


# UTREDNINGSRAPPORT

## BERGENSBANEN

### Fremtidig banestrømforsyning på Bergensbanen

002	Endelig versjon	03.09.2012	DALING	ANJAN	STOM
001	Høringsversjon	23.04.2012	DALING	STOY	ANJAN
000	Førstekast	24.02.2012	DALING	STOY	ANJAN
Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Utarb. av	Kontr. av	Godkj. av
<b>Bergensbanen Banestrømforsyning Utredning</b>		Ant. sider	Fritekst 1d		
		<b>71</b>	Fritekst 2d		
			Fritekst 3d		
			Produsent	Bane Energi	
		Prod. dok. nr.			
		Erstatning for			
		Erstattet av			
 <b>Jernbaneverket</b>		Dokument nr.	Rev.		
		<b>EB.100900-000</b>	<b>002</b>		

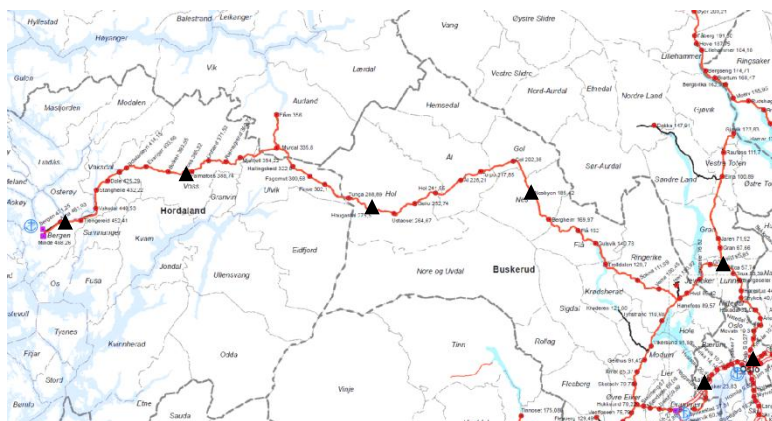


## SAMMENDRAG

Bergensbanen er per år 2012 bestykket med 6 omformerstasjoner og 1 småkraftverk. Strekningen har kontaktledning med BT-system, hvorav store deler er på slutten av sin mekaniske og elektriske levealder. Mellom Haugastøl og Mjølfjell går det en forsterkningsledning i egen trasé.

I tråd med Jernbaneverkets stamnettutredning og godsstrategi, er det forventet en økning av togtrafikken på strekningen frem mot år 2040. Basert på forutsetningene gitt i denne utredningen, er det utarbeidet en kapasitetsoptimal ruteplan som dimensjonerende for banestrømforsyningen i år 2040. Ruteplanen er simulert for å finne resulterende kapasitet og overføringsevne som anleggene må dimensjoneres for. Med innspill fra fagrådet er det i utredningsarbeidet utarbeidet en rekke ulike alternative løsninger. Alternativene er forskjellig med hensyn til antall omformerstasjoner, plassering av omformerstasjoner, installert ytelse, samt type kontaktledningsanlegg.

Anbefalte alternativ, alternativ 2, innebærer nedleggelse av Bergen, Dale, Mjølfjell og Hønefoss omformerstasjoner. Videre anbefales det at Nesbyen og Haugastøl omformerstasjoner fornyes og utvides, og at eksisterende roterende aggregater som i dag benyttes på Bergensbanen benyttes i de nye omformerstasjonene. På Arna bør det bygges en ny omformerstasjon i størrelsesorden 3x15 MVA, og det samme gjelder på en plassering mellom Voss og Mjølfjell. Anbefalt løsning er vist i Figur 1.



**Figur 1. Anbefalte omformerplasseringer, vist med svarte trekkanter (alternativ 2).**

For at den anbefalte løsningen for omformerstasjoner skal la seg gjennomføre, må AT-system bygges langs hele Bergensbanen. Det forutsettes at de skisserte løsningene for AT-kabler i tunneler benyttes, og at forhold kartlagt i RAMS- og usikkerhetsanalyser tas hensyn til ved videre planlegging og prosjektering. Mellom Haugastøl og Mjølfjell kan forsterkningslederens trasé benyttes til fremføring av AT-ledere dersom dette blir funnet kostnadseffektivt på hovedplannivå.

Usikkerhetsanalysen viser at de største usikkerhetsfaktorer er knyttet til Eierstyring, Marked og Plangrunnlag & gjennomføring, samt selve AT-systemet. Styringsramme (P50) for anbefalt løsning er i usikkerhetsanalysen estimert til ca. 2 400 MNOK før diskontering over den forventede investeringsperioden. Alternativet representerer den teknisk-økonomiske mest gunstige løsningen innenfor denne utredningens forutsetninger. Kostnadene vil i hovedsak bestå av fornyelsesmidler.



# INNHold

<b>SAMMENDRAG</b> .....	<b>3</b>
<b>INNHold</b> .....	<b>5</b>
<b>1 INNLEDNING</b> .....	<b>7</b>
<b>2 BESKRIVELSE AV UTREDNINGSPROSESSEN</b> .....	<b>8</b>
2.1 UTREDNINGSSOMRÅDET OG DELTAKERE I UTREDNINGSPROSESSEN .....	8
2.2 TIDLIGERE ARBEIDER .....	9
2.2.1 <i>Autotransformatorsystem for norske forhold – negativleder i tunneler 28.03.2003</i> .....	9
2.2.2 <i>Fremtidig Banestrømforsyning, Bane Energi 30.09.2005</i> .....	9
2.2.3 <i>Teknologisk strategi for banestrømforsyning og kontaktledning 13.12.2006</i> .....	9
2.3 SAMORDNING MED TILGRENSEDE UTREDNINGSSOMRÅDER .....	10
2.3.1 <i>Generelt</i> .....	10
2.3.2 <i>Gjøvikbanen</i> .....	10
2.3.3 <i>Oslo-området</i> .....	11
2.3.4 <i>Sørlandsbanen</i> .....	11
<b>3 PLANFORUTSETNINGER</b> .....	<b>12</b>
3.1 UTREDNINGENS AMBISJONSNIVÅ OG TIDSHORISONT .....	12
3.2 MÅL FOR DET FREMTIDIGE KRAFTSYSTEMET .....	12
3.3 ØKONOMISKE FORUTSETNINGER .....	13
3.4 TEKNISKE FORUTSETNINGER .....	13
3.4.1 <i>Omformerstasjoner</i> .....	13
3.4.2 <i>Kontaktledningsanlegg</i> .....	16
3.4.3 <i>Fjernledning</i> .....	19
3.4.4 <i>Forsterkningsleder</i> .....	19
3.5 SÆREGNE FORHOLD INNEN UTREDNINGSSOMRÅDET .....	20
3.5.1 <i>Generelt</i> .....	20
3.5.2 <i>Forlegningsmåter for kraftkabler i trange tunneler og snøoverbygg</i> .....	21
<b>4 DAGENS BANESTRØMFORSYNING PÅ BERGENSBANEN</b> .....	<b>23</b>
4.1 BELASTNING PÅ BANESTRØMFORSYNINGEN .....	23
4.2 BANESTRØMFORSYNING PÅ BERGENSBANEN .....	24
4.3 MATESTASJONER FOR ELEKTRISK KRAFT.....	25
4.3.1 <i>Hønefoss omformerstasjon</i> .....	25
4.3.2 <i>Nesbyen omformerstasjon</i> .....	26
4.3.3 <i>Haugastøl omformerstasjon</i> .....	26
4.3.4 <i>Kjosfoss kraftstasjon</i> .....	27
4.3.5 <i>Mjølfjell omformerstasjon</i> .....	27
4.3.6 <i>Dale omformerstasjon</i> .....	28
4.3.7 <i>Bergen omformerstasjon</i> .....	29
4.3.8 <i>Sammenligning av simulerte og målte verdier</i> .....	30
4.4 KRAFTOVERFØRING.....	31
4.4.1 <i>Kontaktledning</i> .....	31
4.4.2 <i>Forsterkningsledning</i> .....	32
4.4.3 <i>Trefase kraftoverføring til matestasjoner</i> .....	32
4.5 FORSYNINGSSIKKERHET .....	34
4.5.1 <i>Tilgjengelighet i kontaktledningsanlegget</i> .....	34
4.5.2 <i>Tilgjengelighet for omformerstasjoner</i> .....	36
<b>5 FREMTIDIGE FORHOLD, TILTAK OG INVESTERINGSBEHOV</b> .....	<b>39</b>
5.1 FREMTIDIGE BANESTREKNINGER OG KRYSNINGSSPOR .....	39
5.1.1 <i>Trekraftbegrensning for gods- og persontog</i> .....	39
5.1.2 <i>Kapasitetsoptimal ruteplan</i> .....	39
5.1.3 <i>Planlagte fornyelsestiltak</i> .....	40
5.1.4 <i>Planlagte investeringstiltak</i> .....	40

5.2	VURDERTE ALTERNATIVE TILTAK.....	41
5.2.1	Resultat fra idédugnad .....	41
5.2.2	Alternativ 0 (referansealternativ med kun tradisjonell KL) .....	42
5.2.3	Alternativ 1, 2, 4, 5.....	42
5.2.4	Alternativ 3A, 3B.....	44
<b>6</b>	<b>SIMULERINGSRESULTATER OG TEKNISKE VURDERINGER.....</b>	<b>46</b>
6.1	GENERELT .....	46
6.2	SIMULERINGSRESULTATER FOR ALTERNATIV 0 .....	47
6.3	SIMULERINGSRESULTATER FOR ALTERNATIV 2 C .....	48
6.4	SIMULERINGSRESULTATER FOR ALTERNATIV 3 A .....	49
6.5	SIMULERINGSRESULTATER FOR ALTERNATIV 4 A .....	51
6.6	SIMULERINGSRESULTATER FOR ALTERNATIV 5 .....	52
6.7	BELASTNINGSVERDIENES USIKKERHET.....	53
6.8	OPPSUMMERING AV TEKNISKE VURDERINGER .....	54
<b>7</b>	<b>ØKONOMISK VURDERING AV ALTERNATIVER.....</b>	<b>55</b>
<b>8</b>	<b>RAMS .....</b>	<b>58</b>
<b>9</b>	<b>USIKKERHET .....</b>	<b>60</b>
<b>10</b>	<b>DISKUSJON, ANBEFALING OG VIDERE ARBEID.....</b>	<b>63</b>
10.1	DISKUSJON.....	63
10.2	ANBEFALING.....	65
10.3	VIDERE ARBEID.....	66
<b>11</b>	<b>REFERANSER .....</b>	<b>70</b>
	<b>VEDLEGGSLISTE.....</b>	<b>71</b>

## 1 INNLEDNING

Store økninger i godstransport er forventet på jernbanen i årene frem til 2040, og det er politisk ønske om betydelig reduksjon av reisetiden på mange strekninger. Samtidig begynner mange banestrømforsyningsanlegg, både kontaktledningsanlegg og omformerstasjoner, å nærme seg slutten av både sin økonomiske og tekniske levetid. I de siste årene har ny teknologi blitt tilgjengelig som kan redusere antall omformerstasjoner, og de elektriske tapene i både disse og kontaktledning, betydelig.

På bakgrunn av disse omstendighetene planlegges det å reinvestere i banestrømforsyningsanlegg på flere norske banestrekninger i de kommende årene. Investeringene skal sikre at banestrømforsyningen i og frem til 2040, skal være i stand til å tåle all økning i elektrisk belastning som den kommende utviklingen vil føre til. En optimalisering av både eksisterende og nye banestrømforsyningsanlegg vil være viktig for å kunne oppnå dette. For å kunne se anleggene i sammenheng med hverandre og oppnå en slik optimalisering, må behovet for banestrømforsyning på hver banestrekning utredes. Dette har allerede blitt gjort for Sørlandsbanen, Gjøvikbanen og Dovrebanen.

Hensikten med denne utredningen er å fastslå hvilke investeringer som er nødvendige på Bergensbanen, og å lage en strategi for hvordan disse investeringene bør gjennomføres. Et sentralt spørsmål er hvorvidt det bør bygges autotransformatorsystem (AT-system) på hele banen. Dette vil ha stor innvirkning for både antall og ytelse på alle omformerstasjoner som mater til strekningen. Økonomiske og tekniske vurderinger skal ligge til grunn for valgte løsninger.

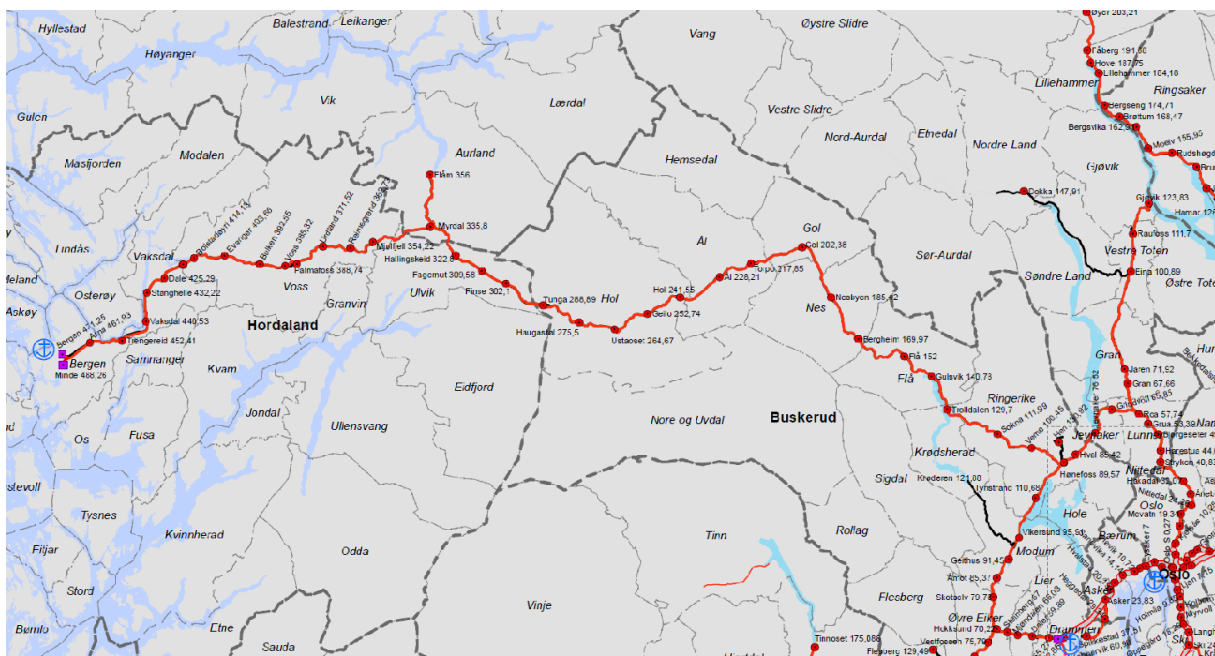
For den framtidige banestrømforsyningens belastning, er dimensjonerende togtrafikk en avgjørende parameter. Variasjoner i togtrafikken gir store utslag for belastningsgraden av komponentene i banestrømforsyningen. Det blir i denne utredningen forutsatt en kapasitetsoptimal ruteplan som vil gjøre systemet robust for den framtidige trafikkøkningen. Utredningen er gjennomført under forutsetning at øvrig infrastruktur i år 2040 ikke vil avvike vesentlig fra skisserte planer i Jernbaneverkets stamnettutredning, "Mer på skinner fram mot 2040".

## 2 BESKRIVELSE AV UTREDNINGSPROSESSEN

### 2.1 Utredningsområdet og deltakere i utredningsprosessen

Bergensbanen omfatter strekningen fra Oslo S til Bergen over Roa, samt strekningen fra Hokksund til Hønefoss. Den planlagte Ringeriksbanen antas også å bli omfattet som del av Bergensbanen. Grunnet samordning med tilgrensede utredningsområder, beskrevet i avsnitt 2.3, vil denne utredningen kun vurdere tiltak i banestrømforsyningen mellom Hønefoss og Bergen. Flåmsbanen mellom Myrdal og Flåm blir inkludert i simuleringsmodellen og tatt hensyn til i belastningsvurderinger, men anses ikke som en del av utredningsområdet.

Utredningsområdet fra Hønefoss til Bergen er vist i Figur 2, hvor røde linjer viser jernbanespor. Strekningen var originalt på 382 km, og er etter en rekke kjedebrudd redusert til en samlet lengde på 371 km i år 2012.



Figur 2 – Utredningsområdet [Jernbaneinfrastruktur i Norge, JBV, 2005]

Utredningsprosessen er gjennomført av Bane Energi (BE), og Elkraft-enheten i Teknologistaben (ETE) i Jernbaneverket. Simuleringer er utført av ETE og teknisk-økonomiske vurderinger blir gjennomført av BE.



## **2.2 Tidligere arbeider**

### **2.2.1 Autotransformatorsystem for norske forhold – negativleder i tunneler 28.03.2003**

Bergensbanen har et høyt antall tunneler og snøoverbygg, 96 km totalt, hvorav mange har et lite tverrsnitt. Det kan derfor være problematisk å føre et økt antall ledere igjennom tunnelene. Rapporten (1) tar for seg fire forskjellige måter å føre negativleder (NL) igjennom trange tunneler, og beregner kostnaden av disse. Konklusjonen er at disse kostnadene ikke overveier fordelene av AT-system på strekningen, altså at AT-system er en kostnadseffektiv løsning.

Etter at rapporten ble utarbeidet, har JBV's krav til utførelse (2) slått fast at både PL og NL må fremføres for AT-system. Dette vil si én leder mer enn (1) tar utgangspunkt i. Løsningene og kostnadene i rapporten kan derfor ikke benyttes direkte. Problemstillingen, og mulighetene for fremføring av PL og NL i trange tunneler på Bergensbanen, har derfor vært vurdert nærmere i kapittel 3.5.2.

### **2.2.2 Fremtidig Banestrømforsyning, Bane Energi 30.09.2005**

Denne rapporten (3) er en faglig rapport som utreder ulike hovedprinsipper for banestrømforsyning på de norske hovedstrekningene. Rapporten konkluderer med at AT-system generelt kommer best ut av de ulike systemene, fordi det reduserer behovet for anleggsmasse i omformerstasjonene. Rapporten konkluderer med at det ved fornyelse av kontaktledningsanlegg bør bygges AT-system på hovedstrekningene, deriblant Bergensbanen.

Forutsatt AT-system for hele Bergensbanen, anbefaler rapporten at følgende omformerstasjoner legges ned: Bergen, Mjølfjell, Nesbyen og Hønefoss. Det anbefales videre at en ny omformerstasjon bygges ved Gulsvik mellom Hønefoss og Nesbyen.

### **2.2.3 Teknologisk strategi for banestrømforsyning og kontaktledning 13.12.2006**

For kontaktledningsanlegg legger strategien (4) til grunn at det skal bygges AT-system på alle enkeltsporede hovedstrekninger. Det tas forbehold om at tekniske og økonomiske forutsetninger må verifiseres. Angående banestrømforsyningen sier strategien at lønnsomhetsvurderinger skal ligge til grunn for valg av omformerteknologi brukt i matestasjoner. I tillegg vil roterende omformerenheter bare kunne benyttes i den grad det finnes tilstrekkelig antall tilgjengelige aggregater.

Tekniske løsninger skal ifølge strategien vurderes på nytt ut fra erfaringer med pilotprosjektet for AT-system, som per våren 2012 ikke er bygget. Det er derfor strategidokumentet fra 2006 som er gjeldende.

## 2.3 Samordning med tilgrensede utredningsområder

### 2.3.1 Generelt

Som beskrevet i avsnitt 2.1 omfatter Bergensbanen strekningen fra Oslo S til Bergen over Roa, strekningen fra Hokksund til Hønefoss samt den kommende Ringeriksbanen. Banestrekningen grenser til, og delvis overlapper, derfor både utredningsområdene Gjøvikbanen, Sørlandsbanen og Oslo-området.

Det er viktig at det ikke oppstår konflikter mellom utredninger av tilgrensede eller overlappende områder. Utredning av banestrømforsyning på både Gjøvikbanen, Sørlandsbanen og Oslo-området ble startet før Bergensbanen. Alle utredningene har som mål å beregne den optimale løsningen for banestrømforsyning frem til 2040. Denne utredningen vil derfor ikke vurdere endringer i banestrømforsyningen på områder som allerede er, eller vil bli, utredet av de nevnte arbeidene. Kun tiltak i banestrømforsyningen mellom Bergen og Hønefoss vurderes derfor i denne utredningen. Trafikk forbi randsonen på Hønefoss inkluderes likevel i trafikksimuleringer, slik at elektrisk belastning på nærmeste omformerstasjon til randsonen blir realistisk.

### 2.3.2 Gjøvikbanen

Gjøvikbanen (5) går fra Oslo S til Gjøvik over Roa, og utredningen for Gjøvikbanen omfatter primært omformerstasjonene Hønefoss og Lunner. Utredningen konkluderer med at ved behov for fornyelse kan én av de to eksisterende omformerstasjonene legges ned, men at det ikke er noen stor gevinst av å legge ned den ene kontra den andre. Det blir derfor anbefalt at denne beslutningen tas på et hovedplannivå, hvor den gjenværende stasjonen skal oppgraderes til 4x5,8 MVA. Det anbefales og forutsettes at AT-system blir bygget på hele Gjøvikbanen og på Roa-Hønefossbanen.

For utredningen av Bergensbanen, betyr dette at AT-system vil som et minimum være bygget frem til Hønefoss. Når omformerstasjonene Hønefoss og Lunner når slutten av sine tekniske levetider vil en av disse fjernes. Utredningen for Gjøvikbanen forutsetter Tp69 persontog, som trekker vesentlig lavere maksimalbelastning enn Tp74/75 persontog som denne utredningen forutsetter. Utredningen for Gjøvikbanen bør derfor oppdateres, og det antas å være fordelaktig å kunne beholde omformerplassering på Lunner dersom Tp74/75 i fremtiden skal kunne trafikere Gjøvikbanen.

Det er ikke ønskelig at banestrømforsyningen på Gjøvikbanen blir låst til en uhensiktsmessig løsning på grunn av valg i denne utredningen. Iht. avklaringer (6) med fagrådet, legger utredningen av Bergensbanen derfor dagens omformerplassering på Lunner til grunn som elektrisk randsoner i simuleringer. Dersom det i hovedplanarbeid besluttes å plassere ny 4x5,8 MVA omformerstasjon nærmere Hønefoss enn Lunner, vil dette kun føre til enda bedre spenningsforhold for tog på Bergensbanen.

### **2.3.3 Oslo-området**

Utredning av fremtidig banestrømforsyning i Oslo-området pågår, og gjennomføres i tre faser for tre forskjellige tidsperioder i fremtiden. Lunner og Hønefoss omformerstasjoner er inkludert i simuleringmodellene, men er ikke fokuset i utredningen. Utredningen illustrerer tydelig at beregning av fremtidig belastning i Oslo-området er komplisert, og at trafikken til Bergensbanen kun er en liten del av det totale belastningsbildet. Ettersom utredningen skal gi løsninger for en robust banestrømforsyning i Oslo-området i overskuelig fremtid, vil den ikke legge begrensninger for trafikken mot Bergensbanen. Utredningen for Bergensbanen vil derfor ikke berøre banestrømforsyningen i det sentrale Oslo-området.

### **2.3.4 Sørlandsbanen**

Sørlandsbanen (7) består av strekningen fra Drammen til Stavanger. I simuleringene av Sørlandsbanen benyttes omformerstasjonen Nordagutu som nordlige randsone, selv om utredningen ikke omfatter tiltak så langt nord som denne stasjonen. Tilgrensende omformerstasjon sørover, Nelaug, benyttes som randsone for simuleringene av Oslo-området. Ettersom utredningen av Bergensbanen ikke vurderer tiltak i banestrømforsyningen sør eller øst for Hønefoss, havner utredningene ikke i konflikt med hverandre.

Derimot omfattes strekningen mellom Drammen og Neslandsvatn, samt strekningen Hokksund – Hønefoss, i liten grad av utredningene. Disse strekningene bør vurderes i en oppdatert utredning for øvre delen av Sørlandsbanen.

## 3 PLANFORUTSETNINGER

### 3.1 Utredningens ambisjonsnivå og tidshorisont

Denne utredningen skal levere en anbefalt plan for banestrømforsyningen mellom Hønefoss og Bergen. Den anbefalte planen skal ligge på et overordnet nivå og i mindre grad ta hensyn til spesifikke lokale forhold. Utredningen kan dermed gi en mest mulig oversiktlig forståelse av kraftsystemet i sin helhet. For alle større anbefalte investeringer, forutsettes det at hovedplaner blir utarbeidet i etterkant av denne utredningen før konkrete beslutninger tas. Hovedplanene vil ta vurderinger på et høyere detaljnivå, og i så måte ta hensyn til de spesifikke lokale forutsetningene som ikke blir vurdert her. Denne utredningen skal, innenfor sine forutsetninger, gi et best mulig grunnlag for videre hoved- og detaljplanlegging.

Jernbaneverket har satt førende strategier og mål frem mot 2040, og det er disse målene denne utredningen skal bidra til å oppfylle. Alle investeringer som anbefales i denne rapporten må derfor være gjennomført innen år 2040. I henhold til Jernbaneverkets metodehåndbok (8) legges en analyseperiode på 25 år til grunn. Analyseperioden starter ved første investeringstidspunkt.

### 3.2 Mål for det fremtidige kraftsystemet

Utbygging av banestrømforsyning gjennomføres ut fra den kostnadsoptimale løsningen som gir et teknisk akseptabelt kraftsystem. Den kostnadsoptimale banestrømforsyning vil så bidra til å opprettholde den samfunnsøkonomiske lønnsomheten av elektrisk togdrift i Norge. Det er i så måte ikke direkte lønnsomhetsberegninger som ligger til grunn i denne utredningen.

