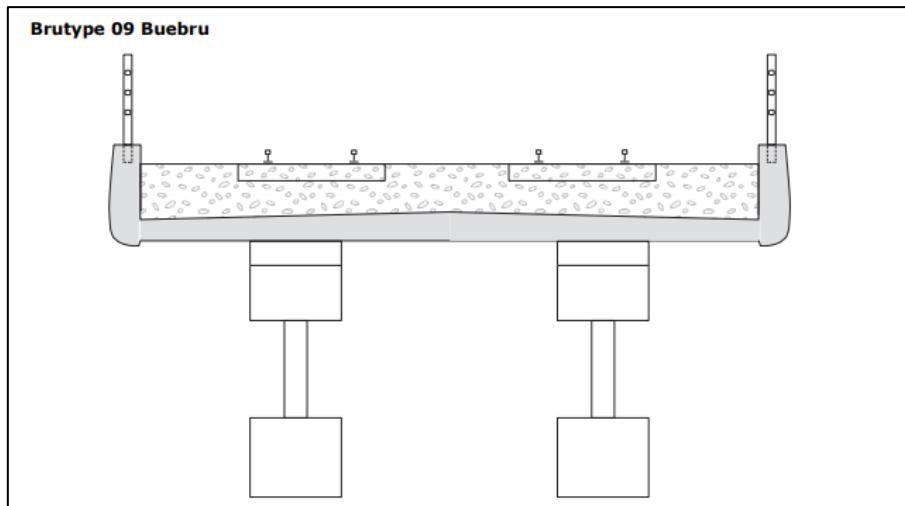
Betongelementer vil gi lavere investeringskostnad, men vil gi større usikkerhet og mer omfattende generiske arbeidsrutiner. Det er et behov for inspeksjoner og kontroller som en ikke har for et kontaktstøpt betonghvelv. Hvor mye dette vil ha å si for totalkostnadene til anlegget er mer usikkert. Tiårskontrollen av betongelementene vil være det som gir ekstra kostnader, men denne er så sjelden og langt frem i tid at i løpet av en 40-årsperiode vil den ikke føre til store forskjeller.

4.3 Broer

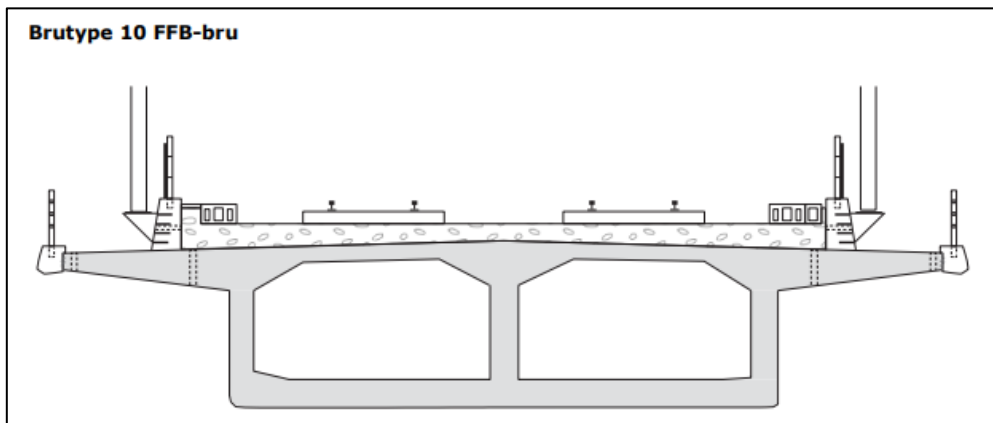
Broer er i likhet med tunneler helt nødvendig for å løse utfordringene som topografien i Norge byr på. Broer er også svært kostbare konstruksjoner, derfor er det viktig å inkludere drift- og vedlikeholdskostnadene. Da kan man velge løsningen som vil være den mest økonomiske på lang sikt. På prosjektet Farriseidet – Porsgrunn er det prosjektert med ni broer. Den gjennomsnittlige investeringskostnaden per løpemeter for broene er 511 471 kr. Dette er i 2016-kr. Til sammenligning er den gjennomsnittlige løpemeterkostnaden for dagsone 233 060 kr. Det er gjennomsnittlig investeringskostnad for 17 forskjellige dagsoner på de tre aktuelle prosjektene. På Farriseidet- Porsgrunn er det store forskjeller i kostnader for broene. Det skiller omtrent en halv million kroner per meter bro mellom den dyreste og billigste broen på strekningen. Hvor lang en bro er, slår gjerne ut på løpemeterkostnaden. Av den innsamlede dataen kan en se at det som regel er de lengre broene som har størst løpemeterkostnad. For tunneler er det motsatt, hvor de lange tunnelene gjerne har lavere løpemeterkostnader. Lengden på broen vil ha stor innvirkning på de totale investeringskostnadene, men vil også være en av flere faktorer som påvirker løpemeterkostnaden.

Alle broene på Farriseidet – Porsgrunn skal bygges i betong. Det skal benyttes flere typer broer, men det velges løsninger hvor bæresystemet er av betong. Broene her gir derfor ikke noe sammenligningsgrunnlag for investeringskostnadene mellom broer av stål og betong.

I teknisk designbasis for IC det det plukket ut ti typer broer for ulike spennvidder. En bro er en konstruksjon med et eller flere spenn større eller lik 2 meter. Den største delen av broer på IC antas å bli kulverter. Hvilke brotyper som er aktuelle, avgjøres hovedsakelig av lengden og antall spenn. Beregningene som ble gjort for Vassbotn Bru tok for seg en buebro av stål og en FFB-bro av betong (Bane NOR, 2017f). Dette er to av de ti brotypene som er plukket ut i teknisk designbasis. En buebro har anbefalt spennvidde fra 40-150 meter og kan utføres i ett eller flere spenn. En FFB-bro har anbefalt spennvidde på 70-175 meter og går typisk over tre spenn. Med tre spenn kan en FFB-bro ha en lengde fra 210 til 525 meter (Bane NOR, 2015b).



Figur 6 Buebro, hentet fra (Bane NOR, 2015b, s. 52).



Figur 7 FFB-bru, hentet fra (Bane NOR, 2015b, s. 53).

Materialvalget er som nevnt tidligere en viktig faktor når det kommer til levetidskostnadene for en bro. Det er materialvalget til bæresystemet av broen som er viktig. Valget står mellom betong eller stål. Stålbroer vil ha et større behov for overflatebehandling. Dette gjelder både store og små broer.

Det antas at broer vil ha behov for større vedlikehold hvert tjuende år. For en betongbro er dette vedlikehold som overflatereparasjoner og vedlikehold av lager. For stålbroer vil det også innebære omfattende overflatebehandling av stålet. Brokonstruksjoner av stål vil ofte ha en større del av broen som ligger ved siden av eller over sporet. Når delene over og ved siden av sporet skal vedlikeholdes, kan det påvirke trafikken i sporet. Det fører igjen til større kostnader. For en betongbro er det aller meste av vedlikeholdet under sporet og det påvirker ikke togtrafikken. Beregninger for Vassbotn Bru (Bane NOR, 2017f) viser at betongbroen i løpet av 100 år vil ha 1 million kroner i vedlikeholdskostnader, stålbroyen vil ha 13 millioner. Det utgjøre en vesentlig forskjell i kostnadene. De totale årskostnadene for stålbroyen er 40% høyere enn for

betongbroen. I dette tilfellet ble det regnet med en diskonteringsrente/realrente på 7%. Realrenten er den samme for begge alternativene, så forskjellene i årskostnadene vil fortsatt være på 40% med en annen realrente. Investeringskostnadene var også langt lavere for betongbroa enn for stålbroa. I dette tilfellet ble det besluttet å bygge en FFB-bru i betong på grunn av at kostnadene er langt lavere sammenlignet med alternativet i stål.

Lengde på en bro og lengden på spennet vil ha stor innvirkning på kostnadene til broen. Lengden er helt avgjørende for hvilken brotype som velges og derfor bør dette inkluderes i modellen. På Vestfoldbanen er det i dag 119 broer. Av disse er 70, 59%, under ti meter lange. Fire av broene er over 200 meter lange. I tillegg kommer de nye broene på strekningen Farrisidet- Porsgrunn. Tre av de nye broene her vil være over 200 meter lange. Med en gjennomsnittlig løpemeterkostnad for investeringskostnadene på 659 000 kr er de vesentlig dyrere enn broene under 200 meter. Investeringskostnadene for broene under 200 meter gir en gjennomsnittlig løpemeterkostnad på 437 000 kroner. Korte broer vil ofte være trau eller kulverter. Lange broer må ofte ha mer komplekse løsninger som resulterer i høyere løpemeterkostnad. I modellen er det derfor satt et skille på broer som er over og under 200 meter. Årsaken til at det er 200 meter som er valgt som verdi er at det er et tydelig skille i investeringskostnadene per meter for broer over og under 200 meter. På parsellen Farrisidet – Porsgrunn var tre av de fire dyreste broene over 200 meter. Det vil derfor være en egen kostnadsfaktor for investeringskostnadene for broer over 200 meter. Vedlikeholdskostnadene per meter vil være det samme for broer over og under 200 meter. Større broer vil kreve mer omfattende kontroller og inspeksjoner, men det vil også være en større strekning å fordele det på.

4.4 Dagsone

Som for tunneler og broer vil noen av de generiske arbeidsrutinene være særegne for dagsone. Å avgjøre hvilken strekningstype som har de mest kostbare rutinene innebærer å avgjøre hvilken strekningstype som har de mest omfattende særegne oppgavene. Som man kan se i tabell 8 er de mest omfattende oppgavene uavhengige av strekningstype. De mest omfattende, særegne oppgavene for dagsone er den generiske arbeidsrutinen returkrets og UPS. Returkrets har et estimert årlig omfang på 100 timer. Holm - Nykirke består av ca. 1,9 km med dagsone. Den generiske arbeidsrutinen returkrets innebærer blant annet å kontrollere skinneforbinder for skade, kontrollere tverrforbinder for skade og å kontrollere overkast for skade. Den står for

100 av 657 timer, som er det årlige estimerte omfanget av de generiske arbeidsrutinene særegent for dagsoner i vedlikeholdsplanen.

Oppgaver som kontroll av gjerder, stikkrenner eller vegetasjonskontroll er også særegne for dagsoner. Kontrollen av stikkrenner går ut på å sjekke om en stikkrenne er oppslammet eller ikke. Formålet til en stikkrenne er å frakte vann fra oppstrøms side av jernbanen til nedstrøms side uten at infrastrukturen tar skade av dette. Over tid vil det samles opp stein, grus, kvister og lignende i stikkrennene. Dette reduserer kapasiteten til stikkrennen og vannet kan begynne å gå andre veier. Vann i fyllingen kan redusere styrken til fyllingen og sporet kan rase ut. Derfor skal hver stikkrenne inspiseres en gang i året. Vegetasjonskontrollen går ut på å fjerne eller hindre framveksten av trær, greiner og så videre som kan være ødeleggende for jernbanedriften. Vegetasjonskontrollen skal også hindre oppbyggingen av humus i ballastlaget. Kontroll av sideterreng og fjellskjæringer vil også være en del av de særegne generiske arbeidsrutinene for dagsoner.

