

Ileu

Oppdragsgiver: **NSB Baneregion Øst**

Prosjektansvarlig: Per Herman Sørli

Prosjekt: Simulering av banestrømforsyningen i Oslo-området

Rapport nr:

Dato: 20.03.1995

Rapporten omhandler (stikkord):

Simulering av banestrømforsyningen i Oslo-området

For NSB Bane, Ingeniørtjenesten

Prosjektansvarlig:

Kolbjørn Lofthus
Kolbjørn Lofthus

Prosjektleder:

Per Chr. Bærø
Per Chr. Bærø

Rapport utarbeidet av:

Per Chr. Bærø
Per Chr. Bærø

Dato for siste revisjon: 20.03.95

Revisjon nr.: 0

Antall sider: 62

NSB Banedivisjonen
Ingeniørtjenesten
0048 Oslo

Sentralbord: 22 36 80 00
Telefax: 22 36 68 31

Telegram: Jernbanestyret Postgiro: 0823.07.61494
Telex: 71 168 nsbdc nBankgiro: 8200.01.03183

Kontor: Oslo City Stenersgt. 1 B/C, Oslo

Dokumentkontrollside

Oppdragsgiver: NSB Baneregion Øst, seksjon strømforsyning							
Prosjektbeskr.: Simulering av banestrømforsyningen i Oslo-området							
Prosjektnr.: 194072							
Dokumenttittel: Simulering av banestrømforsyningen i Oslo-omr.						Dokument nr.:	
Utarbeidet av : Per Chr. Bærø						Sign PCB	
Skal kontrolleres av:	Kontrolltype	Rev. 0		Rev. 1		Rev. 2	
		Dato	Sign	Dato	Sign	Dato	Sign
K. Lofthus	Helhetsvurdering	20/3-85	KL				
K. Lofthus	Språk	- - -	KL				
K. Lofthus	Logisk oppbygging /disposisjon	- - -	KL				
K. Lofthus	Teknisk:	- - -	KL				
K. Lofthus	Presentasjonsform	- - -	KL				
K. Lofthus	Kopieringen er kontrollert(sign original)	- - -	KL				
Generelle kommentarer:							
Dokument godkjent for utsendelse				Dato 20/3-85	Sign. KL		

SAMMENDRAG

Våren 1994 var det ved flere anledninger totalt sammenbrudd i strømforsyningen i Oslo - området. Målinger av strømforsyningen viste at utfallene startet i Ski og Holmlia omformerstasjon som igjen førte til overbelastning av andre omformerstasjoner i Oslo - området og sammenbrudd i strømforsyningssystemet.

NSB står foran store forandringer i banestrømforsyningen i Oslo - området i forbindelse med Gardermobanen, som krever ny omformerstasjon i Lillestrøm og på Jessheim. Også på Østfoldbanen er det planlagt omfattende tiltak med blant annet ny omformerstasjon ved Smørbekk.

For å vurdere kapasiteten i banestrømforsyningen i Oslo - området har det vært nødvendig å utføre simuleringer. Disse simuleringene er utført hos British Rail Research i Derby, England. Datamaskinprogrammet VISION/OSLO simulerer banestrømforsyningen ut ifra en gitt ruteplan. I simuleringene er det tatt utgangspunkt i eksisterende omformerstasjoner, i tillegg til nye statiske omformerstasjoner i Lillestrøm, på Jessheim og ved Smørbekk. Det er forutsatt at Ski omformerstasjon legges ned med en ny omformerstasjon ved Smørbekk. Figur 1 gir en oversikt over infrastrukturen og plasseringen av de forskjellige omformerstasjonene.

Dagens infrastruktur omfatter ikke:

- Gardermobanen
- Ringeriksbanen (enkeltspor fra Sandvika til Hønefoss)
- Dobbeltsporet mellom Skøyen og Asker (Med dagens infrastruktur, er det kun ett dobbeltspor)
- Dobbeltsporet mellom Oslo S og Sarpsborg (Med dagens infrastruktur, er det kun ett dobbeltspor fra Oslo til Ski, dobbeltspor fra Ski til Ås og enkeltspor fra Ås til Sarpsborg)

Det er utført 20 forskjellige simuleringer med blant annet forskjellige kombinasjoner av strekningene vist i figur 1.

Ruteplan

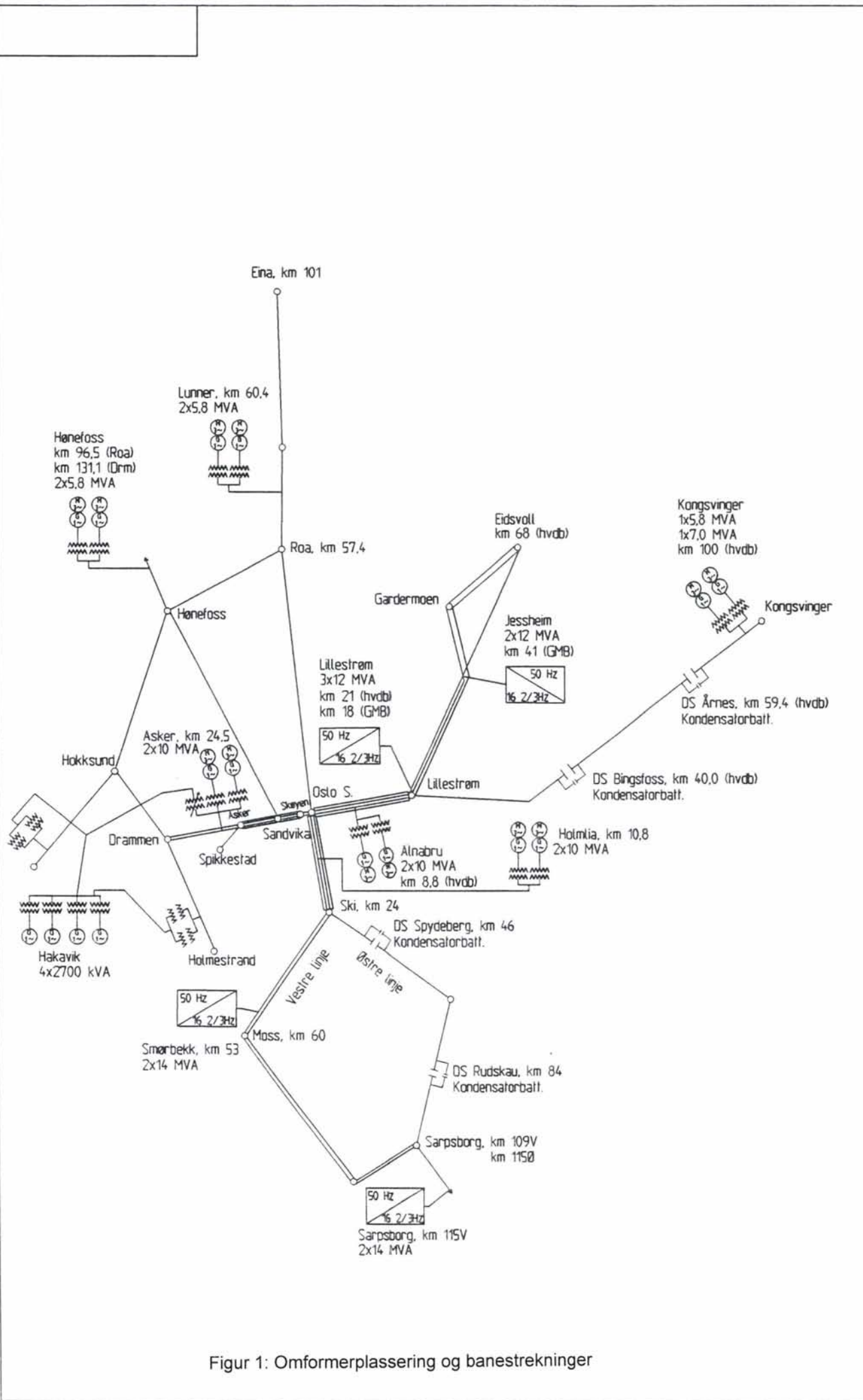
For å sette opp en fremtidig ruteplan for Oslo-området er det tatt utgangspunkt i følgende:

- Ruteplan utarbeidet av Gardermobanen A/S [1]
- P98 - C [2]
- Ny satsing på Gjøvikbanen [3]
- Høyhastighet Oslo - Kornsjø, Hovedrapport [4]
- Simulering og driftsanalyse for Ringeriksbanen [5]
- R94

Kapasitetsvurderinger

Resultatene fra simuleringene med Gardermobanen og nytt dobbeltspor fra Ås(Ski) til Sarpsborg i tillegg til dagens infrastruktur viser at:

- Det er tilstrekkelig installert reserve i Lillestrøm, Jessheim, Alnabru, Asker, Holmlia og Smørbekk omformerstasjon.
- Holmlia omformerstasjon har en lav effektfaktor.
- Ved utfall av ett aggregat i Holmlia omformerstasjon er det mulig å opprettholde driften i omformerstasjonen, forutsatt at utmatet spenning senkes.



Figur 1: Omformerplassering og banestrekninger

Resultatene fra simuleringene med Gardermobanen og nytt dobbeltspor fra Oslo til Sarpsborg i tillegg til dagens infrastruktur viser at:

- Det er tilstrekkelig installert reserve i Lillestrøm, Jessheim, Alnabru, Asker og Smørbekk omformerstasjon.
- Med 2*10 MVA og flat utmatet spenning går Holmlia omformerstasjon overbelastet. Med en reduksjon i utmatet spenning i Holmlia omformerstasjon er 2*10 MVA tilstrekkelig installert effekt i omformerstasjonen. En reduksjon i utmatet spenning fører til at omformerstasjonen i hovedsak avlastes reaktivt.
- Et kondensatorbatteri på 6 MVAR i Holmlia omformerstasjon gir en tilstrekkelig installert ytelse med 2*10 MVA og flat utmatet spenning i omformerstasjonen. *Tilfalt for stasjonen i et kraftnett = lav eff. faktor.*
- 3*10 MVA i Holmlia omformerstasjon gir tilstrekkelig installert reserve i omformerstasjonen, med flat utmatet spenning. *Ja, men lav effektfaktor.*
- Med et nytt matepunkt ved Oslo S er det tilstrekkelig med en installert ytelse på 2x14 MVA. En ny omformerstasjon ved Oslo S gir tilstrekkelig installert reserve i Lillestrøm, Jessheim, Alnabru, Asker, Holmlia og Smørbekk omformerstasjon. Uten Holmlia omformerstasjon er det ikke tilstrekkelig med en installert ytelse på 3x14 MVA i Oslo omformerstasjonen. *Alnabru blir veldig tungt belastet.*
- Ved utfall av ett aggregat i Alnabru omformerstasjon er det mulig å opprettholde driften i omformerstasjonen, forutsatt at utmatet spenning senkes.

Resultatene fra simuleringene med Gardermobanen, nytt dobbeltspor fra Oslo til Sarpsborg og nytt dobbeltspor fra Skøyen til Asker i tillegg til dagens infrastruktur viser:

- Jevnere belastning i Asker omformerstasjon.
- Små endringer i belastningsforholdene i de resterende omformerstasjonene i forhold til uten nytt dobbeltspor fra Skøyen til Asker.

Resultatene fra simuleringene med Gardermobanen, Ringeriksbanen, nytt dobbeltspor fra Oslo til Sarpsborg og nytt dobbeltspor fra Skøyen til Asker (alle strekninger vist i figur 1) i tillegg til dagens infrastruktur viser at:

- Asker omformerstasjon har en lav effektfaktor. Med 2x10 MVA i Asker omformerstasjon tilfredsstiller ikke omformerstasjonen kravet til installert reserve (se kap. 2.4). I omformerstasjonen er det derimot mulig å sette inn ett tredje aggregat, som vil gi tilfredsstillende installert reserve.
- Med Ringeriksbanen er det nødvendig å vurdere kapasiteten i Hønefoss omformerstasjon, fordi denne nye banen representerer en større belastning i Hønefoss omformerstasjon i forhold til dagens belastning.

Resultatene fra simuleringer med utfall av en/flere omformerenheter i Lillestrøm og Jessheim omformerstasjon viser at:

- ved utfall av en omformerenheter i Lillestrøm og en i Jessheim omformerstasjon, er det mulig å opprettholde normal drift i begge omformerstasjonene.
- ved utfall av begge omformerenheter i Jessheim omformerstasjon klarer Lillestrøm og Tangen å opprettholde tilfredsstillende spenning på Gardermobanen og Hovedbanen. Lillestrøm omformerstasjon overtar effektproduksjonen etter Jessheim.
- ved utfall av 2 (av totalt 3) omformerenheter i Lillestrøm omformerstasjon, senker omformerstasjonen utmatet spenning og belastningen overføres til Jessheim og Alnabru omformerstasjon. Det er registrert utmatet spenning i Lillestrøm ned mot 15,8 kV.
- ved utfall av en omformerenheter i Lillestrøm og ett aggregat i Alnabru omformerstasjon, er det mulig å opprettholde driften av begge omformerstasjonene, forutsatt at utmatet spenning i Alnabru senkes. Tilsvarende ved utfall av en omformerenheter i Lillestrøm og ett aggregat i Holmlia omformerstasjon.

I alle simuleringene med redusert utmatet spenning i en roterende omformerstasjon er det forutsatt et lastfordelingsutstyr i omformerstasjonen som senker spenningen lineært som funksjon av den totale strømmen.

Spenningsbetrakninger

Med unntak av strekningen fra Lunner til Eina er det tilfredsstillende spenning langs de strekningene som er vist i figur 1. I simuleringene er trafikken på Gjøvikbanen kun kjørt til Eina stasjon. Resultatene indikerer dårlige spenningsforhold langs strekningen fra Lunner omformerstasjon til Gjøvik.

1 INNLEDNING	6
1.1 BAKGRUNN	6
1.2 MÅLSETTING	6
1.3 ARBEIDETS OMFANG	6
2 FORUTSETNINGER	7
2.1 INFRASTRUKTUR	7
2.1.2 Banestrekninger	7
1.2.2 Hastighet	7
1.2.3 Tunnelmotstand	8
2.2 ELEKTRISK	9
2.2.1 Omformerplassering	9
2.2.2 Kondensatorbatteri og sammenkobling av kontaktledningsanlegget	9
2.3 TOGMATERIELL OG RUTEPLAN	10
2.3.1 Rullende materiell	10
2.3.2 Ruteplan 1	12
2.3.3 Ruteplan 2	15
2.3.4 Ruteplan 3	16
2.3.5 Ruteplan 4	16
2.4 TEKNISKE KRAV TIL BANESTRØMFORSYNINGEN	17
3 SIMULERINGSALTERNATIVER	18
4 REPRESENTASJON AV STRØMFORSYNINGSSYSTEMET I VISION-OSLO	24
4.1 REPRESENTASJON AV OMFORMERSTASJONENE	24
4.2 REPRESENTASJON AV KONTAKTLEDNINGSSANLEGGET	26
4.3 REPRESENTASJON AV TRANSFORMATORER	26
4.4 MODELLER FOR ELEKTRISK MATERIELL	27
4.5 UTFALLSANALYSER	27
4.5.1 Roterende omformerstasjoner	27
4.5.2 Statiske omformerstasjoner	28
5 RESULTATER	29
5.1 KAPASITETSVURDERINGER	29
5.1.1 Resultater fra simuleringer med endringer i infrastrukturen (Alt. 1 - 4)	29
5.1.2 Resultater fra simuleringer med nytt matepunkt, nytt kondensatorbatteri & utvidelse av Holmlia. (Alt. 5-8)	33
5.1.3 Utfall av aggregat i Holmlia og Alnabru omformerstasjon & spenningsreduksjon i Holmlia. (Alt. 9-13)	37
5.1.4 Holmlia omformerstasjon erstattet av ny omformerstasjon ved Oslo S (Alt. 14-15)	45
5.1.5 Utfall av omformerenhet(er) i Lillestrøm og Jessheim omformerstasjon (Alt. 16 - 20)	46
5.1.6 Utgående linjestrømmer i Lillestrøm og Jessheim omformerstasjon	52
5.2 SPENNINGSBETRAKNINGER	57
5.2.1 Spenningsforhold i Oslo - området ved normale forhold i strømforsyningen.	57
5.2.2 Spenningsforhold langs Hovedbanen og Gardermobanen ved utfall av en/flere omformerenhet(er) i Lillestrøm og Jessheim omformerstasjon	57
6 KONKLUSJON	59
LITTERATURLISTE	60
VEDLEGG	62