Det fremtidige kraftsystemet skal gi gode driftsforhold først og fremst for tog, men også for omformerstasjoner og overliggende nett i år 2040. Spenning på togs strømvagter skal ikke falle under krav gitt i regelverk (9). Omformerstasjoner skal være redundante iht. nevnte regelverk, og konkrete tilgjengelighetskrav gjelder. Kraftsystemet og alle dets komponenter skal ha tilfredsstillende egenskaper med tanke på pålitelighet, tilgjengelighet, vedlikeholdsvennlighet og sikkerhet.

Den resulterende elektriske energiforsyningen skal i henhold til teknisk regelverk (9) være dimensjonert slik at den ikke skal medføre forstyrrelser, forsinkelser eller begrensninger for togtrafikken i år 2040. Dette gjelder for både normale driftssituasjoner og normale driftssituasjoner med endringer som ofte kan forventes.

All miljøbelastning i eksisterende anlegg så vel som anbefalte nye anlegg skal reduseres til et minimum. Ettersom denne utredningen er av overordnet natur, forutsettes det at slike hensyn blir ivaretatt på hovedplannivå for investeringer og i vedlikeholdsstrategier for eksisterende anlegg. For øvrig er det i Vedlegg 1 *Tap i banestrømforsyningen* estimert at ombygging til AT-system vil gi en vesentlig reduksjon i elektriske tap, og kan dermed muligens i seg selv anses som en form for miljøtiltak på de strekningene hvor AT-system anbefales. Verdien av reduserte elektriske tap er inkludert i de økonomiske beregningene for kontaktledning i kapittel 7.

### 3.3 Økonomiske forutsetninger

I alle økonomiske vurderinger legges en kalkulasjonsrente på 4,5 % til grunn iht (8). Restverdier beregnes med grunnlag i anskaffelsesverdien fratrukket lineære avskrivninger basert på den tekniske levetiden. I henhold til Jernbaneverkets metodehåndbok (8) legges det til grunn en teknisk levetid på 60 år for kontaktledningsanlegg og 40 år for alle øvrige elektroanlegg.

I den økonomiske analysen sammenstilles alle kjente kostnader ved de ulike løsningene. Det søkes å sette en verdi/kostnad på alle fordeler og ulemper ved de ulike alternativene. Viktige elementer er investeringskostnad, drifts- og vedlikeholdskostnad, feil- og avbruddskostnad, og energitapskostnad. Historiske og mest mulig oppdaterte kostnader, diskontert til år 2011, legges til grunn i alle kostnadsanslag. Det er for øvrig kun kostnader forbundet med banestrømforsyningen som inkluderes i denne utredningen. Kostnader forbundet med øvrig infrastruktur, som fornyelse av spor samt nye og utvidede kryssningsspor, forutsettes ivaretatt i egne utredninger.

All energihandel til togselskaper fra JBV utføres til selvkost, med bakgrunn i St.prp. nr. 64 1996/97. Bedriftsøkonomiske beregninger utgår derfor, og alle investeringer gjøres ut ifra et samfunnsøkonomisk perspektiv. Samfunnsøkonomiske kostnader og direkte kostnader for JBV skiller ikke i beregninger. Ettersom det anses som både politisk og samfunnsøkonomisk uaktuelt å avvikle elektrisk togdrift på Bergensbanen, blir heller ikke den samfunnsøkonomiske nytteverdien av en fortsatt elektrifisert jernbane beregnet. Nyttverdi blir i stedet synliggjort i denne utredningen i form av økt togproduksjon for de ulike anbefalte tiltakene. Ut ifra forutsetningene gitt, skal den kostnadsoptimale løsningen også representere den optimale samfunnsøkonomiske løsningen for banestrømforsyning på Bergensbanen.

### 3.4 Tekniske forutsetninger

#### 3.4.1 Omformerstasjoner

Ved endret plassering eller oppgradert ytelse for omformerstasjoner vil omfattende rehabiliterings- og oppgraderingsarbeider, eller nybygging av omformerstasjon, være påkrevet. Eksisterende omformerstasjoner i fjell er tilpasset 2-3 roterende omformerenheter, og omfattende bygningstekniske tiltak vil måtte gjennomføres for å kunne øke bestykningen i eksisterende fjellhaller.

Det må normalt bygges et enfaset koblingsanlegg i tilknytning til hver omformerstasjon. Statiske omformerstasjoner på AT-strekninger kan bygges med 30 kV utmating og topolte koblingsanlegg. Antall utgående brytere bestemmes av kontaktledningens utforming i området. Koblingsanlegget utrustes med et reservefelt, og prøvekreter for innkobling av utgående linjer.

Omformerstasjoner kan bygges med statiske eller roterende omformerenheter. Statiske enheter er normalt stasjonære, men transportable alternativer finnes i markedet. Ved bygging av omformerstasjon for roterende omformere, må eksisterende roterende omformerenheter benyttes. Valg mellom statiske eller roterende omformere vil normalt avgjøres av det totale antall tilgjengelige roterende omformerenheter, da rehabilitering av roterende enheter har lavere investeringskostnader enn bygging av nye statiske omformerenheter. Per i dag er ikke JBV kjent med leverandører av nye roterende omformerenheter, så ved behov for anskaffelse av nye omformerenheter må disse være statiske.

Generelt er investeringskostnaden av en ny statisk omformer vesentlig høyere enn revisjon og gjenbruk av et eksisterende roterende aggregat. En viktig forskjell mellom dem er at roterende aggregater generelt har mye høyere elektriske tap enn statiske aggregater. Det antas her at forskjellen i elektriske tap ikke er tilstrekkelig til å kompensere for forskjellen i investeringskostnader, og at det derfor er ønskelig å gjenbruke eksisterende aggregater i den grad det er mulig. For øvrig vil tapene i en statisk omformer avhenge av hvilke krav som stilles til produsenten for den enkelte leveranse, noe som en hovedplan bør ta stilling til. Dersom det på senere plannivåer skulle vise seg å være mer kostnadseffektivt å fornye med statiske i stedet for roterende aggregater, vil dette være et kostnadsbesparende forhold som ikke påvirker utredningens konklusjon.

### Roterende omformerstasjoner

På Bergensbanen fra Bergen til Nesbyen står det i år 2012 til sammen en 3,1 MVA, syv 5,8 MVA og to 7 MVA roterende omformeraggregater som kan benyttes videre i den fremtidige løsningen for banestrømforsyning. I henhold til beslutning tatt i fagrådsmøtet 16.3.2010, skal det ikke forventes at noen roterende aggregater er tilgjengelige utover dette. Roterende aggregater kan overbelastes vesentlig høyere enn nominell ytelse, og dette er tatt hensyn til ved evaluering av simuleringsresultater i kapittel 6. Maksimale verdier for overlast for de ulike aggregatene er gitt av Tabell 1.

**Tabell 1 – Nominell ytelse og maksimal overlast for roterende aggregater**

Aggregat Type [MVA]	Maks 2 sek belastning [A]	Maks 6 min belastning [A]	Maks time belastning [A]
3,1	450	291	188
5,8	625	485	352
7,0	825	667	424

På grunn av muligheten for gjenbruk av roterende aggregater, kan det være aktuelt å bygge en eller flere nye omformerstasjoner for roterende omformeraggregater. I så fall må omformerstasjoner med minst et tilsvarende antall aggregater legges ned, slik at disse blir tilgjengelige for gjenbruk.

To hovedalternativer gjelder for ombygging av roterende omformerstasjoner. En mulighet er å bygge om i eksisterende fjellhaller. En annen mulighet er å bygge en helt ny stasjon på ny plassering.

Teknisk vurderes det som en fordel å bygge en ny stasjon på ny plassering. Da vil en i mindre grad være bundet av de tidligere løsningene i fjellhallene, en kan forvente mindre kostnader i forbindelse med vedlikehold av anlegget, og prosjektgjennomføringen vil være enklere. En

eventuell ny omformerstasjon for roterende omformere vil bli bygget etter modell fra Leivoll og Skoppum omformerstasjoner, fra år 2000. Disse har BE gode driftserfaringer med.

Under anleggsperioden er det en stor ulempe å jobbe på et anlegg som er delvis i drift. BE har i årene 2007-2011 fornyet Kongsvinger og Nordagutu omformerstasjoner, og erfarer at det både er teknisk utfordrende og kostnadskrevende å bygge om et anlegg som er delvis i drift. På noen områder oppleves det også at de tekniske løsningene ikke blir så gode som de burde ha blitt fordi det må velges løsninger som tar hensyn til at halve stasjonen er i drift under bygging.

Dersom fornyelse i eksisterende fjellhaller velges, må det forutsettes at det etableres en midlertidig omformerstasjon utenfor fjellhallene, slik at hele omformerstasjonen i fjell blir frigjort under ombyggingsperioden. Det kan derfor i mange tilfeller være mer økonomisk fordelaktig å bygge et nytt bygg enn å bygge om eksisterende. I denne utredningen legges det til grunn i de økonomiske beregninger at stasjoner som blir fornyet bygges i nytt bygg utenfor eksisterende stasjon. Dette anses som en konservativ forutsetning, med en realistisk kostnadsramme. Hvorvidt en omformerstasjon faktisk fornyes på ny plassering eller oppgraderes i eksisterende fjellhall, bør avgjøres i hovedplan for det enkelte prosjekt slik at lokale forhold kan tas hensyn til.

### **Statiske omformerstasjoner**

Det dominerende konseptet for kjøp av nye omformerenheter i dag er statiske omformerenheter på 15 MVA. Det er derfor denne ytelsen som legges til grunn i vurderinger av nye omformerstasjoner på utredningsnivå. Omformerenheter kan være skalerbare, og det faktum at 15 MVA legges til grunn i denne utredningen vil derfor ikke si at løsningen nødvendigvis låses til denne enhetsytelsen. Nominell ytelse og maksimal overlast vil avhenge av funksjonskravene som stilles for anskaffelsen.

Omformere forutsettes i utredningen å være stasjonære og ikke transportable, ettersom det er permanente systemløsninger som utredes og mobilitet i utgangspunktet ikke skal være nødvendig. Det tas derfor ikke hensyn til eventuelle muligheter for å flytte statiske omformere i løpet av analyseperioden. Løsninger for mobile omformere er tilgjengelig på markedet, og eventuell benyttelse av mobile anlegg vil gjøre systemløsningen mer robust ovenfor unormale driftssituasjoner og trafikk utenfor denne utredningens forutsetninger. Forutsetningen om stasjonære omformere kan dermed anses som konservativ. Konkret omformerytelse og mobilitet bør avgjøres på hovedplannivå for det enkelte prosjekt.

Statiske enheter er ikke overlastbare, men siden omformerer er styrbar, programmeres omformerer med en strømgrense. Dersom omformerer går i strømgrense vil spenningen bli redusert og fasevinkel endret, slik at strømmen ikke går over denne grensen. Dette vurderes å være en akseptabel situasjon for en kortvarig spissbelastning med maksimal varighet på noen sekunder. Kortvarig spissbelastning blir dermed et mindre viktig dimensjoneringskriterium for statiske omformerenheter enn for roterende. En kan derfor forvente å kunne dimensjonere statiske enheter noe ned sammenliknet med roterende enheter. Dette gjelder for øvrig kun for kortvarig belastning over få sekunder, og ikke termisk belastning over flere minutter eller timer.

En ny statisk omformerstasjon på strekninger som er bygget med AT-system eller planlagt bygget med AT-system kan bygges med 30 kV utmating direkte til AT-systemet. På denne måten kan det være unødvendig å installere to autotransformatorer på hver utgående linje, beskrevet i kapittel 3.4.2. Dette kan redusere både investeringskostnader og elektriske tap.

En kan tenke seg hybride løsninger med en omformerstasjon med statiske og roterende enheter. Her ville en utnytte fordelene til de statiske enhetene ved at de har lave tap, til å kjøre den statiske enheten mest mulig. Stasjonen kunne videre utstyres med roterende enheter som redundans. Disse har høyere tap, men en ville her utnytte at disse har lavere investeringskostnader, idet de allerede eksisterer. Denne løsningen innebærer en mulig optimalisering som ikke blir vurdert nærmere i denne utredningen, men som bør vurderes nærmere på hovedplannivå.

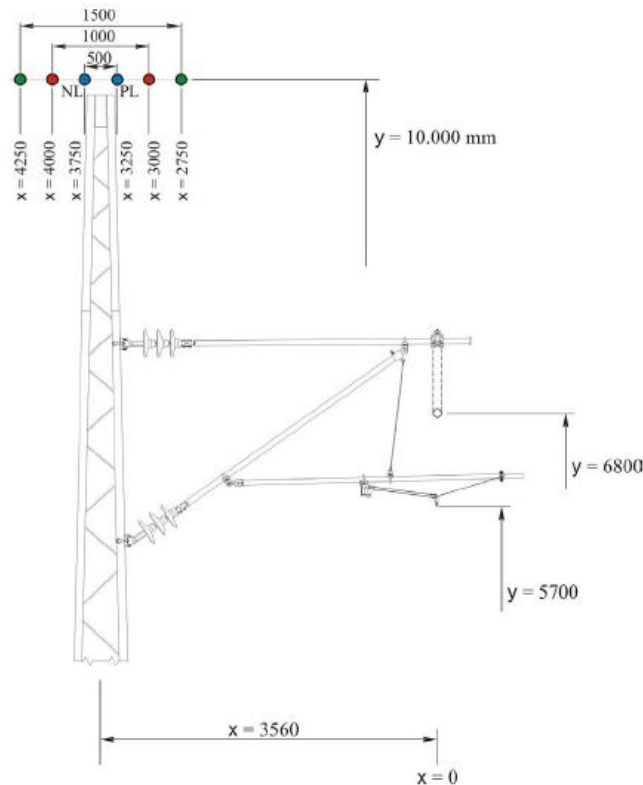
### 3.4.2 Kontaktledningsanlegg

I henhold til Jernbanelovens tekniske regelverk (10), skal alle nye kontaktledningsanlegg "bygges med autotransformatorsystem med seksjonert kontaktledning". Ved fornyelse av kontaktledning sier regelverket at det skal bygges eller klargjøres for autotransformatorsystem. Etter innspill fra fagrådet, der det ble vist til praktiske problemstillinger vedrørende fremføring av kabler i tunneler på Bergensbanen, blir likevel tradisjonell kontaktledningsanlegg vurdert på både hele og deler av banestrekningen. Mulighetene for fremføring av kabler i tunneler og snøoverbygg er vurdert spesielt i kapittel 3.5.2

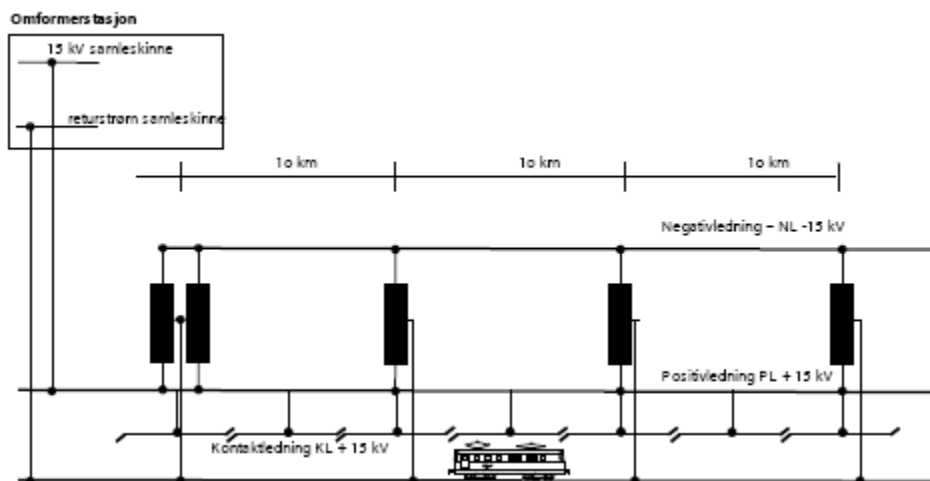
Nytt tradisjonelt kontaktledningsanlegg vil bli bygget som system 20 eller 25, med 100/120 mm<sup>2</sup> CuAg kontaktråd og 50/70 mm<sup>2</sup> bæreline av bronse. Kontaktledningen bygges med 2x240 mm<sup>2</sup> Al returleder. For å oppnå akseptable EMC-forhold må kontaktledningen bygges med sugetransformatorer, som typisk er utplassert med 3 – 4 km mellomrom. De impedansmålinger som foreligger av et slikt kontaktledningsanlegg er gjort på Sørlandsbanen mellom Krossen og Leivoll i år 2000. Målingen viser følgende impedans, som blir benyttet for tradisjonell kontaktledning i simuleringer:  
 $z = r + j x = 0,18 + j 0,19 \Omega/\text{km}.$

I et AT-system slik en planlegger å bygge det i Norge, vil det i tillegg til kontaktledningen framføres en positivleder (PL) som har en spenning på + 15 kV, og en negativleder (NL) som har en spenning på – 15 kV, dvs. i motfase med PL. Effektiv spenning mellom de to lederne blir da nominelt 30 kV.





Figur 3. Konfigurasjon av ledere i et norsk AT-system



Figur 4. Normal kobling av norsk AT-system.

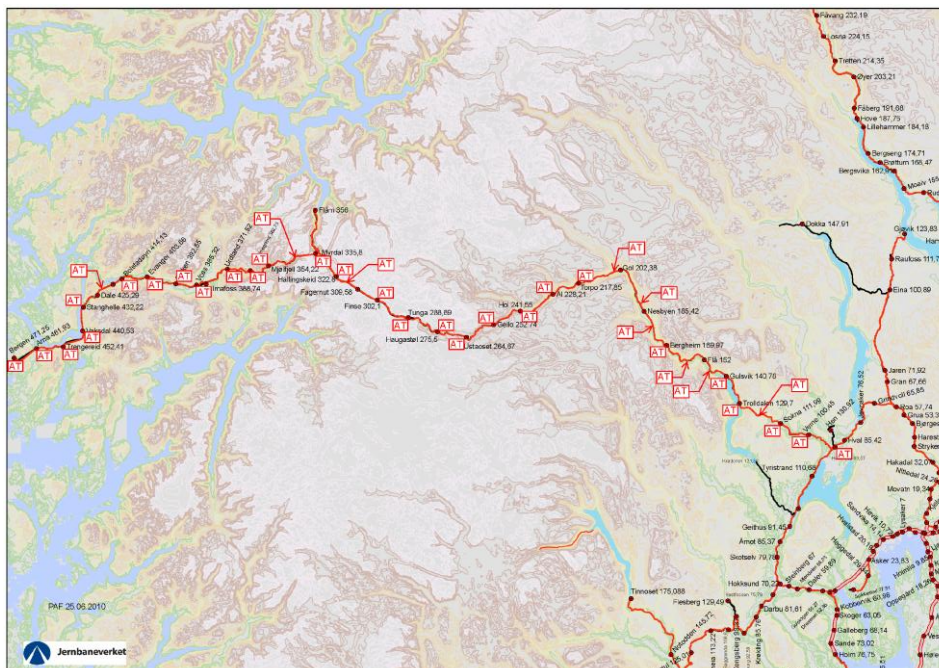
De to lederne er planlagt festet øverst på kontaktledningsmastene, ca. 3,2 meter over kontaktledningen. Kontaktledningen er seksjonert i seksjoner på ca. 5 – 6 km, og hver seksjon mates fra PL via en lastskillebryter midt på seksjonen. Opphenget og koplingen er valgt slik for å minimere jordstrømmer i systemet, samt å forenkle vedlikehold og seksjonering. Det er tenkt at en stor del av vedlikeholdsarbeidet som utføres på kontaktledningen kan gjøres med spenning på PL og NL.

Eksisterende omformerstasjoner med roterende omformere mater ut + 15 kV. Utenfor koblingsanlegget er det derfor tenkt plassert 2 stk. autotransformatorer i parallell, som transformerer spenningen til – 15 kV på hver linje. Dermed er det ikke behov for å gjøre endringer i eksisterende omformeranlegg eller koblingsanlegg. Det installeres også autotransformatorer langs jernbanelinjen.

Autotransformatorer blir plassert langs jernbanelinjen etter følgende prioriteringer:

- Det skal være 10 km mellom autotransformatorene med mulighet for avvik på ca 3 km mer eller mindre.
- Enhetene bør plasseres i utkanten av stasjonsområdene og helst på steder med tilgang med kranbil.
- Enhetene bør ikke plasseres i tunneler. Plassering i tunnel vil kunne kreve kostbare sikkerhetstiltak

Basert på overnevnte prioriteringer er et forslag til mulige plasseringer av autotransformatorer på Bergensbanen gitt i Figur 5, med et totalt antall av 37 foreslåtte autotransformatorer. Skissen er gitt i større format i Vedlegg 1. Autotransformatorer i forbindelse med omformerstasjoner kommer i tillegg. Det presiseres at figuren og vedlegget kun skal anses som en overordnet skisse, og det forutsettes at mer nøyaktige plasseringer blir avklart på et senere plannivå.



Figur 5. Forslag til plassering av autotransformatorer på Bergensbanen.

Fordelen med et autotransformatorsystem sammenliknet med et tradisjonelt kontaktledningsanlegg er primært at impedansen, og dermed spenningsfallet mellom omformer og tog, reduseres kraftig. Beregnet ekvivalent impedans (referert til 15 kV) for et autotransformatorsystem med linetverrsnitt på 381 mm<sup>2</sup> er:

$$Z_{AT} = r + j x = 0,039 + j 0,048 \Omega/\text{km}.$$

Det vil si kun 24 % av impedansen i et nytt kontaktledningsanlegg med system 25 (en reduksjon på 76 %).

Teknisk og funksjonell levetid for alle komponenter tilhørende kontaktledningsanlegget skal iht. teknisk regelverk (10) settes til minimum 50 år. For øvrig legger Jernbaneverkets metodehåndbok (8) til grunn en teknisk levetid på 60 år for kontaktledningsanlegg, og det er metodehåndboken som ligger til grunn for denne utredningens beregninger. Til sammenligning kan reel alder på dagens kontaktledningsanlegg kan ses ut fra byggeårene angitt i kapittel 4.4.1, Tabell 9.

### 3.4.3 Fjernledning

Et fjernledningssystem innebærer bygging av en 16 2/3 Hz kraftledning på høyt spenningsnivå, for eksempel 110kV, parallelt med kontaktledningen. Høyspenningsledningen kan så mate kontaktledningen igjennom transformatorstasjoner.

Ingen fjernledning eksisterer på Bergensbanen per år 2012. Konseptet ansees som svært kostbart, og innebærer et stort naturinngrep med ny høyspent masterekke langs hele jernbanen. Dette vil kunne kreve en langvarig prosess for å få konsesjon. En slik omstrukturering av banestrømforsyningen bør ses i sammenheng med resten av den elektrifiserte jernbanen i Norge, ettersom en kraftig økt overføringskapasitet vil knytte Bergensbanen mye sterkere til øvrige banestrekninger. Det forutsettes derfor at en slik omstrukturering vurderes på et overordnet kraftsystemnivå, og ikke for hver individuell banestrekning.

### 3.4.4 Forsterkningsleder

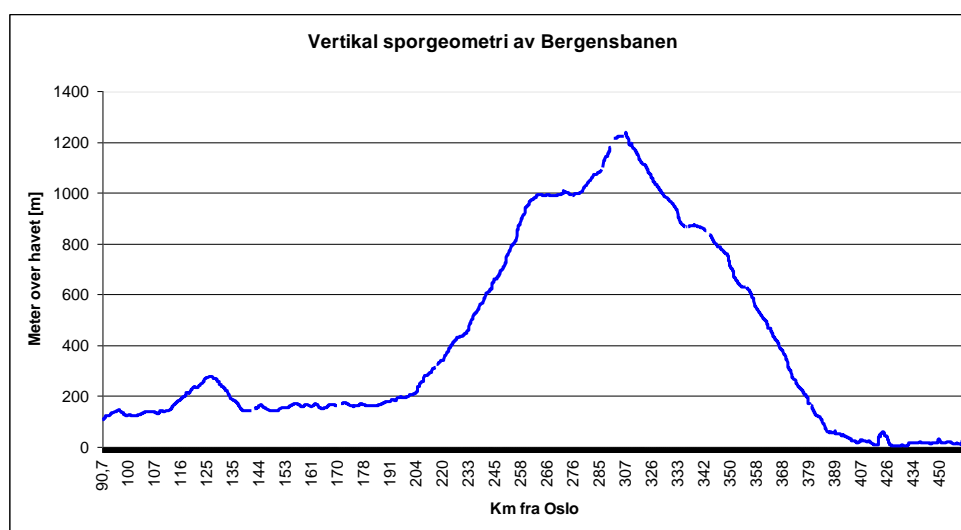
For å forsterke banestrømforsyningen på en strekning kan det være aktuelt å bruke en strømførende linje og/eller kabel parallell med kontaktledningen, kalt en forsterkningsleder (FSL). En ny FSL vil bli bygget med returleder. FSL bidrar med å øke strømføringsvevnen til kontaktledningsanlegget, og reduserer dermed den totale impedansen mellom matestasjon og tog. Reduksjonen i impedans er likevel beskjeden i forhold til ved benyttelse av AT-system. Forsterkningsledere kan også brukes til forbimating ved feil eller arbeid på linjen.

En trasé med FSL mellom Haugastøl og Mjølfjell eksisterer allerede. Mulighetene for videre bruk av denne, eventuelt gjenbruk av dagens trasé for en ny forsterkningslinje eller for fremføring av PL og NL, gjør dette til et aktuelt tema i denne utredningen. Enten kan traséen benyttes i sin helhet til fremføring av PL og NL, eller så kan kortere parseller av traséen benyttes, der det er spesielt problematisk med kabelforlegning igjennom tunneler. Eksisterende FSL er nærmere beskrevet i kapittel 4.4.2.

