


LCC ANALYSE FOR OMFORMERE

Livsløpskostnader

Statiske og roterende aggregater

001	Endelig versjon	07.08.2012	DALING	ANJAN	STOM
000	Førsteutkast	16.07.2012	DALING	STOY	ANJAN
Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Utarb. av	Kontr. av	Godkj. av
LCC analyse omformere Livsløpskostnader Statiske og roterende aggregater		Ant. sider	Fritekst 1d		
		21	Fritekst 2d		
			Fritekst 3d		
			Produsent	Bane Energi	
		Prod. dok. nr.			
		Erstatning for			
		Erstattet av			
 Jernbaneverket		Dokument nr.			Rev.
					001

Sammendrag

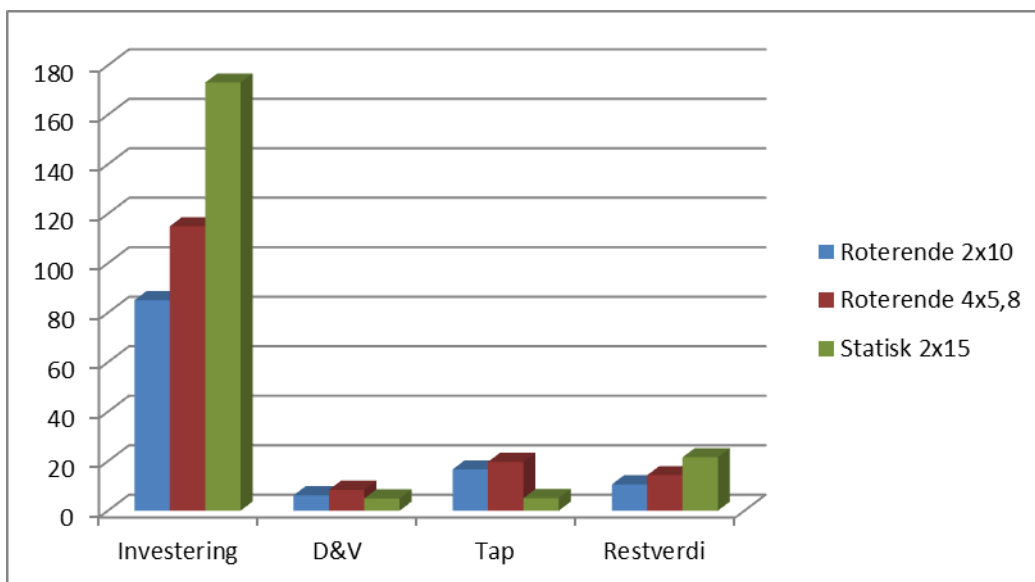
Forventningsverdi for total livsløpskostnad er beregnet for matestasjoner med ulike typer omformeraggregater. Det er videre gjennomført en forenklet usikkerhetsvurdering. Analysen angir kostnadene til følgende verdier, med standardavvik på hhv. 32 %, 32 % og 35 %:

2x10 MVA roterende aggregater: 100 MNOK

4x5,8 MVA roterende aggregater: 134 MNOK

2x15 MVA statiske aggregater: 158 MNOK

Analysen viser dermed at en ny omformerstasjon med statiske aggregater koster 58 % mer enn en ny omformerstasjon med 10 MVA roterende aggregater, og 18 % mer enn dersom 5,8 MVA roterende aggregater benyttes. Grunnkalkylens livsløpskostnader for henholdsvis investering/reinvestering, drift og vedlikehold samt elektriske tap er vist grafisk i Figur 1. Restverdien trekkes fra de øvrige kostnadselementene for å finne total livsløpskostnad.



Figur 1 – Livsløpskostnader for stasjoner med roterende og statiske aggregater

Omformerstasjoner med 10 MVA aggregater står frem som den mest kostnadseffektive løsningen både i følsomhetsanalysene og usikkerhetsvurderingen. Analyseperiode, belastningsprofil og diskonteringsrente har neglisjerbare konsekvens for beregningene. Derimot vil endringer i energipris og investeringskostnader som legges til grunn kunne påvirke konklusjonen slik at statiske omformere blir en mer kostnadseffektiv løsning enn 4x5,8 MVA aggregater. På det overordnede nivået denne LCC-analysen er gjennomført, hvor lokale og prosjektspesifikke forhold ikke er kjent, konkluderes det likevel med at omformerstasjoner med roterende aggregater generelt er mer kostnadseffektivt enn statiske aggregater.

På bakgrunn av at denne analysen er av overordnet art, er konklusjonene i hovedsak kun egnet til vurderinger i tidlige planleggingsfaser. Grundigere analyser bør gjennomføres ved detaljplanlegging når mer informasjon om det konkrete prosjekt er kjent.

Innhold

Sammendrag	i
Innhold	ii
1. Innledning	1
2. Forutsetninger	2
2.1 Økonomiske forutsetninger	2
2.2 Tekniske forutsetninger	2
3. Investeringskostnader	4
3.1 Investeringskostnader for statiske omformere	4
3.2 Investeringskostnader for roterende omformere	4
4. Drift- og vedlikeholdskostnader	6
4.1 Drift og vedlikehold	6
4.2 Elektriske tap	6
5. Feilkostnader	10
6. Avviklingskostnader	11
7. Livsløpskostnader	12
8. Økonomiske følsomhetsvurderinger	13
8.1 Generelt	13
8.2 Diskonteringsrente	13
8.3 Energipris	14
8.4 Analyseperiode	15
8.5 Belastningsprofil	16
8.6 Investeringskostnader	17
9. Usikkerhet	18
10. Oppsummering og anbefaling	20
10.1 Diskusjon	20
10.2 Konklusjon	22
11. Referanser	23
Vedlegg 1 – Kostnadselementer for statiske og roterende omformere	24
Vedlegg 2 - Tapskostnader	26
Vedlegg 3 - Kostnadsberegninger	29
Vedlegg 4 - Usikkerhetsberegninger	31

1. Innledning

Ved bygging av nye omformerstasjoner har JBV Bane Energi et valg mellom gjenbruk av roterende omformeraggregater og anskaffelse av nye statiske omformeraggregater. Dette dokumentet har til hensikt å sammenligne livsløpskostnadene forbundet med disse to ulike typene omformeraggregater. Hensikten er å vurdere på generell basis om gjenbruk av eksisterende aggregater er samfunnsøkonomisk lønnsomt. Alle kjente og kvantifiserbare investeringskostnader og driftsutgifter blir lagt til grunn for beregningen.

Både roterende og statiske omformeraggregater finnes i ulike størrelser med ulik ytelse. Den største typen roterende aggregater JBV har erfaring med har en nominell ytelse på 10 MVA og maksimal overbelastning på 19 MVA. Aggregatstørrelsen JBV har flest av har nominell ytelse på 5,8 MVA og maksimal overbelastning på 10 MVA. Disse to typene roterende omformere legges til grunn i denne analysen.

Den største typen statisk omformer som JBV har erfaring med har en nominell ytelse på ca. 12 MVA og maksimal belastning på 15 MVA. På tross av noe ulike verdier fra det roterende aggregatet beskrevet over, anses en slik statisk omformer å være teknisk likeverdig det roterende vedrørende ytelse. Den statiske omformeren omtregnes som en 15 MVA omformer, ettersom dette er nominell ytelse for kraftelektronikken i anlegget.

I denne analysen blir derfor en ny omformerstasjon med følgende ulike bestykninger sammenlignet direkte:

- 2x10 MVA roterende aggregater
- 4x5,8 MVA roterende aggregater
- 2x15 MVA statiske aggregater.

2. Forutsetninger

2.1 Økonomiske forutsetninger

I alle økonomiske vurderinger legges en kalkulasjonsrente på 4,5 % til grunn iht. Jernbaneverkets metodehåndbok (1). Restverdier beregnes med grunnlag i anskaffelsesverdien fratrukket lineære avskrivninger basert på den tekniske levetiden. I henhold til metodehåndboken legges det til grunn en teknisk levetid på 40 år for alle elektroanlegg unntatt kontaktledningsanlegg som er på 60 år. Analyseperioden er på 25 år fra første investeringstidspunkt.

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 bedriftsøkonomiske kostnader for JBV og andre aktører skilles ikke i beregninger.

Kostnadselementer er hentet fra Bane Energis dokument for enhetskostnader for banestrømforsyning (2), som igjen er basert på historiske verdier. Alle kostnader er oppjustert fra sine originale prisnivåer til nivå for november 2011 ved bruk av SSBs byggeindeks for veganlegg.

2.2 Tekniske forutsetninger

Omformerstasjoner kan bygges med statiske eller roterende omformerenheter. Statiske enheter er normalt stasjonære, men transportable alternativer finnes i markedet. 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. Ved bygging av omformerstasjon for roterende omformere, må derfor eksisterende roterende omformerenheter benyttes.

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. Dermed kan et statisk aggregat med maksimalytelse på 15 MVA sammenlignes direkte med et roterende aggregat med maksimalytelse på 19 MVA, eller med to mindre roterende aggregater hvor maksimalytelse hver er på 10 MVA.



Det er en viktig forutsetning i denne analysen at både roterende og statiske omformeraggregater tilfredsstillende interne tekniske krav og kan anses som teknisk likeverdige. Det er for øvrig et viktig poeng at kravene stilt i den enkelte anskaffelse kan variere, og at kostnader vil variere avhengig av hvilke krav som blir stilt. Krav i JBV's tekniske regelverk skal i utgangspunktet uansett overholdes, og for nye anskaffelser må også RAMS-forhold (forhold relatert til pålitelighet, tilgjengelighet, vedlikeholdbarhet og sikkerhet) også ivaretas. Mindre RAMS-relaterte forskjeller mellom teknologiene blir tatt hensyn til igjennom kostnadsvurdering av drift- og vedlikehold samt feilstatistikk for anleggene.

3. Investeringskostnader

3.1 Investeringskostnader for statiske omformere

Bane Energi har erfaring med totalleveranser av omformerstasjoner med statiske aggregater. I en totalentreprise leveres anleggene nøkkelferdige fra leverandør. Kostnadselementene for de ulike komponentene i stasjonen som angitt fra leverandører fordeler seg som vist i Tabell 12 i Vedlegg 1. Totale kostnader for ulike størrelser av omformerstasjoner med statiske aggregater er vist i Tabell 1. For en omformer med to 15 MVA aggregater legges dermed 173 MNOK til grunn som investeringskostnad.