Investeringskostnadene er, som nevnt tidligere, lavest for dagsoner. Men man ser tydelig at det er de korte dagsonene som gir de høyeste løpemeterkostnadene. Det skiller over en halv million kroner per meter mellom den billigste og dyreste dagsonen. Det viser at det kan være store variasjoner i kostnadene også for dagsoner, men gjennomsnittlig er de langt billigere investeringer enn tunneler og broer.

4.5 Drift

Den delen av drift som tidligere har blitt nevnt som aktuell for denne oppgaven er snørydding og banestrømforsyning. På Gardermobanen er ikke snørydding noe problem i hovedsporene på grunn stor trafikk og høy hastighet (Frøystein og Kvernmo, 2018). Stasjoner, sidespor, sporveksler osv. vil derimot ha et behov for snørydding. I tunneler vil det ikke være behov for snørydding, i motsetning til broer og dagsoner. På Vestfoldbanen utgjør kostnader til snørydding 13,76 millioner kroner av budsjettet for 2018. Fordelt på antall kilometer som ikke er tunnel, er dette 96 962,86 kr per kilometer eller 96,96 kr per meter. Hvis man antar at det er samme sum som blir bevilget i fremtiden og diskonterer denne utgiften, for hele analyseperioden på 40 år, utgjør snørydding på Vestfoldbanen 1634,75 kr per meter.

5. Case-studie

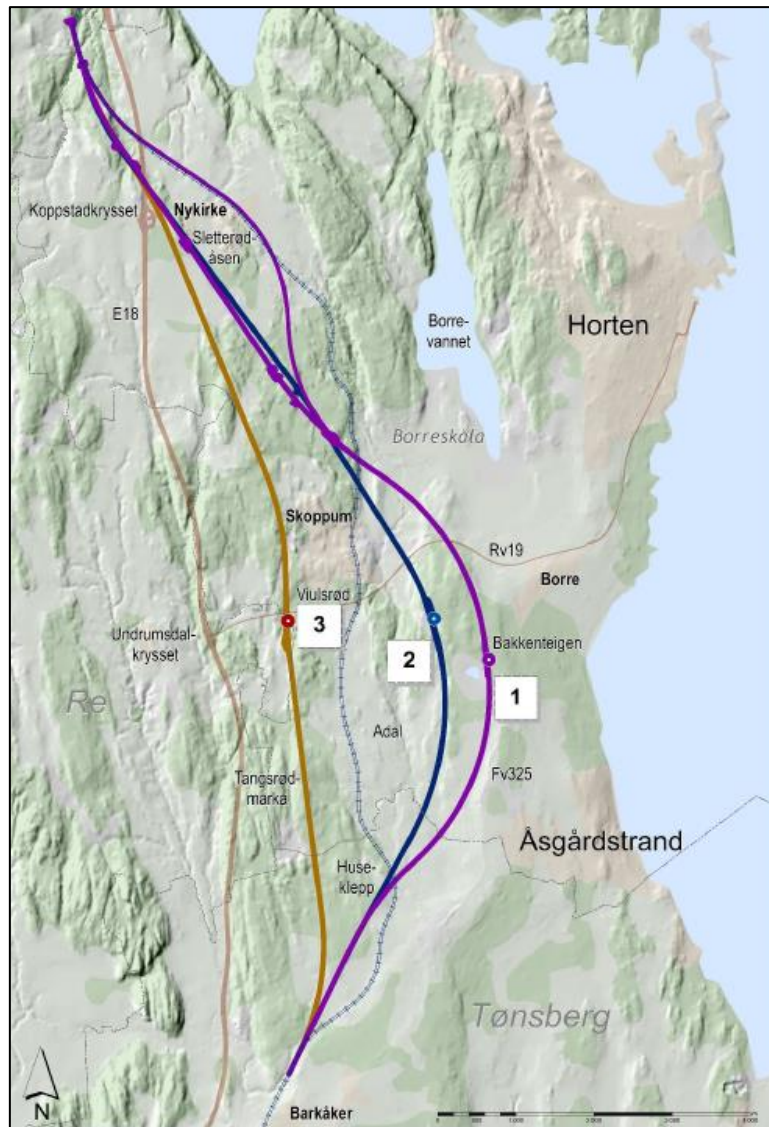
Dette kapitlet handler om case-studien som er utført på strekningen Nykirke – Barkåker på Vestfoldbanen. Kapitlet starter med en beskrivelse av prosjektet. Deretter belyses de tre alternativene til trasé. Til slutt brukes informasjonen som er hentet inn i masteroppgaven til å avgjøre hvilket av de tre alternativene som vil være det mest lønnsomme alternativet.

InterCity-prosjektet er en utbygging av dobbeltspor mellom Oslo, Halden, Skien og Lillehammer. Bakgrunnen for prosjektet er en forventet befolkningsvekst på Østlandet som fører til økt behov for transport og samferdsel. Prosjektet skal knytte Østlandet tettere sammen og redusere reisetiden mellom de store byene. Resultatet vil bli hyppigere avganger og økt pålitelighet. Det vil gjøre det lettere og mer attraktivt å pendle. Den totale kostnadsrammen for prosjektet er på ca. 125 milliarder kroner (2011-kr) (Bane NOR, 2016a).

5.1 Alternativer til trasé

Nykirke – Barkåker er en del av IC-utbyggingen på Vestfoldbanen. Det er en strekning på 13,6 km hvor det skal bygges dobbeltspor som dimensjoneres for 250 km/t. Skoppum stasjon er den eneste stasjonen på strekningen. I planleggingen av denne strekningen ble det utarbeidet tre korridorer som skulle utredes videre.

- Korridor 1 via Bakkenteigen og Campus Vestfold.
- Korridor 2 øst for Skoppum.
- Korridor 3 vest for Skoppum.



Figur 8 Oversikt over de tre alternative korridorene mellom Nykirke og Barkåker. Hentet fra (Bane NOR, 2016c, s.8).

I case-studien skal de tre alternativene til korridor kartlegges med fokus på andel tunneler og broer. Ved å ta i bruk informasjonen og dataen fra datainnsamlingen og analysedelen, kan en vurdere hvilket alternativ som vil være det mest lønnsomme på sikt.

Alternativ 1 – Bakkenteigen

Alternativ 1 er alternativet som ligger lengst til øst og har en planlagt lengde på ca. 16 km. Dette alternativet har den minste andelen tunnel, totalt 3,2 km. I tillegg har det en viadukt på 2,1 km.

E18 må krysses i nord og dette gjøres i en betongtunnel. Kryssing under Sletteråsen gjøres med en kombinasjon av en fjell- og betongtunnel. Der hvor det er for lite bergoverdekning kreves det økt sikring. Denne tunnelen blir ca. 1,3 km. Mot Skoppum går banen stort sett i dagen. Vest for Borreskåla er det et jordbruksområde, dette krysses med den 2,1 km lange viadukten.

Alternativ 2 – Skoppum øst

Skoppum øst er alternativet i midten på figur 10. Dette alternativet har en lengde på ca. 15 km. Frem til kryssingen av Sletterødåsen er alternativet likt som alternativ 1. Ca. 4 km av traséen går i tunnel, en viadukt på 1,6 km og resten er dagsone. Sørøver fra Sletterødåsen går traséen i dagsone og to mindre tunneler. Disse er 600 og 400 meter lange. De skal være en kombinasjon av fjell- og betongtunneler. Kryssing av bekker og lokalveger gjøres ved brokonstruksjoner eller kulverter.

Alternativ 3 – Skoppum vest

Denne korridoren er ca. 14 km lang. Stasjonen skal ligge rett vest for Skoppum. Det vil være en stor andel tunnel, ca. 7,2 km. Resten av traséen ligger i dagen. De største konstruksjonene i korridor 3, er tre betongtunneler, en jernbanebru, portaler for tunnelene og overgangsbroer og kulverter.

Frem til kryssingen av E18 og Sletterødåsen er alternativ 3 tilnærmet likt med alternativ 1 og 2. For å krysse E18 legges banen i en betongtunnel. Den blir ca. 1050 meter lang. Ved byggingen av en slik tunnel, er det flere faktorer som må tas hensyn til. Blant annet trafikkavviklingen på E18. Nord for Skoppum blir det også en betongtunnel. Lengden på denne er ca. 700 meter. Det legges til grunn at det skal benyttes drenerte løsninger i betongtunneler, men hvilken vann-sikringsløsning som skal benyttes er ikke avklart. Alternativene er de to løsningene som belyses i oppgaven, et hvelv av betongelementer eller et kontaktstøpt betonghvelv. Ettersom alle tunnelene på denne strekningen er kortere enn fem kilometer, planlegges det å kun bruke ettløpstunneler. Det er to lengre fjelltunneler på strekningen, henholdsvis på 3 og 1 km. Langs med E18 legges traséen i en fjelltunnel på 3,8 km.

Jernbanebroen som skal anlegges bygges i forbindelse med kryssing av riksvei 19. Kryssing av rv. 19 skjer like nord for Skoppum stasjon, broen må derfor bygges for tre spor. Broen blir ca. 250 meter lang og er planlagt som en bjelkebro i betong med spennvidde på ca. 30 meter. For kryssing av veier, turstier og lignende må det etableres overgangsbroer og kulverter. Brokryssinger planlegges utført som plass-støpte plate/bjelkebroer.

5.2 Sammenligning og diskusjon

De tre alternativene har ulik lengde og ulik andel tunnel og bro. Alternativ 3 er det korteste alternativet og den høyeste andelen tunnel. Alternativ 1 og 2 har mindre tunneler, men til gjengjeld lange viadukter. Tabell 13 viser oversikten over andelen av de ulike strekningstypene for hvert alternativ. Små broer og kulverter er ikke inkludert i beregningene av andelene her.

Tabell 13 Oversikt over andelen av ulike strekningstyper for hvert alternativ. Hentet fra (Bane NOR, 2016c).

	Andel dagsoner [%]	Andel tunnel [%]	Andel bro [%]
Alternativ 1	67	20	13
Alternativ 2	62	27	11
Alternativ 3	49	51	1,8

Tabell 14 Grov oversikt over antall meter av ulike strekningstyper for hvert alternativ. Hentet fra (Bane NOR, 2016c).

	Dagsoner [m]	Tunnel [m]	Bro [m]
Alternativ 1	10 700	3 200	2 100
Alternativ 2	9 400	4 000	1 600
Alternativ 3	6 800	7 200	250

På bakgrunn av konsekvensutredningen valgte Bane NOR å gå videre med alternativ 3 – Skoppum vest (Bane NOR, 2016c). En av hovedårsakene til at valget falt på alternativ 3 var totalkostnaden. Den forventede totalkostnaden var langt lavere for alternativ 3 enn for 1 og 2. Alternativ 1 og 2 har høyere kostnader tilknyttet broer og konstruksjoner, som følge av viaduktene. Alternativ 3 har derimot høyere kostnader tilknyttet tunneler på grunn av flere og lengre tunneler. Dette er kun investeringskostnader, drift- og vedlikeholdskostnader er ikke inkludert i disse beregningene. Ved å se på løpemeterpriser for noen utvalgte elementer kan en se hva som fører til forskjellene i investeringskostnadene.

Viadukten er det dyreste elementet med en løpemeterpris på nesten 700 000 kroner per meter. Det er en av grunnene til at alternativ 1 og 2 er de dyreste alternativene. Betongtunnelene er de nest dyreste elementene med løpemeterkostnad på nesten 500 000 kroner per meter. Jernbanebroen i alternativ 3 har en løpemeterkostnad på nesten 400 000 kroner per meter. Dette er elementer som vil gjøre store utslag på investeringskostnadene, men hvordan gjør de utslag på drift- og vedlikeholdskostnadene? Ville valget av trasé blitt annerledes om en inkluderte drift- og vedlikeholdskostnadene?