## 3.5 Særegne forhold innen utredningsområdet

### 3.5.1 Generelt

Bergensbanen passerer over 1200 meter over havet, og vertikal sporgeometri av strekningen er vist i Figur 6. Figuren viser tydelig at det er høy stigning på begge sider av fjellet, og største stigning er 21,6 %. På strekninger med høy stigning vil tog gi høyt pådrag på vei opp og tilbakemate mye energi på vei ned. Med enkeltsporet drift vil det i liten grad være tog som tilbakemater i nedoverbakke samtidig som tog gir høyt pådrag oppover. Det vil derfor være høyere maksimalbelastning på strekningene med høy stigning sammenlignet med andre strekninger med samme togtrafikk. Figuren viser grafisk hvilke strekninger som har spesielt stor stigning.



Figur 6. Vertikal sporgeometri av Bergensbanen. (11)

På strekningen mellom Hønefoss og Bergen er det 147 fjelltunneler, 11 rasoverbygg og 281 snøoverbygg. (11) Disse tunnelene og overbyggene har varierende alder og tverrsnitt, og med en total lengde på 96 km vanskeliggjør disse arbeid som fremføring av linjer og kabler. Forsterkningslederen mellom Haugastøl og Mjølfjell er også et element som er uvanlig på norske jernbanestrekninger. Disse faktorene gjør at Bergensbanen derfor ikke nødvendigvis er direkte sammenlignbar med mange andre banestrekninger i Norge.

Fordelingen mellom spor i dagen, overbygg og tunneler på ulike hovedstrekninger langs Bergensbanen er vist i Tabell 2. Tabellen viser tydelig at det stort sett er dagstrekninger mellom Hønefoss og Haugastøl, samt mellom Voss og Mjølfjell. Mellom Arna og Voss, og mellom Mjølfjell og Haugastøl, er det store strekninger med tunneler og overbygg.

**Tabell 2. Andel tunneler og overbygg på ulike strekninger (11)**

Strekning	Type	Lengde [km]
Arna - Voss	Dagstrekning	31,5
	Snøoverbygg	0,0
	Rasoverbygg	0,5
	Tunnel	44,7
Voss - Mjølfjell	Dagstrekning	28,2
	Snøoverbygg	0,0
	Rasoverbygg	0,0
	Tunnel	2,8
Mjølfjell - Haugastøl	Dagstrekning	39,6
	Snøoverbygg	10,9
	Rasoverbygg	0,0
	Tunnel	28,2
Haugastøl - Nesbyen	Dagstrekning	86,9
	Snøoverbygg	0,1
	Rasoverbygg	0,0
	Tunnel	0,5
Nesbyen - Hønefoss	Dagstrekning	79,9
	Snøoverbygg	0,0
	Rasoverbygg	0,0
	Tunnel	8,6

### 3.5.2 Forlegningsmåter for kraftkabler i trange tunneler og snøoverbygg

I tidlig fase av denne utredningen, viste deltagerne i fagrådet til en rekke praktiske problemstillinger vedrørende fremføring av kabler i tunneler og snøoverbygg på Bergensbanen. En utfordring på Bergensbanen er den begrensede plassen som en ofte har til å legge høyspentkabler. I tillegg kommer aspektet ved at det er betydelige problemer med innsig av vann og isdannelse.

Et eget utredningsarbeid har tatt for seg overnevnte problemstillinger, og vurdert en rekke mulige forlegningsmåter i lys av disse. Rapport fra dette arbeidet er vedlagt som Vedlegg 3. Hensikten har vært å redegjøre for det utvalg av løsninger som kan benyttes, med tekniske fordeler og ulemper samt kostnadskonsekvenser. Elementer som har blitt spesielt vurdert inkluderer kabeltype m/ tilhørende mekanisk beskyttelse, plassering av installasjonen, montasjeforhold, overganger mellom løsningstyper samt forhold ved vedlikehold og utbedring ved skade.

Utredningsarbeidet for fremføring av AT-kabler i tunneler har konkludert med at en av følgende forlegningsmåter kan benyttes ved legging av kabel, avhengig av lokale forhold:

1. Kabel i betongkanal med lokk i grunnen
2. Kabelkanal på tunnelvegg
3. Selvbærende kabel montert med trinser
4. Kabel i kanal, montert på stylder på utsiden av snøoverbygg

For fremføring av høyspentkabler igjennom tunneler og snøoverbygg på Bergensbanen er forhold angående pålitelighet, tilgjengelighet, vedlikeholdsvennlighet og sikkerhet ivarettatt igjennom en RAMS-analyse. Denne er vedlagt utredningsrapporten i Vedlegg 3. Vurdering av RAMS for denne utredningen er gitt i kapittel 8.

Ettersom forlegningsmetodene på Bergensbanen må ta en rekke spesielle hensyn som ikke nødvendigvis vil være nødvendig på andre banestrekninger, er det også gjennomført en egen usikkerhetsanalyse for de prioriterte forlegningsmetodene. Denne analyserapporten er vedlagt utredningsrapporten i Vedlegg 3. Hensikten har vært å identifisere og sette verdi på eventuelle kostnadsdrivende elementer som vil være nødvendig for å gjennomføre forlegningene. Usikkerhetsanalysen har gitt kostnadskalkyler for hver vurderte metode, samt anbefalinger for videre arbeid for å redusere usikkerheten. Analysen følges opp av den generelle usikkerhetsoppfølgingen av prosjektet, se kapittel 9.

Overnevnte dokumenter viser at fremføring av AT-kabler i tunneler og snøoverbygg på Bergensbanen kan være problematisk, og at samme forlegningsmåte ikke vil være mulig på alle strekninger. Det blir derimot sannsynliggjort at fremføringen av kablene kan gjennomføres ved å benytte en kombinasjon av de analyserte forlegningsmåtene, uten at dette går utover RAMS-forhold. Eventuelle kostnadsdrivende elementer er inkludert i kostnadskalkylene for forlegningsmåtene, og en kombinasjon av disse er benyttet for å finne en generell kostnad representativ for hele strekningen. Kombinasjonen av tunnelforlegninger som legges til grunn for økonomiske beregninger er 70% kanal på vegg, 5% betongkanal i grunnen og 25% trinsemontert. For snøoverbygg forutsettes trinsemontering.

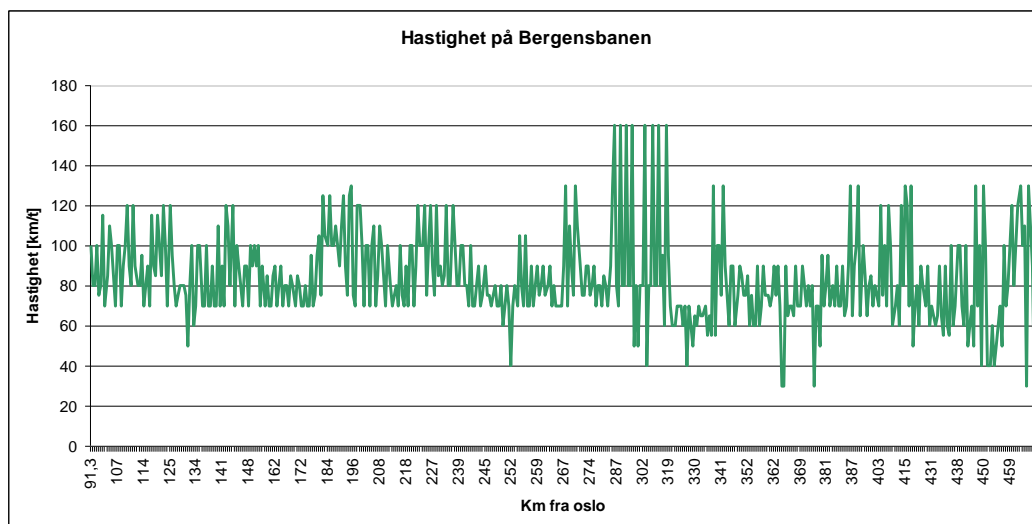
På strekningen mellom Haugastøl og Mjølfjell er det mulig å benytte traséen for forsterkningsledning til fremføring av PL og NL. Det forutsettes at dette gjøres dersom det er mer kostnadseffektivt enn overnevnte tunnelforlegninger. Dette er en vurdering som bør gjøres på hovedplan- eller detaljplannivå, og må ta hensyn til strekningens topologi for å avgjøre hvor autotransformatorene skal tilkobles kontaktledningen. Valg av enten tunnelforlegninger eller trasé for forsterkningsledning gir ingen nevneverdig konsekvens for overføringskapasiteten. Kostnaden av tunnelforlegninger benyttes i denne utredningen også for strekningen Haugastøl-Myrdal, da dette anses å være en konservativ økonomisk forutsetning.

## 4 DAGENS BANESTRØMFORSYNING PÅ BERGENSBANEN

### 4.1 Belastning på banestrømforsyningen

Banestrømforsyningen brukes på enkelte steder til både belysning og hjelpekraft. Den klart største belastningen er likevel effektforbruket til togtrafikken, og i denne utredningen neglisjeres all annen belastning enn tog, samt elektriske tap i og fra matestasjonene til togene.

Togbelastningen er avhengig av mange faktorer. For motorbelastningen til hvert tog er hastighet, akselerasjon, stigning og vekt av stor betydning. Tillatte hastigheter langs Bergensbanen er svært variabel, som vist i Figur 7. Mengden hjelpekraft i bruk, som oppvarming per vogn, vil variere med både utetemperatur og antall passasjerer. Alle disse faktorene vil også kunne variere mellom forskjellige togmodeller. En rekke elektriske tog og lokomotiver trafikkerer i dag forskjellige deler av Bergensbanen, og nevnt i målerapporter er Tp69, Tp-70, Tp73, El-14, El-18 og CE119. Frekvensen av togene i hver retning vil så være avgjørende for den totale togbelastningen.



Figur 7. Tillatte hastigheter på Bergensbanen. (11)

Elektriske tap i matestasjoner vil variere avhengig av størrelse på omformerenheter og omformerteknologi brukt. Forskjellige omformeraggregater har forskjellige tapskarakteristikker, og statiske omformerenheter har mye lavere tap enn roterende. Samtidig er både effektiviteten til og tapene i omformerstasjonene avhengig av belastningen. Overføringstap mellom matestasjoner og tog vil variere med både avstanden og impedansen i linjen. De elektriske tapene i både omformerstasjoner og kontaktledning vil øke ved økende togtrafikk.

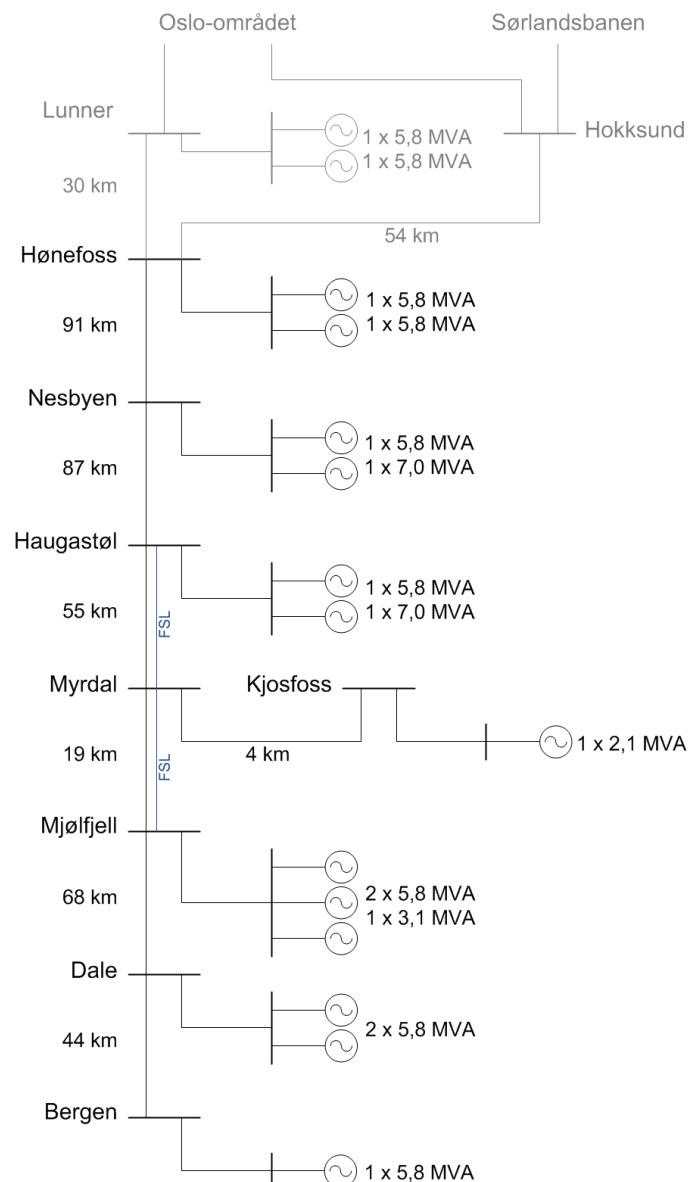
Grunnet høye lokale belastningsvariasjoner er banestrømforsyningen i Norge effektdimensjonert, normalt etter den høyeste gjennomsnittlige belastningen over 2-3 sekunder. Dette er vist i varighetskurver over dagens stasjonsbelastning i kapittel 4.3. Den årlige energiproduksjonen er derfor av mindre interesse enn maksimal momentaneffekt.

## 4.2 Banestrømforsyning på Bergensbanen

Mellom Bergen og Høyfoss ligger det 6 omformerstasjoner og 1 kraftverk som mater effekt til Bergensbanen. Totalt installert effekt på strekningen under normal drift er nominelt 71,4 MVA. I tillegg har den østlige delen av Bergensbanen en elektrisk tilknytning til Gjøvikbanen og videre til Oslo-området, hvor man finner den tetteste konsentrasjonen av omformerstasjoner i Norge.

Distansen mellom matestasjonene varierer fra 23 km mellom Kjosfoss og Mjølfjell, og opp til 91 km mellom Nesbyen og Høyfoss. Overføringsnettet er tradisjonell kontaktledning (KL), med en 15 kV forsterkningsledning mellom Haugastøl og Mjølfjell.

Dagens strømforsyning på Bergensbanen, per år 2012, er illustrert ved enlinjeskjema i Figur 8. Tilgrensede anlegg utenfor utredningsområdet er vist med grå farge, FSL i blått.



Figur 8. Enlinjeskjema. Dagens anlegg år 2012.



## 4.3 Matestasjoner for elektrisk kraft

### 4.3.1 Hønefoss omformerstasjon

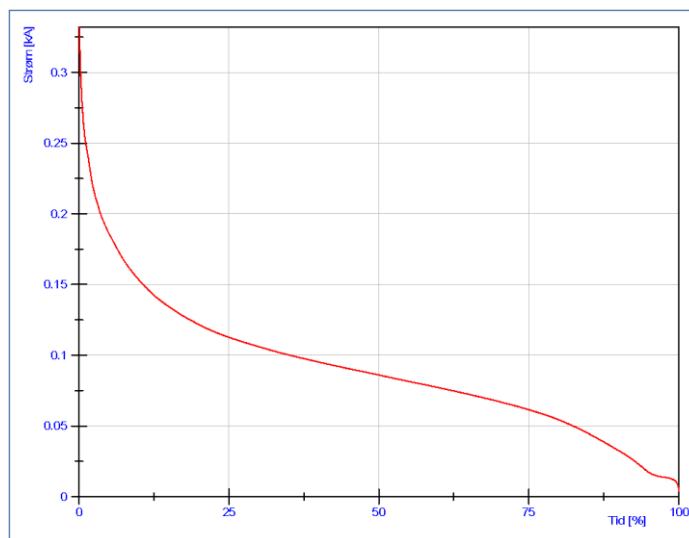
Hønefoss omformerstasjon ble bygget i 1959, og ligger på km 97. Stasjonen er i år 2010 normalt bestykket med 2 x 5,8 MVA roterende aggregater. Fra søndag 17.01 til og med onsdag 20.01 2010 ble målinger utført på stasjonen, som ble analysert i etterkant for bruk i denne utredningen. Målerapporten er gitt i Vedlegg 4, og resultatene viser ingen signifikante driftsproblemer. Per år 2010 er denne stasjonen fullt ut redundant i henhold til Teknisk Regelverk JD 546 og ikke i behov for større investeringer på kort sikt. Med tanke på stasjonens alder, vil en likevel forvente at vedlikeholdskostnader på både bygg og komponenter kan øke i årene fremover.

Målte maksimalverdier blir vist i Tabell 3, både i konkrete verdier og prosent av installert ytelse i stasjonen. 2-sekundersverdier er oppgitt i ampere da denne begrensningen er en innstilt strømverdi i overstrømsvernet. 6-minutters og timeverdier er gitt i MVA, selv om dette er termiske begrensninger som hovedsakelig også defineres av strømmen.

Tabell 3. Målt maksimalbelastning på Hønefoss omformerstasjon

Belastning	Maksimal belastning og prosent ift. installert kapasitet					
	2 sek		6 min		1 time	
	[A]	[%]	[MVA]	[%]	[MVA]	[%]
Målt	554	46	4,25	27	2,85	25

En varighetskurve over belastning i Hønefoss omformerstasjon en tilfeldig hverdag, tirsdag 19.01.2010, er vist i Figur 9.



Figur 9. Varighetskurve for belastning i Hønefoss, tirsdag 19.01.2010

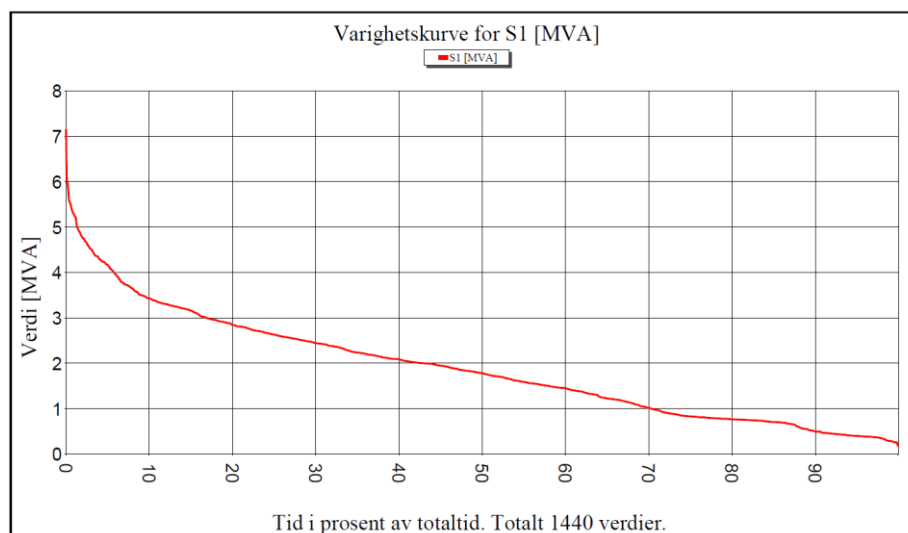
### 4.3.2 Nesbyen omformerstasjon

Nesbyen omformerstasjon ble bygget i 1962 og ligger på km 188. Stasjonen er normalt bestykket med 1 x 5,8 og 1 x 7 MVA roterende aggregater. Det er ikke gjennomført høyoppløselig måling på stasjonen, men det pågår kontinuerlig måling av aktiv og reaktiv effekt med minuttsoopløsning. Målte maksimalverdier perioden 24.10. – 30.10.2011 (uke 43) er vist i Tabell 4.

**Tabell 4. Målt maksimalbelastning på Nesbyen omformerstasjon**

Belastning	Maksimal belastning og prosent ift. installert kapasitet					
	1 min		6 min		1 time	
	MVA	[%]	[MVA]	[%]	[MVA]	[%]
Målt	7,58	39,9	6,12	32,2	3,94	30,8

En varighetskurve over belastning i Nesbyen omformerstasjon en tilfeldig hverdag, torsdag 14.11.2011, er vist i Figur 10. Ettersom det kun foreligger minuttsoopløsning på målingene, vises ikke de høyeste belastningene og varighetskurven fremstår som flatere enn den ville vært med høyere måleoppløsning.



**Figur 10. Varighetskurve for belastning i Nesbyen, torsdag 24.11.2011**

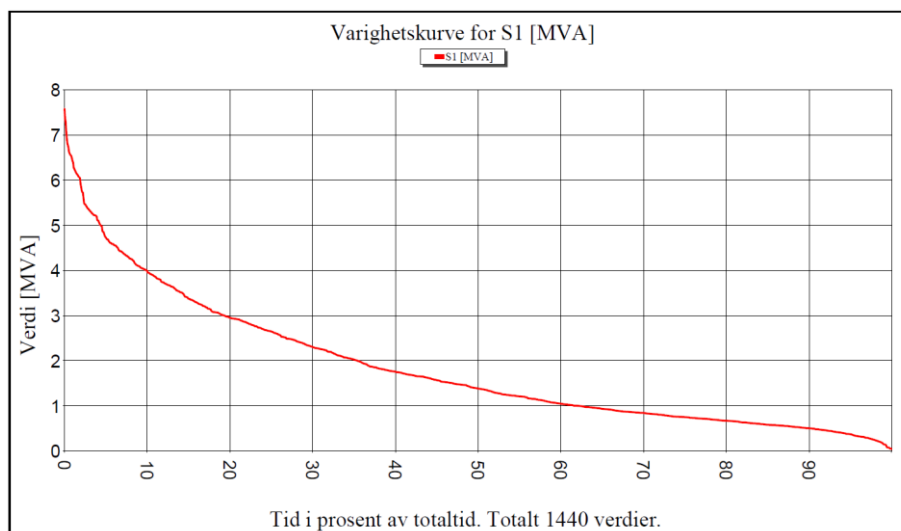
### 4.3.3 Haugastøl omformerstasjon

Haugastøl omformerstasjon ble bygget i 1964 og ligger på km 276. Stasjonen er normalt bestykket med 1 x 5,8 og 1 x 7 MVA roterende aggregater. Det er ikke gjennomført høyoppløselig måling på stasjonen, men det pågår kontinuerlig måling av aktiv og reaktiv effekt med minuttsoopløsning. Målte maksimalverdier perioden 24.10. – 30.10.2011 (uke 43) blir vist i Tabell 5.

**Tabell 5. Målt maksimalbelastning på Haugastøl omformerstasjon**

Belastning	Maksimal belastning og prosent ift. installert kapasitet					
	1 min		6 min		1 time	
	MVA	[%]	[MVA]	[%]	[MVA]	[%]
Målt	9,01	47,4	7,5	39,5	5,23	40,9

En varighetskurve over belastning i Haugastøl omformerstasjon en tilfeldig hverdag, torsdag 24.11.2011, er vist i Figur 11. Varighetskurven fremstår som flatere enn reelt, ettersom kun minuttsopløsning foreligger.



**Figur 11. Varighetskurve for belastning i Haugastøl, torsdag 24.11.2011**

#### 4.3.4 Kjosfoss kraftstasjon

Kjosfoss kraftstasjon ble fornyet i 2009 og ligger på km 336 på Flåmsbana, kun 4 km fra Bergensbanen. Stasjonens 16 2/3 Hz generator har en ytelse på 2,1 MVA.

Kraftverket har kun én generator som mater til jernbanen, og det er derfor ingen redundans i matestasjonen. Videre er det totale magasinvolumet kun 10,5 Mm<sup>3</sup>, og kraftverket kan risikere å ikke kunne produsere aktiv effekt over lengre tid i tørre perioder. I henhold til beslutning på fagrådsmøtet 16.3.2010, kan Kjosfoss derfor ikke benyttes som dimensjonerende i den fremtidige banestrømforsyningen. Kraftverket sees bort i fra i alle simuleringer og beregninger. I perioder hvor Kjosfoss er i drift, vil denne kunne bidra til bedre driftsforhold for tog ved toppbelastning, enn det som ellers går frem av utredningen.

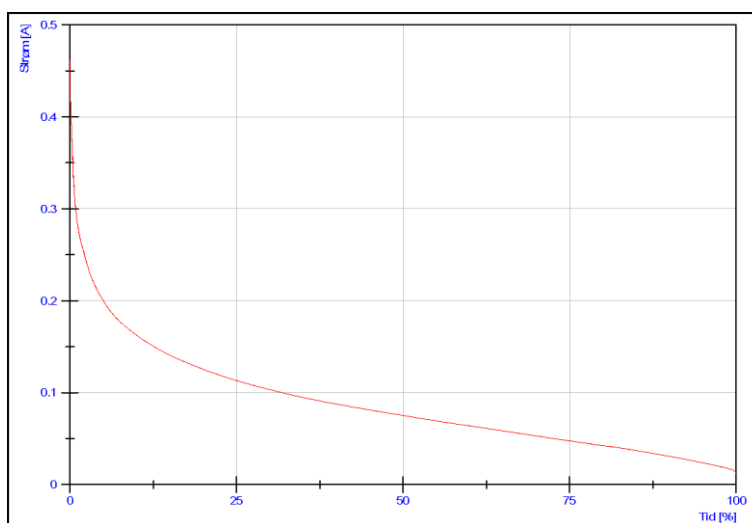
#### 4.3.5 Mjølfjell omformerstasjon

Mjølfjell omformerstasjon ble bygget i 1964 og ligger på km 354. Stasjonen er normalt bestykket med 2 x 5,8 og 1 x 3,1 MVA roterende aggregater. Belastningsmålinger ble utført fra 15. til 25. oktober 2010, og målerapport er gitt i Vedlegg 5. Målte maksimalverdier blir vist i Tabell 6.