Tabell 1 – Investeringskostnader for statiske omf.st. [MNOK]

Statisk omformerstasjon	Investeringskostnad
2x15 MVA	173
4x15 MVA	280
2x30 MVA	237
3x30 MVA	311
4x30 MVA	385

3.2 Investeringskostnader for roterende omformere

For roterende omformere kommer en kostnad per aggregat for hovedrevisjon før de kan installeres i ny stasjon. Investeringskostnaden for en omformerstasjon med roterende omformere består dermed av stasjonskostnaden og hovedrevisjon. Investeringskostnad av rehabilitering eller nybygg av en omformerstasjon med plass til to roterende omformeraggregater er estimert til 60,4 MNOK. Tilsvarende investeringskostnad med plass til fire aggregater er estimert til 65,6 MNOK. Denne verdien kan anses som en totalentreprisekostnad, og inkluderer all nødvendig utrustning samt prosjekterings- og dokumentasjonskostnader. Det forutsettes at omformerstasjonen plasseres i nærhet av spor, slik at roterende aggregater kan transporteres på jernbane.

Nye omformerstasjoner må forutsette at kontaktledningen som skal mates er eller vil bli AT-system. Ved benyttelse av eksisterende roterende aggregater må en forholde seg til de transformatorene som foreligger, som ikke er tilpasset AT-system. Det blir da nødvendig med 2 autotransformatorer per utgående linje, som blir en tilleggskostnad til investeringen. Hver autotransformator koster 2,2 MNOK, og dersom det antas at omformerer mater midt på en enkeltsporet strekning blir totalkostnaden 8,8 MNOK for 4 autotransformatorer. Et alternativ kan være å installere nye enfasetransformatorer i de roterende omformerne, og generere ± 15 kV direkte. Da må det også bygges et tofasert koplingsanlegg. Mating til AT-system representerer uansett en ekstra investeringskostnad for stasjonen.

På strekninger med AT-system må det bygges en autotransformator per 8-12 km langs linjen. Ved optimal plassering av omformerstasjonen vil den kunne erstatte en av disse transformatorene. Autotransformatorer plassert ved omformerstasjonen vil derfor kunne redusere behovet for nye transformatorer langs linjen med 1, slik at beregningsgrunnlaget blir 3 og ikke 4. I år 2012 finnes det heller ingen strekninger med AT-system i Norge (bortsett fra på Ofotbanen, hvor et spesialtilpasset system er benyttet), og det er ikke gitt når dagens anlegg med BT-system vil bli byttet ut. Kostnadsberegningen i denne utredningen ser derfor bort ifra den eventuelle ekstra kostnaden som autotransformatorer kan medføre.

Detaljerte kostnadselementer for hovedrevisjon av omformeraggregater er gitt av Tabell 13 i Vedlegg 1. Oppsummerte revisjonskostnader er gitt i Tabell 2. Det forutsettes at hovedrevisjonen før omplassering i ny omformerstasjon inkluderer apparatvognen. Det differensieres ikke mellom omformerstørrelse, og antas at kostnadene ligger i samme størrelsesorden både for 10 MVA og 5,8 MVA aggregater.

Tabell 2 – Gjennomsnittlige kostnader ved hovedrevisjon av roterende omformere

Hovedrevisjon med apparatvogn	8 698 396
Hovedrevisjon uten apparatvogn	5 472 907
Revisjon	2 040 516

Ombygging av omformeraggregater til børsteløs magnetisering pågår kontinuerlig også i felt, og dette arbeidet er planlagt ferdigstilt innen få år. Etter dette vil ny feltmaskin kunne utgå under hovedrevisjoner, noe som kan innebære en kostnadsreduksjon på ca. 1 MNOK. Dette er en mulig fremtidig besparelse som ikke tas hensyn til i disse beregningene.

Ved en hovedrevisjon blir et omformeraggregat i praksis fornyet, med forventet levetid tilsvarende et nytt aggregat. Dette gjelder ikke trefase- og enfasetransformatorer, som det hittil ikke har vært gjort større arbeider på i forbindelse med revisjonsarbeid. Etersom teknisk levetid på transformatorene ikke påvirkes av hovedrevisjoner, må det forutsettes at disse også må fornyes for å få en tilsvarende levetid som resten av anleggene. Det antas her at det er mulig å vikle om og omisolere eksisterende transformatorer, slik at ny teknisk levetid på minst 40 år oppnås.

Fra Tabell 13 i Vedlegg 1 kommer det frem at omvikling og omisolering av en generator koster 1,4 MNOK, og det antas at kostnaden av et tilsvarende arbeid for en transformator havner i samme størrelsesorden. Det antas videre at transport gjøres sammen med resten av aggregatet slik at ikke ekstrakostnader påløper, men legger til 30 % for øvrige kostnader forbundet med fornyelsen. Totalkostnad for fornyelse blir da 1,82 MNOK per transformator, eller 3,64 MNOK per aggregat.

4. Drift- og vedlikeholdskostnader

4.1 Drift og vedlikehold

Årlige drift- og vedlikeholdskostnader er vist i Tabell 3 og Tabell 4, henholdsvis for stasjoner med roterende og statiske omformere. Disse er beregnet ut ifra de oppførte driftskostnadene på BE sine relevante stasjoner i årene 2006-2008. Kostnadene innebærer alle kostnader ført av driftspersonell på hver type stasjon. Driftskostnader i form av elektriske tap i omformerstasjonene er ikke med i tabellen, da disse blir kvantifisert i kapittel 4.2. Verdiene er ikke differensiert med hensyn til aggregatstørrelse.

Tabell 3 – Årlige drift- og vedlikeholdskostnader for omf.st. med roterende omformere [TNOK]

Roterende omformere					
Fjellhall			Bygning		
2 aggr.	3 aggr.	4 aggr.	2 aggr.	3 aggr.	4 aggr.
443	465	487	187	209	231

Tabell 4 – Årlige drift- og vedlikeholdskostnader for omf.st. med statiske omformere [TNOK]

Statiske omformere		
2 omf.	3 omf.	4 omf.
332	354	376

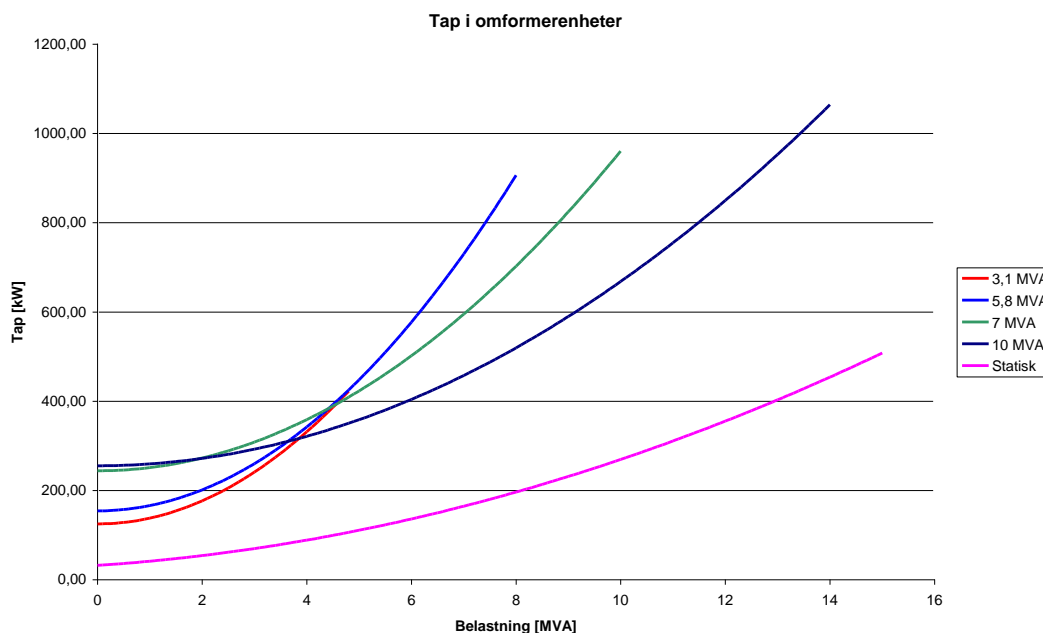
Det antas at nye omformerstasjoner med roterende aggregater vil bli bygd som bygninger og ikke fjellhaller, men det stilles spørsmål ved den store forskjellen i årlige drift- og vedlikeholdskostnad i tabellen. Det legges derfor til grunn gjennomsnittskostnaden av fjellhall og bygning for de ulike antallene aggregater. Årlig drift- og vedlikeholdskostnad for stasjoner med roterende omformere blir dermed 315 TNOK for 2 aggregater og 359 TNOK for 4 aggregater. Stasjoner med statiske omformere beregnes med en årlig kostnad på 332 TNOK.

For roterende aggregater legges det til grunn en mindre revisjon hvert 15. år etter hovedrevisjonen, iht. Bane Energi Drift sine rutiner. Kostnaden av dette er iht. Tabell 2 på 2,04 MNOK hvert 15. år, som tilsvarer 190 TNOK/år for hvert aggregat i jevnlig vedlikeholdskostnader.