I alternativ 1 og 2 er traséene lenger. Vedlikeholdsbudsjettet for Vestfoldbanen gir en løpemeterpris på ca. 15 000 kr for drift og vedlikehold. Hvis et alternativ er 2 km lenger, tilsvarer det 30 millioner kroner mer i vedlikeholdskostnader. Analysene gir ikke noe grunnlag for å si at det er mer omfattende generiske arbeidsrutiner for tunneler enn for dagsoner. Resultatene tyder på det motsatte, at dagsoner har mer tidkrevende og kostbart forebyggende vedlikehold enn tunneler. Vedlikeholdet av broer har ikke blitt sammenlignet med tunneler eller dagsoner på grunn av manglende datagrunnlag. Det er derimot lite som tyder på at vedlikeholdet av broer vil gi store utslag. Inspeksjonene og hovedinspeksjonene av brokonstruksjonen er de

særegne generiske arbeidsrutinene for broer. Det vil være omfattende inspeksjoner for så lange viadukter som det er i alternativ 1 og 2.

Viaduktene i alternativ 1 og 2 skal bygges som kassebroer med kasser av stål eller betong. På bakgrunn av resultatene og datainnsamlingen, vil kasser av betong være billigst både med tanke på investeringskostnader og vedlikeholdskostnader. I analysen ble det beregnet en gjennomsnittlig løpemeterpris for investeringskostnadene for tunneler og broer. For tunneler er den 387 000 kr/m og for broer over 200 meter, som viaduktene er i dette tilfellet, 660 000 kr/m. For dagsoner er kostnaden 233 000 kr/m. Multiplisert med mengden av hver strekningstype fra Tabell 14, får en kostnadene i Tabell 15.

Tabell 15 Oversikt over investeringskostnadene tilknyttet hver strekningstype for hvert alternativ.

	Dagsone [2016-kr]	Tunnel [2016- kr]	Bro [2016-kr]	Totalt [2016- kr]
Alternativ 1	2 493 747 005	1 237 126 729	1 385 141 712	5 116 015 445
Alternativ 2	2 190 768 397	1 546 408 411	1 055 346 066	4 792 522 874
Alternativ 3	1 526 546 064	2 783 535 140	164 897 823	4 474 979 026

Tabell 15 viser at alternativ 3 er det billigste og alternativ 1 det dyreste. Dette er ikke inkludert vedlikeholdskostnader. Man kan anta at vedlikeholdskostnadene vil bli 30 millioner og 15 millioner dyrere for henholdsvis alternativ 1 og 2 enn alternativ 3. Med en gjennomsnittspris på 15 000 kr per meter for drift og vedlikehold, utgjør det 240 millioner for 16 km. Det er større forskjeller mellom de ulike traséalternativene enn 240 millioner. Det er altså større forskjeller enn hele drift – og vedlikeholdsbudsjettet for analyseperioden på 40 år. Inkluderingen av vedlikeholdskostnadene vil derfor ikke påvirke valget av trasé, men det kan påvirke f. eks. materialvalget til en bro. At alternativ 1 blir det dyreste, stemmer godt overens med beregningene som ble gjort ved valget av trasé. Investeringskostnadene i modellens beregninger er lavere enn i konsekvensutredningen. Dette skyldes at alle prissatte konsekvenser er en del av konsekvensutredningen, men ikke en del av kostnadene i modellen.

Tabell 16 Kostnader for de ulike alternativene inkludert vedlikeholdskostnader.

	Totalt (investering + vedlikehold) [2018-NOK]
Alternativ 1	5 538 730 282
Alternativ 2	5 188 684 405
Alternativ 3	4 844 799 705

Tabell 16 viser kostnadene for de ulike alternativene inkludert vedlikeholdskostnadene. Vedlikeholdskostnadene er her regnet som 15 000 kr per meter. Vedlikeholdskostnadene er regnet i 2018-kr. Investeringskostnadene ble derfor justert for prisstigningen fra 2016 til 2018 for å kunne legge sammen de to summene.

Basert på den tilgjengelige dataen og informasjonen som innhentet vil ikke det å inkludere vedlikeholdskostnadene få store innvirkninger på valget av trasé. Alternativ 3 vil etter modellens beregninger være det billigste alternativet, i likhet med resultatet fra konsekvensutredningen.

6. Diskusjon

I dette kapitlet diskuteres resultatene fra analysene og datainnsamlingen. Det diskuteres hvordan strekningstypene påvirker drift- og vedlikeholdskostnadene. Til slutt diskuteres styrker og svakheter ved oppgaven.

Datainnsamlingen er i stor grad basert på noen få rapporter utarbeidet av eller på oppdrag for Bane NOR. Dette gir stor usikkerhet og det er vanskelig å kunne si noe sikkert basert på et så tynt grunnlag. Informasjonen vil allikevel kunne brukes til å se trender og gi et innblikk i størrelsesforholdet på kostnadene.

For å finne relevant data må en se på anlegg som er nye, slik at de ligner mest mulig på det som vil bygges i fremtiden. Problemet med nye anlegg er at de har vært i drift så kort tid og man har derfor ikke så mye erfaringsdata. Som nevnt tidligere i oppgaven vil nye anlegg ofte ha en del innkjøringsproblemer. Anleggene er derfor ikke i "normaltilstanden" og derfor ikke representative for jernbaneanlegg. Det gir store begrensninger og et tynt datagrunnlag for oppgaven. For eksempel er Ulvintunnelen den eneste aktuelle tunnelen med et kontaktstøpt betonghvelv. Ulvintunnelen er så ny at ikke alle fagområdene har utført vedlikehold på den enda. 2018 vil være det første året hvor alle fagene utfører vedlikehold i tunnelen. Banesjefen for Dovrebanen Sør vet derfor ikke hvor omfattende vedlikeholdet av tunnelen vil bli. Store deler av vedlikeholdet som har vært utført på tunnelen så langt skyldtes at tunnelen er helt ny og ikke de generiske arbeidsrutinene.

En stor utfordring knyttet til datainnsamlingen har vært hvordan kostnadene struktureres hos Bane NOR. For å kunne kartlegge hvor kostbart vedlikeholdet av en tunnel er, må kostnadene føres detaljert nok til å kunne skille kostnadene etter strekningstype. For eksempel er en stor del av vedlikeholdet tilknyttet tunneler under andre fagområder enn underbygning, som f. eks tele. Hvis man fører opp varigheten av hver av de generiske arbeidsrutinene og hvor omfattende de er, kan man estimere kostnadene til hver enkelt oppgave. Det må også inkluderes hva slags maskiner og utstyr som behøves for utførelsen av oppgavene. Slik gjøres det ikke i dag og da er det problematisk å estimere kostnadene.

Vedlikeholdsbudsjettene

Fokuset i oppgaven har vært det forebyggende vedlikeholdet. I vedlikeholdsbudsjettet til Dovrebanen Sør er det satt av en viss sum til forebyggende vedlikehold, men ikke nærmere spesifisert hva det skal gå til. Det gjør det vanskelig å fordele hvor stor andel av det

forebyggende vedlikeholdet som er tilknyttet de ulike strekningstypene. På Vestfoldbanen er det mer inndelt, men det er fortsatt store poster med for eksempel: "øvrig forebyggende vedlikehold". Hvilke generiske arbeidsrutiner dette innebærer og hvilke strekningstyper det er relevant for er usikkert. Å bruke budsjettene til å avgjøre hvor stor andel av kostnadene som går til forebyggende vedlikehold til for eksempel tunneler er derfor vanskelig.

Det er mulig å sammenligne hvor store budsjettene til det forebyggende vedlikeholdet er med ulik andel av strekningstypene. For eksempel har Vestfoldbanen større andel tunneler og broer enn Dovrebanen Sør. Over analyseperioden på 40 år er vedlikeholdsbudsjettet til forebyggende vedlikehold omtrent 2000 kroner mer per meter for Vestfoldbanen. Større andel av broer og tunneler kan bidra til dette, men det er mange faktorer som spiller inn. Datagrunnlaget tilsier at denne forskjellen ikke skyldes broene og tunnelene. Hvis det hadde vært flere relevante strekninger kunne en undersøkt om det er en trend at det koster mer å vedlikeholde strekninger med mer tunneler og broer. Med kun to banestrekninger kan en ikke trekke noen konklusjoner om hvilke strekningstyper som har de dyreste generiske arbeidsrutinene.

Et vedlikeholdsbudsjett påvirkes av mange faktorer. Hvor mye penger som bevilges er en politisk sak og det er ikke sikkert at en får nok midler til å vedlikeholde alt som burde vedlikeholdes. I tillegg er det varierende omfang av de generiske arbeidsrutinene. For eksempel tiårskontrollen av betongelementer eller hovedinspeksjonen av broer hvert sjette år. De større kontrollene vil være mer omfattende og derfor koste mer. Derfor kan en ikke nødvendigvis bruke vedlikeholdsbudsjettene til å si at en bane er dyrere å vedlikeholde enn en annen på bakgrunn av andel tunneler og broer.

Vedlikeholdsplan Holm - Nykirke

Vedlikeholdsplanen for Holm – Nykirke er den mest relevante rapporten fra datainnsamlingen (Bane NOR, 2016b). Her er de generiske arbeidsrutinene delt inn etter fagområder og hvilke strekningstyper de er relevante for. Det er slik data man trenger for å kartlegge drift- og vedlikeholdskostnader tilknyttet tunnelen. I tillegg er det behov for timepriser for mannskapet og hvilke utstyr som behøves for å utføre arbeidsrutinene. Kostnadene tilknyttet maskiner og utstyr er ikke inkludert i beregningene ettersom det ikke er kartlagt hvilke maskiner som behøves til de ulike oppgavene. Dette er en strekning med mye tunnel og lite dagsoner. Det er en mulighet for at omfanget av vedlikeholdet blir større per meter for korte dagsoner enn for lengre. Så korte dagsoner vil ikke være representative for dagsoner generelt. Datagrunnlaget blir for lite.

Vedlikeholdsplanen for Holm – Nykirke er den første av sitt slag. Det er ikke utarbeidet lignende planer på andre strekninger i Norge. Derfor er det ingen slike planer å sammenligne med. Å vurdere om omfanget av vedlikeholdsoppgavene som er oppgitt er riktig, blir derfor vanskelig. Det antas at de estimatene som er oppgitt i planen er gode nok til å brukes videre i beregningene.

Felles for mange av de mest omfattende arbeidsrutinene er at de gjelder for alle strekningstyper. De mest kostbare generiske arbeidsrutinene blir ikke påvirket av om de utføres i en dagsone, tunnel eller en bro. Det er ingen broer på strekningen Holm – Nykirke og derfor er ikke omfanget av de brospesifikke oppgavene estimert. Å inkludere de brospesifikke oppgavene i sammenligningen blir derfor vanskelig. Men ettersom det kun gjelder et fagområde og de store inspeksjonene har intervaller på seks år, antas det at broer ikke vil ha det mest omfattende forebyggende vedlikeholdet.