1 INNLEDNING

1.1 BAKGRUNN

Våren 1994 var det ved flere anledninger totalt sammenbrudd i strømforsyningen i Oslo - området. Målinger av strømforsyningen viste at utfallene startet i Ski og Holmlia omformerstasjon som igjen førte til overbelastning av andre omformerstasjoner i Oslo - området og sammenbrudd i strømforsyningssystemet.

NSB står foran store forandringer i banestrømforsyningen i Oslo - området i forbindelse med Gardermobanen, som krever ny omformerstasjon i Lillestrøm og på Jessheim. Også på Østfoldbanen er det planlagt omfattende tiltak med blant annet ny omformerstasjon ved Smørbekk.

1.2 MÅLSETTING

Målet for prosjektet er å avdekke eventuelle fremtidige problemområder i banestrømforsyningen, i Oslo - området, samt å komme frem til nødvendige tiltak for å gi en tilfredsstillende driftssikkerhet i banestrømforsyningen.

1.3 ARBEIDETS OMFANG

For å vurdere banestrømforsyningen i Oslo - området har det vært nødvendig å utføre simuleringer. Disse simuleringene er utført hos British Rail Research i Derby, England. Datamaskinprogrammet VISION/OSLO simulerer banestrømforsyningen ut ifra en gitt ruteplan. Det er utført simuleringer med 20 forskjellige alternativer.

I VISION/OSLO er det lagt inn data for vertikalkurvatur, hastighet, signaler og elektriske data for alle banestrekninger i Oslo - området. Det er også lagt inn modeller av det elektriske materiellet som turnerer Oslo - området.

I ruteplanen er det tatt utgangspunkt i rush-perioden. Det er tatt hensyn til en framtidig økning av togtrafikken, med blant annet flyplasstog på Gardermobanen.

Fra alle simuleringene er det tatt utskrifter av sum enfasestrøm, aktiv effekt og reaktiv effekt (for aktiv og reaktiv effekt er det beregnet maksimalverdier og gjennomsnittsverdier over en time), i aktuelle omformerstasjoner. Det er også tatt utskrift av spenning for et utdrag av tog på de forskjellige banestrekningene.

2 FORUTSETNINGER

2.1 INFRASTRUKTUR

2.1.2 Banestrekninger

Det er tatt utgangspunkt i de banestrekningene som er vist i figur 1 i sammendraget. På strekningen Drammen - Hokksund - Hønefoss - Roa er det ikke kjørt noen togtrafikk. Årsaken til dette er at datamaskinprogrammet VISION/OSLO ikke har kapasitet til å legge inn nødvendige data for denne strekningen i tillegg til de andre strekningene vist i figur 1. Derimot er strekningen tatt med elektrisk slik at Hønefoss omformerstasjon og Hakavik kraftverk mater effekt inn i Oslo-området.

I simuleringene er det kjørt tog på følgende banestrekninger:

- Østfoldbanen[6]:
 - høyhastighetsbane med nytt dobbeltspor fra Oslo S til Sarpsborg, i tillegg til eksisterende dobbeltspor mellom Oslo S og Ski. (4 spor mellom Oslo S og Ski).
 - Østre linje
- Gardermobanen: - Høyhastighetsbane med nytt dobbeltspor fra Oslo S til Eidsvoll.
- Hovedbanen: - Eksisterende dobbeltspor fra Oslo S til Lillestrøm og enkeltspor fra Lillestrøm til Eidsvoll.
- Kongsvingerbanen: - Enkeltspor fra Lillestrøm til Kongsvinger.
- Gjøvikbanen: - Enkeltspor fra Oslo S til Eina.
- Oslo S -Drammen-
Holmestrand: - Nytt dobbeltspor mellom Skøyen og Asker i tillegg til eksisterende dobbeltspor fra Oslo S til Drammen. Enkeltspor fra Drammen til Holmestrand.
- Ringeriksbanen: - Enkeltspor med to kryssningsspor fra Sandvika til Hønefoss.

Det er utført 20 forskjellige simuleringer med blant annet forskjellige kombinasjoner av strekningene nevnt ovenfor.

1.2.2 Hastighet

På Gardermobanen, Ringeriksbanen, nytt dobbeltspor fra Skøyen til Asker og høyhastighetsbanen fra Oslo S til Sarpsborg, er det forutsatt en dimensjonerende hastighet lik 200 km/t. På de eksisterende strekningene er det brukt dagens hastigheter. Det er lagt inn både normal- og pluss-hastighet.

1.2.3 Tunnelmotstand

Da prosjektet "Simulering av banestrømforsyningen i Oslo - området" startet, var det ikke mulig å spesifisere tunnelstrekninger i VISION. På Gardermobanen mellom Bryn og Lillestrøm ble det lagt inn ekstra stigning på 8 promille på grunn av økt luftmotstand i tunnel. I ettertid er VISION modifisert for å ta hensyn til luftmotstand i tunnel (det er tatt utgangspunkt i formlene gitt i [7]) Resultater fra simuleringer med den modifiserte utgaven av VISION viser bra overensstemmelse med resultatene fra simuleringene med en ekstra stigning på 8 promille for å representere luftmotstanden. Vedlegg 6 gir et utdrag av resultatene fra simuleringen med den modifiserte utgaven av VISION. Simuleringsalternativet i vedlegg 6 tilsvarer alternativ 2, med unntak av beregnet verdi for luftmotstand i tunnel.

2.2 ELEKTRISK

2.2.1 Omformerplassering

I simuleringene er det tatt utgangspunkt i eksisterende omformerstasjoner, i tillegg til nye statiske omformerstasjoner i Lillestrøm, på Jessheim og ved Smørbekk. Ved etablering av en ny omformerstasjon ved Smørbekk, er det forutsatt at Ski omformerstasjon legges ned. Figur 1 i sammendraget gir en oversikt over plasseringen av de forskjellige omformerstasjonene.

Det er i tillegg utført simuleringer med en ny statisk omformerstasjon på 2x14 MVA ved Oslo S.

Det er også tatt hensyn til Hakavik kraftstasjon med mating til Asker, Sande og Skollenborg. Data for Hakavik kraftstasjon og overføringsledning er gitt i vedlegg 1.

2.2.2 Kondensatorbatteri og sammenkobling av kontaktledningsanlegget.

På Kongsvingerbanen er det tatt hensyn til seriekondensatorbatteri ved Bingsfoss og Årnes. På Østfoldbanen er det tatt hensyn til seriekondensatorbatteri ved Spydeberg og Rudskau (østre linje). Det er forutsatt at de eksisterende kondensatorbatteriene ved Bruer og Seut (vestre linje) fjernes, ved etablering av en ny omformerstasjon ved Smørbekk. Med Jessheim omformerstasjon i drift er, det forutsatt at kondensatorbatteriene ved Jessheim og Morskogen (Hovedbanen) fjernes.