4.2 Elektriske tap

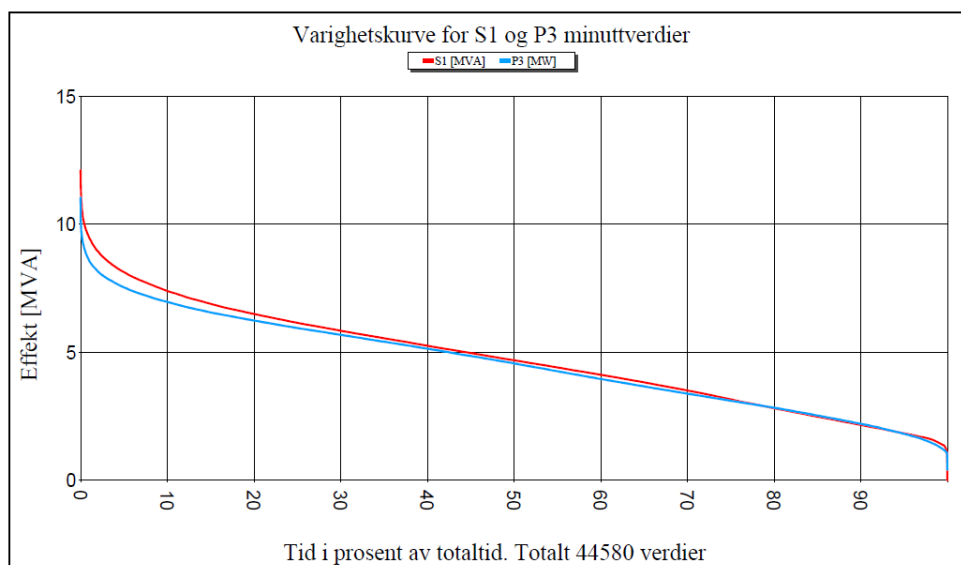
Elektriske tap for ulike typer omformeraggregater er vist grafisk i Figur 2, fra tomgangstap til tap ved maksimal 6-minuttersbelastning. Figuren gir verdier for alle roterende omformere samt for 15 MVA statisk omformer. Det er tydelig ut fra grafen at nivået på elektriske tap er sterkt avhengig av aggregatens belastning.

For den statiske omformeren er alle transformertap inkludert, men for de roterende omformerne er ikke trefase transformator inkludert. Lokal kraft til omformerstasjoner med roterende aggregater avhenger av stasjonen og er ikke inkludert i disse verdiene. Reelle tap er derfor noe høyere for roterende aggregater, men transformertap og lokalkraft anses som såpass lave at de kan neglisjeres i denne sammenhengen.



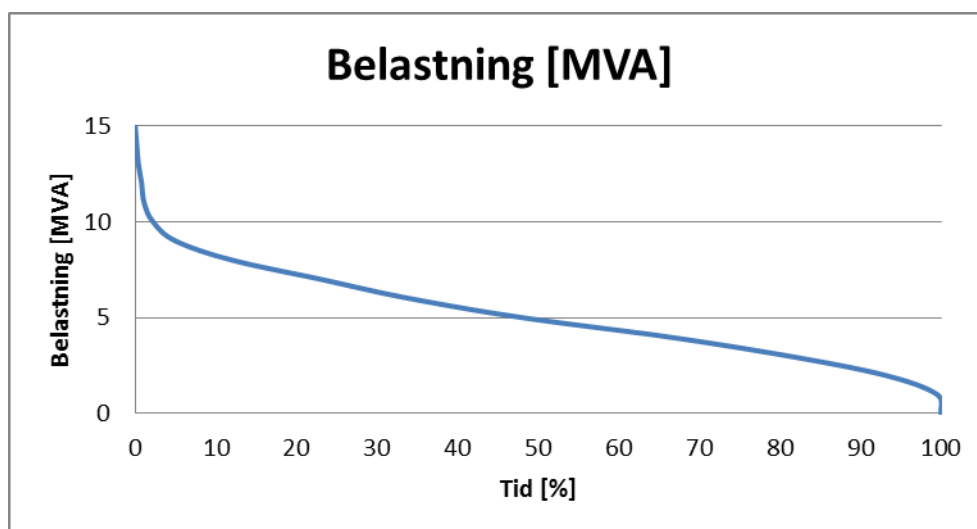
Figur 2 – Elektriske tap i roterende omformerenheter med enfasetransformator, og 10 MVA statisk omformer med enfase- og trefasetransformator.

For at sammenligningen skal bli riktig, må en sannsynlig belastningsprofil benyttes i beregningen. Belastning avhenger av en rekke ulike faktorer og varierer fra omformerstasjon til omformerstasjon. For denne beregningen er reell belastning for Holmlia omformerstasjon benyttet, som normalt er bestykket med 2 x 10 MVA roterende aggregater. Varighetskurve for denne stasjonens belastning i mars 2012 er vist i Figur 3. Enfase tilsynelatende belastning, S1, blir benyttet i beregningene videre.



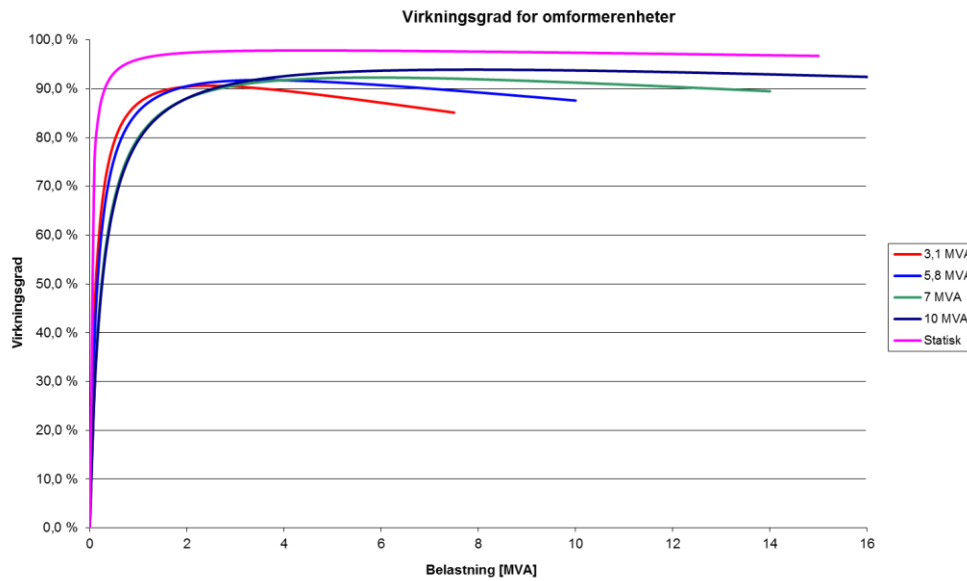
Figur 3 - Varighetskurve for Holmlia mars 2012

Ut ifra den reelle belastningen, legges en forenklet belastningsprofil til grunn. Varighetskurve for denne belastningsprofilen er vist i Figur 4. Årlig produksjon er 41 GWh for både reell belastning og belastningen lagt til grunn i beregningene, og profilene er nærmest identiske.



Figur 4 - Varighetskurve lagt til grunn for beregninger

Det forutsettes så at en stasjon med 2 aggregater skal være redundant iht. JBV's tekniske regelverk (3), og at det dermed alltid kun vil være ett aggregat i drift. For en stasjon med 4 aggregater vil det aldri være mer enn 3 aggregater i drift samtidig, og antallet i drift vil avhenge av belastningen. Det vil da være ønskelig å minimere stasjonens elektriske tap samtidig som man opprettholder en akseptabel margin mot overbelastning. I denne beregningen legges det til grunn at det startes ett nytt aggregat per 5 MVA langvarig belastning, som samsvarer med aggregatens nominelle ytelse på 5,8 MVA. Dette gir en lav driftstid i det belastningsområde hvor virkningsgraden til aggregatene er lavest, vist i Figur 5, og anses derfor som fornuftig forenklet modellering av aggregatbelastningen.



Figur 5 – Virkningsgrad for roterende omformerenheter med enfasetransformator, og 10 MVA statisk omformer med enfase- og trefasetransformator.

350 NOK/MWh legges til grunn som energikostnad. Detaljerte beregninger for kostnaden av elektriske tap er vist for stasjoner med 2x10 MVA roterende, 4x5,8 MVA roterende og 2x15 MVA statisk i henholdsvis Tabell 14, Tabell 15 og Tabell 16 i Vedlegg 2. Oppsummert blir årlig kostnad grunnet elektriske tap følgende:

2x10 MVA roterende aggregater:	1,126 MNOK
4x5,8 MVA roterende aggregater:	1,332 MNOK
2x15 MVA statiske aggregater:	0,342 MNOK

5. Feilkostnader

Feil i omformerstasjoner kan føre til korrektivt vedlikeholdsarbeid og komponentkostnader. Dersom en omformerstasjon ikke kan mate ut effekt, vil togtrafikken på strekningen forbi omformerstasjonen normalt bli påvirket i form av krav til redusert pådrag. Togforsinkelser grunnet redusert pådrag kan føre til høye samfunnsøkonomiske kostnader, vist i Tabell 5.

Tabell 5 – Forsinkelseskostnader per passasjer/tonn nyttelast

Persontransport med tog Reisetid om bord	Korte reiser (< 50 km) Kr pr. passasjer pr. time	Lange reiser (> 50 km) Kr pr. passasjer pr. time
Reiser i arbeid	528	297
Reiser til/fra arbeid	193	226
Øvrige reiser	121	154
Godstransport med tog Materiellkostnader mv. ikke inkludert	Alle avstander Kr pr. tonn nyttelast pr. time	
Bulk (ekskl. malmtransport på Ofotbanen)	50	
Stykkogods, lav verdi	132	
Stykkogods, høy verdi	3522	
Container-/kombitog ³	292	

Årlig nedetid blir registrert hvert år for BE sine omformerstasjoner. Dette datagrunnlaget er justert for best mulig å kunne representere en relativt ny stasjon. Det foreligger for øvrig ikke feilstatistikk med høy nok detaljeringsgrad og sporbarhet til å kunne beregne MTBF (Mean Time Between Failure) og MTTR (Mean Time To Repair). Årlig nedetid er gitt som følger:

Statisk omformerenhet: 70,2 timer (0,801 %)
Roterende omformeraggregat: 29,5 timer (0,337 %)

Overnevnte nedetider er beheftet med spesielt stor usikkerhet og er sterkt påvirket av enkelte havarier som har medført lang nedetid. For enkelte havarier har også feilretting vært nedprioritert på bakgrunn av en driftsvurdering av kritikalitet, og dette slår da ut i statistikken som lav oppetid. Verdiene over er derfor ikke nødvendigvis representable for de ulike typene omformere, men er likevel det eneste grunnlaget som foreligger for analysens vurdering.

I henhold til krav i teknisk regelverk (3) samt forutsetninger for denne analysen skal nye omformerstasjoner dimensjoneres med et redundant aggregat. Slik skal en hvilken som helst komponent i en omformerstasjon kunne svikte uten at det får følger for togtrafikken. Det vil si at et havari av en omformer i en hver stasjon får ingen konsekvens annet enn feilrettingskostnader. Nedetidene gitt over er såpass lave at det statistisk sett er usannsynlig at to havarier vil inntreffe samtidig i én stasjon. Forsinkelseskostnadene per omformerstasjon blir dermed 0 MNOK for både roterende og statiske aggregater.