Beregningene av vedlikeholdsomfanget viser at arbeidsrutinene tilknyttet dagsonene er mer omfattende enn for tunneler. Underveis i datainnsamlingen og under møtene med ansatte i Bane NOR har den generelle oppfatningen vært at det vil være dyrere å vedlikeholde tunneler enn dagsoner. Dette begrunnes med at det er flere objekter og tekniske installasjoner som må kontrolleres i tunneler. Vedlikeholdsplanen viser derimot at det er dagsonene som har mer omfattende generiske arbeidsrutiner. Det skyldes kontroll av returkrets og kontroll og testing av UPS.

I vedlikeholdsplanen er kontroll og testing av UPS satt opp som relevant for dagsone og stasjonshall fordi det er her UPS-anleggene befinner seg. Det er reservestrømforsyning til jernbanetekniske installasjoner. Behovet for reservestrømforsyning vil være der uavhengig av strekningstypen. Derfor er det usikkert om det kun er i dette tilfellet at det ikke er relevant for tunneler eller om det er på generelt grunnlag. Tunneler vil i utgangspunktet føre til flere tekniske installasjoner enn andre strekningstyper og derfor øke behovet for strømforsyning. Hvis slike anlegg konsekvent plasseres i dagsoner og ikke tunneler, vil ikke vedlikeholdet være relevant for tunneler, men det vil fortsatt være behov for reservestrømforsyning. I tunneler og på broer er det begrenset med plass og derfor plasseres det nok i dagsoner istedenfor. På bakgrunn av dette regnes ikke vedlikeholdet av UPS-anleggene som noen ekstra kostnad ved tunneler eller broer.

Vedlikeholdsoppgaver som sporpakking og ballastrensing er ikke inkludert i beregningene av vedlikeholdsplanen. Det er antatt at dette vil gjennomføres med samme intervall på de ulike

strekningstypene og derfor ikke medføre noen forskjeller i vedlikeholdskostnadene. På broer kan det være tilfelle at man vil ha behov for å rense ballasten oftere. Det er en konsekvens av et hardere underlag på broen og derfor større påkjenning på ballasten. Ballasten kan knuses raskere og måtte skiftes ut oftere. I vedlikeholdsplanen er det ingen broer og den mulige effekten av dette er derfor ikke inkludert.

I vedlikeholdsplanen er det satt opp at for eksempel sporveksler og kontaktledningsnett er felles for alle strekningstyper. Det antas at vedlikeholdet av sporveksler tar like lang tid i en tunnel som på en dagsone eller bro. Som nevnt tidligere vil snørydding av veksler og sidespor være en omfattende vedlikeholdsoppgave. Hvis vekslene legges i tunnel vil det ikke være behov for snørydding. På en annen side behøves det større tverrsnitt i tunnelen hvis det plasseres en sporveksel der. Det vil føre til økte investeringskostnader. I tunneler er det ønskelig å ha så lite tverrsnitt som mulig for å redusere investeringskostnadene. Derfor antas det at sporveksler ikke plasseres her med mindre det er en absolutt nødvendighet.

Det vil være større svingninger i temperatur i en dagsone eller på en bro enn inne i en tunnel. Temperatursvingninger påvirker infrastrukturen og vil kunne gi økt behov for vedlikehold. Det antas at det vil påvirke korrektivt vedlikehold og er derfor ikke videre vurdert i oppgaven.

Modellen

For å kunne utarbeide en modell som tar med drift- og vedlikeholdskostnader i planleggingsprosessen er man avhengig av et større datagrunnlag enn det er i dag. Men det kan fortsatt utarbeides en fremgangsmåte for å inkludere dette.

Den enkleste fremgangsmåten vil være å inkludere drift- og vedlikeholdskostnadene etter at det er utarbeidet alternativer til trasé. Da kan en hente inn data fra hvert enkelt alternativ, og bruke modellen til å avgjøre hvilket alternativ som vil ha de laveste totalkostnadene. På den måten kan de ulike alternativene vektas opp mot hverandre med drift- og vedlikeholdskostnadene inkludert. Dette kan gjøres i løpemeterpris eller totalkostnad. Ulike alternativer til trasé vil ofte ha ulik lengde basert på hvilke strekningstyper det er mest av. Et eksempel på det er case-studien Nykirke – Barkåker. Løpemeterkostnadene til et element kan variere stort. Som analysen viser har lange broer en større løpemeterpris enn de korte. Korte dagsoner har derimot høyere løpemeterpris enn de lange. Basert på dette vil det være økonomisk å velge løsninger som legger opp til få skifter mellom strekningstyper. For eksempel vil det lønne seg å ha én lengre dagsone fremfor å ha flere korte.

Lengden på broene og de aktuelle spennviddene inkluderes også i modellen. Årsaken er at dette vil ha stor innvirkning på hvilken brotype som velges. Grensen ble satt til 200 meter basert på den dataen som foreligger. Broene som var lenger enn dette hadde betydelig høyere løpemeterpris enn broene som var kortere. Det vil påvirke totalkostnadene til prosjektet. Ingen av broene hadde lengde mellom 160 og 230 meter. Skillet kunne derfor vært satt hvor som helst mellom 160 og 230 meter og fortsatt fått samme resultat. Det er videre antatt at det ikke vil ha noen effekt på vedlikeholdskostnadene per meter.

Analysene og resultatene viser at investeringskostnadene er dominerende. Per meter er kostnadene til forebyggende vedlikehold på Vestfoldbanen 7 697 kr. Til sammenligning er den gjennomsnittlige investeringskostnaden for broer på strekningen Farriseidet – Porsgrunn over 500 000 kr per meter. 7 697 kr per meter er for hele analyseperioden på 40 år. På grunn av diskonteringen vil beløpet bli mindre og mindre. I praksis kan summen derfor være langt høyere, men det er vanskelig å forutsi prisstigningen 40 år frem i tid. Derfor er ikke prisstigning inkludert.

Som analysene viser, er store deler av vedlikeholdet uavhengig av strekningstype. Forskjellene i vedlikeholdskostnader mellom strekningstypene vil ikke føre til store endringer i totalkostnadene. Det er flere fagområder som påvirkes av en tunnel enn en bro. Det er kun vedlikeholdet av underbygningen som påvirkes i noe særlig grad av en bro. For en tunnel derimot, påvirkes vedlikeholdet av underbygningen, tele og lavspenning. Til tross for dette er det fortsatt investeringskostnadene som vil fortsatt være dominerende. Det vil være nyttig å få inkludert vedlikeholdskostnadene i planleggingsfasen for den totale kostnadsrammen til et prosjekt, men det er lite sannsynlig at det vil påvirke valget av trasé. Når forskjellene ikke er større, vil det ikke påvirke resultatet av en så kompleks problemstilling.

Tunnel

I analysene ble det undersøkt hvordan ulike tunnel- og broløsninger påvirker drift- og vedlikeholdskostnadene. Oppfatningen er at betongelementer vil være dyrere å vedlikeholde på grunn av flere komponenter og objekter. En kan ikke vurdere tilstanden til berget ved å se på betongelementene. Det vil derfor være større usikkerhet rundt bergets tilstand ved betongelementer.

Resultatene viser at forskjellene i vedlikehold for vann- og frostsikringsløsningene vil være en tiårskontroll av betongelementene og rengjøring av drensledning hvert femte år for kontaktstøpt betonghvelv. Det antas at de etablerte generiske arbeidsrutinene vil være like for begge

alternativene. Forskjellen i kostnadene tilknyttet det forebyggende vedlikeholdet er liten, langt mindre enn forskjellen i investeringskostnader. Investeringskostnadene per meter er 4200 kr høyere for kontaktstøpt betonghvelv. Forskjellene ved kostnader til fornyelse og korrektivt vedlikehold er ikke undersøkt. Å vurdere hvordan det vil påvirke kostnadene blir derfor vanskelig. Et generelt utgangspunkt kan være at flere objekter fører til flere feil. Betongelementer har flere objekter og komponenter. Det antas derfor at betongelementer gir mer korrektivt vedlikehold. Å kunne se eventuell oppsprekking direkte på kontaktstøpen gir økt sikkerhet. I teknisk regelverk har man gått bort fra betongelementer som vann- og frostsikring (Bane NOR, 2017e). Det er på bakgrunn av økt sikkerhet og antatt mindre korrektivt vedlikehold ved løsninger som er i direkte kontakt med bergsikringen. Analysene gir ingen store forskjeller i drift- og vedlikeholdskostnadene for de to løsningene.

Bro

Resultatene fra datainnsamlingen og analysene viser større forskjell for broer. I utgangspunktet skulle det kun skilles på materialvalget til broen, stål eller betong. Resultatene viste store forskjeller i investeringskostnader per meter for broer over og under 200 meter. Derfor ble det besluttet å inkludere dette som to forskjellige faktorer.

Litteraturen og resultatene er samstemte i at stålbroer gir mer omfattende og kostbart vedlikehold enn betongbroer. Resultatene fra rapporten om kostnadseffektivisering av broer viser at vedlikeholdet av stålbroen koster 12 millioner mer enn betongbroen i løpet av 100 år (Bane NOR, 2017f). På grunn av diskonteringen er forskjellen omtrent 12 millioner kroner etter 40 år også. Her ble det regnet med en diskonteringsrente på 7%, men så lenge begge alternativene i eksempelet hadde samme diskonteringsrente, vil ikke det ha innvirkning på forskjellen mellom alternativene. Forskjellen på 12 millioner kroner er basert på et eksempel på en bro. Hvis det konsekvent velges betongbroer fremfor stålbroer vil det kunne spare jernbanen for store kostnader.

Investeringskostnadene vil også være mindre for betongbroer enn for stålbroer (Horvath og Hendrickson, 1998). Av de strekningene som ble valgt ut som relevante for denne oppgaven, var det kun Farriseidet - Porsgrunn som hadde broer. Alle broene på denne strekningen er planlagt som betongbroer. Derfor kan ikke investeringskostnadene på disse brukes til å skille mellom betong og stål som materiale for broene. Selv om alle broene er planlagt i betong, er det store forskjeller i løpemeterprisen for de forskjellige broene. Det viser at det er flere faktorer enn kun materialvalg som påvirker kostnadene.

Optimalisering

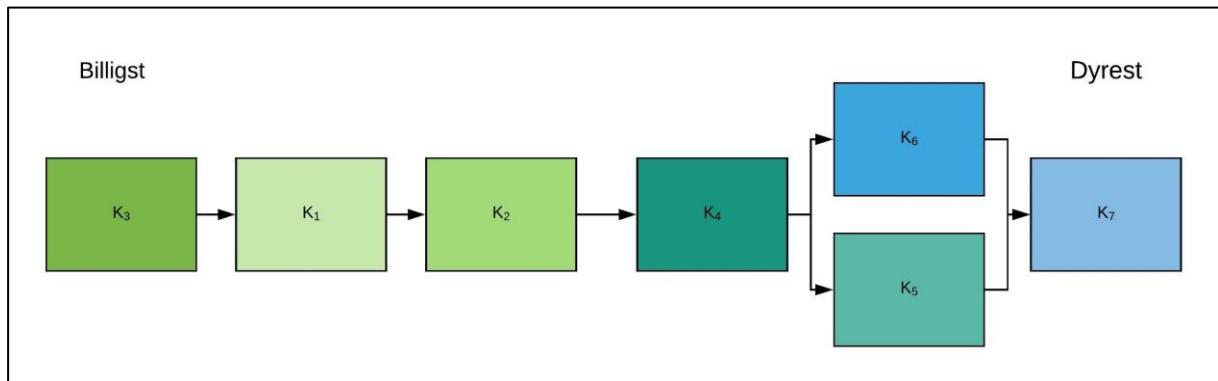
Utgangspunktet for oppgaven var å se hvordan sporgeometri og andel tunneler og broer på en strekning påvirker drift- og vedlikeholdskostnadene. Ved hjelp av det skulle man lage en modell som optimaliserte traséen på bakgrunn av total kostnadene. Med linjehastighet 250 km/t er det strenge krav til sporgeometrien. Det er ikke tillatt med krappe kurver eller bratte stigninger. Forskjellen i slitasje vil bli ubetydelig og ikke inkludert i planleggingen. Andelen tunneler og broer på en strekning vil være av stor betydning på flere områder. De vil utgjøre en stor andel av investeringskostnadene, men man er helt avhengig av tunnelene og broene for å kunne redusere reisetiden.