På Østfoldbanen er det forutsatt en elektrisk sammenkobling av kontaktledningsanlegget på dobbeltsporet ved Vestby (km. 39 fra Oslo S) og ved Onsøy (km. 87 fra Oslo S)[6].

I simuleringene er det tatt hensyn til kondensatorbatteriet i koblingshuset ved Oslo S. Det eksisterende kondensatorbatteriet i koblingshuset (koblet i parallell) er på 4 MVA.

2.3 TOGMATERIELL OG RUTEPLAN

I simuleringene er det brukt 4 forskjellige ruteplaner med rullende materiell som beskrevet under.

2.3.1 Rullende materiell

For persontrafikken er det benyttet følgende type rullende materiell :

Lokaltog	Type:	69 med 3 vogner.
	Maks. hastighet	130 km/t
	Totalvekt:	132 tonn
	Type:	69 med 6 vogner.
	Maks. hastighet:	130 km/t
	Totalvekt:	264 tonn
	Type:	EL16 med 4 vogner
	Maks. hastighet:	130 km/t
	Totalvekt:	248 tonn
Flyplassstog på Gardermobanen:	Type:	-
	Maks. hastighet:	200 km/t
	Totalvekt:	160 tonn
IC-/Ekspresstog på Hovedbanen og Gardermobanen	Type:	70 med 4 vogner.
	Maks. hastighet	160 km/t
	Totalvekt:	192 tonn
	Type:	EL17 med 8 vogner
	Maks. hast	150 km/t
	Totalvekt:	384 tonn
IC-/Ekspresstog på strekningen Oslo S - Asker - Drammen	Type:	70 med 4 vogner.
	Maks. hastighet	160 km/t
	Totalvekt:	192 tonn
	Type:	EL17 med 8 vogner
	Maks. hast	150 km/t
	Totalvekt:	384 tonn
	Type:	EL16 med 10 vogner
	Maks. hast	130 km/t
	Totalvekt:	500 tonn
	Type:	EL16 med 8 vogner
	Maks. hast	130 km/t
	Totalvekt:	416 tonn

IC-/Ekspresstog på Østfoldbanen	Type:	70 med 4 vogner.
	Maks. hastighet	160 km/t
	Totalvekt:	192 tonn
	Type:	EL18 med 8 vogner
	Maks. hast	200 km/t
	Totalvekt:	403 tonn
IC-/Ekspresstog på Ringeriksbanen	Type:	X2000 med 4 vogner (totalt 5 vogner)
	Maks. hastighet	200 km/t
	Totalvekt:	290 tonn

2.3.2 Ruteplan 1

I ruteplan 1 er det tatt hensyn til Gardermobanen og nytt dobbeltspor fra Ås (Ski) til Sarpsborg i tillegg til dagens infrastruktur (2 spor mellom Oslo og Ski). Antall avganger på de forskjellige strekningene er gitt i tabell 3.1 til 3.4. Grafiske ruter er vist i vedlegg 21-24.

I ruteplanene er det tatt hensyn til fremtidig materiell. Dette innebærer flere lokomotiv/motorvogner med asynkronmateriell som trekker langt mindre reaktiv effekt enn eldre materiell.

Lokaltog østover

	Strekning	Type lok./ motorvogn	Antall avganger	Merknad
Lokaltog	Kongsberg-Eidsvoll- Hamar	BM69	1/time	Totalt 2/time fra Kongsberg og Drammen til Oslo
	Kongsberg-Oslo	EL16	1/time	
	Oslo-Eidsvoll	BM69		Totalt 2/time fra Oslo til Eidsvoll
	Spikkestad-Oslo- Moss	BM69	1/time	Totalt 2/time fra Spikkestad til Oslo S
	Spikkestad-Oslo	BM69	1/time	
	Asker-Lillestrøm	BM69	2/time	Totalt 4/time fra Oslo S til Lillestrøm
	Oslo-Lillestrøm	BM69	2/time	
	Sandvika-Oslo	BM69	2/time	
	Oslo-Roa	BM69	1/time	
	Oslo-Årnes	BM69	1/time	Totalt 2/time fra Oslo S til Årnes
	Oslo-Kongsvinger	EL16	1/time	
	Oslo-Fredrikstad	BM69	1/time	Totalt 2/time fra Oslo S til Moss
	Oslo-Moss	BM69	1/time	
	Oslo-Ski	BM69	2/time	
	Oslo-Rakkestad- Sarpsborg	BM69	1/time	

Tabell 3.1: Lokaltog østover

Intercity- og ekspressvog østover

	Strekning	Type lok/ motorvogn	Antall avganger	Merknad
IC-tog	Oslo-Halden	EL18	1/time	
	Oslo-Gøteborg	EL18	Hver 2.time	
	Skien-Oslo	BM70	1/time	Totalt 2/time fra Skien til Oslo S
	Skien-Lillehammer	BM70	1/time	
Flyplass- tog	Asker-Gardermoen		3/time	Totalt 6/time fra Oslo S til Gardermoen
	Oslo-Gardermoen		3/time	
Ekspress- tog	Oslo-Gjøvik	BM69	1/time	
	Bergen-Oslo	EL16	1	Ankomst Oslo S 1 gang i løpet av simuleringsperioden
	Stavanger-Oslo	EL16	1	

Tabell 3.2: Intercity- og ekspressvog østover

I simuleringene er det i hovedsak kjørt med persontog. Ruteplanen for persontrafikk krever en så høy utnyttelse av infrastrukturen, at det er lite rom for godstrafikk

Totalt i simuleringsperioden er det på Østfoldbanen kjørt 2 godstog sørover. Fra Alnabru mot Lillestrøm er det kjørt 3 godstog og fra Alnabru mot Kongsvinger er det kjørt 2 godstog.

Lokaltog vestover

	Strekning	Type lok/ motorvogn	Antall avganger	Merknad
Lokaltog	Hamar-Eidsvoll- Kongsberg	BM69	1/time	Totalt 2/time fra Eidsvoll til Oslo
	Eidsvoll-Oslo	BM69	1/time	
	Moss-Oslo- Spikkestad	BM69	1/time	
	Oslo-Spikkestad	BM69	1	Ankomst Spikkestad 1 gang i løpet av simuleringsperioden
	Lillestrøm-Asker	BM69	2/time	Totalt 4/time fra Lillestrøm til Oslo S
	Lillestrøm-Oslo	BM69	2/time	
	Oslo-Sandvika	BM69	2/time	
	Roa-Oslo	BM69	1/time	
	Årnes-Oslo	BM69	1/time	Totalt 2/time fra Årnes til Oslo S
	Kongsvinger-Oslo	EL16	1/time	
	Fredrikstad-Oslo	BM69	1/time	Totalt 2/time fra Moss til Oslo S
	Moss-Oslo	BM69	1/time	
	Ski-Oslo	BM69	2/time	
	Rakkestad-Oslo	BM69	1/time	Totalt 2/time fra Rakkestad til Oslo S
	Sarpsborg- Rakkestad-Oslo	BM69	1/time	

Tabell 3.3: Lokaltog vestover

Intercity- og ekspresstog vestover

	Strekning	Type lok./ motorvogn	Antall avganger	Merknad
IC-tog	Halden-Oslo	EL18/ BM70	2/time	
	Oslo-Skien	BM70	1	Ankomst Skien 1 gang i løpet av simuleringsperioden.
	Lillehammer-Oslo	BM70	1/time	Totalt 2/time fra Lillehammer til Oslo S
	Lillehammer-Skien	BM70	1/time	
Flyplass-tog	Gardermoen-Asker		3/time	Totalt 6/time fra Gardermoen til Oslo S
	Gardermoen-Oslo		3/time	
Ekspress-tog	Gjøvik-Oslo	BM69	1/time	
	Trondheim-Oslo	EL17	1	Ankomst/avgang Oslo S 1 gang i løpet av simuleringsperioden.
	Oslo-Bergen	EL16	1	
	Oslo-Stavanger	EL16	1	

Tabell 3.4: Intercity- og ekspresstog vestover

2.3.3 Ruteplan 2

I ruteplan 2 er det tatt hensyn til Gardermobanen og nytt dobbeltspor fra Oslo S til Sarpsborg (4 spor mellom Oslo og Ski).