Feilkostnadene i form av korrektivt vedlikeholdsarbeid og komponentkostnader er inkludert i de driftskostnadene som er beskrevet i kapittel 4.1, ettersom de inkluderer alle kostnader ført per stasjon. Kostnadene forbundet med dette er dermed allerede tatt hensyn til i analysen, og blir ikke dobbeltført i beregningene.

6. Avviklingskostnader

Bane Energi har liten erfaring med nedleggelse av omformerstasjoner. Noen anleggsdeler kan ofte benyttes igjen i andre stasjoner, eller inngå i et beredskapslager. Det er normalt store mengder metall som kan ha verdi for skraphandlere, og dermed er det mulig å tjene noen penger på en nedleggelse. Det kan videre være mulig å selge bygg og fjellhaller til industriformål (lager, etc). Samtidig koster det penger å rive et anlegg og sette tomten tilbake i en estetisk akseptabel stand. Ofte vil det være farlige materialer som må spesialbehandles ved rivingen. I tidligere utredninger har Bane Energi antatt en netto kostnad på 2 MNOK per nedleggelse, og dette anslaget benyttes videre i dette dokumentet. Det skilles ikke mellom nedleggelse av stasjoner med roterende og statiske aggregater.

I henhold til denne analysens økonomiske forutsetninger gitt av kapittel 2, benyttes en analyseperiode på 25 år og teknisk levetid på 40 år for omformerstasjoner. Avviklingskostnadene for omformerstasjoner havner dermed etter analyseperioden og blir dermed ikke omfattet av de økonomiske beregningene. Grunnet diskontering over 40 år ville uansett overnevnte avviklingskostnad hatt liten betydning.

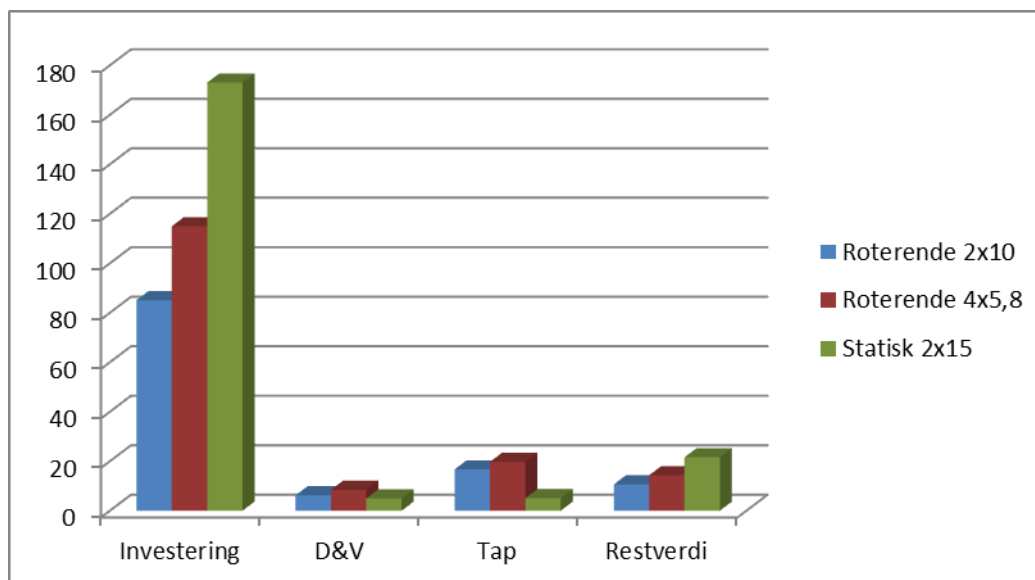
7. Livsløpskostnader

I beregningen av livsløpskostnader for roterende og statiske aggregater blir alle kostnader nevnt i tidligere kapitler tatt hensyn til. Detaljert beregningsmodell for livsløpskostnadene er vist i Vedlegg 3, og resultatene er vist i Tabell 6.

Tabell 6 – Beregningsresultater av LCC-analyse

LCC Analyse					
Rente	4,5 %				
Prisstigning	0,0 %				
Energikostnad	350 NOK/MWh				
Analyseperiode	25 år				
Nåverdier [MNOK]	Sum	Investering	D&V	Tap	Restverdi
Roterende 2x10	97	85	6	17	11
Roterende 4x5,8	129	115	8	20	14
Statiske 2x15	161	173	5	5	22

Beregningene viser at basert på de forutsetninger og historiske kostnader som foreligger, er summert livsløpskostnad for en omformerstasjon med statiske aggregater 66 % høyere enn kostnaden for en tilsvarende stasjon med 2x10 MVA roterende. I forhold til 4x5,8 MVA roterende aggregater er en stasjon med statiske omformere 25 % dyrere. Dette til tross for at stasjoner med roterende aggregater har høyere drifts- og vedlikeholdskostnader og vesentlig høyere tapskostnader. Disse forholdene er også vist grafisk i Figur 6. Årsaken til at statiske omformere blir dyrest totalt sett er de høye investeringskostnader forbundet med dem.



Figur 6 – Livsløpskostnader for stasjoner med roterende og statiske aggregater

8. Økonomiske følsomhetsvurderinger

8.1 Generelt

Beregningene som blir benyttet i dette dokumentet er beheftet med et antall usikkerheter. En viktig usikkerhet er gyldigheten av enhetskostnadene som blir benyttet. For øvrig er disse hentet ut fra historiske erfaringstall, og er i så måte det best grunnlaget tilgjengelig.

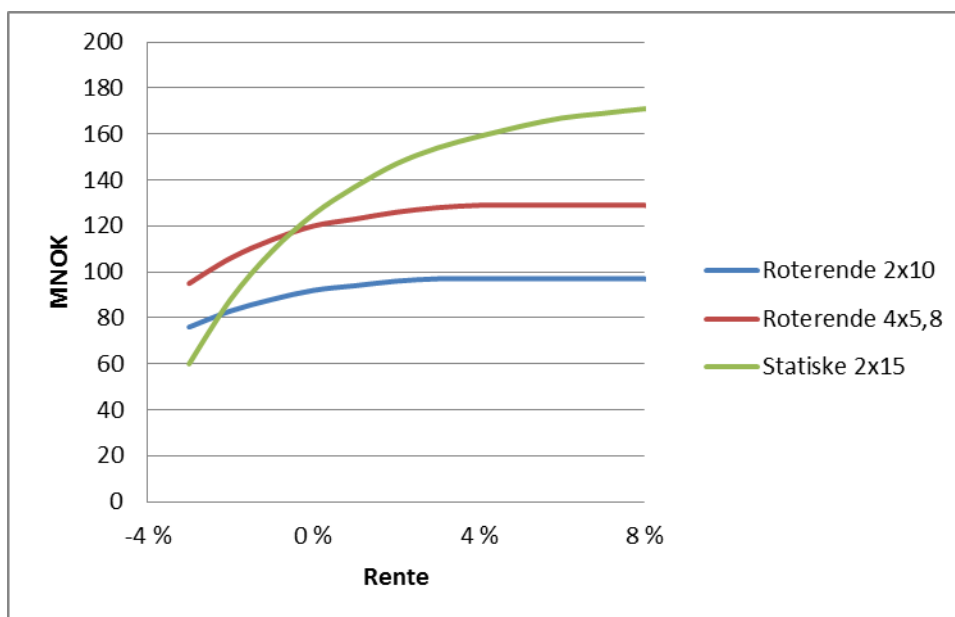
Andre viktige parametere i beregningen av livsløpskostnadene er diskonteringsrente, prisutvikling og energikostnad. Disse parametrene på henholdsvis 4,5%, 0% og 350 NOK/MWh er godt forankret og er iht. kapittel 2 viktige forutsetninger for denne analysen. Det er likevel hensiktsmessig å undersøke hvor stor innflytelse ulike parametre har på totalberegningen, og hvilken konsekvens en eventuell undring i hver av disse verdiene vil gi. Denne følsomhetsanalysen vurderer konsekvensen av en endring i følgende parametre:

- Diskonteringsrente
- Energipris
- Analyseperiode
- Belastningsprofil
- Investeringskostnader

8.2 Diskonteringsrente

Figur 7 viser hvordan en ulik diskonteringsrente vil påvirke livsløpskostnadene. En lavere rente vil gi likere kostnader, men statiske omformere vil likevel aldri få en lavere total kostnad enn roterende aggregater på bakgrunn av kun diskonteringsrenten. Dette ville krevet en diskonteringsrente lavere enn 0 %, noe som anses som urealistisk.

En høyere rente enn 4,5 % øker gapet mellom alternativene, da statiske omformere blir dyrere og roterende aggregater billigere. Årsaken til dette er at roterende aggregater har vesentlig høyere årlige kostnader, som ved en høyere diskonteringsrente får en lavere nåverdi. Dermed blir total kostnaden lavere. Statistiske aggregater har derimot lave årlige kostnader, men en høyere restverdi mot slutten av analyseperioden. Når renten øker reduseres nåverdien av anleggets restverdi, og dermed blir total kostnaden høyere.