Som analysene viser vil dagsoner være strekningstypen med lavest investeringskostnader. Til tross for antatt dyrere forebyggende vedlikehold, vil dagsoner fortsatt være billigst. Det skal være lange omveier med dagsoner før det lønner seg å ha tunneler eller broer. I mange tilfeller vil det være behov for tunneler og broer for å tilfredsstille kravene til sporgeometrien. På bakgrunn av investeringskostnadene vil det være økonomisk å holde andelen tunneler og broer så lav som mulig. Drift- og vedlikeholdskostnadene gir ingen endringer på dette. Det som kan optimaliseres på bakgrunn av drift og vedlikehold er fordelingen mellom strekningstypene, materialbruk og lengden på elementene.

Det er ingen fasit for hva som er den optimale jernbanetraséen. Mange ulike forhold påvirker trasévalget, og økonomi er bare en av faktorene. På sikt vil drift- og vedlikeholdskostnadene bli store, men forskjellene mellom traséalternativene vil ha mindre effekt. Som man så på Nykirke- Barkåker ble den løsningen med de laveste prissatte konsekvensene valgt.

Mangel på data gjør at man ikke kan utarbeide nøyaktige kostnadsfaktorer for de forskjellige faktorene i metoden. Det vil allikevel være mulig å si noe om kostnadsfaktorene i forhold til hverandre. For eksempel vil det skille så mye i investeringskostnadene per meter for de forskjellige strekningstypene at vedlikeholdskostnadene ikke vil kunne endre på hvilke av de som vil være billigst og dyrest. Kostnadsfaktoren til dagsoner, k_3 , vil være mindre enn de resterende. Tunneler hadde lavere investeringskostnader enn broer og høyere enn dagsoner. Det forebyggende vedlikeholdet var mindre omfattende for tunneler enn for dagsoner. Forskjellen var ikke stor nok til å kompensere for forskjellen i investeringskostnader. Kostnadsfaktorene for tunneler, k_1 og k_2 , vil derfor være større enn for dagsoner. De vil være mindre enn for broer. Forskjellen i investeringskostnader for de to ulike metodene for vann- og frostsikring, gjør at kostnadsfaktoren for kontaktstøpt betonghvelv, k_2 , blir større enn for et hvelv av betongelementer, k_1 .

Stålbroer har større kostnader, både investerings- og vedlikeholdskostnader, enn broer av betong. Broer over 200 meter er dyrere enn de under. Derfor har stålbroer med lengde over 200 meter den største kostnadsfaktoren, k_7 . Det er ikke mulig å skille om en stålbro under 200 meter, k_6 , og en betongbro over 200 meter, k_5 , fra hverandre på bakgrunn av oppgavens resultater. Derfor er de satt ovenfor hverandre i kostnadsoversikten i Figur 9.



Figur 9 Kostnadsfaktorene i forhold til hverandre.

Det generelle uttrykket for totalkostnaden ble:

$$C_T = (t_1 k_1 + t_2 k_2 + dk_3 + b_1 k_4 + b_2 k_5 + b_3 k_6 + b_4 k_7) \times l$$

l = lengden på strekningen i meter

k_n = kostnadsfaktorene i pris per meter

Styrker og svakheter

Datagrunnlaget som hele oppgaven belager seg på er usikkert. Det er for lite tilgjengelig data på området, som resulterer i usikre konklusjoner og slutninger. At kostnadene hos Bane NOR ikke kan relateres direkte til hver enkelt vedlikeholdsoppgave gjør at datagrunnlaget blir tynt.

På bakgrunn av manglende data og for å kunne presentere et resultat er det gjort flere avgrensninger i oppgaven. Avgrensninger vil bidra til at situasjonene som belyses blir mindre reelle. En av de viktigste begrensningene er at oppgaven kun tar for seg forebyggende vedlikehold. Optimalt burde både fornyelse og korrektivt vedlikehold vært en del av beregningene.

Bane NOR er en stor bedrift med mange ansatte over hele landet. De ansatte besitter stor kunnskap og mye informasjon om hvordan vedlikeholdet utføres. Å vite hvem man burde snakke med og hvem som sitter på den største kompetansen er vanskelig å vite. Det har derfor vært helt nødvendig å ha noen kontaktpersoner som har kunnet bidra til å finne aktuelle personer å intervju. Det har vært tidkrevende og tungvint å komme i kontakt med ansatte og å ofte

forklare på nytt hva det er som er målet med oppgaven. Å ha med-veileder som jobber i Bane NOR har vært helt avgjørende for å få tak i data. En styrke ved oppgaven er nettopp kontakten med Bane NOR. Gjennom sommerjobber, deltidsjobber og fag på NTNU har det blitt opparbeidet god kontakt med Bane NOR. Uten bekjente og nettverket i Bane NOR ville ikke oppgaven vært mulig å gjennomføre. Temaet som blir belyst i oppgaven er viktig for Bane NOR og det er i samfunnets interesse å effektivisere kostnadene. Med tilgang til Bane NORs intranett har det vært mulig å bruke deres dokumentarkiver og data til å søke opp informasjon.

Undersøkelsene som er gjort er starten på et viktig arbeid for å redusere kostnadene ved jernbaneinfrastruktur. Uavhengig av om inkluderingen av drift- og vedlikeholdskostnadene vil føre til endringer for traséen, er det nyttig å få kartlagt total kostnadene så godt som mulig. Det vil gi større kunnskap om hvor mye det koster å drift og vedlikeholde jernbaneinfrastrukturen.

En stor del av resultatene er basert på vedlikeholdsplanen for Holm- Nykirke. I den sammenheng hadde det vært til stor nytte å kunne jobbe med en av de som har vært involvert i å lage denne planer. Da kunne man dobbeltsjekket usikkerheter i planen og beregningene. Det ville redusert usikkerheten til beregningene og estimeringene som er gjennomført på bakgrunn av vedlikeholdsplanen. Å komme i kontakt med personer som har arbeidet med denne planen har vært komplisert fordi kommunikasjonen med flere ansatte i Bane NOR har tatt lang tid. Mange av de ansatte i Bane NOR er svært travle og har liten tid til å svare på henvendelser. Det har vært vanskelig å komme i kontakt med de riktige personene som følge av at henvendelsene ofte blir videresendt til nye personer og at henvendelsene blir nedprioritert.

Lite relevant forskning og litteratur er en svakhet for oppgaven. Men det viser også at det er stort behov for forskning på området. Vedlikehold av tunneler og broer er et lite tema og derfor viktig å belyse det.

7. Konklusjon

I dette kapittelet oppsummeres arbeidet og resultatene fra masteroppgaven.

Formålet med denne oppgaven var å lage en metode for å minimere total kostnadene til jernbaneinfrastruktur. Det skulle gjøres ved å undersøke hvordan andelen tunneler og broer påvirker drift- og vedlikeholdskostnadene. Investeringskostnadene til tunneler og broer er svært høye. Det var derfor ønskelig å undersøke hvordan ulike strekningstyper påvirker drift- og vedlikeholdskostnadene og om dette kunne ha noen effekt på valget av trasé.

For å samle inn aktuelle data ble det plukket ut tre relevante strekninger, Langset - Kleverud, Holm - Nykirke og Farriseidet - Porsgrunn. Den viktigste datakilden for oppgaven er vedlikeholdsplanen som er utarbeidet for Holm - Nykirke. I planen er de generiske arbeidsrutinene delt opp etter hvilke strekningstyper de er relevante for. Da er det mulig å estimere omfanget av hver enkelt vedlikeholdsoppgave og avgjøre hvilken strekningstype som vil ha det mest omfattende vedlikeholdet. På strekningen Holm – Nykirke er det ingen broer. Omfanget av vedlikeholdet for broer ble derfor ikke estimert. Det er kun vedlikeholdet av underbygningen som påvirkes av broer. For tunneler påvirkes vedlikeholdet av underbygningen, tele og lavspenning. Ved å estimere omfanget og kostnadene av arbeidsrutinene kan man vurdere hvilken strekningstype som har mest omfattende forebyggende vedlikehold. Resultatene tilsier at det er dagsoner. De mest omfattende vedlikeholdsoppgavene var belysning og kontroll og testing av UPS. Datagrunnlaget er tynt og det er store usikkerheter tilknyttet resultatene. Det er derimot lite i resultatene som tyder på at tunneler vil ha mer omfattende forebyggende vedlikehold enn dagsoner.

Ulike tunnel- og broløsninger vil gi forskjeller i total kostnadene til jernbaneinfrastrukturen. Resultatene fra datainnsamlingen viser at stålbroer har høyere investeringskostnader og mer omfattende vedlikehold. Det skyldes at stål med jevne mellomrom må overflatebehandles for å hindre at stålet korroderer. Stålarmeringene i betongbroer har betongoverdekning og behøver derfor ikke den samme overflatebehandlingen. Resultatet er at stålbroer har dyrere forebyggende vedlikehold. Investeringskostnadene for de ni broene på strekningen Farriseidet – Porsgrunn tyder på lengre broer får vesentlig høyere løpemeterkostnad. Derfor ble det i metoden lagt inn et skille på broer som var over eller under 200 meter. Forskjellige typer vann- og frostsikringer i tunneler vil kunne gi forskjeller i total kostnadene. I oppgaven ble to vann- og frostsikringsløsninger undersøkt, hvelv av betongelementer og kontaktstøpt betonghvelv. Resultatene viser at kontaktstøpt betonghvelv vil ha høyere investeringskostnader, omtrent 7%.

Det er forventet at vedlikeholdet av betongelementene vil være mer omfattende. Bakgrunnen for det er at en løsning med betongelementer har flere objekter. Flere objekter betyr flere kontroller og inspeksjoner, i tillegg til at det er flere objekter som potensielt kan feile. Estimeringen av det forebyggende vedlikeholdet viser ingen store forskjeller mellom de to løsningene. Årsakene til at kontaktstøpt betonghvelv er den foretrukne løsningen er økt sikkerhet ved at endringer i berget vil kunne sees i betongen og antatt mindre korrektivt vedlikehold.

En forenklet måte å beregne total kostnadene til jernbaneinfrastruktur på er formulert. Uttrykket kan brukes til å vurdere hvilke alternativer som vil være de mest økonomiske på sikt, ved vurdering av alternative traséer. Det er ikke utarbeidet nøyaktige tall for kostnadsfaktorene.

8. Videre arbeid

For å kunne gå videre med arbeidet er man avhengig av en mer detaljert kostnadsstruktur. Det må utarbeides flere vedlikeholdsplaner slik den som finnes for Holm – Nykirke. Ved estimering av hvilke strekningstyper som vil ha mest omfattende vedlikehold er det et nyttig verktøy. Kostnadene og varighet på utførelsen av hver enkelt vedlikeholdsoppgave må føres opp.