**Tabell 6. Målt maksimalbelastning på Mjølfjell omformerstasjon**

Belastning	Maksimal belastning og prosent ift. installert kapasitet					
	2 sek		6 min		1 time	
	[A]	[%]	[MVA]	[%]	[MVA]	[%]
<b>Målt</b>	470	27,6	5,19	25,0	3,92	26,7

Under måleperioden på Mjølfjell ble det på nettene regelmessig utført arbeider som påvirket togtrafikken, og dermed også belastningen. Det eneste hele døgnet hvor togtrafikken gikk normalt var torsdag 21. – 22.10.2010 kl 16:00 begge dager. En varighetskurve for dette døgnet er vist i Figur 12.



**Figur 12. Varighetskurve for belastning i Mjølfjell, torsdag 21.10.2010**

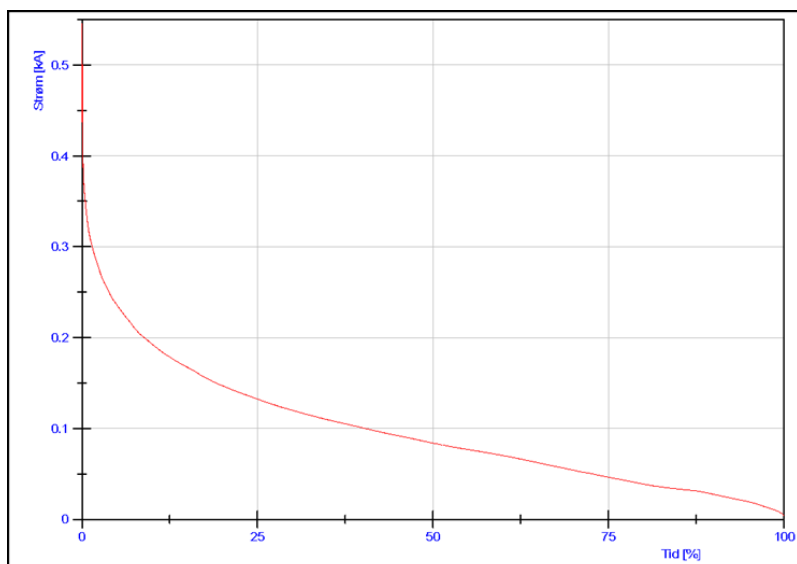
#### 4.3.6 Dale omformerstasjon

Dale omformerstasjon ble bygget i 1954 og ligger på km 425. Stasjonen er i dag normalt bestykket med 2 x 5,8 MVA roterende aggregater. Belastningsmålinger ble utført fra 6. til 14. oktober 2010, og målerapport er gitt i Vedlegg 6. Målte maksimalverdier blir vist i Tabell 7.

**Tabell 7. Målt maksimalbelastning på Dale omformerstasjon**

Belastning	Maksimal belastning og prosent ift. installert kapasitet					
	2 sek		6 min		1 time	
	[A]	[%]	[MVA]	[%]	[MVA]	[%]
<b>Målt</b>	586	46,9	5,57	34,8	3,97	34,2

En varighetskurve over belastning i Dale omformerstasjon en tilfeldig hverdag, tirsdag 10.12.2010, er vist i Figur 14.



Figur 13. Varighetskurve for belastning i Dale, tirsdag 10.12.2010

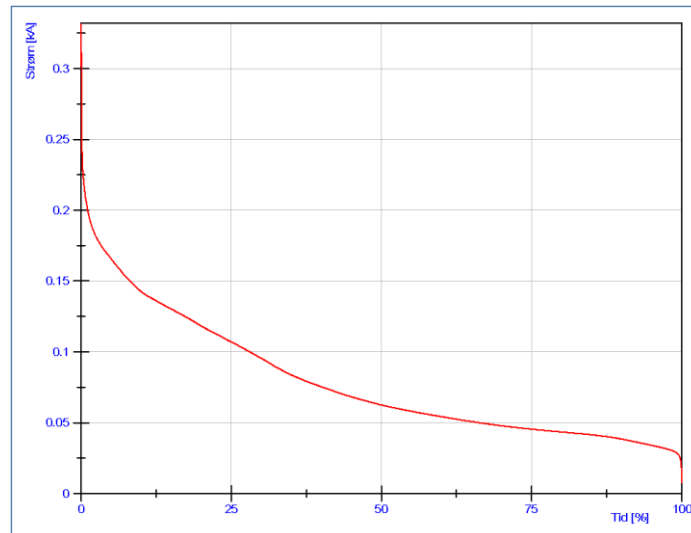
#### 4.3.7 Bergen omformerstasjon

Bergen omformerstasjon ble bygget i 1993 og ligger på km 471. Stasjonen er i dag normalt bestykket med 1 x 5,8 MVA roterende aggregat. Fra torsdag 11.03 til og med onsdag 17.03 2010 ble målinger utført på stasjonen. Målerapporten er gitt i Vedlegg 7. 2-sekunders maksimalbelastning er målt til 92,3 % av stasjonens kapasitet. Det er heller ingen redundans, da det kun er ett aggregat installert. Målingene viser at effektpendlinger ved ensidig mating kan være et problem i denne stasjonen. Målte maksimalverdier blir vist i Tabell 8.

Tabell 8. Målt maksimalbelastning på Bergen omformerstasjon

Belastning	Maksimal belastning og prosent ift. installert kapasitet					
	2 sek		6 min		1 time	
	[A]	[%]	[MVA]	[%]	[MVA]	[%]
Målt	554	92,3	3,45	43,1	2,17	37,4

En varighetskurve over belastning i Bergen omformerstasjon en tilfeldig hverdag, tirsdag 16.03.2010, er vist i Figur 14.



Figur 14. Varighetskurve for belastning i Bergen, tirsdag 16.03.2010

#### 4.3.8 Sammenligning av simulerte og målte verdier

For stasjonene hvor det foreligger høyoppløselig målinger, er målte belastningsverdier sammenlignet med simulering av dagens driftsituasjon. Målingene i Bergen, Dale og Mjølfjell viser en maksimal belastningsstrøm i loggeperioden på henholdsvis 554 A, 586 A og 470 A. Simuleringsresultatene i Vedlegg 8 gir henholdsvis en maksimal strøm på 537 A, 599 A og 475 A. Den høyeste målte belastningsstrømmen i Bergen ble registrert når det trafikkerte kun ett persontog av type 73 samtidig som det startet en serie pendlingsforløp. Derfor kan denne verdien ikke sammenlignes med den simulerte maksimalverdien for Bergen.

Avviket mellom målte og simulerte verdier for Dale og Mjølfjell er på henholdsvis 2,2 % og 1,1 %. Det er for øvrig ikke gjort nærmere undersøkelser av målte og simulerte belastningskurver over lengre tidsperioder. Bergensbanen har enkeltsporet drift over mesteparten av strekningen og er slik sett ansett som mindre komplisert å modellere enn områder hvor mange tog er i bevegelse samtidig. Simuleringsverktøyet er også benyttet i en rekke tidligere utredninger, deriblant Dovrebanen (12) som også er dominert av enkeltsporet drift. Her ble det også funnet at avvik mellom simulerte og målte maksimalverdier var lave. På bakgrunn av overnevnte, samt at det er maksimalverdiene som er dimensjonerende for banestrømforsyningen, blir ikke en nærmere studie av dette ansett som nødvendig for utredningen. De dokumenterte lave avvikene viser at simuleringsverktøyet er egnet til å kunne beregne forventet maksimalbelastning med et relativt lavt usikkerhetsnivå.

## 4.4 Kraftoverføring

### 4.4.1 Kontaktledning

Kontaktledningsanlegget mellom Hønefoss og Bergen ble hovedsakelig bygget mellom 1954 og 1964. Enkelte strekninger har blitt fornyet eller revidert på senere tidspunkt, som vist i Tabell 9. Tilsvarende informasjon om tilgrensende kontaktledningsanlegg mot Bergensbanen er gitt i Tabell 10. Enkeltmaster og korte strekninger er ikke angitt, og angitte lengder er omtrentlige. All informasjon er hentet fra BaneData (11). Andelen av kontaktledningsanlegget som ble bygget før 1965, og ikke har vært endret siden, er over 70 %.

**Tabell 9. Alder på kontaktledningsanlegget mellom Hønefoss og Bergen.**

Strekning	Lengde	Bygd	Type	Revisjoner
Hønefoss – Bergheim	100	1963 - 1964	Tabell 54	
Bergheim - Nesbyen	5	1963 - 1964	System 20 A	
Nesbyen - Haugastøl	90	1963 - 1964	Tabell 54	
Haugastøl – Tunga	11	1964	System 35 MS	1999
Tunga – Finse	13	1996 -1998	System 25	
	2	1964	Tabell 44	
Finse – Fagernut	16	1993	System 20 A	
Fagernut – Myrdal	18	1964	Tabell 54	
Myrdal – Mjølfjell	5	2005	Tabell 54	
	12	1964	Tabell 54	2000
Mjølfjell – Voss	33	1964 – 1965	Tabell 54	
Voss – Bulken	5	1990	System 20 CS2	
Bulken – Evanger	13	1954	Tabell 54	
Evanger – Bolstadøyri	10	1954	System 35 MS	1988 – 1989
Bolstadøyri – Dale	10	1988	System 20 CS2	
Dale – Stanghelle	9	2001	System 20 B	
Stanghelle – Vaksdal	13	1999	System 20	
Vaksdal – Trengereid	5	1964	Tabell 54	
Trengereid – Arna	10	1954	Tabell 54	
Arna – Bergen	10	1996 - 1999	System 20 CS2	

**Tabell 10. Alder på tilgrensende kontaktledningsanlegget mot Bergensbanen**

Strekning	Lengde	Bygd	Type	Revisjoner
Roa - Hønefoss	31	1960	Tabell 54	
Hokksund - Hønefoss	52	1959	System 35 MS	

Det er gjort tilstandsvurderinger (13), (14), (15) på strekningene Haugastøl – Lågheller, Langhelle – Tunestveit og Trengereid – Takvam. Tilstandsvurderingene konkluderer med at store deler av anleggene er ”nedslitt og overbelastet”, og ”arbeider på slutten av sin mekaniske og elektriske levealder”. Mange komponenter har utilstrekkelig tverrsnitt og overføringsevne, og en rekke avvik fra krav i teknisk regelverk JD542 og JD540 er dokumentert. Det blir konkludert (14) med at anleggene er i så dårlig forfatning at det må settes inn større tiltak dersom punktlighet skal opprettholdes, og det anbefalte tiltaket er å bygge nytt kontaktledningsanlegg. Det kommer klart frem at man ikke kan “forvente at kontaktledningsanlegg varer i mer enn 60 år”. Dette er i samsvar med forventet teknisk levetid i denne utredningen, angitt i kapittel 3.4.2.

#### **4.4.2 Forsterkningsledning**

Forsterkningsledningen mellom Haugastøl og Mjølfjell har kun én strømførende leder og ble bygget mellom 1962 og 1963. I tillegg til å øke overføringsevnen på linjen benyttes FSL også som forbigangsleder ved arbeider på kontaktledningen. Det ble i 2009 utført en tilstandskontroll (16) på linjen, som fastslo at utbedringer på linjen er nødvendig for fortsatt drift. Tilstandskontrollen konkluderte med at en rehabilitering til 2,15 MNOK vil være tilstrekkelig for å kunne øke levetiden frem til 2021 – 2024. Etter dette vil den tekniske levetiden til linjen være over, og en nyinvestering vil være nødvendig dersom den skal ha samme funksjon som per i dag.

Den anbefalte rehabiliteringen vil ikke være tilstrekkelig til å montere en ekstra fase på masterekken, slik at AT-linjer kan fremføres på de eksisterende mastene, og en slik montasje ansees til å være ulønnsomt i forhold til nyinvestering. Av den opprinnelige linjelengden på 55 km med egen masterekke, er det i dag kun 28,6 km som er i drift. Ved en nyinvestering, anses det likevel som mulig å benytte hele den originale traséen dersom det skulle være behov. Det må tas hensyn til eventuelle problemer tilknyttet lokale forhold, deriblant ytre miljø, spesielt dersom antall forbindelser mellom forsterkningsledning og kontaktledning skal økes fra dagens nivå. Dersom FSL fornyes i sin nåværende form antas det at denne likevel må oppgraderes med en returleder.

#### **4.4.3 Trefase kraftoverføring til matestasjoner**

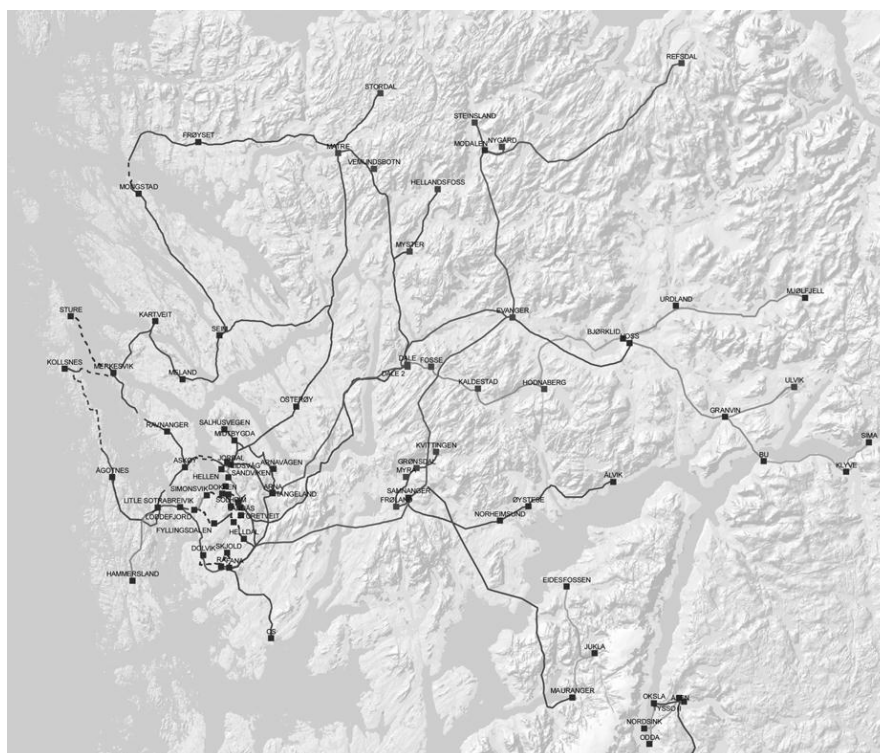
Det vil normalt være ønskelig å tilknytte nye omformerstasjoner til 66 kV trefasenett, men 132 kV-nett og sterke 22 kV-nett kan også være akseptabelt. Ved vurdering av ulike plasseringer for en ny omformerstasjon vil ofte tilknytningskostnader til overliggende trefasenett utgjøre en stor del av kostnadsforskjellen mellom ulike alternativer, og dette kan være avgjørende for valg av plassering av omformerstasjoner. Spenningsnivå på trefase forsyning til eksisterende omformerstasjoner på Bergensbanen er vist i Tabell 11.



**Tabell 11. Spenningsnivå på trefase forsyning til eksisterende omformerstasjoner.**

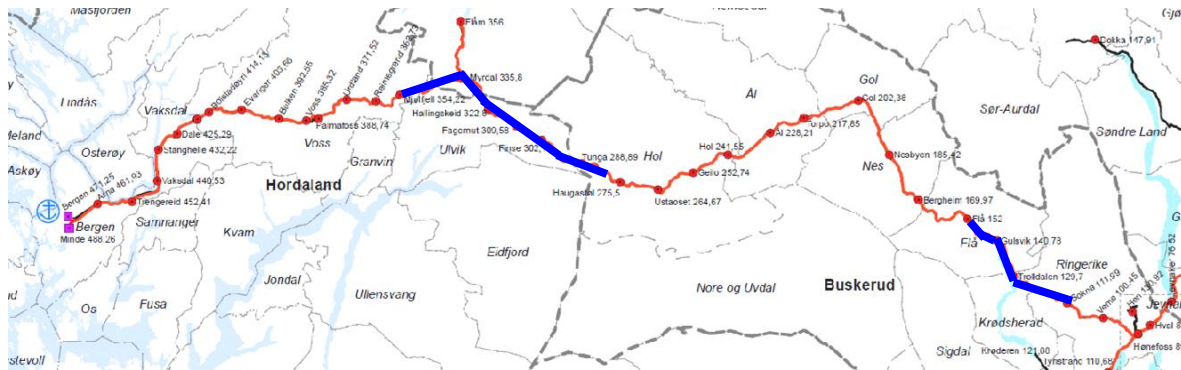
Stasjon	Spenningsnivå [kV]
Bergen	11
Dale	47
Haugastøl	66
Hønefoss	22
Mjølfjell	47
Nesbyen	66

Overliggende forsyningsnett på spenningsnivåer 45-132 kV i Hordaland er vist i Figur 15. Det er et relativt sterkt overliggende nett mellom Bergen og Voss, som representerer en rekke potensielle matepunkter for jernbanen med høy spenningskvalitet og oppetid. Voss er det siste området langs jernbanesporet hvor tosidig mating er mulig. Fra Voss blir Mjølfjell per år 2012 ensidig matet via en 45 kV linje.



**Figur 15. Oversikt over trefase forsyning på spenningsnivåer 45-132 kV i Hordaland. (17)**

Det er ingen egnede tilknytningspunkter for omformerstasjoner til trefase nett over Finse mellom Mjølfjell og Ustekveikja, noen km vest for Haugastøl. På denne strekningen går det kun en 420 kV linje, som det anses som uhensiktsmessig dyrt å tilkoble en omformerstasjon til. Fra Haugastøl følger en 66 kV linje jernbanesporet inntil Nesbyen, hvor en 132 kV linje overtar og følger sporet til Flå. Mellom Flå og Sokna, ca 15 km vest for Hønefoss, er det ingen egnede tilknytningspunkter. Strekningene langs Bergensbanen med begrensede muligheter for tilknytning til egnede trefasenett er vist med blå farge i Figur 16.



Figur 16. Strekninger med begrensede muligheter for tilknytning til trefasenett, gitt i blått.

JBV har ikke eierskap til trefasenettet som forsyner omformerstasjonene på Bergensbanen. Lokale energiselskaper er ansvarlige for tilstanden på nettet, og tilstandsvurderinger for dette nettet inngår derfor ikke i denne utredningen. Det forutsettes at eiere av nettet ivaretar en tilstrekkelig oppetid og leveringskvalitet til JBV. KILE-ordningen (Kvalitetsjusterte Inntektsrammer ved ikke Levert Energi) er et insentiv for dette.

## 4.5 Forsyningssikkerhet

### 4.5.1 Tilgjengelighet i kontaktledningsanlegget

Brudd i kontaktledningen medfører stans i togtrafikken forbi bruddstedet inntil feilen er utbedret. For en 120 km matestrekning med AT-system vil kapasiteten i verste tilfelle reduseres fra 19,3 MW til 6,5 MW. (12) Dette vil likevel ikke vurderes som kritisk fordi ingen tog kan passere bruddstedet, og togtrafikken reduseres dermed kraftig. En kan derfor anta at en ikke kan redusere konsekvensene for togtrafikken ved feil på kontaktledningen i vesentlig grad ved systemmessige tiltak. Det tiltaket som best reduserer konsekvensene ved feil på kontaktledningen, er god beredskap og rask reparasjonstid (MTTR). God beredskap og lav reparasjonstid er det mest kostnadseffektive tiltaket en har for å redusere konsekvensene ved feil på kontaktledningsanlegget.

Ved utformingen av systemet, vil rask innkopling av feilfrie deler være av en viss betydning, slik at togene skal ha mulighet til å kjøre fram til nærmeste stasjon og organisere alternativ transport. Ettersom det ikke er veiforbindelse på stasjonene mellom Haugastøl og Mjølfjell, vil alternativ transport kunne være problematisk å oppnå. Det vil uansett være fordelaktig for togene å posisjonere seg nærmest mulig feilstedet for å kjøre videre etter at reparasjonen er ferdig. For å oppnå dette, er det viktig med rask gjeninnkopling av feilfrie strekninger. Kapasiteten til banestrømforsyningen i slike situasjoner er likevel ikke kritisk, ettersom det ikke vil være påkrevet at toget kjører med full hastighet inn mot feilstedet.

Dette er ulikt situasjonen for dobbeltspor, der en kan ha enkeltsporet drift forbi feilstedet. For dobbeltspor er det derfor viktigere med rask gjeninnkopling og stor kapasitet under feilsituasjonen enn det er for enkeltspor.

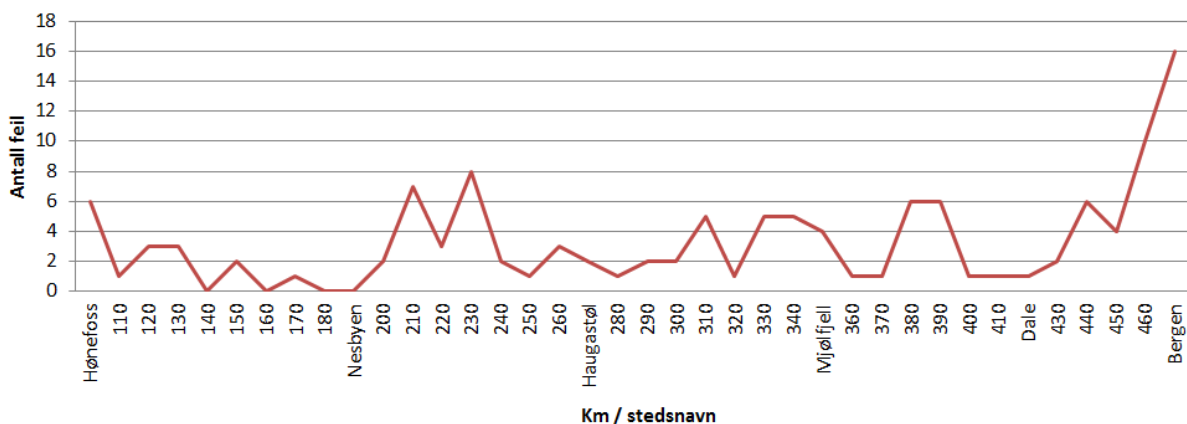
Det er hentet ut feilstatistikk fra Banedata for perioden 1. januar 2007 til 1. januar 2010 for korrektivt vedlikehold på kontaktledning på ulike banestrekninger. Det er her registrert 70 feil med driftsforstyrrelser (togforsinkelse eller innstilling) på Bergensbanen i den angitte perioden. Det gir en feilrate på 0,063 feil/km/år. Dette er vesentlig høyere enn feilraten på Dovrebanen og Sørlandsbanen i den samme tidsperioden, med feilrater på henholdsvis 0,047 og 0,034 feil/km/år i samme tidsperiode.

Feilraten er ikke lik over hele Bergensbanen. I tidsperioden nevnt over var feilraten på strekningen Hønefoss – Haugastøl på 0,048 feil/km/år, i mens strekningen Haugastøl – Bergen lå på 0,074. Dette er et tegn på at kontaktledningsanlegget vest for Haugastøl er i dårligere forfatning enn resten av Bergensbanen.

I perioden 1. januar 2010 til 1. januar 2012 økte feilraten til kontaktledningsanlegget på Bergensbanen videre fra 0,063 til 0,073 feil/km/år, en forverring på 15,7 %. Også i denne tidsperioden var feilraten vesentlig høyere vest for Haugastøl enn øst (0,082 mot 0,061 feil/km/år).

Feilraten langs Bergensbanen er illustrert i Figur 17. I denne grafen er alle feil gruppert per 10km mellom Hønefoss og Bergen. X-aksen viser km fra Oslo S, enkelte stedsnavn er satt inn for å øke leservennligheten. Grafen bekrefter at feilraten er noe høyere vest for Haugastøl enn øst. Strekningen Bergen – Arna skiller seg ut med vesentlig flere feil enn øvrige strekninger. Med unntak av enkelte andre mindre topper, viser grafen at feilraten er relativt jevnt fordelt utover strekningen.

Feilhyppigheten i grafen under kan sammenlignes med anleggsalderen gitt av Tabell 9. Kontaktledningsanlegget i området rundt Dale ble bygget mellom 1988 – 2001 og har lavere feilrate enn gjennomsnittet for strekningen. For øvrig er feilraten enda lavere mellom km 160 og 200, hvor anleggene ble bygget i 1964 og dermed er vesentlig eldre. Strekningen Arna – Bergen har en feilrate langt over gjennomsnittet på tross av at kontaktledningsanlegget her ble bygget så sent som 1996 – 1999. Det er derfor vanskelig å se noen tydelig sammenheng mellom alder og feilrate. For øvrig kommer det ikke frem av grafen hva slags feil det gjelder, og enkelte feiltyper behøver ikke nødvendigvis å skyldes kontaktledningsanlegget i seg selv. Nedrivning av kontaktledning er et eksempel på en slik feil, og det er derfor ikke mulig å si noe konkret om sammenhengen mellom alder og feilrate utelukkende fra denne dataen.



Figur 17. Antall feil på Bergensbanen i perioden 2007 – 2012. (11)

Flere faktorer kan bidra til å forklare forskjellen i feilrate mellom banestrekningene:

- Bergensbanen har et vesentlig høyere antall tunneler og snøoverbygg, som gir utfordringer forbundet med dynamiske egenskaper, korte avstander og tilleggsbelastninger grunnet vann og is
- Deler av Bergensbanen er utsatt for svært ugunstige værforhold
- Ulik alder på kontaktledningsanlegg
- Ulik togtrafikk og benyttet togmateriell
- Det kan være forskjeller i hvordan vedlikehold utføres på de ulike banestrekningene
- Det kan være forskjeller i hvordan feil registreres på de ulike banestrekningene

Gjennomsnittlig reparasjonstid (MTTR) for kontaktledningsanlegg er tidligere antatt lik 5 timer, men det mangler underlag for denne antakelsen.