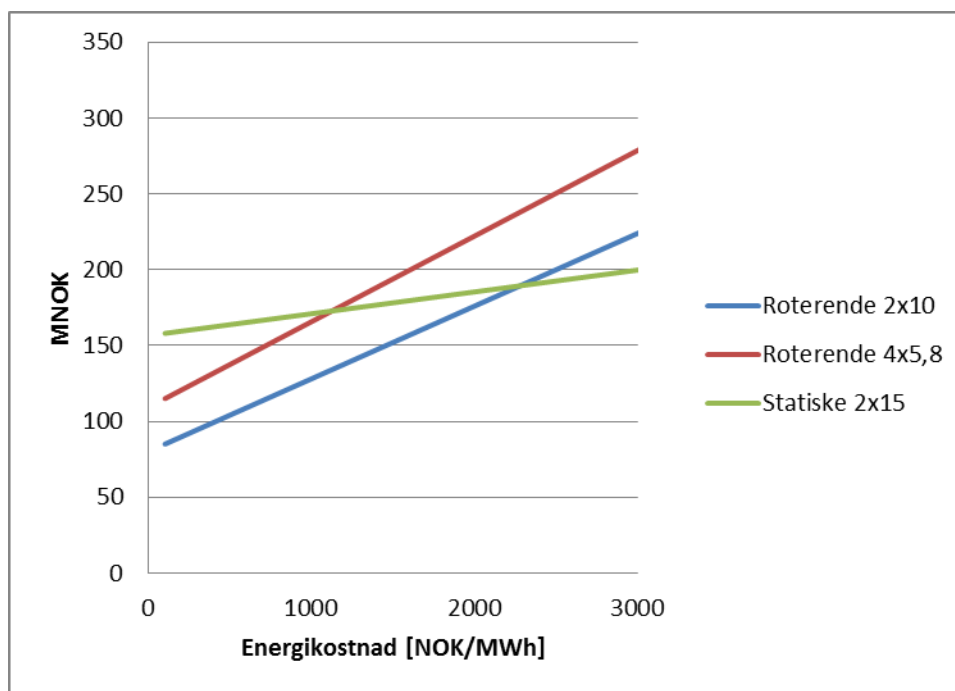


Figur 7 – Forskjell i livsløpskostnad som konsekvens av endret diskonteringsrente

8.3 Energipris

Konsekvensen av endret energipris er vist i Figur 8. Ettersom både statiske og roterende aggregater har elektriske tap, øker totalkostnaden av begge typer anlegg ved økende energipriser. Grafen viser at krysningpunktet for når statiske aggregater får en lavere totalkostnad enn 2x10 MVA roterende aggregater ikke er før ca. 2 300 NOK/MWh, som er 660 % høyere enn energiprisen som er lagt til grunn. For øvrig vil statiske aggregater være konkurransedyktige mot 4x5,8 MVA aggregater allerede ved en energipris på 1 130 NOK/MWh, ca. 320 % av forutsatt kostnad.

En lavere energipris vil kun gjøre statiske aggregater mindre konkurransedyktige. Kurven for roterende aggregater er brattere enn kurven for statiske aggregater, ettersom roterende har høyere tap og dermed påvirkes kraftigere av endringer i energiprisen.



Figur 8 – Forskjell i livsløpskostnad som konsekvens av endret energikostnad

8.4 Analyseperiode

Ved en endring i analyseperiode fra metodehåndbokens 25 år til anleggenes forventede levetid på 40 år kan avviklingskostnadene tas hensyn til. Restverdiene forsvinner fra beregningene, samtidig som de årlige kostnadene blir mer dominerende. Resultatet er vist i Tabell 7. Med denne endringen går en stasjon med statiske aggregater fra å koste 66 % til 60 % mer enn en tilsvarende stasjon med 2x10 MVA roterende aggregater. I forhold til 4x5,8 MVA roterende aggregater blir forskjellen fra 25 % til 22 %. Lengden på analyseperioden får stor konsekvens for verdien på totalkostnadene, men får liten betydning for kostnadsforholdet mellom aggregatene.

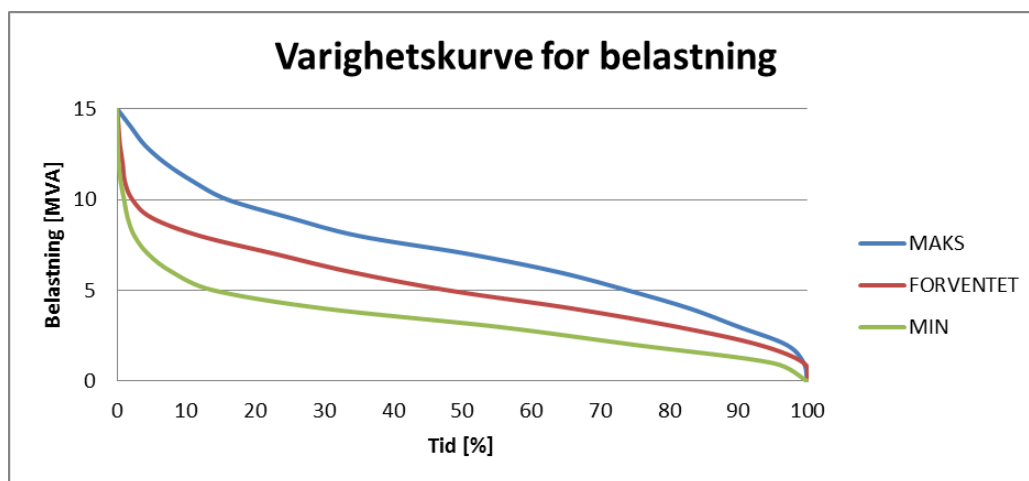
Tabell 7 – Beregningsresultater av LCC-analyse dersom 40 års analyseperiode legges til grunn

LCC Analyse						
Rente	4,5 %					
Prisstigning	0,0 %					
Energikostnad	350 NOK/MWh					
Analyseperiode	40 år					
Nåverdier [MNOK]	Sum	Investering	D&V	Tap	Restverdi	
Roterende 2x10	115	85	9	21	0	
Roterende 4x5,8	152	115	12	25	0	
Statisk 2x15	185	173	6	6	0	

8.5 Belastningsprofil

Som nevnt i kapittel 4.2 vil reell stasjonsbelastning være avhengig av en rekke ulike faktorer. Viktige faktorer i denne sammenheng er togtrafikk, som blant annet avhenger av ruteplan og antall spor i området. Togvekt og installert motorytelse i tog har også mye å si for belastningen. En høyere totalbelastning med samme belastningsprofil som i Holmlia vil føre til at maksimalbelastning øker utover stasjonens ytelse, og at stasjonen må dimensjoneres med flere aggregater. Denne LCC-analysen er begrenset til de stasjonsytelser som er spesifisert i kapittel 1, og høyere aggregatbestykning blir derfor ikke vurdert her.

Det er likevel interessant å se hvordan høyere eller lavere belastning og annen belastningsprofil enn den som er lagt til grunn, vil påvirke de totale kostnadene. I tillegg til forventet belastningsprofil, beregnes også tapskostnader ved en svært høy og en svært lav profil. Disse er vist grafisk i Figur 9, og resulterende årlige tapskostnader er vist i Tabell 8. Total årlig kraftproduksjon for de tre forskjellige profilene er 25,2 GWh, 40,1 GWh og 57,7 GWh.



Figur 9 – Ulike belastningsprofiler som tapskostnader er beregnet for

Tabell 8 – Årlige tapskostnader ved ulike belastningsprofil [MNOK]

Belastningsprofil	Kostnad for 2x10 MVA	Kostnad for 4x5,8 MVA	Kostnad for 2x15 MVA
Lav belastning	0,932	0,894	0,224
Forventet belastning	1,126	1,332	0,342
Høy belastning	1,448	1,851	0,512

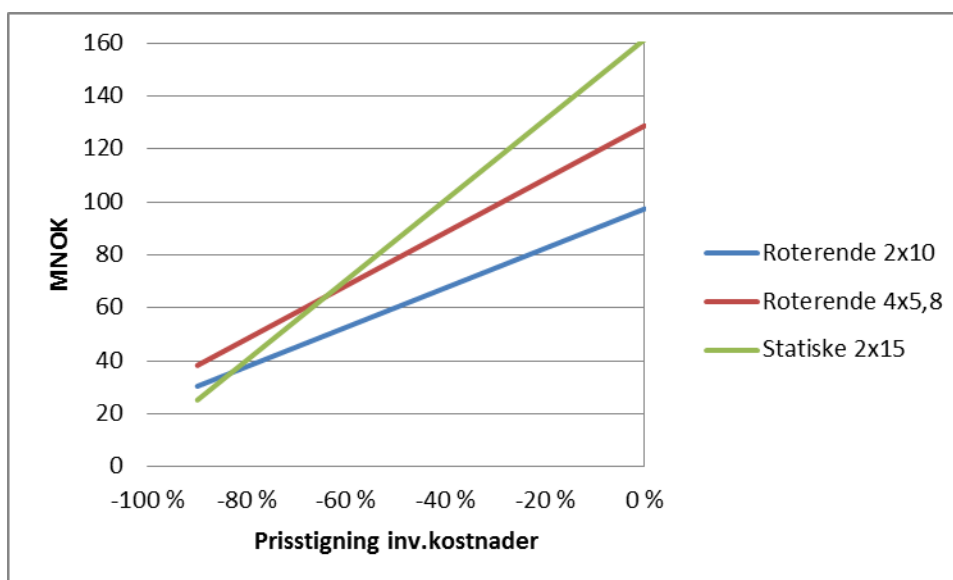
Tabell 8 viser at stasjoner med roterende aggregater, som har høyest tapsverdier, også blir påvirket høyest av endring i belastningsprofil. Ved lav belastningsprofil synker tapskostnadene, og dette får liten konsekvens for LCC-analysen da tapskostnadene allerede i utgangspunktet har relativt lav påvirkning på totalkostnaden. Selv ved en høy belastningsprofil blir ikke tapskostnadene, vist i Tabell 9, høye nok til å gi noen større påvirkning. Høyere belastning virker likevel i favør av statiske aggregater.

Tabell 9 – Beregningsresultater av LCC-analyse dersom høyeste belastningsprofil legges til grunn

Nåverdier [MNOK]	Sum	Investering	D&V	Tap	Restverdi
Roterende 2x10 MVA	102	85	6	21	11
Roterende 4x5,8 MVA	136	115	8	27	14
Statistiske 2x15 MVA	164	173	5	8	22

8.6 Investeringskostnader

Prosentvis endring i totale investeringskostnader vil påvirke hvilket alternativ som får lavest livsløpskostnader. Det forutsettes her at alle investeringskostnader. Konsekvensen av endringer i investeringskostnadene er vist i Figur 10, hvor det kommer frem at totale investeringskostnader må ligge 83 % lavere enn beregningsgrunnlaget for at statiske omformere skal ha lavest livsløpskostnader. For øvrig vil en reduksjon på 65 % eller mer føre til at en bestykning på fire roterende omformere blir dyrest.