I forhold til ruteplan 1 er det følgende forandringer i ruteplan 2:

Lokaltog: Oslo - Ski: 6 avganger pr. time (2 avganger pr. time i ruteplan 1)
 Ski - Oslo: 6 avganger pr. time (2 avganger pr. time i ruteplan 1)
 Rakkestad - Oslo 1 avgang pr. time (i tillegg til 1 avgang pr. time fra Sarpsborg til Oslo S)

Lokaltog som starter eller terminerer ved Ski kjører på eksisterende dobbeltspor mellom Oslo og Ski. Den resterende togtrafikken på Østfoldbanen kjører på nytt dobbeltspor mellom Oslo og Ski.

2.3.4 Ruteplan 3

I ruteplan 3 er det tatt hensyn til Gardermobanen, nytt dobbeltspor fra Oslo S til Sarpsborg (4 spor mellom Oslo og Ski) og nytt dobbeltspor mellom Skøyen og Asker.

Følgende tog er beholdt på det eksisterende dobbeltsporet mellom Skøyen og Asker:

- Lokaltog som starter eller terminerer ved Sandvika
- Lokaltog mellom Asker og Lillestrøm kjører på eksisterende dobbeltspor mellom Asker og Oslo.
- Lokaltog mellom Oslo og Spikkestad

Den resterende togtrafikken mellom Oslo og Asker kjører på nytt dobbeltspor. Ekspresstog fra Bergen og Stavanger er kjørt med EL17 istedenfor med EL16 som i ruteplan 2. Dette er gjort på grunn av at det nye dobbeltsporet er en høyhastighetsbane.

I tillegg til togtrafikken i ruteplan 2 er det i ruteplan 3 lagt inn[8]:

Lokaltog:	Oslo-Asker:	1 avgang pr. time som kjører på nytt dobbeltspor
	Asker-Oslo:	1 avgang pr. time som kjører på nytt dobbeltspor
	Oslo-Drammen:	1 avgang pr. time som kjører på nytt dobbeltspor

2.3.5 Ruteplan 4

I ruteplan 4 er det tatt hensyn til Gardermobanen, Ringeriksbanen, nytt dobbeltspor fra Oslo S til Sarpsborg (4 spor mellom Oslo og Ski) og nytt dobbeltspor mellom Skøyen og Asker.

På Ringeriksbanen er det lagt inn følgende trafikk[5]:

Lokaltog:	Oslo-Hønefoss:	2 avganger pr. time
	Hønefoss-Oslo:	2 avganger pr. time
Ekspresstog:	Oslo-Bergen:	2 avganger i løpet av simuleringsperioden.

Togene ovenfor går på nytt dobbeltspor mellom Oslo-Sandvika. Disse togene kommer i tillegg til togtrafikken i ruteplan 3.

I tillegg til godstogene i ruteplan 1 er det kjørt ett godstog på Ringeriksbanen fra Hønefoss til Oslo.

2.4 TEKNISKE KRAV TIL BANESTRØMFORSYNINGEN

For at banestrømforsyningen ikke skal være til hinder for fremføringen av en gitt togtrafikk, stilles følgende to hovedkrav:

- Spenningen på strømvtager må ikke underskride en gitt verdi. CENELEC har satt en nedre grense på 12.0 kV, [9]. Ved prosjektering av nye anlegg bør en legge seg på en høyere grense. Denne grensen er av NSB satt til 13.5 kV.

Valget av 13.5 kV som dimensjonerende spenning i prosjektering begrunnes med at en bør ha en viss reserve ved prosjektering av anlegg for fremtidens trafikk.

- Omformerstasjonene i Oslo-området bør ha en installert reserve som er 40 - 50% av den nominelle ytelse. Med reserve menes differansen mellom den nominelle ytelsen og den høyeste gjennomsnittlig belastning i løpet av en time i hver omformerstasjon (se vedlegg 7).

Redundansen i systemet sikres ved at omformerstasjonene bestykses med minst to omformerenheter.

Installert reserve i en omformerstasjon tar hensyn til:

- at maksimale strømtopper i omformerstasjonen ligger vesentlig høyere enn den gjennomsnittlige belastningen i løpet av en time. *(gjelder stort sett bare for en omf. - Oslo-området statist omformer.*
- en viss framtidig økning i togtrafikken på de ulike banestrekningene.

3 SIMULERINGSALTERNATIVER

Det er simulert med 20 forskjellige alternativer. Disse alternativene er beskrevet i tabell 3.1 - 3.3.

Simuleringsalternativ.	Simuleringsperiode.	Ruteplan		Infrastruktur
1	0600-0900	1	Gardermobanen og nytt dobbeltspor fra Ski til Sarpsborg stasjon i, tillegg til dagens infrastruktur.	Fig. 3.1
2	0600-0900	2	Gardermobanen og nytt dobbeltspor fra Oslo S til Sarpsborg stasjon, i tillegg til dagens infrastruktur, (4 spor mellom Oslo S og Ski).	Fig. 3.2
3	0600-0900	3	Nytt dobbeltspor mellom Asker og Skøyen stasjon, i tillegg til Gardermobanen og nytt dobbeltspor fra Oslo S til Sarpsborg, (4 spor mellom Oslo S og Ski).	Fig. 3.3 *
4	0600-0900	4	Ringeriksbanen med 2 kryssingspor, i tillegg til Gardermobanen, nytt dobbeltspor mellom Asker og Skøyen stasjon og nytt dobbeltspor fra Oslo S til Sarpsborg, (4 spor mellom Oslo S og Ski).	Fig. 3.3
5	0600-0900	2	Nytt kondensatorbatteri Oslo S, 8 MVA. (Dagens kondensatorbatteri er på 4 MVA). Infrastrukturen er identisk med alt. 2	Fig. 3.2
6	0600-0900	2	Nytt kondensatorbatteri i Holmlia, 6 MVA. Infrastrukturen er identisk med alt. 2	Fig. 3.2
7	0600-0900	2	Nytt matepunkt Oslo S, 2x14 MVA. Infrastrukturen er identisk med alt. 2	Fig. 3.2
8	0600-0900	2	Nytt 10 MVA aggregat i Holmlia omformerstasjon. Infrastrukturen er identisk med alt. 2	Fig. 3.2

Tabell 3.1: Oversikt over simuleringsalternativene.

↗ * I simuleringsalternativ 3 er ikke Ringeriksbanen (enkeltspor fra Sandvika til Hønefoss) tatt med.