Kostnadsfaktorene kan videreutvikles til å inkludere alle typer vedlikehold så langt det lar seg gjøre. Funksjonen vil bli mer avansert fordi en da må inkludere eventuelle kostnader ved forsinkelse i togtrafikken og kostnadene ved å ha for korte hvite tider.

Metoden kan optimeres med utgangspunkt i flere faktorer. Hvis det er ønskelig med så lite tunnel som mulig, kan funksjonen deriveres med hensyn på dette og deretter gi den laveste kostnaden uten tunneler. Metodikken er laget på bakgrunn av et ønske om å inkludere drift- og vedlikeholdskostnader i beslutningsprosessen. Deretter inkluderes ulike løsninger som kan påvirke kostnadene.

I en videreutvikling av modellen kan det være aktuelt å skille mellom investering- og vedlikeholdskostnader. Investeringskostnadene vil påløpe nærmere frem i tid og være mindre usikre enn vedlikeholdskostnader kanskje 20 eller 40 år frem i tid. Å legge det sammen til en kostnadsfaktor kan derfor bli for enkelt.

Viktigst for videre arbeid vil være å lage et bredere datagrunnlag. Det må samles opp data og erfaringer fra utførelsen av vedlikehold på de nyeste jernbaneanleggene. Usikkerheten ved kostnadsfaktorene vil reduseres og man utføre mer presise beregninger. Hvordan vedlikehold utføres vil forandre seg over tid. Gamle og utdaterte data vil derfor ikke være relevante for utførelsen av vedlikehold på nye anlegg. Datagrunnlaget for kostnadsfaktorene må derfor oppdateres jevnlig.

Mange ulike faktorer kan påvirke kostnadene til jernbaneinfrastrukturen. I denne oppgaven er det plukket ut noen og undersøkt effektene av dem. I videre arbeid kan det være interessant å inkludere andre faktorer og se hvordan de påvirker kostnadene, spesielt drift og vedlikehold. For eksempel kan grunnforhold være en faktor som kan inkluderes i metodikken. Ved vanskelige grunnforhold i et område, kan det føre til at andre traséer blir valgt. Å kartlegge hvilke løsninger og forhold som påvirker drift- og vedlikeholdsoppgavene i størst grad vil være viktig i det videre arbeidet.

9. Referanser

- Anke, T. og Geekie, J.-O. (2018) Møte med med-veileder, 8. Mars 2018.
- Arora, J. (2012a) Optimum Design with Excel Solver *Introduction to Optimum Design*.
- Arora, J. (2012b) Optimum Design Concepts *Introduction to Optimum Design*.
- Arora, J. (2012c) Optimum Design Problem *Introduction to Optimum Design*.
- Asakura, T. og Kojima, Y. (2003) Tunnel maintenance in Japan, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 18(2), s. 161-169.
- Bababeik, M. og Monajjem, M. S. (2012) Optimizing longitudinal alignment in railway with regard to construction and operating costs, *Journal of Transportation Engineering*, 138(11), s. 1388-1395.
- Bane NOR (2011) *Vedlikeholdshåndbok*. Tilgjengelig fra:
<http://www.banenor.no/globalassets/documents/sty-dokumenter/kompetansekrav-signalvag/601058-000.pdf> (Hentet: 13.12 2017).
- Bane NOR (2012) *LCC*.
- Bane NOR (2015a) *Jernbanen mot 2050*. Tilgjengelig fra:
<http://www.banenor.no/contentassets/3b8f6db0edf44b35b659d05fbe1a10ff/perspektiv-analyse--jernbanen-mot-2050.pdf>.
- Bane NOR (2015b) Teknisk designbasis for InterCity. Tilgjengelig fra:
<http://www.banenor.no/contentassets/44255421d31241ecb3fe860115bb0e31/teknisk-designbasis-for-intercity.pdf>.
- Bane NOR (2015c) *RAM- og risikovurdering, Vann- og frostsikringsløsninger*. (Hentet: 20.04.18).
- Bane NOR (2016a) *Nykirke-Barkåker, Hovedplan*.
- Bane NOR (2016b) *Vestfoldbanen Holm - Nykirke Vedlikeholdsplan*. Bane NOR.
- Bane NOR (2016c) *Nykirke-Barkåker, konsekvensutredning*.
- Bane NOR (2017a) *Anbefalt konstruksjonsprinsipp for jernbanetunneler*. Tilgjengelig fra:
https://proing.opm.jbv.no/wiki/underbygning/veiledninger/jernbanetunneler_anbefalt_konstruksjonsprinsipp (Hentet: 13.03.2018 2018).
- Bane NOR (2017b) *Årsaken til vibrasjoner i Holmestrandsporten funnet*. Tilgjengelig fra:
<http://www.banenor.no/Nyheter/Nyhetsarkiv/2017/arsaken-til-vibrasjoner-i-holmestrandsporten-funnet/> (Hentet: 12.12 2017).
- Bane NOR (2017c) *Om InterCity*. Tilgjengelig fra:
<http://www.banenor.no/Prosjekter/prosjekter/intercity/hvorfor-intercity> (Hentet: 22.02 2018).

- Bane NOR (2017d) *Teknisk reglerverk/Overbygning*. Tilgjengelig fra:
<https://trv.banenor.no/wiki/Overbygning/Prosjektering> (Hentet: 19.09 2017).
- Bane NOR (2017e) *Teknisk regelverk* Tilgjengelig fra: <https://trv.banenor.no/wiki/Forside>
(Hentet: 17.11 2017).
- Bane NOR (2017f) *Kostnadseffektivisering av jernbanebroer*.
- Bane NOR og Oksnes, T. (2018) *Instruks for sikkert arbeid i og ved Bane NORs infrastruktur*.
- Esveld, C. (2001) *Modern railway track*. MRT-productions Zaltbommel, The Netherlands.
- Everett, E. L. og Furseth, I. (2016) *Masteroppgaven, hvordan begynne - og fullføre*.
Universitetsforlaget.
- Frøystein, L. og Kvernmo, J. M. (2018) Møte med representanter for Gardermobanen, 01.
Februar 2018.
- Geekie, J.-O. (2018) Møte med Jan-Ove Geekie, 08. Mars 2018.
- Hansen, T. F. (2015) *Sammenligning mellom vann og frostsikring ved kontaktstøp med membran vs. betongelementer*. Norconsult. Tilgjengelig fra:
<http://docplayer.me/42087012-Sammenligning-mellom-vann-og-frostsikring-ved-kontaktstop-med-membran-vs-betongelementer.html>.
- Hofgaard, Ø. H. (2016) *LCC for ballastert jernbanespor*, NTNU.
- Horvath, A. og Hendrickson, C. (1998) Steel versus steel-reinforced concrete bridges:
Environmental assessment, *Journal of Infrastructure Systems*, 4(3), s. 111-117.
- Institutt for bygg anlegg og transport (2013) *Råd og retningslinjer for rapportskrivning ved prosjekt- og masteroppgaver*. Norges teknisk- naturvitenskapelige universitet.
- Jernbanedirektoratet (2015) *Metodehåndbok for samfunnsøkonomiske analyser*. Tilgjengelig fra:
<https://www.jernbanedirektoratet.no/contentassets/f9ed15eb368e4abb9dc6d2f558432135/metodehandbok-2015.pdf> (Hentet: 08.03.18).
- Jernbanedirektoratet (2017) *Jernbanestatistikk 2016*. Tilgjengelig fra:
<https://www.jernbanedirektoratet.no/contentassets/e71b740c9f5d4583aed0c193c11faec7/jernbanestatistikk-2016.pdf>.
- Jernbanekompetanse.no (2012) *Tunnel/Vedlikehold av tunneler og fjellskjæringer*.
Tilgjengelig fra:
http://jernbanekompetanse.no/wiki/Tunnel/Vedlikehold_av_tunneler_og_fjellskj%C3%A6ringer (Hentet: 19.11 2017).
- Jernbanekompetanse.no (2015) *Bruer/inspeksjoner*. Tilgjengelig fra:
<http://www.jernbanekompetanse.no/wiki/Bruer/Inspeksjoner> (Hentet: 08.12 2017).

Jernbanekompetanse.no (2017a) *Vedlikeholdsmetodikk*. Tilgjengelig fra:

http://jernbanekompetanse.no/wiki/Vedlikeholdsmetodikk#Forebyggende_vedlikehold

(Hentet: 15.11 2017).

Jernbanekompetanse.no (2017b) *Sporets trase/Sporgeometri*. Tilgjengelig fra:

http://jernbanekompetanse.no/wiki/Sporets_tras%C3%A9/Sporgeometri (Hentet:

17.10 2017).

Jernbanekompetanse.no (2018) *Lavspentanlegg, strømforsyning*. Tilgjengelig fra:

http://jernbanekompetanse.no/wiki/Str%C3%B8mforsyning_av_lavspentanlegg

(Hentet: 07.05 2018).

Kufver, B. (2000) *Optimisation of horizontal alignments for railways*. Doctoral, KTH.

Lien, H. A. (2017) Møte med representant for Vestfoldbanen, 13. desember 2017.

Lien, H. A. (2018) Møte med representant for Vestfoldbanen, 21. mars 2018.

Lindahl, M. (2001) Track geometry for high-speed railways, *TRITA-FKT Report*, 54.

Lopez-Pita, A. *et al.* (2008) Maintenance costs of high-speed lines in Europe: State of the art, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2043), s. 13-19.

Lærebøker i jernbaneteknikk (2012). Tilgjengelig fra:

<http://jernbanekompetanse.no/wiki/Forside> (Hentet: 17.11 2017).

Meld. St. 33 (2016-2017) (2016). Tilgjengelig fra:

<https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-33-20162017/id2546287/sec8>.

Rudihagen, T. K. (2018) E-post og telefonsamtaler med kontrollingeniør på Dovrebanen Sør.

Sadeghi, J. og Akbari, B. (2006) Field investigation on effects of railway track geometric parameters on rail wear, *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A*, 7(11), s. 1846-1855.

Skogan, P. (2017) Sporvedlikehold - vedlikeholdsteori.

Vasset, T. (2015) ROGER 1000 Målevogn. Tilgjengelig fra:

<https://jernbaneskolen.no/neted/services/file/?hash=2382a02561327c19c7d7628d2b5649d8>.

Vedlegg

Det er to vedlegg til oppgaven.

Vedlegg 1: Oppgavetekst

Vedlegg 2: Beregninger basert på vedlikeholdsplanen for Holm – Nykirke

MASTEROPPGAVE
(TBA4955 Jernbane, masteroppgave)VÅREN 2018
for
Lars Bergerud**Metodikk for å minimere total kostnadene til jernbaneinfrastruktur****BAKGRUNN**

Det er forventet stor vekst for persontransport i fremtiden. Samtidig skal all vekst i persontransport i byområdene tas av kollektivtransport, sykkel eller gange. For å kunne oppnå dette er utviklingen av jernbane en sentral del. Å bygge ut jernbaneanlegg er kostbart og det er derfor ønskelig å redusere total kostnadene til jernbaneinfrastruktur. Dette kan gjøres ved å inkludere drift- og vedlikeholdskostnadene i planleggingsfasen slik at man velger de løsningene som vil være mest økonomiske på sikt.