Følgende feilrater legges til grunn i denne utredningen:

**Tabell 12. Feilrater i kontaktledningsanlegg**

Type KL-anlegg	Banestrekning	Feilrate $\lambda$ [feil per km. per år]
Gammelt KL-anlegg	Bergensbanen	0,073
Nytt KL-anlegg	Sørlandsbanen	0,01 – 0,015
AT-system	Anslått i (18)	0,061 – 0,070
AT-system	Anslått i (5)	0,02 – 0,025

Fornyelse av kontaktledningsanlegget vil redusere antall feil i kontaktledningen. Fornyelse til tradisjonell kontaktledning ville gi større reduksjon i antall feil enn fornyelse til AT-system. Dette kan forklares med at AT-systemet har flere komponenter som det kan oppstå feil på. Likevel er AT-systemet designet på en måte som skal gjøre at hver feil får mindre konsekvenser for togtrafikken, og dermed får lavere kostnadskonsekvens.

I tunneler med spesielt trange profiler antas det at arealmangel er årsak til en del av feilene som oppstår. Dersom profilene i disse tunnelene ikke endres ved fornyelse av KL, vil forbedringspotensialet for feilraten kunne være lavere enn for anlegg på fri linje eller i tunneler med større profil. Det forutsettes for øvrig at nye anlegg prosjekteres slik at en akseptabel feilrate oppnås, og at dette forholdet kan neglisjeres på utredningsnivå.

#### 4.5.2 Tilgjengelighet for omformerstasjoner

Utfall av en enkelt omformerenhet i en omformerstasjon skal ikke gi konsekvenser, da stasjoner skal ha minst ett redundant aggregat. Det kan likevel oppstå samtidig feil på flere aggregater, og i slike tilfeller vil omformerstasjonen ikke kunne betjene dimensjonerende belastning.

Konsekvensen ved utfall av all ytelse fra en omformerstasjon blir at nabostasjonene må mate strekningen alene. For 130 km AT-system er det i (5) beregnet at slikt utfall i hovedsak kan gi begrensning i togfølgetid, men at det i en slik situasjon likevel vil være mulig å framføre tog med stor ytelse. Konsekvensen ved utfall av en hel omformerstasjon vil derfor i verste tilfelle, ved tett trafikk, bli forsinkelse for noen av togene.

For å unngå overlast på nabostasjoner ved utfall av en hel omformerstasjon, er det viktig at all tilgjengelig ytelse i de tilgrensende omformerstasjonene koples inn i en slik situasjon. Pådragsbegrensning for tog vil også være et aktuelt tiltak i en slik situasjon.

Bane Energi mangler i dag underlag for å kunne bestemme gjennomsnittlig feilhyppighet (MTBF) og reparasjonstid (MTTR) for ulike typer omformerenheter. For beregning av tilgjengelighet benyttes derfor nedenstående alternative tilnærming, som kun kan gi gjennomsnittlige verdier angitt per år.

Fra Bane Energi sin ytelsesstatistikk for 2006, 2007 og 2008 er det beregnet (5) en gjennomsnittlig nedetid mot feil på 70,2 timer per år for hver statiske omformerenhet, og 14,7 timer per år for hver roterende omformerenhet. Tallene omfatter ikke utetid for planlagt vedlikehold.

Fra tallene over kan følgende tabell utarbeides over forventet antall timer per år med samtidig feil på to eller flere omformerenheter i samme omformerstasjon.

**Tabell 13. Forventet antall timer per år med samtidig feil på to eller flere omformerenheter i samme omformerstasjon**

<b>Antall omformerenheter i stasjonen</b>	<b>Nedetid med statiske omformerenheter [timer/år]</b>	<b>Nedetid med roterende omformerenheter [timer/år]</b>
2 stk	0,563	0,025
3 stk	1,68	0,074
4 stk	3,34	0,148

Dersom en omformerstasjon er utstyrt med to statiske omformere, blir stasjonens utetid på 0,563 timer per år. Dersom omformerstasjonen alternativt er utstyrt med 4 roterende omformere er to eller flere av de fire omformerenhetene nede samtidig i ca. 0,148 timer per år.

Det finnes også utrustning i omformerstasjonene som er felles for hele stasjonen, og der enkeltfeil kan medføre utfall av hele stasjonen. Feilraten på denne utrustningen forutsettes likevel så lav at disse feilene ikke tas hensyn til i oppetidsvurderingen. Dette gjelder følgende utrustning:

- Totalstopp (kopler fra alle bryterne i hele stasjonen, benyttes ikke i nye stasjoner)
- Brannvarslingsanlegg (utløser totalstopp i stasjoner hvor denne funksjonen foreligger)
- Utgående koplingsanlegg (16 kV). Feil på samleskinnen vil stoppe utmating fra stasjonen.
- Innkommende koplingsanlegg. Feil på samleskinnen vil stoppe innmating til stasjonen.

Det vil være mulig å gjennomføre tiltak slik at disse elementene i større grad blir uavhengige for de ulike anleggsdelene. For eksempel blir det i nye anlegg bygget separat nødstop for ulike anleggsdeler i stedet for en felles totalstopp. Innkommende forsyning kan deles inn i flere seksjoner med hver sin mating fra overliggende nett, og utgående forsyning kan også seksjoneres. Slike tiltak bør vurderes i hovedplan for det enkelte anlegg. Utfall av en hel omformerstasjon vil normalt kun skje i forbindelse med feil på felles utrustning for hele stasjonen, først og fremst innkommende strømforsyning.

## 5 FREMTIDIGE FORHOLD, TILTAK OG INVESTERINGSBEHOV

### 5.1 Fremtidige banestrekninger og kryssingsspor

Det er forutsatt at alle kryssingsspor kan benyttes for kryssing mellom 2 godstog. Planlagte infrastrukturtiltak er forlengelse av Bolstadøyri- og Ygre kryssingsspor, nytt kryssingsspor på Vieren og dobbeltspor mellom Bergen og Arna. Det forutsettes at det vil bli realisert et sett med infrastrukturtiltak som gjør det mulig å realisere driftskonseptet gitt i ruteplanskissene beskrevet i kapittel 5.1.2.

Prosjektet for utbygging av Ulriken tunnel er allerede i gang, og vil føre til dobbeltspor mellom Bergen og Arna. I dette prosjektet blir også AT-system på begge sporene på strekningen ivaretatt. Prosjektet er planlagt ferdigstilt i 2018 (19). Ettersom prosjektet allerede har startet opp med eget budsjett, inngår ikke kostnaden av AT-system på denne strekningen i de økonomiske beregningene for denne utredningen.

#### 5.1.1 Trekkraftbegrensning for gods- og persontog

I målsettingen for utvikling av Bergensbanen er det lagt opp til at banen skal kunne avvikle en tredobling av dagens godsvolum mellom Oslo og Bergen innen år 2040. 1200 tonn gods per godstog er forventet.

Alle godstogene i simuleringer av fremtidig trafikk er simulert med lokomotiver av type TRAXX BR185, på 1200 tonn. Ett slikt lokomotiv vil normalt kunne trekke rundt 1100 tonn. Økning av lastvekten til 1200 tonn, i henhold til dimensjoneringskriteriet, medfører behov for et ekstra lokomotiv. Derfor er det i simuleringen tatt utgangspunkt i doble lokomotiver. De doble lokomotivene er gitt en pådragsbegrensning på 75 %, og dette er i utredningen dimensjonerende for den høyeste belastningen på strømforsyningen påført av godstog på Bergensbanen i 2040. Det er videre forventet at Tp74/75 persontog vil bli driftet på Bergensbanen med dobbeltsett i år 2040. Alle persontog simuleres derfor med denne typen og dobbeltsett. Dimensjonerende materiell for gods- og persontog som er lagt til grunn i utredningen er i henhold til avklaringer av fagrådet.

#### 5.1.2 Kapasitetsoptimal ruteplan

Den fremtidige ruteplanen som legges til grunn er kapasitetsoptimal, og innbefatter et maksimalt fremtidig driftskonsept for et tidsrom med maksimal belastning. Konseptet innebærer dermed den høyeste trafikkavviklingen som kan gjennomføres ved normal drift på Bergensbanen, innenfor den utbyggingen av infrastruktur en kan forvente frem til 2040.

Ruteplanen består i hovedsak av følgende togtrafikk:

- Godstog på 1200 tonn hvert 55. minutt i hver retning mellom Grefsen og Bergen over Roa og Hønefoss
- 2,5 regiontog i gjennomsnitt hver time i hver retning mellom Bergen og Voss
- 4 lokaltog hver time i hver retning mellom Bergen og Arna
- 1 lokaltog hver time i hver retning mellom Myrdal og Flåm

Nærmere detaljer om ruteplanen som ligger til grunn er gitt i overleveringsnotat for ruteplanen i Vedlegg 9, samt simuleringsrapporten i Vedlegg 8.

### 5.1.3 Planlagte fornyelsestiltak

Det er viktig med en koordinering mellom fornyelsestiltakene som forutsettes og anbefales i denne utredningen og Jernbaneverkets vedlikeholdsplaner. I Jernbaneverkets 10-års vedlikeholdsplan fra 2012 er det satt av totalt 147,6 MNOK til fornyelse og oppetidstiltak for kontaktledningsanlegg på Bergensbanen frem til år 2022. Disse er fordelt slik at strekningen Langhelle – Tunestveit får 15 MNOK i perioden 2013-2014, og så 55 MNOK i perioden 2019-2021. For øvrige kontaktledningsanlegg er det satt av 77,6 MNOK for årene 2020-2021, og ingen midler i årene før.

Disse summene er endret i Jernbaneverkets forslag til 10-års vedlikeholdsplan for år 2013, hvor totalsummen er redusert til 109,8 MNOK. Strekningen Langhelle – Tunestveit får samme sum som forutsatt i 2012, men øvrige oppetidstiltak for kontaktledningsanlegg blir nesten halvert til 39,8 MNOK. Alle fornyelsestiltak etter 2014 er ett år utsatt i den nye planen. Det er ikke satt av noen midler til fornyelse av banestrømforsyningsanlegg frem til år 2023.

Utredningen tar de gjeldende vedlikeholdsplanene til etterretning, og påpeker avvik fra konklusjoner der det er relevant. Som det kommer frem av kapittel 3, skal utredningen komme frem til den kostnadsoptimale løsningen for fremtidig banestrømforsyning på Bergensbanen. Det forutsettes derfor at utredningens konklusjoner ligger til grunn for evaluering og eventuell oppdatering av gjeldende planer. Dagens fornyelsesplaner skal ikke være begrensende for de tiltak som undersøkes eller utredningens anbefalinger.

### 5.1.4 Planlagte investeringstiltak

Det er svært variabel alder på de ulike delstrekningene, selv om en klar overvekt av kontaktledningsanlegget er bygget før 1965. Av strekningen fra Hønefoss til Arna er ca. 70 km bygget etter 1980, og skiller seg derfor ut ved å være av noe nyere dato. Det siste stykket mellom Arna og Bergen er også relativt nytt, men blir uansett byttet ut i eksisterende prosjekt for Ulriken. Dermed er det ca. 60 av 370 km som ut ifra alderen ikke nødvendigvis må fornyes på bakgrunn av tekniske forhold i løpet av utredningens analyseperiode.

Eventuelle fornyelsestiltak som i denne utredningen anbefales gjennomført før teknisk levetid har utgått blir i praksis investeringer og ikke fornyelser. Dette vil typisk være nødvendig dersom den forventede økte togtrafikken krever økt kapasitet, og dette trigger en tidligere fornyelse enn hva som ellers ville ha vært tilfelle. Et eksempel fra Tabell 9 vil være 13 km mellom Tunga og Finse som ble fornyet med System 25 i årene 1996-1998.



For øvrig er alder ingen sikker indikator på tilstand, noe som kommer klart frem i kapittel 4.5.1. Nyere utskifting kan også tyde på at dette nettopp er strekninger med høyere påkjenning enn andre deler av Bergensbanen. Det vil kunne være lokale forhold som tilsier at kontaktledningsanlegget på noen delstrekninger bør skiftes ut på et tidligere tidspunkt enn etter 60 års levetid. Tilsvarende vil noen delstrekninger sannsynligvis kunne driftes i et antall år etter passert forventet teknisk levealder. Enkelte nyere delstrekninger kan muligens oppgraderes relativt enkelt, for eksempel til AT-system ved benyttelse av spir og barduner.

Som det kommer frem av kapittel 3.1 er denne utredningen av overordnet art, og det forutsettes at lokale forhold som nevnt over blir tatt hensyn til i senere hovedplanarbeid. Utredningen forutsetter nye anlegg der tiltak gjennomføres. Dersom fornyelser basert på tilstandskontroller og nye trafikkprognoser kan utsettes, eller nyere anlegg kun behøver mindre oppgraderinger, vil dette kunne gi kostnadsbesparelser for de enkelte delstrekningene. Dette gjelder også dersom det i senere planarbeid blir funnet lønnsomt med lokale midlertidige tiltak i påvente av de langsiktige tiltakene denne utredningen anbefaler. Utredningens usikkerhetsanalyse belyser denne typen problemstillinger.

## 5.2 Vurderte alternative tiltak

### 5.2.1 Resultat fra idédugnad

Det har vært gjennomført et fagrådsmøte, hvor fagrådet hadde anledning til å komme med innspill om spesielle forhold som burde tas hensyn til i utredningen. I dette møtet ble også ulike mulige løsninger for strømforsyningen på Bergensbanen diskutert. Referatet fra fagrådsmøtet 16.3.2010 er gitt i Vedlegg 10.

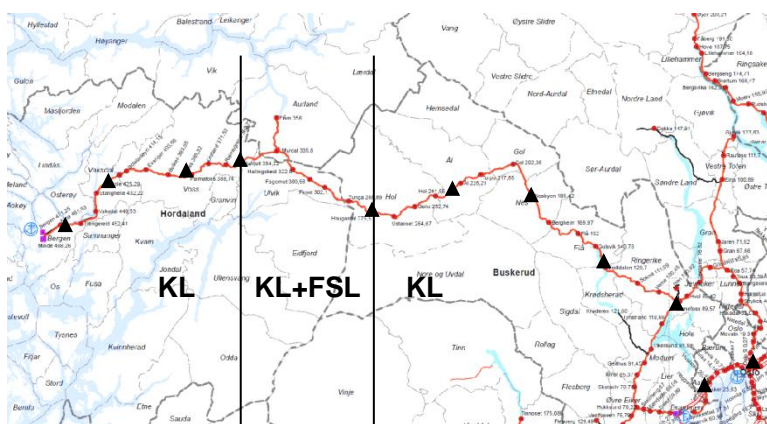
I fagrådsmøtet ble 4 ulike alternativer for fremtidig banestrømforsyning på Bergensbanen foreslått, i tillegg til referansealternativet. I etterkant har enda et alternativ blitt foreslått. Disse alternativene er ulike med hensyn til både type kontaktledningsteknologi og omformerplasseringer. Omformerytelser er ikke vurdert i alternativene, da dette vil bli anslått ut ifra trafikksimuleringer. Konkret omformerytelse i hver ny stasjon bør avgjøres i hovedplanene for disse. Alle alternativene er gjengitt og beskrevet i dette kapittelet.

Bergen omformerstasjon har kun ett aggregat, og tilfredsstillende dermed ikke krav i teknisk regelverk (10) til redundans. Omformerstasjonen er plassert i en fjellhall midt i Bergen ved togstasjonen, med svært begrensede muligheter for utvidelse. For å kunne øke omformerytelsen og tilfredsstillende krav til redundans, har det derfor vært en føring fra fagrådet om at Bergen omformerstasjon skal forutsettes nedlagt. Dette fører til at en ny omformerstasjon må bygges i nærheten, og Arna har vært ansett som en fornuftig lokasjon.

## 5.2.2 Alternativ 0 (referansealternativ med kun tradisjonell KL)

Referansealternativet forutsetter at anlegg på Bergensbanen fornyes med samme teknologi som dagens. Denne forutsetningen innebærer at AT-system ikke bygges på Bergensbanen, utover det forutsatt i utredning av banestrømforsyning på Gjøvikbanen. Tradisjonell kontaktledning blir derfor fornyet på strekningen Hønefoss-Bergen. Mellom Haugastøl og Mjølfjell blir forsterkningsledningen fornyet slik den er i 2012. Ny FSL blir bygget med både 15 kV forsterkningsleder og returleder. Kun Bergen omformerstasjon blir lagt ned, og for å kompensere for økt belastning blir nye stasjoner bygget på Arna, Voss, Ål og Gulsvik. Hønefoss omformerstasjon må beholdes.

Forutsetningene for alternativet er vist grafisk i Figur 18, hvor omformerstasjoner er markert med svarte trekkanter.

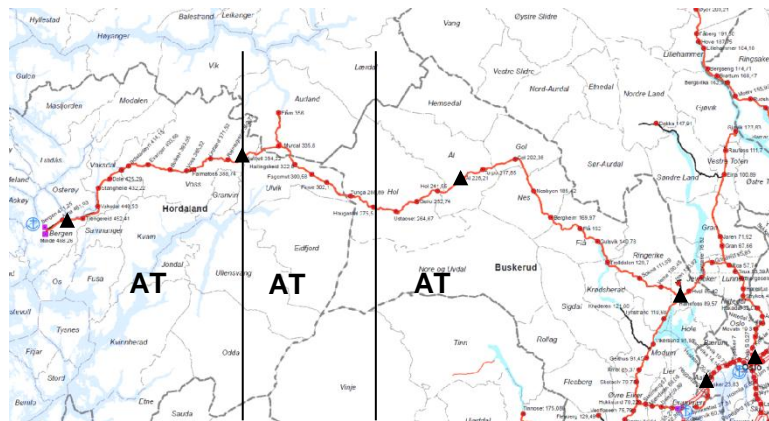


Figur 18. Omformerplasseringer for alternativ 0.

## 5.2.3 Alternativ 1, 2, 4, 5

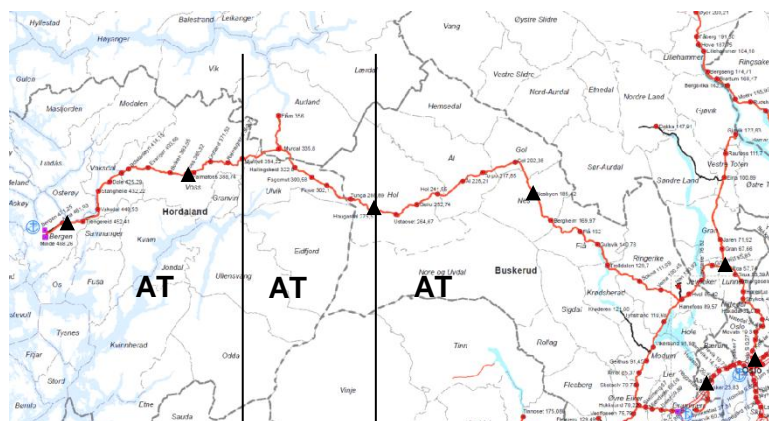
Disse alternativene forutsetter at AT-system kan bygges gjennomgående langs hele Bergensbanen. Traseen til FSL benyttes til fremføring av PL og NL på eventuelle strekninger hvor det er spesielt vanskelig å fremføre disse langs sporet. Det blir dermed kun plassering av omformerstasjoner som skiller delalternativene.

Alternativ 1, vist i Figur 19, forutsetter omformerstasjoner på Arna, Mjølfjell, Ål og Hønefoss. Dette alternativet er senere forkastet, ettersom denne utredningen forutsetter at Hønefoss nedlegges og Lunner beholdes. Den lange avstanden mellom Ål og Lunner, ca. 160 km, anses å være for lang til å kunne gi akseptable spenningsverdier for togene.



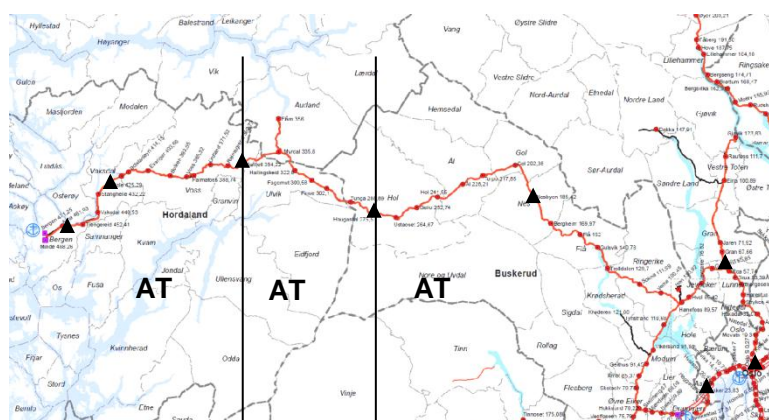
**Figur 19. Omformerplasseringer for alternativ 1.**

Alternativ 2, vist i Figur 20, forutsetter omformerstasjoner på Arna, Voss, Haugastøl, Nesbyen og Lunner.



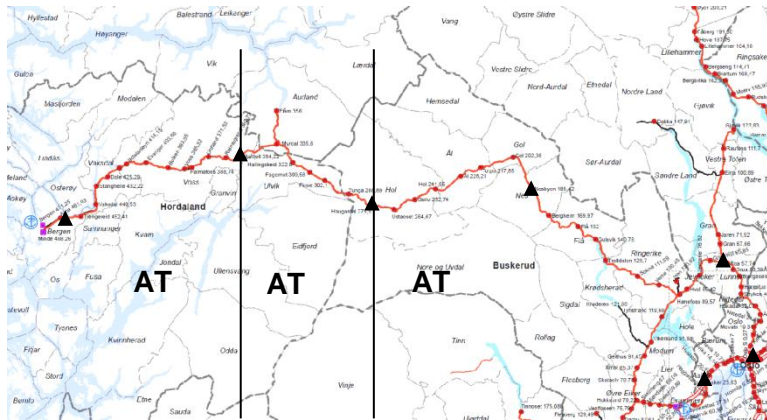
**Figur 20. Omformerplasseringer for alternativ 2.**

Alternativ 4, vist i Figur 21, forutsetter omformerstasjoner på Arna, Dale, Mjølfjell, Haugastøl, Nesbyen og Lunner.



**Figur 21. Omformerplasseringer for alternativ 4.**

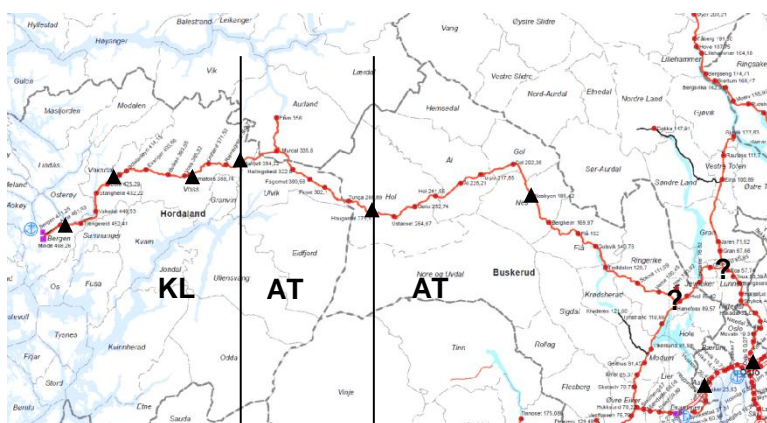
Alternativ 5, vist i Figur 22, er et alternativ som ble foreslått etter fagrådsmøtet og representerer alternativ 4 uten Dale omformerstasjon. Alternativet er også nesten identisk med alternativ 2, med den forskjellen at en av de nye omformerstasjonene plasseres på Mjølfjell i stedet for Voss.



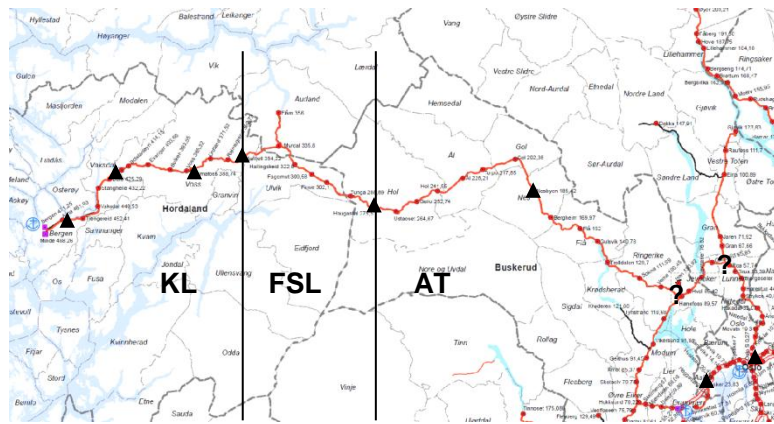
Figur 22. Omformerplasseringer for alternativ 5.

## 5.2.4 Alternativ 3A, 3B

Det forutsettes i alternativ 3A og 3B at AT-system kan bygges mellom Hønefoss og Mjølfjell, men at tradisjonell kontaktledning må fornyes på strekningen mellom Haugastøl og Bergen. Alternativet er så delt i to delalternativer. Alternativ 3A forutsetter at AT-system kan bygges mellom Haugastøl og Mjølfjell, men alternativ 3B forutsetter at FSL fornyes på denne strekningen i stedet. Traseen til FSL benyttes til fremføring av PL og NL på eventuelle strekninger hvor det er spesielt vanskelig å fremføre disse langs sporet.



Figur 23. Omformerplasseringer for alternativ 3A.



Figur 24. Omformerplasseringer for alternativ 3B.

## 6 SIMULERINGSRESULTATER OG TEKNISKE VURDERINGER

### 6.1 Generelt

I simuleringsrapporten, Vedlegg 8, blir de tekniske egenskapene til hvert alternativ vurdert. Fokusområdene for de tekniske vurderingene er spenningen på togenes strømvaktaker, strømføringsevne for kontaktledningen, NL- og PL-lederne, og belastning av omformerstasjoner. Alternativ 1 ble som nevnt i kapittel 5.2.3 forkastet, og er derfor heller ikke simulert.