Simuleringsalternativ.	Simuleringsperiode.	Ruteplan		Infrastruktur
9 *	0600-0800	1	Utfall av ett aggregat i Holmlia omformerstasjon Redusert utmatet spenning i Holmlia omformerstasjon, 16.25 kV ved nominell ytelse. Infrastrukturen er identisk med alt. 1.	Fig. 3.1
10	0600-0800	2	Redusert utmatet spenning i Holmlia omformerstasjon, 16.25 kV ved nominell ytelse. Infrastrukturen er identisk med alt. 2	Fig. 3.2
11	0600-0900	2	Utfall av ett aggregat i Holmlia omformerstasjon Konstant utmatet spenning. Infrastrukturen er identisk med alt. 2	Fig. 3.2
12	0600-0900	2	Utfall av ett aggregat i Holmlia omformerstasjon Redusert utmatet spenning i Holmlia omformerstasjon, 16.25 kV ved nominell ytelse. Infrastrukturen er identisk med alt. 2	Fig. 3.2
13	0600-0900	2	Utfall av ett aggregat i Alnabru omformerstasjon. Redusert utmatet spenning i Alnabru omformerstasjon, 16.3 kV ved nominell ytelse. Infrastrukturen er identisk med alt. 2	Fig. 3.2
14	0600-0900	2	Nytt matepunkt Oslo S, 3x14 MVA. Uten Holmlia omformerstasjon. Infrastrukturen er identisk med alt.2	Fig. 3.2
15	0600-0900	2	Nytt matepunkt Oslo S, 3x14 MVA Uten Holmlia omformerstasjon. Uten Alnabru omformerstasjon. Infrastrukturen er identisk med alt. 2	Fig. 3.2

Tabell 3.2: Oversikt over simuleringsalternativene.

◇ * I simuleringene med redusert utmatet spenning i en omformerstasjon følger spenningen en lineær karakteristikk som funksjon av strømmen. Spenningen er 16,5 kV i tomgang og følger en lineær karakteristikk med et valgt negativt stigningstall.

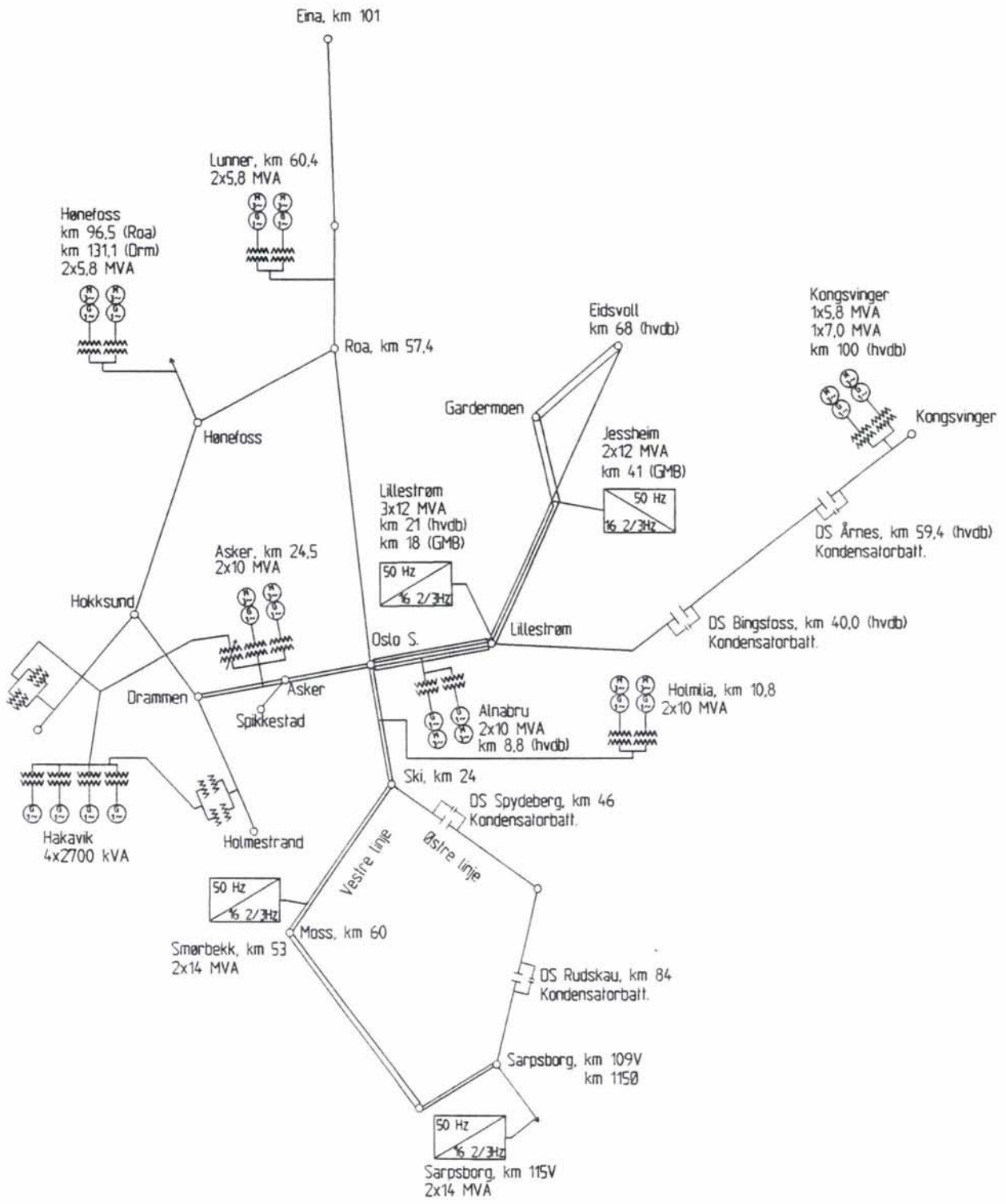
I simuleringsalternativ 16-20 er infrastrukturen identisk med alternativ 1 (figur 3.1), men i tillegg er det tatt hensyn til strekningen fra Eidsvoll til Hamar. Ruteplanen som er brukt i disse alternativene er identisk med ruteplan 1, bortsett fra at tog som passerer Eidsvoll kjøres til/fra Hamar stasjon.

Simuleringsalternativ.	Simuleringsperiode.	Ruteplan		Infrastruktur
16	0600-0900	1 ¹⁾	Utfall av en omformerenhet i Lillestrøm og en omformerenhet i Jessheim omformerstasjon.	3.1 ²⁾
17	0600-0900	1 ¹⁾	Utfall av begge omformerenhetene i Jessheim omformerstasjon. Det er forutsatt at den elektriske sammenkoblingen på Jessheim mellom Hovedbanen og Gardermobanen opprettholdes, ved utfall av omformerstasjonen.	3.1 ²⁾
18	0600-0900	1 ¹⁾	Utfall av 2 (av totalt 3) omformerenheter i Lillestrøm omformerstasjon.	3.1 ²⁾
19	0600-0900	1 ¹⁾	Utfall av en omformerenhet i Lillestrøm og ett aggregat i Alnabru omformerstasjon.	3.1 ²⁾
20	0600-0900	1 ¹⁾	Utfall av en omformerenhet i Lillestrøm og ett aggregat i Holmlia omformerstasjon.	3.1 ²⁾