OPPGAVE

Oppgaven går ut på å lage en metode som inkluderer drift- og vedlikeholdskostnadene i planleggingsfasen. Metoden skal inkludere drift- og vedlikeholdskostnadene på bakgrunn av de ulike strekningstypene: dagsone, bro og tunnel. Tunneler og broer er kostbare elementer og vil ha stor innvirkning på investeringskostnadene. Oppgaven går ut på å se hvordan tunneler og broer påvirker drift- og vedlikeholdskostnadene og om det vil påvirke valget av trasé. Med metoden kan man estimere total kostnaden til alternativer til trasé og vekte de opp mot hverandre. Drift og vedlikehold blir en del av de prissatte konsekvensene som vurderes ved valg av trasé.

For å løse denne oppgaven er det definert fire forskningsspørsmål som skal løses underveis i arbeidet.

- Hvilke parametere har størst innvirkning på drift- og vedlikeholdskostnadene til en jernbanelinje?
- Hvordan påvirker andelen tunneler og broer drift- og vedlikeholdskostnadene til en jernbanelinje?

- Hvordan påvirker ulike tunnel- og broløsninger drift- og vedlikeholdskostnadene?
- Hvordan vil det å inkludere drift- og vedlikeholdskostnadene i planleggingsfasen påvirke valget av trase?

For å løse oppgaven er det plukket ut tre aktuelle banestrekninger i Norge, Gardermobanen, Vestfoldbanen og Dovrebanen Sør. De er plukket ut fordi det er flere nye parseller på disse banen og her kjøres det med høy linjehastighet. For å samle data skal personell på de tre aktuelle banestrekningene intervjues. I tillegg skal Bane NORs dokumentarkiver og systemer som ProArc og Banedata benyttes i datainnsamlingen. Datainnsamlingen og intervjuene skal brukes til å løse de tre første forskningsspørsmålene.

De siste forskningsspørsmålet løses ved å gjennomføre en case-studie. Case-studien tar for seg en strekning hvor det er utarbeidet flere forskjellige alternativer til trasé. Metoden og resultatene fra oppgaven skal brukes til å velge det alternativet som vil være mest økonomisk på sikt. Deretter kan resultatet sammenlignes med valget som Bane NOR har tatt vedrørende trasé og se om inkluderingen av drift- og vedlikeholdskostnader påvirker hvilket alternativ som blir valgt.

Oppgaven vil ha flere avgrensninger. Det er kun forebyggende vedlikehold som er en del av oppgavens beregninger, korrektivt vedlikehold og fornyelse er utelatt. Kostnader relatert til stasjonsområder og signalanlegg er også utelatt fra oppgavens beregninger. Signalanlegget påvirkes i liten grad av strekningstyper og signalanlegget i Norge er i ferd med å skiftes ut. Det er derfor ikke en del av oppgaven.

GENERELT

Oppgaveteksten er ment som en ramme for kandidatens arbeid. Justeringer vil kunne skje underveis, når en ser hvordan arbeidet går. Eventuelle justeringer må skje i samråd med faglærer ved instituttet.

Ved bedømmelsen legges det vekt på grundighet i bearbeidningen og selvstendigheten i vurderinger og konklusjoner, samt at framstillingen er velredigert, klar, entydig og ryddig uten å være unødig voluminøs.

Besvarelsen skal inneholde

- standard rapportforside (automatisk fra DAIM, <http://daim.idi.ntnu.no/>)
- tittelside med ekstrakt og stikkord (mal finnes på [student ved IBM wikiside](#))
- sammendrag på norsk og engelsk (studenter som skriver sin masteroppgave på et ikke-skandinavisk språk og som ikke behersker et skandinavisk språk, trenger ikke å skrive sammendrag av masteroppgaven på norsk)
- hovedteksten
- oppgaveteksten (denne teksten signert av faglærer) legges ved som Vedlegg 1.

Besvarelsen kan evt. utformes som en vitenskapelig artikkel for internasjonal publisering. Besvarelsen inneholder da de samme punktene som beskrevet over, men der hovedteksten omfatter en vitenskapelig artikkel og en prosessrapport.

Instituttets råd og retningslinjer for rapportskrivning ved prosjektarbeid og masteroppgave befinner seg på [student ved IBM wikiside](#)

Hva skal innleveres?

Rutiner knyttet til innlevering av masteroppgaven er nærmere beskrevet på <http://daim.idi.ntnu.no/>. Trykking av masteroppgaven bestilles via DAIM direkte til Skipnes Trykkeri som leverer den trykte oppgaven til instituttkontoret 2-4 dager senere. Instituttet betaler for 3 eksemplarer, hvorav instituttet beholder 2 eksemplarer. Ekstra eksemplarer må bekostes av kandidaten/ ekstern samarbeidspartner.

Masteroppgaven regnes ikke som ferdig levert før kandidaten har levert innleveringsskjemaet (fra DAIM) hvor både Ark-Bibl i SBI og Fellestjenester (Byggsikring) i Sentralbygg II har signert på skjemaet. Innleveringsskjema med de aktuelle signaturene underskrives av instituttkontoret før skjemaet leveres Fakultetskontoret.

Dokumentasjon som med instituttets støtte er samlet inn under arbeidet med oppgaven skal leveres inn sammen med besvarelsen.

Besvarelsen er etter gjeldende reglement NTNUs eiendom. Eventuell benyttelse av materialet kan bare skje etter godkjenning fra NTNU (og ekstern samarbeidspartner der dette er aktuelt). Instituttet har rett til å bruke resultatene av arbeidet til undervisnings- og forskningsformål som om det var utført av en ansatt. Ved bruk ut over dette, som utgivelse og annen økonomisk utnyttelse, må det inngås særskilt avtale mellom NTNU og kandidaten.

(Evt) Avtaler om ekstern veiledning, gjennomføring utenfor NTNU, økonomisk støtte m.v.
Beskrives her når dette er aktuelt. Se [student ved IBM wikiside](#) for avtaleskjema.

Helse, miljø og sikkerhet (HMS):

NTNU legger stor vekt på sikkerheten til den enkelte arbeidstaker og student. Den enkeltes sikkerhet skal komme i første rekke og ingen skal ta unødige sjanser for å få gjennomført arbeidet. Studenten skal derfor ved uttak av masteroppgaven få utdelt brosjyren "Helse, miljø og sikkerhet ved feltarbeid m.m. ved NTNU".

Dersom studenten i arbeidet med masteroppgaven skal delta i feltarbeid, tokt, befarings, feltkurs eller ekskursjoner, skal studenten sette seg inn i "Retningslinje ved feltarbeid m.m.". Dersom studenten i arbeidet med oppgaven skal delta i laboratorie- eller verkstedarbeid skal studenten sette seg inn i og følge reglene i "Laboratorie- og verkstedhåndbok". Disse dokumentene finnes på fakultetets HMS-sider på nettet, se <http://www.ntnu.no/iv/adm/hms/>. Alle studenter som skal gjennomføre laboratoriearbeid i forbindelse med prosjekt- og masteroppgave skal gjennomføre et web-basert TRAINOR HMS-kurs. Påmelding på kurset skjer til kontakt@ibm.ntnu.no

Studenter har ikke full forsikringsdekning gjennom sitt forhold til NTNU. Dersom en student ønsker samme forsikringsdekning som tilsatte ved universitetet, anbefales det at han/hun tegner reiseforsikring og personskadeforsikring. Mer om forsikringsordninger for studenter finnes under samme lenke som ovenfor.

Oppstart og innleveringsfrist:

Oppstart og innleveringsfrist er i henhold til informasjon i DAIM.

Faglærer ved instituttet: Elias Kassa

Veileder(eller kontaktperson) hos ekstern samarbeidspartner:

Trude Kristoffersen Anke (Bane NOR)

Institutt for bygg- og miljøteknikk, NTNU

Dato: 15.01.2018, (evt revidert: 25.05.2018)

Underskrift


Faglærer

Fagområde: Høyspent/KL

Vedlikeholdsoppgave	Relevant for	Intervaller for FV [mnd]	Estimert omfang av FV [timer]	Årlig estimert omfang [timer]	Antatt timepris [2018-kr]	Estimert kostnad over 40 år [2018-kr]
Skilt for kjørende personell	Tunnel Dagsone	36	6	2	1010	kr 38 020
Skilt – Advarsel	Tunnel Dagsone	12	3	3	1010	kr 59 972
Mast Stål	Dagsone	12 60 120	60 12 170	77	1010	kr 1 504 144
Hengemast	Tunnel	12 60 120	10 45 80	20,5	1010	kr 387 362
Bardun	Dagsone	12 60 120	7 19 39	11,4	1010	kr 217 526
Åk	Tunnel	60 120	14 48	6,2	1010	kr 108 283
Utligger	Tunnel Dagsone	12 60 120	140 190 400	171	1010	kr 3 332 899
Kontaktledning	Tunnel Dagsone	12 24 60 120	90 135 155 245	130	1010	kr 2 554 965
KL Overtemperaturkontroll	Tunnel Dagsone				1010	
KL Målevognskjøring	Tunnel Dagsone	6	2	4	1010	kr 159 926
Målespenn kontakttrådslitasje	Tunnel				1010	
Avspenning Lodd	Tunnel Dagsone	12 24 60 120	21 161 42 271	104,1	1010	kr 2 017 412
Seksjonsisolator	Tunnel	12 120	6 9	6,3	1010	kr 124 939
Returleder	Dagsone	12 60 120	16 22 37	18,7	1010	kr 366 972
Returkrets	Dagsone	12	100	100	1010	kr 1 999 070
Kabel	Tunnel Dagsone	12 60 120	3 3,5 4,5	3,2	1010	kr 63 483
Jordelektroder	Tunnel Dagsone				1010	
Langsgående jordleder	Tunnel Dagsone	60 120	48 128	17,6	1010	kr 310 363
Lastskillebryter	Tunnel Dagsone	12 60	16 42		1010	kr 415 813
Jordslutter	Tunnel Dagsone	12 60	5 25	9	1010	kr 173 770
Jordingsskinne	Tunnel Dagsone	120	46	4,6	1010	kr 76 592
AT-transformator i kiosk	Tunnel Dagsone	12 240	15 37	19,1	1010	kr 314 630
Avskjæring og gjerding mot høyspenning	Dagsone	12	3	3	1010	kr 59 972
Totalt for høyspent/KL			Alle	710,7 timer		kr 14 286 113
			Tunnel	33 timer		kr 620 584
			Dagsone	210,1 timer		kr 4 147 684