Figur 10 – Endring i totale livsløpskostnader ved prosentvis endring i investeringskostnadene

9. Usikkerhet

En usikkerhetsanalyse er en systematisk fremgangsmåte for å identifisere, beskrive og evaluere usikkerhet. Usikkerhetsanalysen bør gi en oversikt over prosjektets usikkerheter, både trusler og muligheter. Det er i denne LCC-analysen ikke gjennomført en full usikkerhetsanalyse, men en forenklet usikkerhetsvurdering basert på prinsippene i “Trinnvis-prosessen” (4).

Sentralt i en usikkerhetsanalyse er gjennomføringen av en gruppeprosess, hvor en bred sammensetning av ulike deltagere kan bidra til å kartlegge påvirkningsfaktorer og generelle forhold med stor innflytelse på prosjektet. Kvaliteten på den ressursgruppen som sammensettes er viktig, da det er ressursgruppens samlede kompetanse, erfaring, kunnskap og samspill som har høyest innvirkning på kvaliteten på sluttresultatet. En slik gruppeprosess bør ledes av en nøytral prosessleder som kan motvirke utfordringer som gruppetenkning, mangel på kreativitet og undervurdering av usikkerhet. I den forenklete usikkerhetsvurderingen som er gjort for denne LCC-analysen er ingen gruppeprosess gjennomført, og resultatene må derfor tolkes deretter.

I stedet for en gruppeprosess er det gjort faglige vurderinger basert på underlaget som foreligger, samt tidligere gjennomførte fulle usikkerhetsanalyser (5), (6) basert på samme enhetskostnader som denne analysen. Fra tidligere usikkerhetsanalyser har de største usikkerhetsfaktorene (driverne) vært knyttet til eierstyring og gjennomføring, marked, plangrunnlag løsningsoptimalisering samt teknologi og nye krav. Usikkerheten forbundet med disse faktorene har vært i området 5-30 % for hver av disse driverne, ofte med like stor oppside som nedside. I disse analysene har det ikke kommet frem noen antatt forskjell i usikkerhet mellom roterende og statiske aggregater. Usikkerhetsdriverne er beskrevet under.

Eierstyring og gjennomføring

Usikkerhetsdriveren omfatter usikkerhet knyttet til prosjekteierstyring, prosjektledelse, prosjektplanlegging og –gjennomføring, og dekker dermed i hvilken grad byggherreorganisasjonen evner å tilrettelegge for, og gjennomføre, effektive plan- og gjennomføringsprosesser. Usikkerhetsdriveren omfatter bla. intern prioritering-, ressursallokering og finansiering av prosjektet, kontraktsstrategi og håndtering av entreprenører, fremdrift og kostnadsstyring, oppfølging av omfang, endringsstyring mm.

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. Det anses som en mulighet å samarbeide med for eksempel Sverige for å lage store nok jobber som vil tiltrekke seg store aktører. Risiko er knyttet til prisstigning og mulig monopolsituasjon i leverandørmarkedet, samt råvarepris. Det nevnes at man må gi potensielle aktører forutsigbarhet på pris og volum for å sikre konkurranse i markedet. Dette vil kunne bidra til lavere priser.

Plangrunnlag og løsningsoptimalisering

Løsningsutforming er i en tidlig utredningsfase og det betydelig risiko for at noe er uteglemt. Samtidig er det betydelig muligheter for å optimalisere både tekniske løsninger og hvordan tiltaket skal realiseres.

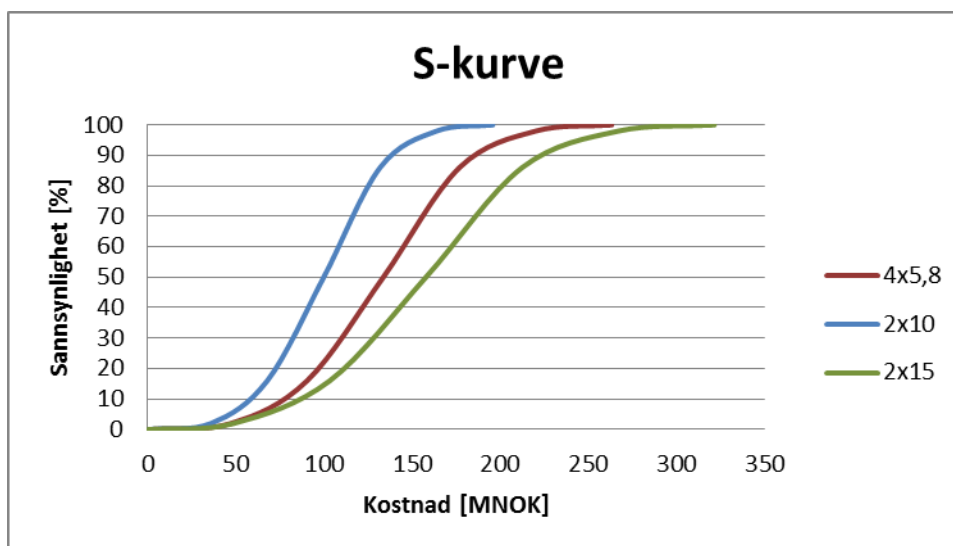
Teknologi og nye krav

Ny teknologi har potensial til å gjøre komponenter og anlegg bedre og billigere. For øvrig vil nye lovpålagte eller interne krav kunne øke kostnader i forhold til de nivåene som grunnkalkylen er basert på.

Det er gjennomført trippelanslag på elementene i grunnkalkylen samt usikkerhetsdriverne. Alle trippelanslag og beregninger er vist i Vedlegg 4. Ettersom restverdi kun beregnes basert på lineære avskrivninger anses dette elementet i grunnkalkylen ikke som relevant for usikkerhetsanalysen, og trekkes derfor direkte fra investeringspostene. Forventningsverdier og standardavvik for de ulike alternativene er vist i Tabell 10, og S-kurver er vist i Figur 11. S-kurvene viser sannsynligheten for at totale kostnader ikke overstiger kostnadene angitt på x-aksen.

Tabell 10 – Forventningsverdi og standardavvik for de ulike alternativene

	2x10	4x5,8	2x15
Forventningsverdi E [MNOK]	100	134	158
St. avvik σ [MNOK]	32	43	55
St. avvik %	32 %	32 %	35 %



Figur 11 – S-kurve for de ulike alternativene.

Verdiene og kurvene over bekrefter at 2x15 MVA statiske omformere er dyrest, selv om denne også har litt høyere standardavvik. Usikkerhetsvurderingen øker forventet kostnad for alternativene med roterende aggregater, men reduserte forventet kostnad for alternativet med statiske omformere. Endringene er likevel små og gir ingen konsekvens for konklusjonen. Alle standardavvik ligger i området 32-35 %.

10. Oppsummering og anbefaling

10.1 Diskusjon

Denne analysen viser at det er en stor forskjell i livsløpskostnader mellom roterende og statiske omformeraggregater. De største forskjellene ligger i at roterende omformere har lave investeringskostnader og høye løpende årlige kostnader, i mens forholdet er motsatt for statiske aggregater.

Høye investeringskostnader for statiske omformere er naturlig ettersom disse bygges fra bunn av, mens roterende aggregater i stor grad fornyes ved gjenbruk av eksisterende materialer. Derimot virker de lave drift- og vedlikeholdskostnadene oppgitt i Tabell 3 for roterende aggregater unaturlig lave i forhold til statiske. Det gjelder spesielt sett opp mot roterende aggregater i fjellhall, som ifølge statistikken er 2,4 ganger høyere enn samme anlegg i bygning. Dette er for øvrig tatt hensyn til i beregningen ved å ta gjennomsnittet av driftskostnad for fjellhall og bygning, og resulterende verdier virker fornuftige. Basert på feilstatistikken i kapittel 5 er det naturlig at driftskostnadene for statiske aggregater skal være noe høyere enn for roterende grunnet korrektivt vedlikehold, men disse verdiene er beheftet med stor usikkerhet. Denne usikkerheten blir gjenspeilet i den forenklede usikkerhetsvurderingen som er gjennomført.

Det er en rekke samfunnsøkonomiske faktorer og forhold som ikke blir inkludert i kostandsverdiene gitt av tidligere kapitler. Dette er elementer som vanskelig lar seg kvantifisere. Eksempler er utslipp av CO₂ eller annet farlig avfall ved produksjon av nye statiske omformeraggregater samt transport til Norge. For øvrig flyttes også roterende aggregater normalt til utlandet for hovedrevisjoner, og revisjoner kan også produsere farlig avfall. Visuell forurensning, lydstry og andre negative miljøforhold forbundet med nye omformerstasjoner er ikke kvantifisert, men dette avhenger av lokale forhold og blir forsøkt minimert i HMS-arbeid for det enkelte prosjekt.

Denne analysens beregninger forutsetter at den samfunnsøkonomiske kostnaden forbundet med produksjon og transport av anleggsdeler blir påført utførende bedrift som økte produksjonskostnader. Eksempelvis antas det at nasjonale drivstoffavgifter representerer de reelle samfunnsøkonomiske kostnadene av NO_x og CO₂-utslipp. Det ville i så fall være sannsynlig at alle eller store deler av disse kostandene ville bli videreført JBV og på slik måte være inkludert i investeringskostnadene benyttet i denne analysen. Ulik implementering av lover og regler gjør likevel at samfunnsøkonomiske kostnader ikke nødvendigvis blir påført leverandører, og dette gjør at ikke alle slike blir kvantifisert i disse beregningene. Det er likevel ingen belyste forhold som tilsier at dette skulle påvirke analysens konklusjoner.

Analysen er gjort på overordnet nivå ved benyttelse av aggregerte tall, og enkeltkomponenter er ikke vurdert spesifikt. Det er heller ikke gjort undersøkelser av nøyaktig hvilke utslipp som de ulike fabrikker, verksteder og transport medfører. "Statistiske omformere" er benyttet som et samlebegrep for en rekke ulike typer teknologi som alle benytter kraftelektronikk til frekvensomforming av elektrisk kraft. Det tas forbehold mot at den enkelte anskaffelse kan endre tekniske krav, for eksempel relatert til tapskostnader, slik at disse får andre verdier for en fremtidig statistisk omformerstasjon. I den grad en fremtidig anskaffelse endrer krav som påvirker anleggets løpende kostnader, forutsettes det at markedet vil kompensere for dette ved å endre investeringskostnaden tilsvarende i forhold til anleggene vurdert her.