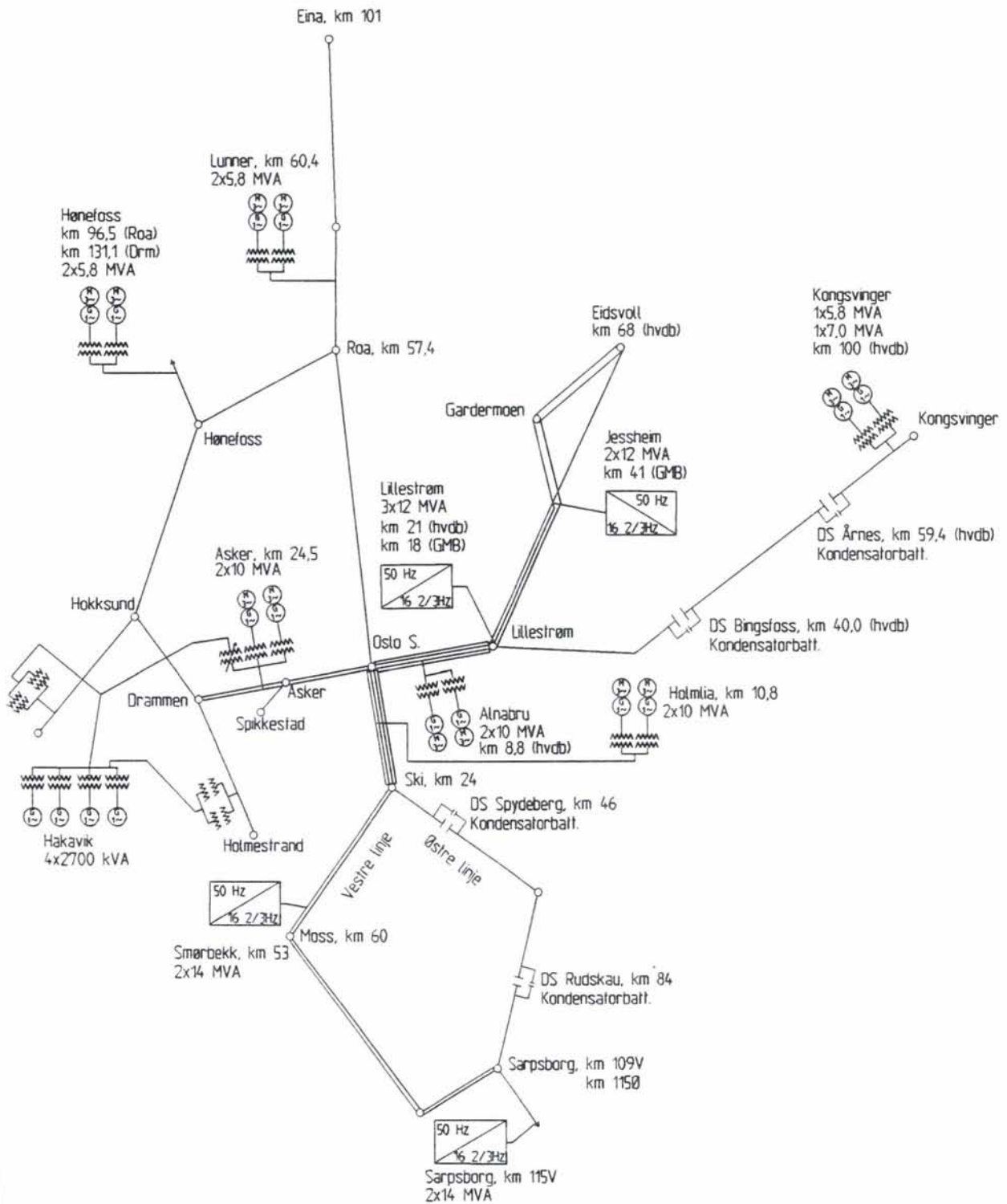
Tabell 3.3: Oversikt over simuleringsalternativene.

⇒ 1) Tog som passerer Eidsvoll kjøres til/fra Hamar.

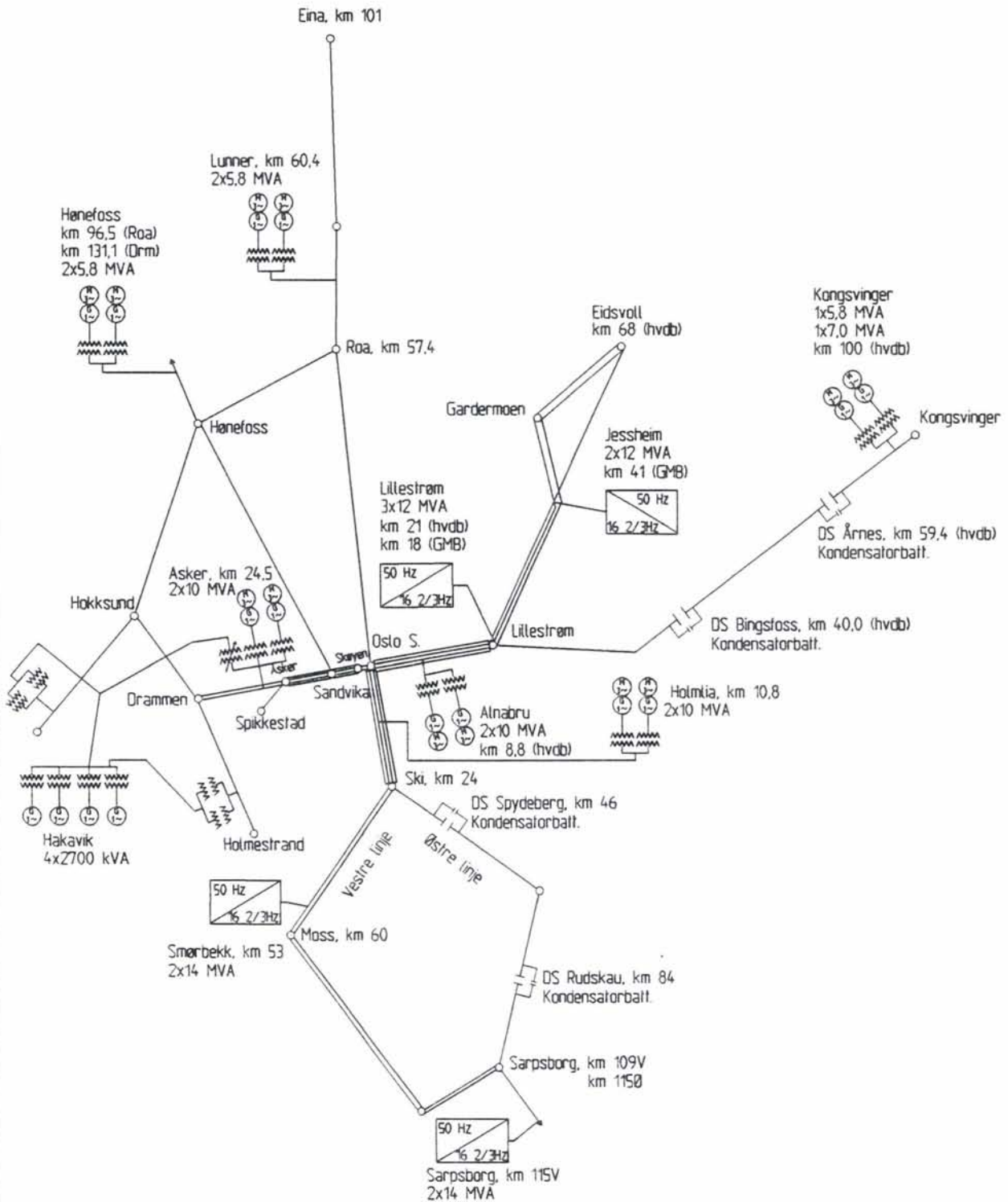
⇒ 2) I tillegg til infrastrukturen i figur 3.1, er strekningen mellom Eidsvoll og Hamar tatt med. Hamar stasjon ligger ca. 60 km. nord for Eidsvoll.



Figur 3.1: Omformerplassering/banestrekninger.



Figur 3.2: Omformerplassering/banestrekninger.



Figur 3.3: Omformerplassering/banestrekninger.

4 REPRESENTASJON AV STRØMFORSYNINGSSYSTEMET I VISION-OSLO

4.1 REPRESENTASJON AV OMFORMERSTASJONENE

I simuleringene, er det for omformerstasjonene brukt en modell som gir tilnærmet konstant utmatet spenning lik 16.5 kV og med økende fasesakking ved økende last. Vedlegg 2 viser fasevinkelkarakteristikken for et 10 MVA roterende omformeraggregat. I simuleringene er en statisk omformerenhet lagt inn med en fasevinkelkarakteristikk tilsvarende ett roterende aggregat. Dersom fasevinkelkarakteristikken for henholdsvis statiske og roterende omformere er lik, vil de ved økende belastning dele belastningen likt mellom seg [10].

Tabell 4.1 viser antall aggregater/omformerenheter som er plassert i omformerstasjonene og den nominelle ytelsen. I simuleringene er det forutsatt at i en normal driftssituasjon er alle omformerenheter/aggregater i hver enkelt omformerstasjon i drift.