Spenningen på togets strømvaktaker skal iht. teknisk regelverk alltid være over 13,0 kV i normaltilstand, og over 12,0 kV i avvikssituasjoner og unormale driftssituasjoner, for eksempel i forbindelse med brudd i samkjøringen på grunn av uforutsette hendelser eller planlagt arbeid. Dette kravet gjelder for prosjektering av nye anlegg.

Belastningen av omformerstasjonene er avgjørende for hvor stor ytelse som skal installeres. Da installert ytelse er svært kostbart, er det viktig å anslå en belastning som er mest mulig riktig. For øvrig legges det også marginer til grunn ved vurdering av dimensjonering for å sikre seg sikker drift, i henhold til krav i teknisk regelverk.

Ettersom ruteplanen er kapasitetsoptimal innenfor sine forutsetninger, anses krav til 20 % margin for å ta høyde for trafikkøkninger utenfor prognoser til å være ivarettatt. Det forutsettes 5 % margin mot tillatt belastning av komponenter og systemer. Videre forutsettes det 10 % margin for å ha høyde for trafikken i normale driftssituasjoner med endringer som ofte kan forventes og i avvikssituasjoner som ikke er inkludert i normal trafikk. På bakgrunn av overnevnte, vil det bli benyttet totalt 15 % margin for normale og unormale driftssituasjoner ved vurdering av energiforsyningens belastning i utredningen.

Statiske omformeraggregater blir utkoblet ved termisk overlast, mens roterende omformeraggregater blir utkoblet ved innstilte kortvarige verdier. Krav til margin blir derfor vurdert opp mot termisk belastning av statiske aggregater, og kortvarig belastning av roterende aggregater. Krav til margin skal kunne overholdes selv etter ett omformerhavari i enhver omformerstasjon. I de tilfeller hvor statiske omformere blir kortvarig høyt belastet og dette får konsekvens for togspenningen, blir det i simuleringsarbeidet undersøkt om dette fører til togforsinkelser.

I belastningstabellene er det forutsatt at nominell ytelse (maksimal timebelastning) på nye statiske omformere er 12,5 MVA, noe lavere enn maksimal kortvarig ytelse (inntil 10 minutter) på 15 MVA. Dette er en antagelse basert på eksisterende anlegg, som igjen er grunnlaget for kostnadsestimatene i kapittel 7. På bakgrunn av at banestrømforsyningen er effektdimensjonert, vil normalt aldri timesbelastning være dimensjonerende. Det antas likevel at disse anleggene kan anskaffes med 15 MVA nominell effekt uten at dette har stor kostnadskonsekvens, dersom det skulle være ønskelig.



Ved valg av plassering av omformerstasjoner vil spenningsnivået til togene og robustheten i strømforsyningen være avgjørende. En ønsker for eksempel ikke for lang avstand mellom to omformerstasjoner, da dette medfører at en svært lang strekning frakoples automatisk ved kortslutning på strekningen. Normalt vil en derfor begrense lengden på matestrekninger til ca. 120 – 130 km, selv om spenningen skulle være i henhold til kravene om matestrekningen var lengre.

I de følgende delkapitlene blir de viktigste resultatene fra simuleringsrapporten gjengitt. Alternativ 2, 3 og 4 ble simulert med ulike mindre justeringer, og kun variantene som ble anbefalt videre i simuleringsrapporten er gjengitt her. Det vil si alternativ 2 C, 3 A og 4 A.

## 6.2 Simuleringsresultater for alternativ 0

Denne referansesimuleringen har til hensikt å dokumentere konsekvensen dersom AT-system ikke bygges ut på noen strekning på Bergensbanen. Det forutsettes i utgangspunktet 3 flere omformerstasjoner enn hva situasjonen er per år 2012, og simuleringsresultatene er vist i Tabell 14. I tabellen er rød skrift benyttet for tilfellet der de tillatte verdiene er overskredet, sort skrift for verdier innenfor kravet og blå skrift for verdier innenfor belastning uten margin og over kravet med margin. Prosentvis belastning av innsatt ytelse er vist for samtlige omformerstasjoner.

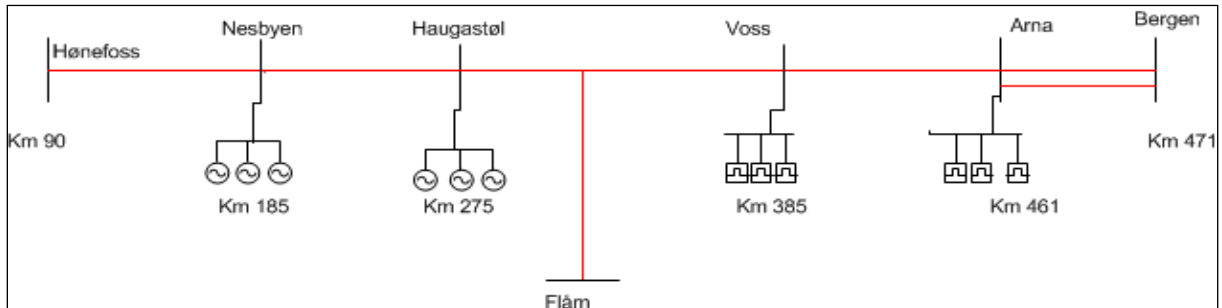
Tabell 14 - Belastning av omformerstasjoner for alternativ 0.

Alternativ 0 – BT-system: Banestrekning Grefsen-Roa og Hokksund-Hønefoss til Bergen							
Omformer	Innsatt ytelse [MVA]	Strøm og prosent av maksimalytelse					
		2 sek		6 min		1 time	
		[A]	[%]	[A]	[%]	[A]	[%]
Gulsvik	2 x 15	862	47,4	444	24,4	321	21,2
Nesbyen	5,8 + 7	906	62,4	307	26,6	202	26,0
Ål	2 x 15	973	53,6	461	25,4	354	23,4
Haugastøl	5,8 + 7	1155	79,7	608	52,5	368	47,4
Mjølfjell	2 x 5,8 + 3,1	1071	64,1	584	46,3	374	41,9
Voss	2 x 15	1452	79,7	683	37,6	527	34,7
Dale	2 x 5,8	1494	119,5	660	68,0	461	65,5
Arna	2 x 15	1460	80,3	893	49,1	643	42,4

Resultatene viser at samtlige eksisterende omformerstasjoner blir belastet over den tillatte belastningsgrensen for momentanverdien. Tre av de eksisterende stasjonene er også belastet over den tillatte grensen for 6-minuttersbelastning. I tillegg er det et stort antall tog som får spenninger under kravene i teknisk regelverk. Dette alternativet lar seg dermed ikke gjennomføre uten flere omformerstasjoner og høyere installert ytelse i hver stasjon. På bakgrunn av de svært høye kostnadene dette vil føre med seg, er alternativet ikke utredet videre.

### 6.3 Simuleringsresultater for alternativ 2 C

Dette alternativet forutsetter AT-system på hele strekningen mellom Hønefoss og Bergen, og er vist i Figur 25.



Figur 25. Enlinjeskjema for alternativ 2. Røde linjer viser AT-system.

Maksimal belastning av omformerstasjonene vises i Tabell 15. I tabellen er rød skrift benyttet for tilfellet der de tillatte verdiene er overskredet, sort skrift for verdier innenfor kravet og blå skrift for verdier innenfor belastning uten margin og over kravet med margin. Prosentvis belastning av innsatt ytelse er vist for samtlige omformerstasjoner.

Tabell 15 - Belastning av omformerstasjoner for alternativ 2.

Alternativ 2 – AT-system fra Hønefoss til Bergen							
Omformer	Innsatt ytelse [MVA]	Strøm og prosent av maksimalytelse					
		2 sek		6 min		1 time	
		[kA]	[%]	[kA]	[%]	[kA]	[%]
Nesbyen	2 x 5,8 + 7	1299	62,9	557	34,0	391	34,7
Haugastøl	2 x 5,8 + 7	984	47,4	579	35,4	397	35,2
Voss	3 x 15	2600	95,3	1161	42,6	881	38,7
Arna	3 x 15	2310	84,7	1182	43,3	854	37,6

Alle omformerstasjonene er godt innenfor 15 % margin for termisk belastning, selv ved utfall av ett aggregat. Haugastøl er også innenfor margin for kortvarig belastning, i mens Nesbyen ligger ca. 12 prosentpoeng over kravet med margin.

For at Nesbyen skal kunne innfri krav til 15 % margin kan det ene 5,8 MVA aggregatet byttes ut med 7 MVA aggregatet i Haugastøl. Installert ytelse blir da 3 x 5,8 MVA i Haugastøl og 5,8 + 2 x 7 MVA i Nesbyen. Med denne løsningen er begge stasjoner innenfor kravet til margin mot overbelastning. Korrigerte ytelser er vist i Tabell 16. Alle tog oppfyller prosjekteringskrav for spenningsverdier.



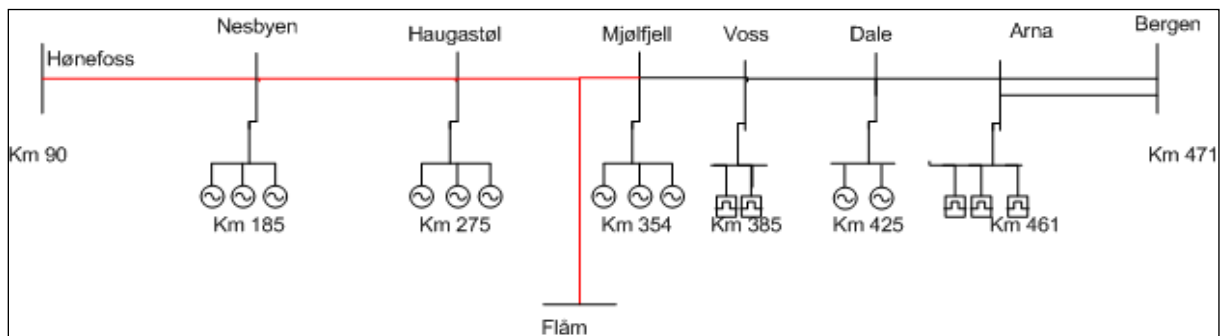
**Tabell 16 - Korrigert ytelse for alternativ 2.**

Omformer	Innsatt ytelse [MVA]
Nesbyen	5,8 + 2 x 7
Haugastøl	3 x 5,8
Voss	3 x 15
Arna	3 x 15

De to stasjonene med statiske omformere, Voss og Arna, har høy prosentvis kortvarig belastning. Dersom belastningen kortvarig overstiger 100 % av installert ytelse vil stasjonene gå i strømgrense og ikke falle ut på overlast. Den lave termiske belastningen viser at den høye momentanbelastningen er kortvarig, og dette anses derfor ikke som et problem.

## 6.4 Simuleringsresultater for alternativ 3 A

Alternativ 3A forutsetter at AT-systemet kun bygges fra Hønefoss frem til Mjølfjell. BT-system forutsettes mellom Mjølfjell og Bergen. Alternativet er vist i Figur 26.



**Figur 26. Enlinjeskjema for alternativ 3A. Sort viser konvensjonelt kontaktledning og rødt viser AT-system.**

Maksimal belastning av omformerstasjonene vises i Tabell 17. I tabellen er rødt skrift benyttet for tilfellet der de tillatte verdiene er overskredet, sort skrift for verdier innenfor kravet og blå skrift for verdier innenfor belastning uten margin og over kravet med margin. Prosentvis belastning av innsatt ytelse er vist for samtlige omformerstasjoner.

**Tabell 17 - Belastning av omformerstasjoner for alternativ 3A.**

Alternativ 3A – AT-system fra Hønefoss til Mjølfjell og BT-system fra Mjølfjell til Bergen							
Omformer	Innsatt ytelse [MVA]	Strøm og prosent av maksimalytelse					
		2 sek		6 min		1 time	
		[kA]	[%]	[kA]	[%]	[kA]	[%]
Nesbyen	2 x 5,8 + 7	1294	62,4	554	35,0	390	34,6
Haugastøl	2 x 5,8 + 7	935	45,1	541	34,2	369	32,7
Mjølfjell	2 x 5,8 + 3,1	814	47,9	507	40,2	289	37,2
Voss	2 x 15	1710	94,1	797	43,8	606	40,0
Dale	2 x 5,8	1201	96,1	519	53,5	374	53,1
Arna	3 x 15	2444	89,6	1184	43,4	799	35,1

Resultatene viser at Dale omformerstasjon er belastet så hardt for 2-sekundersverdien, at det er fare for at hele omformerstasjonen faller ut ved normal drift. Nesbyen ligger noen prosentpoeng over kravet med margin.

Stasjonene med statiske omformere, Voss og Arna, har også i denne simuleringen høy prosentvis kortvarig belastning. Dersom belastningen kortvarig overstiger 100 % av installert ytelse vil stasjonene gå i strømgrense, men dette anses ikke som problematisk så lenge det er god margin mot termisk overbelastning. For øvrig viser resultatene at belastningen på Voss blir ca. ett prosentpoeng høyere enn kravet med margin.

For å innfri krav til margin flyttes aggregater slik at installert ytelse blir 3 x 5,8 MVA i Haugastøl og 5,8 + 2 x 7 MVA i Nesbyen. Med denne løsningen blir begge stasjoner innenfor kravet til margin mot overbelastning.

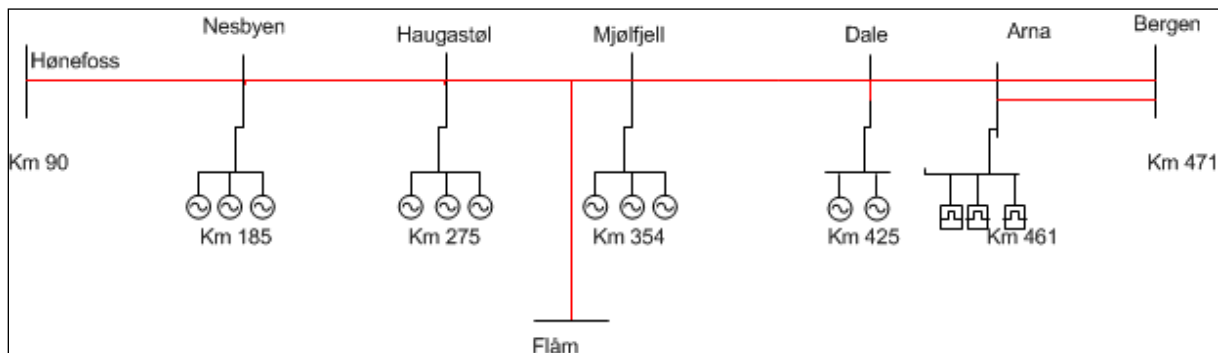
Dale blir belastet vesentlig høyere enn hva kravene tillater. Samtidig blir det i denne simuleringen forutsatt at åtte 5,8 MVA aggregater er tilgjengelige, men det er kun syv slike på Bergensbanen. En praktisk løsning på dette er å bygge Dale som 2 x 15 MVA med statiske omformere. Dermed blir det god margin mot overbelastning i Dale, og sannsynligvis vil den økte ytelsen også føre til at margin mot termisk overbelastning i Voss blir akseptabel. Korrigerte ytelser er vist i Tabell 18. Alle tog oppfylder prosjekteringskrav for spenningsverdier.

**Tabell 18 - Korrigert ytelse for alternativ 3A.**

Omformer	Innsatt ytelse [MVA]
Nesbyen	5,8 + 2 x 7
Haugastøl	3 x 5,8
Mjølfjell	2 x 5,8 + 3,1
Voss	2 x 15
Dale	2 x 15
Arna	3 x 15

## 6.5 Simuleringsresultater for alternativ 4 A

I alternativ 4 forutsettes det AT-system på hele strekningen. Strekningen modelleres med enkeltspor til Arna og dobbeltspor mellom Bergen og Arna. Det er nye omformerstasjoner på Arna. Mjølfjell, Haugastøl og Nesbyen oppgraderes og dagens bestyking på Dale beholdes. Alternativet er vist i Figur 27.



Figur 27. Enlinjeskjema for alternativ 4. Rød linje viser AT-system.

Maksimalbelastning av omformerstasjonene vises i Tabell 19 hvor samtlige omformerstasjoner tilfredsstiller belastningsgrensen for 6-minutters- og 1-timersperioden.

Tabell 19 - Belastning av omformerstasjoner for alternativ 4.

Alternativ 4 – AT-system fra Hønefoss til Bergen							
Omformer	Innsatt ytelse [MVA]	Strøm og prosent av maksimalytelse					
		2 sek		6 min		1 time	
		[kA]	[%]	[kA]	[%]	[kA]	[%]
Nesbyen	2 x 5,8 + 7	1296	62,5	565	35,7	360	35,5
Haugastøl	2 x 5,8 + 7	1045	50,4	577	36,4	403	35,7
Mjølfjell	2 x 5,8 + 3,1	1353	79,6	640	50,8	443	49,7
Dale	2 x 5,8	864	69,1	388	40,0	308	43,8
Arna	3 x 15	2529	92,7	1344	49,3	994	43,7

Resultatene viser at Dale og Mjølfjell omformerstasjon er belastet så hardt for 2-sekundersverdien, at ved utfall av ett aggregat er det fare for at hele omformerstasjon faller ut. Nesbyen tilfredsstiller ikke krav til margin.

Stasjonen med statiske omformere, Arna, har høy prosentvis kortvarig belastning. Dersom belastningen kortvarig overstiger 100 % av installert ytelse vil stasjonene gå i strømgrense, men dette anses ikke som problematisk så lenge det er god margin mot termisk overbelastning.

For å innfri krav til margin flyttes aggregater slik at installert ytelse blir 3 x 5,8 MVA i Haugastøl og 5,8 + 2 x 7 MVA i Nesbyen. Med denne løsningen blir begge stasjoner innenfor kravet til margin mot overbelastning.

For øvrig er det i denne simuleringen forutsatt åtte 5,8 MVA aggregater tilgjengelig, men det er kun syv slike på Bergensbanen. En praktisk løsning på dette vil være å bygge Mjølfjell som 2x15 MVA med statiske omformere, og flytte ett aggregat til Dale som da blir får 3 x 5,8 MVA. Det blir da tilstrekkelig margin mot overbelastning på alle stasjonene. Korrigert ytelse er vist i Tabell 20. Alle tog oppfyller prosjekteringskrav for spenningsverdier.

**Tabell 20 - Korrigert ytelse for alternativ 4.**

Omformer	Innsatt ytelse
	[MVA]
Nesbyen	5,8 + 2 x 7
Haugastøl	3 x 5,8
Mjølfjell	2 x 15
Dale	3 x 5,8
Arna	3 x 15

## 6.6 Simuleringsresultater for alternativ 5

Alternativ 5 kan anses å være lik alternativ 2, med den forskjellen at omformerstasjonen på Voss plasseres vesentlig lenger øst. Det forutsettes AT-system på hele strekningen. Maksimalbelastning av omformerstasjonene vises i Tabell 21, hvor samtlige omformerstasjoner tilfredsstiller belastningsgrensen for 6-minutters- og 1-timersperioden.

**Tabell 21 - Belastning av omformerstasjoner for alternativ 5.**

Alternativ 4 – AT-system fra Hønefoss til Bergen							
Omformer	Innsatt ytelse [MVA]	Strøm og prosent av maksimalytelse					
		2 sek		6 min		1 time	
		[kA]	[%]	[kA]	[%]	[kA]	[%]
Nesbyen	2 x 5,8 + 7	1216	58,6	528	32,3	365	32,4
Haugastøl	2 x 5,8 + 7	822	39,6	464	28,3	324	28,7
Mjølfjell	3 x 15	2377	87,2	1179	43,2	869	38,2
Arna	3 x 15	2608	95,6	1323	48,5	960	42,2

De to stasjonene med statiske omformere, Mjølfjell og Arna, har høy prosentvis kortvarig belastning. Dersom belastningen kortvarig overstiger 100 % av installert ytelse vil stasjonene gå i strømgrense og ikke falle ut på overlast. Den lave termiske belastningen viser at den høye momentanbelastningen er kortvarig, og dette anses derfor ikke som et problem.

Alle omformerstasjonene er godt innenfor 15 % margin for termisk belastning, selv ved utfall av ett aggregat. Haugastøl er godt innenfor margin for kortvarig belastning, men Nesbyen er noen prosentpoeng over kravet til margin. For å løse dette kan to aggregater flyttes slik at installert ytelse blir 3 x 5,8 MVA i Haugastøl og 5,8 + 2 x 7 MVA i Nesbyen. Med denne løsningen blir begge stasjoner innenfor kravet til margin mot overbelastning. Resulterende korrigerte ytelser for dette alternativet er gitt i Tabell 22.

**Tabell 22 - Korrigert ytelse for alternativ 5.**

<b>Omformer</b>	<b>Innsatt ytelse</b>
	[MVA]
<b>Nesbyen</b>	<b>5,8 + 2 x 7</b>
<b>Haugastøl</b>	<b>3 x 5,8</b>
<b>Mjølfjell</b>	<b>2 x 15</b>
<b>Arna</b>	<b>3 x 15</b>

## 6.7 Belastningsverdiens usikkerhet

En simulering kan gi større belastninger i banestrømforsyningen enn hva som måles. Dette er fordi simuleringen gjennomføres med konservative forutsetninger, for at banestrømforsyningen kan dimensjoneres etter simuleringen. Slik er det tenkt at en skal ha tiltro til at det systemet som dimensjoneres på bakgrunn av simuleringene blir robust nok selv om de mest ugunstige forutsetningene iblant skulle være til stede. Nedenfor er det listet noen eksempler på forutsetninger i simuleringene som sjelden vil gjelde i praksis:

- Alle togene er simulert med høy togvekt, mens det i praksis sjelden eller aldri vil være tilfelle at alle togene kjører med maksimal vekt samtidig.
- Det hender at enkelte tog kjører med enkeltsett i stedet for de simulerte dobbeltsettene.
- Godstog vil normalt kjøre med ett lokomotiv i motsetning til de simulerte doble lokomotivene.
- Simuleringsprogrammet etterlikner en lokfører for alle togene. Lokføreren i simuleringsprogrammet kjører alltid med tilgjengelig trekkraft, noe virkelige lokførere normalt ikke vil gjøre. En virkelig lokomotivfører vil tilpasse kjøringen til slakk i ruten og avpasse pådrag og fart etter kjennskap til strekningen. For eksempel kan en virkelig lokfører gi på litt ekstra i en nedoverbakke for å ha fart til å komme opp den neste motbakken uten problemer. Slik vil ikke lokføreren i simuleringsprogrammet kjøre.

Antall togsett per tog, lokomotiver og togvekt i denne utredningen er hentet fra Jernbaneverkets stamnettutredning, godsstrategi og tilbakemeldinger fra prosjektets fagråd. De første tre kulepunktene representerer derfor forutsetninger for utredningsarbeidet.

Det siste kulepunktet angående etterlikning av lokfører vil kunne ha en del å si for simulert korttidsbelastning. Dette er fordi samtidigheten av effekttopptak i de ulike togene kan bli endret, slik at maksimal kortvarig belastning øker eller minker betraktelig. Ruteplanendringer og tilfeldige avvik i trafikk vil kunne ha samme innvirkning på simulert maksimalbelastning. Det totale energiforbruket per tog vil likevel ikke endres i noen stor grad, og slike avvik vil derfor ha mindre innvirkning på 6-minuttersbelastning og timebelastning.

Sammenligning av målte og simulerte belastningsverdier, gitt i kapittel 4.3.8, viser for øvrig at simuleringene kun gir maksimalverdier opptil 2,2 % over målte verdier i dagens situasjon. Dette indikerer at simuleringresultatene ikke er så konservative som overnevnte punkter kan gi inntrykk av. Dette forklares med at det i simuleringen for dagens trafikk er benyttet reelt togmateriell, vekt og hastighet for den aktuelle måleperioden. Det er ingen kjente forhold som tilsier at simuleringresultatene som legges til grunn for denne utredningen er lavere enn hva forventet belastning vil være, innenfor forutsetningene gitt.

Avvik fra ruteplan, nøyaktig plassering av omformerstasjoner og utbygging av AT-system kan få store konsekvenser for belastningen i hver omformerstasjon. Belastningsverdiene som blir vurdert i denne utredningen er bundet til forutsetningene gitt, og en hver fremtidig endring av disse forutsetningene bør føre til en revurdering av belastningen som kan forventes. De økonomiske beregningene i denne utredningen baseres på de simuleringer som foreligger. Nøyaktig ytelse og plassering for hver omformerstasjon bør likevel baseres på nye simuleringer på hovedplannivå, som i høyere grad enn denne utredningen tar hensyn til lokale forhold.

## 6.8 Oppsummering av tekniske vurderinger

Alternativ 0 viser at den fremtidige togtrafikken blir svært kostbart dersom ikke AT-system bygges mellom Hønefoss og Mjølfjell. På bakgrunn av det svært høye antallet omformerstasjoner dette alternativet krever, er alternativet ikke utredet videre.

Alternativ 1 er forkastet, ettersom denne utredningen forutsetter at Hønefoss nedlegges og Lunner beholdes. Den lange avstanden mellom Ål og Lunner, ca. 160 km, anses å være for lang til å kunne gi akseptable spenningsverdier for togene.

Alternativer 2 C, 3 A, 4 A og 5 lar seg gjennomføre med teknisk akseptable løsninger. Alle disse forutsetter AT-system mellom Hønefoss og Mjølfjell, og av disse er det kun alternativ 3 A som forutsetter BT-system i stedet for AT-system videre til Bergen. Omformerytelsen som hvert av de teknisk aktuelle alternativene forutsetter er vist i Tabell 23.