Det er gjort vurderinger av økonomisk følsomhet i form av energipriser, diskonteringsrente, beregningenes analyseperiode, belastningsprofil og investeringskostnader. For energipris må kostnadene øke med 320 % og 660 % for at statistiske omformere skal være konkurransedyktige mot hhv. 5,8 MVA og 10 MVA aggregater. Dette viser at alternativet med 4x5,8 MVA aggregater har en sårbarhet mot eventuelle økninger i energipris. Tilsvarende må investeringskostnadene synke med hhv. 65 % og 83 % for at statistiske omformere skal bli billigst. En prisreduksjon på 65 % anses som lite sannsynlig, men viser også at investeringskostnad i enkelte prosjekter kan bidra til at 4x5,8 MVA aggregater ikke nødvendigvis er en kostnadseffektiv løsning i forhold til statistiske. Analyseperiode, diskonteringsrente og belastningsprofil får en neglisjerbar konsekvens for beregningene.

Forenklete usikkerhetsvurderingene er gjennomført basert på faglige vurderinger og tidligere usikkerhetsanalyser med samme underlag som denne LCC-analysen. Usikkerhetsvurderingene som er utført har vist små forskjeller i standardavvik mellom alternativene, da dette ligger på 32-35 %. JBV tillater standardavvik på 40 % og 30 % for henholdsvis idé- og utredningsfase, og disse fasene gjenspeiler nivået LCC-analysen ligger på. Videre har usikkerhetsvurderingene endret kostnadsanslagene noe fra grunnkalkylen, og dette har ført til større forskjeller mellom alternativene. Det presiseres likevel at det ikke er gjennomført noen usikkerhetsanalyse med gruppeprosess, og dette legger klare begrensninger på egnetheten til de verdiene det er kommet frem til.

Denne LCC-analysen er av overordnet art og ikke tar hensyn til lokale forhold. Videre må det forutsettes at kostnadsbildet vil endre seg over tid etter at denne analysen ble skrevet. Analysen kan anses som et hjelpemiddel for tidligplanlegging av omformerstasjoner, men nyere og grundigere analyser bør gjennomføres ved detaljplanlegging når mer informasjon om det konkrete prosjekt er kjent.

10.2 Konklusjon

Forventningsverdi for total livsløpskostnad for matestasjoner med ulike typer omformeraggregater er beregnet til verdiene gitt av Tabell 11.

Tabell 11 – Forventningsverdi og standardavvik for de ulike alternativene

	2x10 MVA rot.	4x5,8 MVA rot.	2x15 MVA stat.
Forventningsverdi E [MNOK]	100	134	158
St. avvik %	32 %	32 %	35 %

Denne LCC-analysen viser dermed at en ny omformerstasjon med statiske aggregater koster 58 % eller 18 % mer enn en ny omformerstasjon med roterende aggregater, avhengig av aggregatytelsen som benyttes. Den høye forskjellen i livsløpskostnad er beregnet på tross av at totale drifts- og vedlikeholdskostnader samt tapskostnader for roterende aggregater er høyere enn for statiske aggregater. Dette vil si at investeringskostnaden er dominerende i beregningen.

Omformerstasjoner med 10 MVA aggregater står frem som den mest kostnadseffektive løsningen både i følsomhetsanalysene og usikkerhetsvurderingen. Analyseperiode, belastningsprofil og diskonteringsrente har neglisjerbare konsekvens for beregningene. Derimot vil endringer i energipris og investeringskostnader som legges til grunn kunne påvirke konklusjonen slik at statiske omformere blir en mer kostnadseffektiv løsning enn 4x5,8 MVA aggregater. På det overordnede nivået denne LCC-analysen er gjennomført, hvor lokale og prosjektspesifikke forhold ikke er kjent, konkluderes det likevel med at omformerstasjoner med roterende aggregater generelt er mer kostnadseffektivt enn statiske aggregater.

11. Referanser

1. **JBV.** *Metodehåndbok JD 205 Samfunnsøkonomiske analyser for jernbanen.* juli 2011.
2. —. *Kostnadsunderlag - Enhetskostnader for banestrømforsyningsanlegg.* November 2011.
3. —. *Teknisk regelverk for prosjektering av banestrømforsyning JD 546.* 2010.
4. **Klakegg, Ole Jonny.** *Trinnvis-prosessen.* s.l. : NTNU, 1991.
5. **JBV.** *Usikkerhetsanalyse Banestrømforsyning Bergensbanen.* 2012.
6. —. *Usikkerhetsanalyse Banestrømforsyning Dovrebanen.* 2011.

Vedlegg 1 – Kostnadselementer for statiske og roterende omformere
Tabell 12 – Kostnadselementer for 2x15 MVA statisk omf.st. [MNOK]

Kostnadselement	Kostnad [MNOK]
Prosjektering	19,5
Rigg og drift	5,4
Dokumentasjon	2,9
Kurs og opplæring	0,6
Reservedeler, med enhetspriser	0,8
Sentral kontrollutrustning og stasjonsdatamaskin	6,1
Likeretter, mellomledd og vekselretter	33,1
Filterutrustning	1,9
Krafttransformatorer	13,2
Omformerkontrollanlegg	5,6
Ventilasjon og kjøling av omformer inkl. styring	2,7
72,5 kV koblingsanlegg	5,5
15 kV koblingsanlegg	4,2
Bygg	19,7
VVS inkl. styring	2,0
Lavspentanlegg	2,5
Hjelpekraftanlegg	1,5
Teleanlegg	1,4
Idriftsettelse	5,0
Garanti	1,9
Sum stasjon	135,5
Tomt	10,7
Grunnarbeid	1,1
Nettilkobling	10,7
Konsulenttjenester	5,4
Interne kostnader	9,8
Totalt	173,2

Tabell 13 – Gjennomsnittlige kostnader ved hovedrevisjon av roterende omformere [MNOK]

Administrasjon	20 610
Adm. og dokumentasjon	16 611
Garanti	37 221
Omformervogn	
Generelt	71 251
Motorstator, rengjøring	77 490
Motorstator, omisolering/omvikling	1 411 536
Generatorstator, rengjøring	88 382
Generatorstator, omisolering/omvikling	1 403 009
Polhjul for motor, rengjøring	62 579
Polhjul motor, omisolering	433 299
Polhjul for generator, rengjøring	35 335
Polhjul generator, omisolering	448 333
Innmontering feltmaskin motor og generator	61 891
Ny feltmaskin for motor og generator	944 895
Lagerbukker og smøreoljesystem	366 156
Vognteknisk revisjon	46 307
Maling av omformervogn	54 905
Sammenstilling og kontroll	159 034
Prøvekjøring og balansering	104 599
Ombygging og forandringer	189 939
Tilstandsvurdering	11 617
Apparatvogn	
Kontrollanlegg	1 281 525
Hjelpeanlegg	98 627
Koblingsanlegg	1 059 772
Skillebryter FAE	240 809
Krafttransformator og kjølesystem	305 701
Høyspenningsanlegg	123 199
Vognteknisk revisjon	46 820
Maling av apparatvogn	69 037
Annet	
Utskifting av hjullager, pr. hjullager	7 207
Motorlager, omstøping	52 397
Generatorlager, omstøping	48 036
Ny olje på kraft.trafo	62 409
Mekaniske forsterkninger	281 633
Reserve spenningsregulator, pr. stk	125 543
Regningsarbeid	32 607
Kontroll for idriftsettelse	55 990
Jording	18 369
Transport turretur	628 733

Vedlegg 2 - Tapskostnader

Tabell 14 – Tapskostnader for en stasjon med 2x10 MVA roterende aggregater

Belastning [MVA]	Driftstid [%]	Tap [kWh]	Kostnad [NOK]
0	0,50 %	11 182	3 914
1	6,50 %	147 718	51 701
2	12,00 %	285 729	100 005
3	15,00 %	384 282	134 499
4	18,00 %	506 702	177 346
5	14,00 %	439 664	153 883
6	11,00 %	389 206	136 222
7	11,00 %	440 916	154 321
8	7,00 %	318 552	111 493
9	2,80 %	144 634	50 622
10	1,10 %	64 378	22 532
11	0,30 %	19 836	6 943
12	0,40 %	29 775	10 421
13	0,20 %	16 695	5 843
14	0,20 %	18 648	6 527
15	0,00 %	0	0
SUM KOSTNAD			1 126 271

Tabell 15 – Tapskostnader for en stasjon med 4x5,8 MVA roterende aggregater

Belastning [MVA]	Driftstid [%]	Antall aggregater i drift	Belastning per aggregat [MW]	Tap [kWh]	Kostnad [NOK]
0	0,50 %	1	0,00	6 977	2 442
1	6,50 %	1	1,00	97 880	34 258
2	12,00 %	1	2,00	220 437	77 153
3	15,00 %	1	3,00	358 328	125 415
4	18,00 %	1	4,00	569 067	199 173
5	14,00 %	2	2,50	583 889	204 361
6	11,00 %	2	3,00	525 547	183 942
7	11,00 %	2	3,50	604 466	211 563
8	7,00 %	2	4,00	442 608	154 913
9	2,80 %	2	4,50	203 313	71 159
10	1,10 %	3	3,33	85 716	30 001
11	0,30 %	3	3,67	26 159	9 156
12	0,40 %	3	4,00	37 938	13 278
13	0,20 %	3	4,33	20 618	7 216
14	0,20 %	3	4,67	23 002	8 051
15	0,00 %	3	5,00	0	0
SUM KOSTNAD					1 332 081

Tabell 16 – Tapskostnader for en stasjon med 2x15 MVA statiske aggregater

Belastning [MVA]	Driftstid [%]	Tap [kWh]	Kostnad [NOK]
0	0,50 %	1 406	492
1	6,50 %	23 590	8 257
2	12,00 %	56 723	19 853
3	15,00 %	91 573	32 050
4	18,00 %	139 736	48 908
5	14,00 %	135 824	47 538
6	11,00 %	131 127	45 894
7	11,00 %	158 618	55 516
8	7,00 %	120 396	42 138
9	2,80 %	56 726	19 854
10	1,10 %	25 959	9 086
11	0,30 %	8 166	2 858
12	0,40 %	12 448	4 357
13	0,20 %	7 060	2 471
14	0,20 %	7 953	2 783
15	0,00 %	0	0
SUM KOSTNAD			342 057