Fagområde

Lavspent

Vedlikeholdsoppgave	Relevant for	Intervaller for FV [mnd]	Estimert omfang av FV [timer]	Årlig estimert omfang [timer]	Antatt timepris [2018-kr]	Estimert kostnad over 40 år [2018-kr]																																																																																																						
Belysning - Arealbelysning, belysning - nødlys, tunnelbelysning, LED-belysning	Tunnel	1	20	560	1010	kr 11 194 793,00																																																																																																						
	Dagsone	12	340				Fordelingsskap	Tunnel	48	100	25	1010	kr 470 761,00	Fordelingsskap - Termografering	Tunnel	48	100	25	1010	kr 470 761,00	Strømforsyning (hjelpkraft) - UPS	Dagsone	1	30	420	1010	kr 8 396 095,00		12	90	Øvrige installasjoner: SEL Ventilasjon	Tunnel	1	2	32	1010	kr 639 702,00	Dagsone	12	10	Sporvekselvarme, Gruppereskap	Tunnel	12	20	22,5	1010	kr 446 890,00	Dagsone	48	30	Sporvekselvarme, Gruppereskap - termografering	Tunnel	60	10	2	1010	kr 36 908,00	Sporvekselvarme, komponenter i veksel	Tunnel	12	8	8	1010	kr 159 926,00	Jordelektrode	Tunnel				1010		Dagsone							Manøvermaskin	Tunnel	24	90	45	1010	kr 881 943,00	Dagsone			Funksjonstest av SRO anlegg	Tunnel	12	3	3	1010	kr 59 972,00	Understasjon (RTU)	Tunnel	12	3	3	1010	kr 19 010,00	Avfuktere	Tunnel	3	20	100	1010
Fordelingsskap	Tunnel	48	100	25	1010	kr 470 761,00																																																																																																						
Fordelingsskap - Termografering	Tunnel	48	100	25	1010	kr 470 761,00																																																																																																						
Strømforsyning (hjelpkraft) - UPS	Dagsone	1	30	420	1010	kr 8 396 095,00																																																																																																						
		12	90				Øvrige installasjoner: SEL Ventilasjon	Tunnel	1	2	32	1010	kr 639 702,00	Dagsone	12	10	Sporvekselvarme, Gruppereskap	Tunnel	12	20	22,5	1010	kr 446 890,00	Dagsone	48	30	Sporvekselvarme, Gruppereskap - termografering	Tunnel	60	10	2	1010	kr 36 908,00	Sporvekselvarme, komponenter i veksel	Tunnel	12	8	8	1010	kr 159 926,00	Jordelektrode	Tunnel				1010		Dagsone							Manøvermaskin	Tunnel	24	90	45	1010	kr 881 943,00	Dagsone			Funksjonstest av SRO anlegg	Tunnel	12	3	3	1010	kr 59 972,00	Understasjon (RTU)	Tunnel	12	3	3	1010	kr 19 010,00	Avfuktere	Tunnel	3	20	100	1010	kr 1 999 070,00		12	40																				
Øvrige installasjoner: SEL Ventilasjon	Tunnel	1	2	32	1010	kr 639 702,00																																																																																																						
	Dagsone	12	10				Sporvekselvarme, Gruppereskap	Tunnel	12	20	22,5	1010	kr 446 890,00	Dagsone	48	30	Sporvekselvarme, Gruppereskap - termografering	Tunnel	60	10	2	1010	kr 36 908,00	Sporvekselvarme, komponenter i veksel	Tunnel	12	8	8	1010	kr 159 926,00	Jordelektrode	Tunnel				1010		Dagsone							Manøvermaskin	Tunnel	24	90	45	1010	kr 881 943,00	Dagsone			Funksjonstest av SRO anlegg	Tunnel	12	3	3	1010	kr 59 972,00	Understasjon (RTU)	Tunnel	12	3	3	1010	kr 19 010,00	Avfuktere	Tunnel	3	20	100	1010	kr 1 999 070,00		12	40																														
Sporvekselvarme, Gruppereskap	Tunnel	12	20	22,5	1010	kr 446 890,00																																																																																																						
	Dagsone	48	30				Sporvekselvarme, Gruppereskap - termografering	Tunnel	60	10	2	1010	kr 36 908,00	Sporvekselvarme, komponenter i veksel	Tunnel	12	8	8	1010	kr 159 926,00	Jordelektrode	Tunnel				1010		Dagsone							Manøvermaskin	Tunnel	24	90	45	1010	kr 881 943,00	Dagsone			Funksjonstest av SRO anlegg	Tunnel	12	3	3	1010	kr 59 972,00	Understasjon (RTU)	Tunnel	12	3	3	1010	kr 19 010,00	Avfuktere	Tunnel	3	20	100	1010	kr 1 999 070,00		12	40																																								
Sporvekselvarme, Gruppereskap - termografering	Tunnel	60	10	2	1010	kr 36 908,00																																																																																																						
Sporvekselvarme, komponenter i veksel	Tunnel	12	8	8	1010	kr 159 926,00																																																																																																						
Jordelektrode	Tunnel				1010																																																																																																							
Dagsone																																																																																																												
Manøvermaskin	Tunnel	24	90	45	1010	kr 881 943,00																																																																																																						
	Dagsone						Funksjonstest av SRO anlegg	Tunnel	12	3	3	1010	kr 59 972,00	Understasjon (RTU)	Tunnel	12	3	3	1010	kr 19 010,00	Avfuktere	Tunnel	3	20	100	1010	kr 1 999 070,00		12	40																																																																														
Funksjonstest av SRO anlegg	Tunnel	12	3	3	1010	kr 59 972,00																																																																																																						
Understasjon (RTU)	Tunnel	12	3	3	1010	kr 19 010,00																																																																																																						
Avfuktere	Tunnel	3	20	100	1010	kr 1 999 070,00																																																																																																						
		12	40																																																																																																									

Totalt for lavspent:

Alle	1245,5 timer	kr 24 775 831,00
Tunnel	156 timer	kr 3 019 574,00
Dagsone	420 timer	kr 8 396 095,00

Fagområde Overbygning

Vedlikeholdsoppgave	Relevant for	Intervaller for FV [mnd]	Estimert omfang av FV [timer]	Årlig estimert omfang [timer]	Antatt timepris [2018-kr]	Estimert kostnad over 40 år [2018-kr]
Ballast	Tunnel Dagsone	12 48	7 14	8,75	835	kr 142 932
Ballast, vegetasjonskontroll	Dagsone	12	0,5	0,5	835	kr 8 263
Betongsviller	Tunnel Dagsone	12	14	14	835	kr 231 378
Befestigelse Betongsviller rettstrekke - Pandrol, Fastclip	Tunnel Dagsone	60	14	2,8	835	kr 42 719
Skinner; H>=160 km/h H< 160 km/t < 2MGT/år H< 160 km/t 2-15 MGT/år H< 160 km/t > 15 MGT/år	Tunnel Dagsone	12	14	14	835	kr 231 378
Sporveksel K0	Tunnel Dagsone	2 4 12	12 25 35	121	835	kr 1 999 763
Sporveksel K0 - Rengjøring og smøring	Tunnel Dagsone	1 4	6 13	93	835	kr 1 537 008
Skilt for kjørende personell	Tunnel Dagsone	36	3	1	835	kr 15 716
Sporgeometri K0: Hastighet > 200 km/t Hastighet 145-200 km/t	Tunnel Dagsone	3 6	4 8	24	835	kr 396 647
Totalt for overbygning:				Alle	279,05 timer	kr 4 605 804
				Tunnel	0 timer	kr -
				Dagsone	0,5 timer	kr 8 263

Fagområde: Underbygning

Vedlikeholdsoppgave	Relevant for	Intervaller for FV [mnd]	Estimert omfang av FV [timer]	Årlig estimert omfang [timer]	Antatt timepris [2018-kr]	Estimert kostnad over 40 år [2018-kr]
Minste tverrsnitt	Tunnel	12 36	1 2	1,33	835	kr 21 766
Drenering	Dagsone	12 60 120	1 4 7	1,9	835	kr 29 811
Kabelføring	Tunnel Dagsone	120	2	0,2	835	kr 2 753
Fjelltunnel	Tunnel	12 24 60	6 7 9	7	835	kr 114 921
Fjelltunnel - Ingeniørkontroll	Tunnel	60	25	5	835	kr 76 283
Fjellskjæring /-skråning Fjellskjæring/-skråning - Geologkontroll Sideterreng løsmasse Sideterreng løsmasse - Kontroll med geoteknikker Sideterreng fjell Sideterreng fiell - Kontroll med ingeniørgeolog	Dagsone	60 120	6 13	1,9	835	kr 27 944
Gjerder	Dagsone	24	0,5	0,25	835	kr 4 051
Målebolt	Tunnel	12	2	2	835	kr 33 054
Totalt for underbygning:				Alle	19,58 timer	kr 310 583
				Tunnel	15,33 timer	kr 246 024
				Dagsone	4,05 timer	kr 61 806

Fagområde

Tele

Vedlikeholdsoppgave	Relevant for	Intervaller for FV [mnd]	Estimert omfang av FV [timer]	Årlig estimert omfang [timer]	Antatt timepris [2018-kr]	Estimert kostnad over 40 år [2018-kr]
TER GSMR teletekniske bygninger og rom	Tunnel	12 48	40 88	52	855	kr 868 200
Avbruddsfri strømforsyning	Tunnel	36	12	4	855	kr 64 370
Jordingssystem	Tunnel	48	36	9	855	kr 143 466
KAC GSMR stålekabel, jumperkabel, matekabel	Tunnel	36 72	5 25	5	855	kr 75 567
TNR GSMR tunnelrepeater, RFR og MU	Tunnel	36	13	4,33	855	kr 69 734
Alarm- og Adgangskontrollanlegg	Tunnel	12	150	150	855	kr 2 538 423
Antennemast	Dagsone	36 72	4 8	2	855	kr 31 206
Hovedkobling/ koblingsskap	Tunnel Dagsone	12	6,5	6,5	855	kr 109 998
Modem	Tunnel Dagsone	12	21	21	855	kr 355 379
ANT GSMR basestasjon, pickup, tunnel og radiolinje antenne	Tunnel Dagsone	72	24	4	855	kr 58 495

Totalt for tele:

Alle	257,83	timer	kr 4 314 838
Tunnel	224,33	timer	kr 3 759 760
Dagsone	2	timer	kr 31 206

Fagområde:

Spesielle komponenter

Vedlikeholdsoppgave	Relevant for	Intervaller for FV [mnd]	Estimert omfang av FV [timer]	Årlig estimert omfang [timer]	Antatt timepris [2018-kr]	Estimert kostnad over 40 år [2018-kr]
Avfukter	Tunnel	3 12	2,5 3,5	11	835	kr 181 797
Tørrisolerte transformatorer	Tunnel	12	14	14	835	kr 231 378
Trykkøkingsanlegg	Tunnel	12	16	16	835	kr 264 431
Vanntåkeanlegg	Tunnel	6	2	4	835	kr 66 108
Aktivt brannslukkingsanlegg	Tunnel	1 12	3 15	48	835	kr 793 294
Betongelementer	Tunnel	120	250	25	835	kr 413 174

Totalt for spesielle komponenter

Alle	118	timer	kr 1 950 182
Tunnel	118	timer	kr 1 950 182
Dagsone	0	timer	kr -

Fagområde	Tunnel	Andel tunnel	Dagsone	Andel dagsone
Høyspent/KL	33	5 %	210	29 %
Lavspent	156	12 %	420	34 %
Overbygning	0	0 %	1	0 %
Underbygning	15	78 %	4	21 %
Tele	224	88 %	23	9 %
Spesielle komponenter	118	81 %	0	0 %
Sum	547	21 %	658	25 %

Fagområde	Tunnel	Andel Tunnel	Dagsone	Andel Dagsone	Totalt
Høyspent/KL	kr 620 585	4 %	kr 4 147 684	29 %	kr 14 286 112
Lavspent	kr 3 019 574	12 %	kr 8 396 095	34 %	kr 24 775 831
Overbygning	kr -	0 %	kr 8 263	0 %	kr 4 605 803
Underbygning	kr 246 024	88 %	kr 61 805	22 %	kr 280 772
Tele	kr 3 759 760	87 %	kr 31 206	1 %	kr 4 314 839
Spesielle komponenter	kr 1 950 182	83 %	kr -	0 %	kr 2 345 310
Sum	kr 9 596 125	19 %	kr 12 645 053	25 %	kr 50 608 667