**Tabell 23 - Omformerytelser for hvert alternativ**

	Alternativ 2 C	Alternativ 3 A	Alternativ 4 A	Alternativ 5
Omf.st.	Innsatt ytelse [MVA]	Innsatt ytelse [MVA]	Innsatt ytelse [MVA]	Innsatt ytelse [MVA]
Nesbyen	5,8 + 2 x 7	5,8 + 2 x 7	5,8 + 2 x 7	5,8 + 2 x 7
Haugastøl	3 x 5,8	3 x 5,8	3 x 5,8	3 x 5,8
Mjølfjell		2 x 5,8 + 3,1	2 x 15	3 x 15
Voss	3 x 15	2 x 15		
Dale		2 x 15	3 x 5,8	
Arna	3 x 15	3 x 15	3 x 15	3 x 15

Alternativer 2 og 5 er såpass like at de kan behandles som ett alternativ, hvor én av de nye omformerstasjonene kan plasseres fritt på strekningen mellom Voss og Mjølfjell uten at det får nevneverdige tekniske konsekvenser. Dette er en robust løsning som er fleksibel for vurderinger på hovedplannivå, når lokale forhold relatert til plassering må tas i betraktning.

## 7 ØKONOMISK VURDERING AV ALTERNATIVER

De økonomiske forutsetningene beskrevet i kapittel 3.3 legges til grunn for alle nåverdiberegninger. Kun alternativer 2, 3, 4 og 5 kostnadsberegnes, ettersom disse er de eneste som tilfredsstiller tekniske krav. Alternativ 2 og 5 er som tidligere poengtert nesten identiske, og behandles derfor som ett alternativ. Alle kostnader som er spesifikke for hvert alternativ medtas i beregninger.

Kostnadsestimatene blir fordelt inn i følgende kategorier:

- Investering – Alle tiltak hvor nytt anlegg bygges på ny lokasjon, uavhengig av ytelse
- Fornyelse – Alle tiltak hvor anlegg fornyes på samme eller tilnærmet samme lokasjon
- D&V – Alle kvantifiserbare drifts- og vedlikeholdskostnader for de relevante anleggene
- Tap – Alle kvantifiserbare kostnader relatert til elektrisk tap for de relevante anleggene
- Restverdi – Den verdien av anleggene som gjenstår ved analyseperiodens slutt (år 25 fra første investeringstidspunkt)
- Sum – Alle kostnader minus restverdi

Alternativer med statiske omformere er mer kostbare enn alternativer med roterende omformere, først og fremst fordi statiske omformere må kjøpes nye, mens roterende omformere kun er oppgradering og gjenbruk av eksisterende omformere. Derfor velges primært anlegg med roterende omformere dersom det er tilstrekkelig mange roterende omformere tilgjengelig ved byggetidspunktet. Dersom det ikke er nok roterende omformere tilgjengelig, må det velges statiske omformere.

For denne utredningen blir det forutsatt at ingen roterende aggregater er tilgjengelig ut over de som allerede er installert på stasjonene langs Bergensbanen. Dette er lagt til grunn for kapasitetsvurderingene i kapittel 6, og den foreslåtte ytelsen og aggregatplasseringen ligger også til grunn for de økonomiske beregningene.

Bane Energi har utarbeidet dokumentet *Enhetskostnader for banestrømforsyning*, vedlagt som Vedlegg 11, som benyttes som underlag for kostnadsanslag. Dokumentet *Tap i banestrømforsyningen*, Vedlegg 1, samt utredning for Dovrebanen (12) er benyttet som underlag for beregning av tapskostnader. Alle kostnadsberegninger er detaljert gjengitt i Vedlegg 12 *Kostnadsmodell Bergensbanen*, og relevante kostnadselementer fra enhetskostnadsskjemaet er også oppsummert i samme dokument. Historiske kostnader som benyttes som underlag i denne utredningen er beregnet om til 2011-verdier ved bruk av SSBs byggekostnadsindeks for veganlegg for 3. kvartal 2011.

Flåmsbanen er utenfor utredningsområdet og eventuelle tiltak mellom Myrdal og Flåm blir ikke kostnadsberegnet. For øvrig er det ikke forventet noen høyere togtrafikk på strekningen enn i 2012, og det forutsettes derfor at kontaktledningsanlegget blir fornyet til BT- eller AT-system når teknisk levetid på eksisterende anlegg går ut.

For kostnadsberegning av kontaktledningsanlegg på Bergensbanen benyttes kostnadene som er beregnet for dagstrekning, sammen med kostnadene som er beregnet for høyspentkabler gjennom tunneler. For AT-system i tunnel antas kostnadene å være lik kostnad på dagstrekning pluss kabelkostnadene med vektete forlegningsmetoder iht. kapittel 3.5.2. For BT-system antas kostnadene å være lik kostnad på dagstrekning pluss halvparten av kabelkostnadene som er utregnet for AT-kabler. Dette begrunnes med at returkablene for BT-system vil være driftsjord og følgelig ha vesentlig lavere spenning enn AT-kabler, og at enklere forlegningsmetoder derfor kan være mulig.

Alle anbefalte tiltak vil ikke bli gjennomført samtidig. Tiltakene vil bli gjennomført gradvis i takt med den ønskede nytteverdien, hovedsakelig i form av økt togtrafikk. Et forslag til utbyggingstakt er gitt i kapittel 10.3, og gir mulighet for nåverdiberegning av kostnadene for alle alternativene. Nåverdier for kostnadene er vist i Tabell 24. Alle kostnader er diskontert fra investeringsår og gitt i MNOK med 2011-verdier.

**Tabell 24 - Nåverdiberegning av alternativene, forutsatt foreslått utbyggingstakt**

Alternativer for Bergensbanen						
<b>Rente</b>	4,5 %	[1]				
<b>Prisstigning</b>	0,0 %	[1]				
<b>Analyseperiode</b>	25 år					
<b>Nåverdier [MNOK]</b>	<b>Sum</b>	<b>Investering</b>	<b>Fornyelse</b>	<b>D&amp;V</b>	<b>Tap</b>	<b>Restverdi</b>
<b>Alternativ 2</b>	1732	426	1438	307	70	509
<b>Alternativ 3</b>	1836	379	1595	307	83	527
<b>Alternativ 4</b>	1774	360	1522	333	78	519
<b>Tidspunkt for investering:</b>	<b>År</b>	<b>Investeringsår</b>				
Bergen - Arna	2018	0				
Arna - Voss	2021	3				
Voss - Mjølfjell	2024	6				
Mjølfjell - Haugastøl	2024	6				
Haugastøl - Nesbyen	2028	10				
Nesbyen - Hønefoss	2028	10				

For øvrig vil utbyggingstakten avhenge blant annet av finansiering og eventuelle fremtidige endrede forutsetninger, og er derfor høyst usikker. I henhold til de økonomiske forutsetningene beskrevet i kapittel 3.3, blir ikke samfunnsøkonomisk nytteverdi kvantifisert i denne utredningen. Når nytteverdien ikke tas med i regnskapet, blir nåverdien tilsynelatende mer gunstig desto lenger ut i tid investeringene utsettes. Dette er ikke nødvendigvis tilfelle. En tidligere investering vil gi en tidligere nytteverdi og kan dermed også gi en høyere nåverdi. Når nytteverdien ikke er med i regnestykket, kan regnestykket manipuleres ved å anta senere investeringstidspunkter slik at totalverdien virker mer fordelaktig.

En nåverdiberegning med diskonterte kostnader basert på en svært usikker fremdrift, gir på grunnlag av overnevnte begrenset verdi for denne utredningen. For økonomisk vurdering av alternativene forutsettes det derfor at alle tiltak blir gjennomført samtidig i første år av analyseperioden. De resulterende kostnadene er vist i Tabell 25.



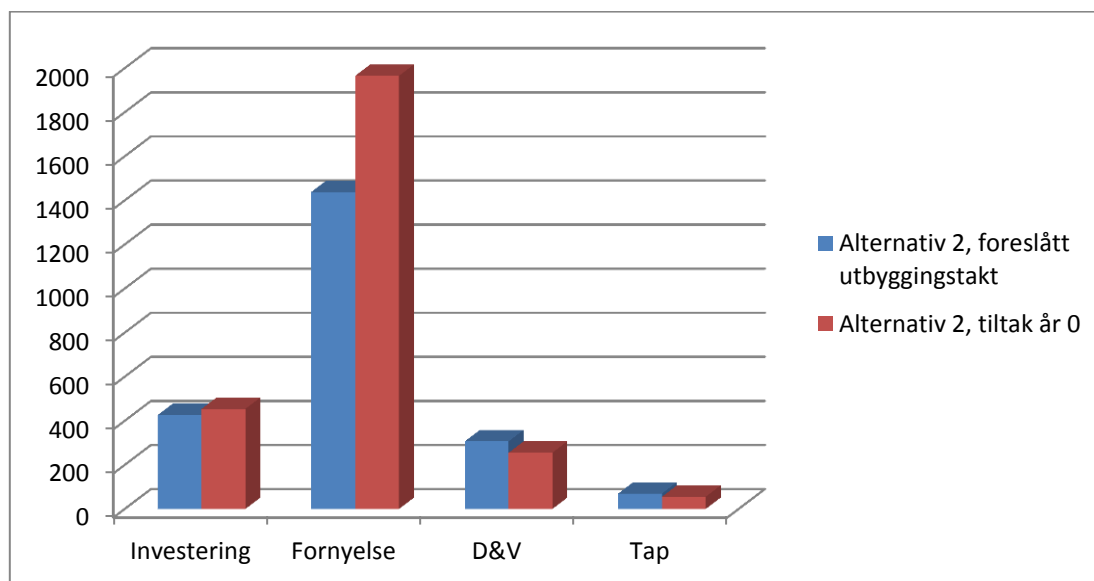
**Tabell 25 - Kostnadsestimat for alternativene gitt investering i år 0**

Alternativer for Bergensbanen						
<b>Rente</b>	4,5 %	[1]				
<b>Prisstigning</b>	0,0 %	[1]				
<b>Analyseperiode</b>	25 år					
<b>Nåverdier [MNOK]</b>	<b>Sum</b>	<b>Investering</b>	<b>Fornyelse</b>	<b>D&amp;V</b>	<b>Tap</b>	<b>Restverdi</b>
<b>Alternativ 2</b>	2313	454	1965	255	55	417
<b>Alternativ 3</b>	2456	400	2155	255	75	429
<b>Alternativ 4</b>	2376	400	2061	267	70	422

Alternativ 2 slår ut som det mest kostnadseffektive alternativet, uavhengig av beregningsmetode. I Tabell 25 er alternativ 2 mer enn 140 MNOK billigere enn alternativ 3 og over 60 MNOK billigere enn alternativ 4. Fordelingen av kostnader er vist i Figur 28 for begge beregningsmetoder. Det er tydelig ut fra grafen at fornyelseskostnadene er størst. Kostnadene relatert til investeringer og D&V er noe lavere, og tapskostnadene er lavest.

De lave totalkostnadene forbundet med alternativ 2 forklares i hovedsak ved at alternativet innebærer et lavere antall omformerstasjoner med lenger avstand i mellom, og er derfor en mer optimalisert løsning enn de øvre. Anleggene er også energiøkonomiske med lavere elektriske tap enn i alternativ 3, og med lavere driftskostnader enn alternativ 4.

Ettersom de fleste tiltak er definert som fornyelser, blir denne fornyelseskostnader vesentlig høyere når de ikke blir diskontert tilbake fra mange år frem i tid. Investeringskostnadene blir også noe høyere, men ikke i like stor grad ettersom disse tiltakene uansett forutsettes å måtte gjøres i løpet av de første årene av analyseperioden. De nye anleggenes fordeler i form av reduserte elektriske tap og lavere drifts- og vedlikeholdskostnader kan ses i figuren ved at disse kostnadskategoriene blir lavere når tiltakene gjennomføres tidlig.



**Figur 28 – Kostnadsfordeling for alternativ 2**

## 8 RAMS

I henhold til Jernbaneverkets styringssystem skal RAMS-vurderinger gjøres på utredningsnivå. RAMS består av følgende elementer:

- Reliability (Pålitelighet)
- Availability (Tilgjengelighet)
- Maintainability (Vedlikeholdsvennlighet)
- Safety (Personikkerhet)

Et utbyggingsprosjekt vil ofte inneholde mange faser, og i hver av disse fasene dekkes en eller flere faser av RAMS i henhold til standarden EN 50126. Utredningsrapporten for banestrømforsyning på Bergensbanen er en overordnet utredning som i mindre grad tar hensyn til lokale omstendigheter og detaljer. RAMS-vurderingen som er en del av denne utredningen er følgelig av samme karakter, og skal i stor grad referere til analyser gjort i forbindelse med konsepter og regelverk som er benyttet i utredningen.

På dette planleggingsnivået er hovedformålet med RAMS-vurderinger å sikre at det planlegges bruk av systemer og komponenter som er teknisk akseptable, og at planen er gjennomførbar. I senere planstadier (hovedplan og detaljplan/kravspesifikasjon) må det gjøres mer spesifikke RAMS-analyser av anleggene, der hensikten vil være i størst mulig grad å dra nytte av de erfaringer man har gjort fram til nå med tilsvarende type anlegg. På senere planstadier vil derfor RAMS-analysene bli mer omfattende enn i en utredning.

En del komponenter og systemer har teknisk godkjenning i Jernbaneverket, og RAMS-vurderinger på overordnet nivå er derfor gjort i forbindelse med denne godkjenningen. Dette gjelder følgende systemer:

- Kontaktledningsanlegg (historisk godkjenning)
- Kontaktledning med AT-system (Se rapport *Autotransformator for norske forhold (2)*)
- Omformerstasjoner (historisk godkjenning)

Med historisk godkjenning menes at systemet er godkjent med bakgrunn i at det har vært i drift i svært lang tid. Det er ikke nødvendigvis gjort egne RAMS-analyser på overordnet nivå av systemene. Det ble likevel gjort ett unntak på bakgrunn av fagrådets bekymring for praktiske problemstillinger vedrørende fremføring av høyspentkabler i Bergensbanens tunneler og snøoverbygg, beskrevet i kapittel 3.5.2.

Det er gjennomført en RAMS-analyse for å undersøke om de foreslåtte forlegningsmetodene for høyspentkabler i tunnel har noen innvirkning på RAMS-forhold. Se Vedlegg 3. Deltakere i denne prosessen har representert både riktig teknisk og driftsmessig kompetanse, samt de deler av organisasjonen som bør være involvert i en slik analyse der ulike tekniske konsepter for forlegningsmetode skal vurderes.

I RAMS-arbeidet er det ikke identifisert nye risikoforhold iht. Jernbaneverkets topphendelser, eller forhold som tilsier at forlegningsmetodene ikke lar seg gjennomføre. Det er likevel identifisert en del forutsetninger som må tas hensyn til i prosjekteringsfasen for å sikre at de foreslåtte løsningene ikke innvirker negativt på sikkerheten eller tilgjengeligheten av anlegget.

Identifiserte risikoområder avdekket av RAMS-analysen skal følges opp videre i det generelle RAMS-arbeidet for prosjektet. I den grad videre planleggings- og prosjekteringsarbeid tar hensyn til de identifiserte risikoområdene, forutsetter denne utredningen at de beskrevne forlegningsmålene muliggjør fremføring av AT-kabler i tunnelene og snøoverbyggene på Bergensbanen.

Som beskrevet i kapittel 3.5.2, er det et høyt antall tunneler på Bergensbanen. AT-system igjennom tunnelene vil bli gjennomført med kabler, og følgelig vil utbygging av AT-system føre til en høy andel kabler på enkelte delstrekninger. Kabler representerer en kapasitans i kraftsystemet og påvirker de elektriske resonansene, og må tas hensyn til i stabilitetsvurderinger. Nye omformerstasjoner kan også påvirke stabiliteten i kraftsystemet, og ved benyttelse av statiske omformere må dette tas hensyn til ved dimensjonering av filter. Som en del av RAMS-arbeidet bør det gjennomføres kompatibilitetsstudier for alle infrastrukturendringer på senere detaljnivåer i planlegging og prosjektering.

Det forutsettes at de videre fasene av RAMS blir hensyntatt i de videre fasene av fornyelsen av banestrømforsyning på Bergensbanen. Deriblant forutsettes det at RAMS-analyser utføres som del av videre hovedplaner, og at oppfølging av RAMS er et fokusområde både hos JBV som byggherre og hos alle kontraherte leverandører.

I Bane Energis pågående prosjekter for anskaffelse av statiske omformere stilles det krav til at leverandører har en dedikert ressurs som følger opp alt RAMS-arbeid hos leverandør og underleverandører. Videre er det krav til at vedkommende skal ha fortløpende kontakt og samarbeid med Bane Energis egen RAMS-ansvarlig. Denne utredningen forutsetter at en slik eller tilsvarende praksis videreføres for de relevante investeringsprosjekter, slik at anleggene tilfredsstillt kravene som er stilt.

## 9 USIKKERHET

Det er gjennomført en usikkerhetsanalyse for kostnadsestimatet i denne utredningen. Analyserapport for usikkerhet er lagt ved utredningsrapporten som Vedlegg 13. En oppsummering av viktige konklusjoner fra analysearbeidet er gjengitt i dette kapitlet.

Utredningen er en strategisk utredning som behandler tematiske og strekningsvise vurderinger knyttet til fremtidig banestrømforsyning på Bergensbanen. Utredningen bygger på tidligere strategiske utredninger og gitt føringer for dimensjonerende kapasitet er det et tydelig, men svært avgrenset, mulighetsrom for utredningen. Utredningen belyser primært tekniske varianter av et nytt AT-system opp mot fornyelse av eksisterende kontaktledning med BT-system, der variantene er utformet for å vurdere tekniske og økonomiske forhold avhengig av dimensjonering og plassering av omformerstasjoner. Det vurderes at de største usikkerhetene knyttet til tiltaket er knyttet til disse overordnede rammer og føringer. Spesielt som følge av at JBV i dag har nye pågående utredninger knyttet til disse rammer og føringer. Dette er ikke hensyntatt i usikkerhetsanalysen.

De analyser som utredningen har utført vurderes imidlertid som grundige, spesielt vedrørende tekniske forhold.

Usikkerhetsanalysen viser at de største usikkerhetsfaktorer (drivere) er knyttet til Eierstyring, Marked og Plangrunnlag & gjennomføring, samt selve AT-systemet. Dette er drivere som prosjektet normalt sett har liten anledning til å kontrollere.

**Eierstyring og gjennomføring** – Realiseringen av ny banestrømforsyning, gjennom prosjekter, er avhengig av en rekke andre strategier og planer. Gjennomføringen er dermed uavklart i forhold til tidspunkt, gjennomføringstid, rekkefølge og omfang av hvert prosjekt som til sammen skal realisere en av løsningene i utredningen. Utbyggingstakten vil blant annet avhenge av hvilke andre utbyggingsmessige tiltak som iverksettes og flaskehalsen på gitte tidspunkt. Det er betydelige muligheter til å optimalisere kost/nytte gjennom riktig innfasing av prosjekter.

**Marked** – Utbygging gjennom større prosjekter vil kunne gi betydelige stordriftsfordeler gjennom markedsattraktivitet, gjennomføringsstrategi, entrepriseform mm. Dagens praksis gir normalt relativt liten konkurranse, typisk 1-2 leverandører, og prosjektene er små og har typisk utfordringer ift. spordisponering. Involvering av et europeisk leverandørmarked er mulig. Det er også viktig at markedet bearbeides i forkant så de er forberedt når jobbene kommer. Forutsigbarhet i form av volum og pris er viktige elementer for å lokke til seg entreprenører.

**AT-systemet** – AT-system er ny teknologi som ikke er bygget i Norge og utgjør en betydelig andel av investeringskostnadene. Det blir viktig å holde fokus på evaluering og erfaringsoverføring etter som utbygging av systemet begynner. For tiden pågår detaljplanlegging av AT-system på flere store utbyggingsprosjekter.

Investeringstidspunkt/ utbyggingstakt har stor påvirkning på nåverdien for alternativene. Dette er ikke hensyntatt i analysen. Utbyggbare omformere er et eksempel på at en planmessig og trinnvis oppskalering er mulig, og vil gi en bedre kost/nytte-optimalisering.

Restverdien er inkludert i den kvantitative analysen og basert på forutsetningene angitt i kapittel 2.1. Restverdien reduserer den forventede kostnaden med sin egen forventningsverdi og bidrar til en mindre økning av standardavviket for de to alternativene.

Usikkerhetsanalysen viser at kostnadsforskjeller mellom alternativ 2 og 3 økes. Utredningen anbefaler alternativ 2 og det er også det billigste av de vurderte alternativene.

Med tanke på valg av beste alternativ har det ikke fremkommet informasjon i usikkerhetsanalysen som tilsier at utredningens konklusjon bør endres. Alternativ 2 styrker sin posisjon som det billigste alternativet, men har et marginalt høyere standardavvik enn alternativ 3. Anbefalte alternativ representerer den økonomisk mest gunstige løsningen som tilfredsstillende tekniske krav og usikkerhetsanalysen rokker ikke ved utredningens konklusjon.

## Resultater

Tabellen nedenfor viser det kvantitative resultatet fra usikkerhetsanalysen:

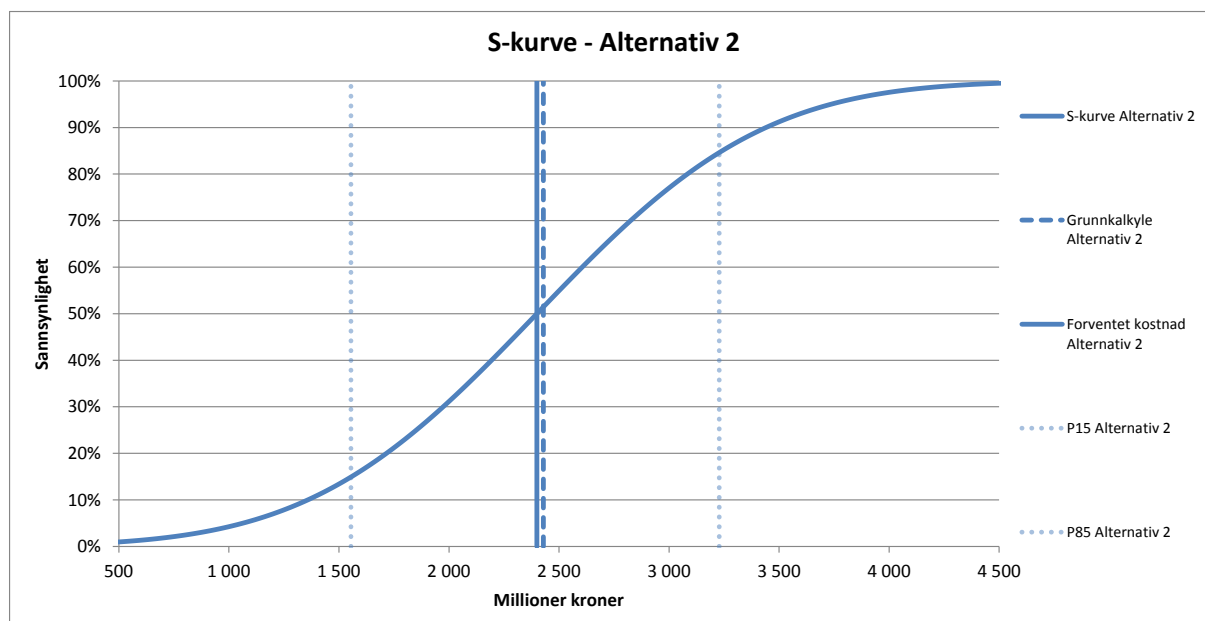
**Tabell 26 – Resultater fra kvantitativ usikkerhetsanalyse**

	Alternativ 2		Alternativ 3	
<b>Grunnkalkyle (Nåverdiberegningen)</b>	2 429 MNOK		2 592 MNOK	
<b>Forventet tillegg</b>	-20 MNOK		1 MNOK	
<b>Forventet kostnad</b>	2 399 MNOK		2 593 MNOK	
<b>P85</b>	3 228 MNOK		3 464 MNOK	
<b>Standard avvik</b>	812 MNOK	34 %	855 MNOK	33 %

Sitat estimeringsprosessen JBV<sup>1</sup>: *“I utredningsfasen er hensikten med estimatet å angi kostnadene for de ulike konseptene på et overordnet nivå. Estimatet skal fungere som et underlag for konseptvalg og gi informasjon til arbeidet med NTP (10 års perspektivet).”* Jernbaneverkets krav til nøyaktighet for utredning (klasse 0) er +/- 30%. Analysen har avdekket et standardavvik på 33-34 %. Som tidligere nevnt er forventet restverdi fratrukket forventet kostnad for alternativene for å gjenspeile utredningens krav til 25 års analyseperiode. Dette fører til at standardavviket øker. Kravet til nøyaktighet gjelder normalt for investeringskostnaden og hvis vi ser bort fra restverdien ligger begge alternativene omtrent i dette området.