Vedlegg 3 - Kostnadsberegninger

Omf.st. med 2x10 MVA roterende aggregater
Alle kostnader i MNOK

Investerings- og formyelseskostnader	I+F	85,1	Rente	4,5 %
Investeringskostnader	I	85,1	Pristigning	0,0 %
Formyelseskostnader	F	0,0	Analyseperiode	25,0 år
Drifts- og vedlikeholdskostnader	DV	6,2		
Tapskostnader	T	16,7		
Restverdi	R	10,6		
Sum nåverdi	NV	97,4		

Alternativ 2 Kostnader	Bygges år	Antall	Enhet	Reinvestering		Kostnader etter reinvestering		Kostnader før reinvestering		Levetid	Restverdi R	Investering/Formyelse I / F	Nåverdier I+F	Nåverdier Investering	Nåverdier Formyelse	Etter reinvestering		Før reinvestering		Restverdi	Sum	
				I + F [mill. kr.]	DV [mill. kr. pr. år]	T [mill. kr. pr. år]	DV [mill. kr. pr. år]	T [mill. kr. pr. år]	DV							T	DV	T				
Ny roterende omformerstasjon (bygg)	0,0	1,0	stk	60,4	0,32	0,00	0,00	0,0	40,0	22,7	I	60,4	60,4	0,0	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,5	57,5
Autotransformatorer utenfor bygg	0,0	0,0	stk	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	40,0	0,0	I	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2x10 MVA roterende aggregater	0,0	2,0	stk	24,7	0,00	1,13	0,00	0,0	40,0	9,3	I	24,7	24,7	0,0	0,0	0,0	16,7	0,0	0,0	3,1	38,3	
Revisjoner hvert 15. år for roterende aggregater	15,0	2,0	stk	0,0	0,38	0,00	0,00	0,0	15,0	0,0	I	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	1,6
Nedleggelse av roterende omformerstasjon	40,0	1,0	km	2,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	I	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SUM				87,1	0,7	1,1	0,0	0,0		31,9		85,1	85,1	0,0	6,2	16,7	0,0	0,0	10,6	97,4		

Omf.st. med 4x5,8 MVA roterende aggregater
Alle kostnader i MNOK

Investerings- og formyelseskostnader	I+F	115,0	Rente	4,5 %
Investeringskostnader	I	115,0	Pristigning	0,0 %
Formyelseskostnader	F	0,0	Analyseperiode	25,0 år
Drifts- og vedlikeholdskostnader	DV	8,4		
Tapskostnader	T	19,8		
Restverdi	R	14,3		
Sum nåverdi	NV	128,8		

Alternativ 2 Kostnader	Bygges år	Antall	Enhet	Reinvestering		Kostnader etter reinvestering		Kostnader før reinvestering		Levetid	Restverdi R	Investering/Formyelse I / F	Nåverdier I+F	Nåverdier Investering	Nåverdier Formyelse	Etter reinvestering		Før reinvestering		Restverdi	Sum	
				I + F [mill. kr.]	DV [mill. kr. pr. år]	T [mill. kr. pr. år]	DV [mill. kr. pr. år]	T [mill. kr. pr. år]	DV							T	DV	T				
Ny roterende omformerstasjon (bygg)	0,0	1,0	stk	65,6	0,36	0,00	0,00	0,0	40,0	24,6	I	65,6	65,6	0,0	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0	8,2	62,7	
Autotransformatorer utenfor bygg	0,0	0,0	stk	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	40,0	0,0	I	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
4x5,8 MVA roterende aggregater	0,0	4,0	stk	49,4	0,00	1,33	0,00	0,0	40,0	18,5	I	49,4	49,4	0,0	0,0	19,8	0,0	0,0	6,2	63,0		
Revisjoner hvert 15. år for roterende aggregater	15,0	4,0	stk	0,0	0,76	0,00	0,00	0,0	15,0	0,0	I	0,0	0,0	0,0	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1	3,1	
Nedleggelse av roterende omformerstasjon	40,0	1,0	km	2,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	I	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
SUM				117,0	1,1	1,3	0,0	0,0		43,1		115,0	115,0	0,0	8,4	19,8	0,0	0,0	14,3	128,8		



Omf.st. med 2x15 MVA statiske aggregater
Alle kostnader i MNOK

Investerings- og fornyelseskostnader	I+F	173,0	Rente	4,5 %
Investeringskostnader	I	173,0	Prisstigning	0,0 %
Fornyelseskostnader	F	0,0	Analyseperiode	25,0 år
Drifts- og vedlikeholdskostnader	DV	4,9		
Tapskostnader	T	5,1		
Restverdi	R	21,6		
Sum nåverdi	NV	161,4		

Alternativ 2 Kostnader	Bygges år	Antall	Enhet	Reinvestering		Kostnader etter reinvestering		Kostnader før reinvestering		Levetid	Restverdi R	Investering/Fornyelse I / F	Nåverdier I+F	Nåverdier Investering	Nåverdier Fornyelse	Etter reinvestering		Før reinvestering		Restverdi	Sum
				I + F [mill. kr.]	DV [mill. kr. pr. år]	T [mill. kr. pr. år]	DV [mill. kr. pr. år]	T [mill. kr. pr. år]	DV							T	DV	T			
Ny statisk omformer 2x15 MVA	0,0	1,0	stk	173,0	0,33	0,34	0,00	0,0	40,0	64,9	I	173,0	173,0	0,0	4,9	5,1	0,0	0,0	0,0	21,6	161,4
Nedleggelse av statisk omformerstasjon	40,0	1,0	km	2,0	0,00	0,00					I	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SUM				175,0	0,3	0,3	0,0	0,0		64,9		173,0	173,0	0,0	4,9	5,1	0,0	0,0	0,0	21,6	161,4



Vedlegg 4 - Usikkerhetsberegninger

Delpost		Pr. Enhet					Deltotaler			
Nr.	Betegnelse	Enh.	Laveste anslag	Sannsynlig anslag	Høyeste anslag	Forventningsverdi E	St. Avvik σ	Forventningsverdi E	St. avvik σ	Varians
1	Investering/fornyelse							76,1		
1.1	Bygg	MNOK	48,3	60,4	72,5	60,4	9,7		9,7	9,331E+01
1.2	2x10 MVA roterende aggregater	MNOK	19,8	24,7	34,6	26,8	5,9		5,9	3,511E+01
1.3	Restverdi	MNOK	-11,0	-11,0	-11,0	-11,0	0,0		0,0	0,000E+00
2	D&V							6,3		
2.1	Bygg m/aggregater	MNOK	2,4	4,7	7,1	4,7	1,9		1,9	3,531E+00
2.2	Revisjonskostnader	MNOK	1,3	1,6	1,9	1,6	0,3		0,3	6,548E-02
3	Elektriske tap	MNOK	13,8	16,7	21,5	17,5	3,1	17,5	3,1	9,478E+00
4	Eierstyring og gjennomføring	%	0,85	1,00	1,20	1,02	0,14		13,7	1,877E+02
5	Marked	%	0,70	1,00	1,30	1,00	0,24		24,0	5,749E+02
6	Plangrunnlag og løsningsoptimalisering	%	0,85	1,00	1,10	0,98	0,10		10,2	1,041E+02
7	Teknologi og nye krav	%	0,95	1,00	1,05	1,00	0,04		4,0	1,597E+01
								100	32	1,024E+03

Delpost		Pr. Enhet					Deltotaler			
Nr.	Betegnelse	Enh.	Laveste anslag	Sannsynlig anslag	Høyeste anslag	Forventningsverdi E	St. Avvik σ	Forventningsverdi E	St. avvik σ	Varians
1	Investering/fornyelse							105,1		
1.1	Bygg	MNOK	52,5	65,6	78,7	65,6	10,5		10,5	1,101E+02
1.2	4x5,8 MVA roterende aggregater	MNOK	39,5	49,4	69,2	53,5	11,9		11,9	1,404E+02
1.3	Restverdi	MNOK	-14,0	-14,0	-14,0	-14,0	0,0		0,0	0,000E+00
2	D&V							19,7		
2.1	Bygg m/aggregater	MNOK	2,7	5,3	8,0	5,3	2,1		2,1	4,490E+00
2.2	Revisjonskostnader	MNOK	2,5	3,1	3,7	3,1	0,5		0,5	2,458E-01
3	Elektriske tap	MNOK	13,0	20,0	27,0	20,0	5,6	20,0	5,6	3,133E+01
4	Eierstyring og gjennomføring	%	0,85	1,00	1,20	1,02	0,14		19,9	3,941E+02
5	Marked	%	0,70	1,00	1,30	1,00	0,24		34,7	1,207E+03
6	Plangrunnlag og løsningsoptimalisering	%	0,85	1,00	1,10	0,98	0,10		14,8	2,185E+02
7	Teknologi og nye krav	%	0,95	1,00	1,05	1,00	0,04		5,8	3,353E+01
								145	46	2,143E+03

Delpost		Pr. Enhet					Deltotaler			
Nr.	Betegnelse	Enh.	Laveste anslag	Sannsynlig anslag	Høyeste anslag	Forventningsverdi E	St. Avvik σ	Forventningsverdi E	St. avvik σ	Varians
1	Investering/fornyelse							172,2		
1.1	2x15 MVA statiske omformere	MNOK	138,4	173,0	207,6	173,0	27,7		27,7	7,655E+02
1.2	Restverdi	MNOK	-22,0	-22,0	-22,0	-22,0	0,0		0,0	0,000E+00
2	D&V	MNOK	2,5	4,9	7,4	8,8	2,0		2,0	3,838E+00
3	Tap	MNOK	11,0	12,0	14,0	12,4	1,2		1,2	1,439E+00
5	Eierstyring og gjennomføring	%	0,85	1,00	1,20	1,02	0,14		23,6	5,575E+02
6	Marked	%	0,70	1,00	1,30	1,00	0,24		41,3	1,707E+03
7	Plangrunnlag og løsningsoptimalisering	%	0,85	1,00	1,10	0,98	0,10		17,6	3,091E+02
8	Teknologi og nye krav	%	0,95	1,00	1,05	1,00	0,04		6,9	4,742E+01
								172	58	3,392E+03