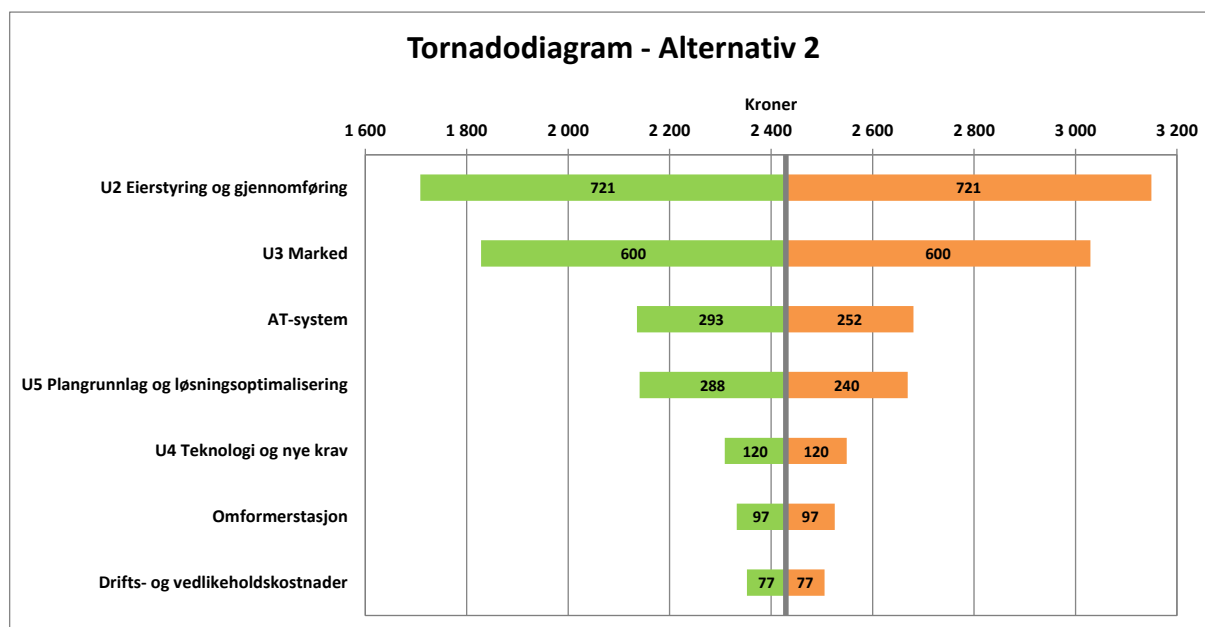
Fordelingskurve for kostnadsoverslaget til alternativ 2 er vist i Figur 29. Kurven viser det området hvor prosjektets totale kostnader sannsynligvis vil ligge, innenfor den sannsynligheten som kan leses av y-aksen i grafen.

<sup>1</sup> Estimeringshåndbok Jernbaneverket Utbygging



**Figur 29. Fordelingskurve for kostnadsoverslaget**

Tornadodiagrammet i Figur 30 gir en rangert visning av kostnadspostene/driverne som bidrar mest til den totale usikkerhet i kostnadsoverslaget til alternativ 2. Diagrammet viser også den enkelte kostnadsposts/drivers "skjevhet" med hensyn til utfallsrommet i forhold til prosjektets nåverdiberegning (basiskostnad). Y-aksen er gitt av basiskostnaden, kostnadspostenes/drivers oppside er markert i grønt, mens nedsiden er markert i oransje. Skillet mellom grønn og oransje angir mest sannsynlig verdi i forhold til basiskostnaden.



**Figur 30. Tornadodiagram over usikkerhetsposter/drivere til den totale usikkerheten**

## 10 DISKUSJON, ANBEFALING OG VIDERE ARBEID

### 10.1 Diskusjon

Strømforsyningen til Bergensbanen er med trafikken i 2012 godt dimensjonert med redundante omformerstasjoner. Unntaket er Bergen omformerstasjon med kun ett aggregat, men det er også en forutsetning for denne utredningen at dette forholdet utbedres. Flere av omformerstasjonene har en relativt høy alder, uten at det er dokumentert noen driftsproblemer forbundet med dette. Kontaktledningsanlegget på strekningen er derimot karakterisert i tilstandsrapporter som nedslitt og i dårlig forfatning. Disse påstandene underbygges av svært høye feilrater sammenlignet med øvrige banestrekninger i Norge. Det forventes at store deler av kontaktledningsanlegget på Bergensbanen vil måtte fornyes tidlig i denne utredningens analyseperiode.

Med økt trafikk frem mot år 2040 vil belastningen øke vesentlig, og simuleringsresultater viser at tiltak vil være nødvendige. Simuleringsresultater viser at utstrakt utbygging av AT-system på banestrekningen vil redusere antallet omformerstasjoner som det vil bli behov for. Utbygging av AT-system vil både fornye kontaktledningsanlegget og vesentlig øke overføringskapasiteten på strekningen. Fornyelse av kontaktledning til AT-system er i henhold til Jernbaneverkets overordnede strategier (4) og krav gitt av Jernbaneverkets tekniske regelverk (10).

Den vestlige delen av Bergensbanen er en strekning med mange utfordrende forhold. Spesielt det høye antallet trange fjelltunneler og overbygg kan gjøre utbygging og drifting av AT-system vesentlig mer utfordrende enn på andre jernbanestrekninger i Norge. Det er i RAMS- og usikkerhetsanalyser kartlagt forhold som må ivaretas i det videre planarbeidet med utbygging av AT-system på Bergensbanen. Basert på arbeidet som er utført, er det likevel sannsynliggjort at AT-system kan bygges ut langs Bergensbanen innenfor de kostnadsestimatene som foreligger.

I kostnadsberegninger er det forutsatt at det er vesentlig lavere kostnader forbundet med å føre returkabler for BT-system igjennom tunneler og overbygg, enn det er å føre AT-kabler. En kan stille spørsmål ved om det virkelig vil være så mye enklere og billigere med BT-kabler enn med AT-kabler. Dyrere forlegninger av BT-kabler vil for øvrig kun gjøre disse alternativene mindre kostnadseffektive i forhold til alternativene med AT-system. Ettersom de alternative løsningene med BT-system uansett er beregnet til å være dyrere enn AT-system, for dette liten konsekvens for anbefalingen i denne utredningen. Usikkerhetsanalysen som er gjennomført tar også hensyn til denne problemstillingen.

Usikkerhetsanalysen som er gjennomført bekrefter at anbefalte alternativ representerer den økonomisk mest gunstige løsningen som tilfredstiller tekniske krav. I den gjennomførte analysen styrker alternativ 2 sin posisjon som det billigste alternativet. Usikkerhetsanalysen røkker dermed ikke ved utredningens konklusjon.

I år 2024 antas den tekniske levetiden til forsterkningslinjen mellom Haugastøl og Mjølfjell å være nådd. Utbygging av AT-system på denne strekningen bør være ferdigstilt før dette skjer, for å unngå fremtidige begrensninger i togtrafikken. Dersom forsterkningslinjen fornyes uten å oppgradere til AT-system vil dette enten gi en begrensning i fremtidig togtrafikk, eller være en kostbar midlertidig løsning inntil AT-system uansett må bygges.

De tre alternative systemløsningene som ble funnet teknisk akseptable har relativt like estimerte nåverdier. Spesielt dersom kostnadene diskonteres fra de forventede investeringstidspunktene, er det kun titalls millioner som skiller dem ut fra total kostnader på over en milliard. Ettersom nytteverdi av investeringene ikke er kvantifisert og tatt hensyn til i nåverdiberegningene, gir de diskonterte verdiene et feil kostnadsbilde. Det er derfor valgt å vurdere alternativene opp mot hverandre gitt kostnaden ved at alle investeringer og fornyelser gjennomføres samme år. Det bemerkes at alternativ 2 innebærer lavest kostnader selv om kostnadene for alle alternativer diskonteres fra forventede investeringstidspunkter.

Alternativ 4 innebærer en systemløsning som er svært lik alternativ 2, da begge alternativer forutsetter at AT-system bygges på hele Bergensbanen. Hensikten med alternativ 4 var å benytte eksisterende anlegg videre i størst mulig grad, men for dette er dagens stasjonsytelser for lave. De nødvendige tiltakene for å øke ytelsen på hver stasjon utgjør kostnadsforskjellen mellom alternativene, som gjør at løsningen ikke er kostnadseffektiv i forhold til alternativ 2. For øvrig må det videre arbeidet uansett ta hensyn til oppdaterte trafikkprognoser når de foreligger. I en situasjon hvor AT-system bygges ut og togtrafikken så øker gradvis, vil det være mulig å utsette utskifting og oppgradering av omformerstasjoner inntil togtrafikken blir såpass høy at behovet oppstår.

Av de alternativene som er funnet teknisk akseptable, har det alternativ 2 også en fordel ved at den ene omformerstasjonen kan plasseres relativt fritt mellom Voss og Mjølfjell. Dette er en fleksibel løsning og en fordel i videre planarbeid.

På bakgrunn av sammenlignede målte og simulerte verdier, antas simuleringene å ha en lav usikkerhet ved beregning av fremtidig maksimalbelastning innenfor gitte forutsetninger. Grunnet den sterke avhengigheten til øvrige forutsetninger, deriblant plassering og byggetakt, bør likevel nøyaktig ytelse på hver stasjon vurderes på nytt på hovedplannivå. Når nærmere informasjon relatert til innfasing av nye ruteplaner og nytt togmateriell er kjent, vil det være mulig å tilpasse utbyggingen av omformerne til dette.

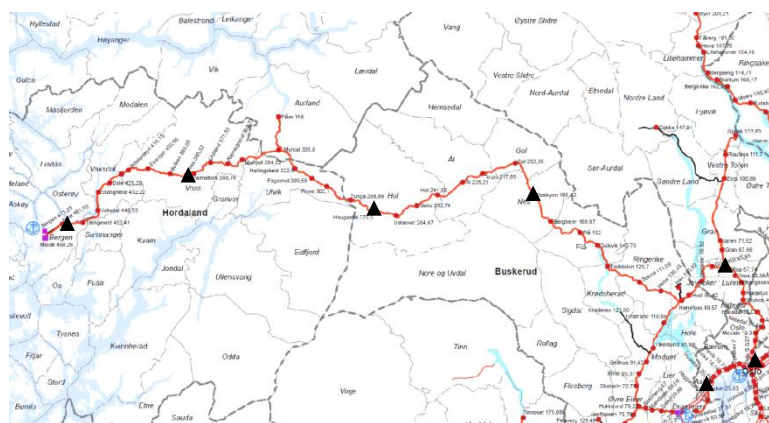
Det er ikke nødvendig at alle tiltak som anbefales i denne utredningens systemløsning ferdigstilles for å få en høyere togkapasitet enn dagens situasjon. Dersom det prioriteres å bygge AT-system i 1-2 AT-vinduer ut fra hver omformerstasjon i begge regninger, vil dette gi økt overføringskapasitet og dermed bedre spenningsforhold for tunge godstog. Dette vil være den raskeste måten å øke gjennomgående kapasitet på hele Bergensbanen i påvente av at øvrige tiltak ferdigstilles. For øvrig må alle tiltak være ferdigstilte før den togtrafikken som denne utredningen forutsetter kan gjennomføres. Det er også praktiske forhold som gjør at en slik usammenhengende utbygging kan være kostnadsdrivende, og slike vurderinger må derfor tas i planarbeid på et høyere detaljnivå.



Kapittel 5.1.3 viser at det er et stort gap mellom de planlagte fornyelsesmidlene for Bergensbanen de neste 10 årene og de kostnadene utredningen viser at er nødvendig for å fornye kontaktledningsanleggene i årene fremover. Av de totalt 1 755 MNOK som utredningen har funnet nødvendig for kontaktledningsanlegg, utgjør summen i vedlikeholdsplanen kun 6,3 %. Et slikt lavt fornyelsesnivå fører til at foreslått utbyggingstakt i kapittel 10.3 ikke kan følges, med påfølgende konsekvenser for anleggenes oppetid og tilgjengelighet samt banestrekningens kapasitet for togfremføring. Fremtidige vedlikeholdsplaner bør ta hensyn til dette.

## 10.2 Anbefaling

Anbefalingen i denne utredningen representerer den økonomisk mest gunstige løsningen som tilfredsstillende tekniske krav, altså alternativ 2. Dette innebærer nedleggelse av Bergen, Dale og Mjølfjell omformerstasjon. Videre anbefales det at Nesbyen og Haugastøl omformerstasjoner fornyes med ett ekstra aggregat per stasjon, og at eksisterende roterende aggregater som i dag er i drift på Bergensbanen benyttes i de nye omformerstasjonene. På Arna bør det bygges en ny omformerstasjon i størrelsesorden 3x15 MVA, og det samme gjelder en ny omformerstasjon plassert mellom Voss og Mjølfjell. Sistnevnte kan velges ut ifra praktiske og økonomiske hensyn i hovedplanfase. Alternativet er vist i Figur 31.



Figur 31. Anbefalte omformerplasseringer (alternativ 2).

For at den anbefalte løsningen for omformerstasjoner skal la seg gjennomføre, må AT-system bygges langs hele Bergensbanen. Det forutsettes at de skisserte løsningene for AT-kabler i tunneler benyttes, og at forhold kartlagt i RAMS- og usikkerhetsanalyser tas hensyn til ved videre planlegging og prosjektering. Det vil ikke ha noen konsekvens for denne utredningens anbefaling om egen trasé mellom Haugastøl og Mjølfjell benyttes til fremføring av AT-ledere, og det forutsettes at den mest kostnadseffektive løsningen benyttes.

Styringsramme P(50) for anbefalt løsning er i usikkerhetsanalysen estimert til ca. 2 400 MNOK før diskontering over den forventede investeringsperioden. Dette estimatet er en sum av kostnadene forbundet med alle tiltak som den anbefalte løsningen består av. Kostnadsrammen P(85) er estimert til ca. 3 200 MNOK.

## 10.3 Videre arbeid

I det videre arbeidet må det utarbeides hovedplaner for alle tiltakene som blir anbefalt for den valgte løsningen. Disse er oppsummert i Tabell 27 under kolonnen "Tiltak".

Denne utredningen anbefaler utbygging av AT-system på hele Bergensbanen, inkludert strekningen Haugastøl-Mjølfjell. I videre planarbeid bør det ses nærmere på muligheten for å benytte traséen til forsterkningsledningen for fremføring av AT-ledere mellom Haugastøl og Mjølfjell. Det er mulig at en slik løsning er mer kostnadseffektiv enn fremføring av AT-ledere som kabel i tunnelene, på hele eller deler av strekningen, og det videre planarbeidet bør kartlegge og ta hensyn til dette.

Tunnelprofiler er spesielt trange på Bergensbanen i forhold til andre banestrekninger i Norge og ellers i Europa. Mange overbygg er også gamle og lite egnet for vedlikeholdsarbeid. Dette er forhold som er utenfor denne utredningens rammer, derfor er heller ikke utvidelse av tunnelprofil eller fornyelse av overbygg vurdert. Det er likevel synergier som kan hentes ved å gjennomføre slike tiltak samtidig som kontaktledning blir skiftet ut på strekningen. Ved bygging av AT-system bør også andre tiltak, som fremføring av fiberkabler på eller i AT-ledere på dagstrekninger, vurderes i planarbeidet. Tiltakene anbefalt i denne utredningen bør ses i sammenheng med andre planer og behov en har for Bergensbanen, slik at slike synergier kan utnyttes.

### Utbyggingsrekkefølge

I Tabell 27 presenteres et forslag til utbyggingsrekkefølge for de aktuelle alternativene. Det tas ikke stilling til oppstartsår for de ulike tiltakene, kun år for ferdigstilling. Tiltak som blir ivarettatt i andre utredninger/prosjekter, og som derfor ikke er direkte omfattet av denne utredningen, er gitt i grå tekst.

Forslaget er basert på følgende forhold:

- Ny omformerstasjon på Arna bør være ferdigstilt før dobbeltsporet Bergen – Arna er ferdig.
- Fornyelse av kontaktledning vest for Haugastøl bør prioriteres før strekningen østover, grunnet den dokumenterte store forskjellen i feilhyppighet.
- Det forutsettes en raskest mulig gjennomføringstakt av tiltak østover fra Bergen, slik at anleggene blir fornyet før tilstanden blir vesentlig forverret fra dagens allerede dårlige forfatning.
- AT-system mellom Mjølfjell og Haugastøl bør ferdigstilles før eksisterende forsterkningsledning når slutten av sin tekniske levetid, antatt senest 2024.
- Eldre omformerstasjoner nedlegges og nye settes i drift fortløpende ettersom AT-system blir bygget forbi, slik at nytteverdien av økt trafikk kan hentes ut tidligst mulig.

Byggestart og gjennomføring for de ulike prosjektene må vurderes igjen på hovedplannivå, når lokale forhold blir tatt hensyn til og mer informasjon er tilgjengelig. Blant annet må tidspunkt for realisering av nye trafikkruteplaner tas hensyn til. Omformerytelse bør ikke økes før behovet oppstår. De foreslåtte årstallene for ferdigstilling forutsetter en viss grad av overlapping i planarbeid og gjennomføring for enkelte av strekningene.

Forslaget antar at omformerstasjonen som skal bygges mellom Voss og Mjølfjell havner på Voss, men dette bør avgjøres på et senere plannivå ut fra lokale forhold. Planarbeid for denne omformerstasjonen må også koordineres med AT-utbyggingen og ønsket togtrafikk.

Eksisterende omformerstasjoner på Dale og Mjølfjell bør beholdes frem til ny stasjon er bygget, med mindre videre simuleringsarbeid på hovedplannivå tilsier noe annet.

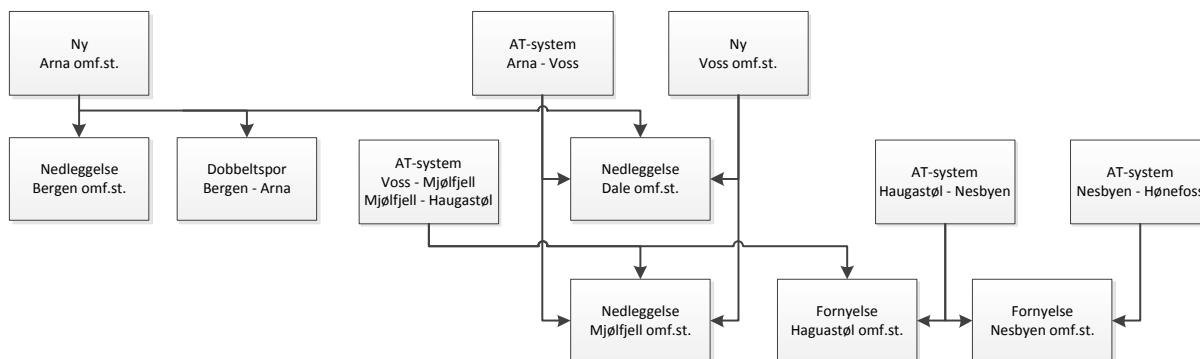
Strekningen Hokksund – Hønefoss inngår ikke i utredningsområdet og eventuelle behov for tiltak blir derfor ikke utredet her. For øvrig kommer det frem i Tabell 10 at alderen på kontaktledningsanlegget i år 2012 er 53 år, og forventet levetid (8) dermed vil være overskredet i år 2019. Avhengig av kontaktledningens tilstand, vil det sannsynlig være behov for en full utskiftning med ferdigstillelse senest om 20 år.

Majoriteten av kontaktledningsanlegg på hver av strekningene angitt ligger nær sin tekniske levetid ved tidspunktet for de anbefalte tiltakene, og betegnes derfor i Tabell 27 som fornyelser. Som det kommer frem av kapittel 5.1.4 er det likevel enkelte kortere delstrekninger som er av nyere dato enn andre, og i en mer detaljert tabell ville disse derfor fremstå som investeringer. På slike delstrekningene forutsettes det at hovedplanarbeid kartlegger muligheten for investeringsutsettelse basert på kapasitetsbehov, oppgraderingsmuligheter og eventuelle midlertidige tiltak.

**Tabell 27 – Forslag til utbyggingsrekkefølge**

Tiltak	År ferdigstilt	Kostnad [MNOK]	Type tiltak	Nytteverdi
AT-system Bergen - Arna	2018			4 lokaltog hver time i hver retning mellom Bergen og Arna.
Dobbeltspor Bergen-Arna				
Ny omf.st. Arna		227	Investering	
Nedleggelse omf.st. Bergen		2	Fornyelse	
AT-system Arna - Voss	2021	442	Fornyelse	2,5 regiontog i gjennomsnitt hver time i hver retning mellom Bergen og Voss.
Forlengelse av Bolstadøyri krysningsspor				
Forlengelse av Ygre krysningsspor				
Ny omf.st. Voss		227	Investering	
Nedleggelse Dale omf.st.		2	Fornyelse	
AT-system Voss-Mjølfjell	2024	137	Fornyelse	
AT-system Mjølfjell-Haugastøl		416	Fornyelse	
Nedleggelse Mjølfjell omf.st.		2	Fornyelse	
Nytt krysningsspor på Vieren				
AT-system Haugastøl-Nesbyen	2028	367	Fornyelse	Godstog på 1200 tonn hvert 55. minutt i hver retning mellom Grefsen og Bergen over Roa og Hønefoss.
AT-system Nesbyen-Hønefoss		393	Fornyelse	
Oppgradering Haugastøl omf.st		100	Fornyelse	
Oppgradering Nesbyen omf.st.		100	Fornyelse	
Nedleggelse Hønefoss omf.st.	Innen 2028			Inngår i utredning av Gjøvikbanen og kvantifiseres ikke her.
Oppgradering Lunner omf.st.				
AT-system Alnabru-Roa-Hønefoss				
AT-system Hokksund-Hønefoss				

Figur 32 illustrerer avhengighetene i fremdriftsplan for alternativ 3. Alle tiltakene i bokser uten pil inn til seg kan i utgangspunktet gjennomføres uavhengig av øvrige tiltak, men vil ikke nødvendigvis gi noen større nytteverdi i seg selv. For tiltak i bokser med flere piler inn til seg, må alle tiltakene i boksene hvor pilene kommer fra gjennomføres før det aktuelle tiltaket selv kan gjennomføres.



**Figur 32. Avhengigheter i fremdriftsplan for alternativ 2**

Ut ifra figuren kan en se at Bergen omf.st. ikke kan nedlegges før Arna omf.st. er ferdigbygd. Det vil heller ikke være mulig å øke trafikken i stor grad før Arna er idriftssatt, og den bør derfor være ferdig før dobbeltsporet Bergen – Arna settes i drift.

Videre østover kan Dale omf.st. nedlegges når Arna og Voss omformerstasjoner er bygd, samt at AT-system er bygd frem til Voss. Mjølfjell omformerstasjon kan ikke nedlegges før AT-system er bygd videre fra Voss forbi Mjølfjell til Haugastøl. Fornyelse av Haugastøl og Nesbyen omformerstasjoner vil kunne gjennomføres uavhengig av AT-utbyggingen, men nytteverdien i form av høyere togtrafikk vil være størst når begge tiltak er gjennomført. Økt omformerytelse vil kunne øke kapasiteten for togtrafikk noe, men med hensyn til togspenning vil det først være når AT-system er utbygd at trafikken kan økes vesentlig. Det anbefales derfor at fornyelsen av omformerstasjonene gjøres etter at AT-system er bygd ut mellom Haugastøl og Hønefoss.

## 11 REFERANSER

1. **JBV.** *Autotransformatorsystem for norske forhold - negativleder i tunneler.* mars 2003.
2. —. *Autotransformatorsystem for norske forhold - Teknisk godkjenning og krav til utførelse.* 2007.
3. **Energi, JBV Bane.** *Fremtidig Banestrømforsyning.* september 2005.
4. **JBV.** *Teknologisk strategi for banestrømforsyning og kontaktledning.* desember 2006.
5. **Energi, JBV Bane.** *Fremtidig banestrømforsyning på Gjøvikbanen.* 2010.
6. **JBV.** Møtereferat 19.01.2011. januar 2011. saksnr. 201000237/11.
7. **ITPE, JBV.** *Strekningssvise utbyggingsplaner - Sørlandsbanen.* desember 2007.
8. **JBV.** *Metodehåndbok JD 205 Samfunnsøkonomiske analyser for jernbanen.* juli 2011.
9. —. *Teknisk regelverk for prosjektering av banestrømforsyning JD 546.* 2010.
10. —. *Teknisk regelverk for prosjektering av kontaktledning JD 540.* 2011.
11. —. *BaneData Innsyn.* mars 2012.
12. **JBV Bane Energi.** *Framtidig banestrømforsyning Dovrebanen.* 2012. Utredning.
13. **JBV.** *Befaring Trengereid - Takvam, Tilstandsbetraktning på kontaktledningsanlegget.* september 2007.
14. —. *Tilstandsrapport Bergensbanen, Kontaktledning, Langhelle - Tunestveit.* desember 2009.
15. —. *Befaring september 2009 Haugastøl - Lågheller.* [PPT] september 2009.
16. **AS, Jøsok Prosjekt.** *Tilstandskontroll 16 kV FS-linje Haugastøl - Mjølfjell.* 2009.
17. **BKK.** *Regional kraftsystemutredning for BKK-området og indre Hardanger.* juni 2010.
18. **COWI.** *Vern i AT-system for norsk banestrømforsyning.* 2006.
19. **Jernbaneverket.** <http://samhandling/no/Arbeidsstotte/Fakta-om-Jernbaneverket/Prosjektoversikt/Investeringsprosjekter/Bergen-Arna/>. [Internett] 5. mars 2012.

## VEDLEGGSLISTE

- Vedlegg 1 Tap i banestrømforsyningen
- Vedlegg 2 AT-plassering på Bergensbanen
- Vedlegg 3 AT-kabler på Bergensbanen
- Vedlegg 4 Målerapport Hønefoss
- Vedlegg 5 Målerapport Mjølfjell
- Vedlegg 6 Målerapport Dale
- Vedlegg 7 Målerapport Bergen
- Vedlegg 8 Simuleringsrapport Bergensbanen
- Vedlegg 9 Kapasitetsoptimal ruteplan
- Vedlegg 10 Fagrådsmøte Bergensbanen 16.03.2010
- Vedlegg 11 Enhetskostnader banestrømforsyning
- Vedlegg 12 Kostnadsmodell Bergensbanen
- Vedlegg 13 Usikkerhetsanalyse Bergensbanen