Omformerstasjoner			
Statiske		Roterende	
Lillestrøm	3x12 MVA	Alnabru	2x10 MVA
Jessheim	2x12 MVA	Asker	2x10 MVA
Smørbekk	2x14 MVA	Holmlia	2x10 MVA
Sarpsborg	1x14 MVA	Lunner	2x5,8 MVA
		Kongsvinger	1x7 MVA+ 1x5,8 MVA
		Hønefoss	2x5,8 MVA
		Tangen	2x7 MVA

Tabell 4.1

Hver omformerenhet i Lillestrøm og Jessheim er overlastbar til 14 MVA i 10 minutter pr. time.

Sarpsborg er lagt inn med kun en omformerenhet mens omformerstasjonen i virkeligheten er bestykket med 2 omformerenheter. I simuleringene mater Sarpsborg omformerstasjon kun strekningen nordover til Smørbekk omformerstasjon (jfr. fig 3.1, kap. 3). På grunn av at omformerstasjonen i virkeligheten også mater strekningen sørover til Mellerud omformerstasjon er Sarpsborg i simuleringene lagt inn med en omformerenhet.

Den nominelle ytelsen i en statisk omformerstasjon er avhengig av forholdet mellom produsert aktiv og reaktiv effekt. Vedlegg 3 viser kontinuerlig ytelse som funksjon av lastens effektfaktor for en omformerenhet på 14 MVA. En sum enfasestrøm som tilsvarer den produserte tilsynelatende effekten gitt av kurven for kontinuerlig ytelse vist i vedlegg 3, fører til at utmatet spenning i omformerstasjonen senkes. På denne måten avlastes omformerstasjonen. En reduksjon i utmatet spenning fører til at nabostasjonene overtar noe av belastningen.

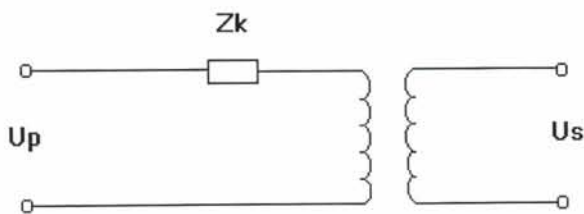
Kurven som viser uteffekt som funksjon av effektfaktor (vedlegg 3) for en omformerenhet på 14 MVA er basert på forespørsler fra forskjellige leverandører. Det er variasjoner mellom de forskjellige leverandørene angående denne karakteristikken.

4.2 REPRESENTASJON AV KONTAKTLEDNINGSANLEGGET

Kontaktledningsanlegget inklusive returkretsen, er i simuleringene representert med en konstant resistans og induktans. Kontakttråd og bæreline har et samlet tverrsnitt på $150 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$. Kontaktledningsanlegget er dimensjonert for en kontinuerlig strøm på 600 A. Vedlegg 4 viser hvilken impedans som er brukt for å representere kontaktledningsanlegget på de forskjellige banestrekningene.

4.3 REPRESENTASJON AV TRANSFORMATORER

En transformator er representert med en kortslutningsimpedans som vist i figur 4.1. Vedlegg 1 viser utregnet verdi for kortslutningsimpedansen.



Z_k : Kortslutningsimpedans

Figur 4.1: Representasjon av transformator i VISION/OSLO

4.4 MODELLER FOR ELEKTRISK MATERIELL

Det er laget modeller av alle motorvogner og lokomotiv som brukes i simuleringene. Med utgangspunkt i materiellets trekkraftkurver (som funksjon av hastighet og kontaktledningsspenning), effektfaktor og virkningsgrad er det for hvert lokomotiv/hver motorvogn beregnet strømforbruk som funksjon av hastighet ved forskjellig spenning på kontaktledningsanlegget (se vedlegg 5). Disse kurvene for strømforbruket danner modellen for det elektriske materialet.

Da simuleringene startet stod valget mellom 8 forskjellige flyplasstog. I simuleringene er det forutsatt ett motorvognsett med høy ytelse, det vil si 2800 kW. I ettertid er det bestemt at det skal bygges flyplasstog med en ytelse på 2645 kW.

4.5 UTFALLSANALYSER

4.5.1 Roterende omformerstasjoner

I simuleringene med utfall av ett aggregat i de roterende omformerstasjonene er det forutsatt at utmatet spenning i den aktuelle omformerstasjonen reduseres. Utmatet spenning følger en lineær karakteristik som funksjon av den totale strømmen i omformerstasjonen. Spenningen faller fra 16,5 kV i tomgang med et valgt negativt stigningstall.

Ett roterende omformeraggregat har en tilnærmet maksimal belastning i 2 sekunder som vist i tabell 4.2 [11].

Aggregat størrelse	Utmatet spenning lik 16,5 kV 2 sek. verdi [A]
5,8 MVA	625
7,0 MVA	825
10,0 MVA	1250

Tabell 4.2: 2 sekunders verdi for ulike aggregat.

Verdiene i tabell 2 gir kun et overslag over maksimal belastning av aggregatene. For hver enkelt omformerstasjon er maksimal belastning avhengig av hvor god samkjøring det er mellom aggregatene i omformerstasjonen og hvordan vernene for omformerstasjonen/aggregatene er innstilt.

Generatoren er vernet av et invertertidsoverstrømsrelé. Hvor mye aggregatene kan levere før utkobling inntreffer, bestemmes i praksis av innstillingen av overstrømsreleet.

4.5.2 Statiske omformerstasjoner

Modellen for en statiske omformerstasjon holder en flat utmatet spenning, til den totale strømmen i omformerstasjonen når en gitt grense. Deretter senkes utmatet spenning slik at strømmen ikke går over den definerte strømgrensen.

Vedlegg 3 viser uteffekt for en omformerenhet på 14 MVA som funksjon av effektfaktoren. I simuleringene er det valgt en maksimal belastning ut ifra mest ugunstig ytelse som er 12 MVA, ved en effektfaktor lik 1.0.

En omformerstasjon med 2 enheter på hver 14 MVA senker utmatet spenning når sum enfase strøm når en grense lik:

$$I_{\text{grense}} = \frac{2 \cdot 12000}{16,5} = 1455 \text{ A}$$

Tilsvarende vil en omformerstasjon med installert ytelse på 3x14 MVA senke utmatet spenning når sum enfasestrøm når en grense lik : $3/2 * 1455 \text{ A} = 2183 \text{ A}$. De statiske omformerstasjonene er modellert med en bratt spenningsreduksjon som hindrer at omformerstasjonene i vesentlig grad overskrider strømgrensen.

5 RESULTATER

I forbindelse med Hovedplan for banestrømforsyningen i Oslo - området er det utført simuleringer av strømforsyningssystemet med flere forskjellige simuleringalternativer som beskrevet i kapittel 3.

5.1 KAPASITETSVURDERINGER

En oppsummering av resultatene fra kapasitetsvurderingene er gjengitt i tabell 5.1-5.14.

Installert reserve er beregnet ut ifra den nominelle ytelsen og maksimal total timebelastning i hver enkelt omformerstasjon. For en statisk omformerenhet på 14 MVA er det tatt utgangspunkt i en nominell ytelse på 12 MVA, som representerer den mest ugunstige ytelsen, (effektfaktor lik 1.0).

5.1.1 Resultater fra simuleringer med endringer i infrastrukturen (Alt. 1 - 4)

Simulerings- alternativ	Maksimal timebelastning		Installert reserve [%]	De høyeste strømtoppene i løpet av simuleringsperioden (Tallene i parentes angir tidspunktet for strømtoppen) [A]			
	[MW]	[MVA _r]					
1	Lillestrøm	12.5	6.3	61	1560 (08.38)	1525 (07.42)	1475 (06.44)
	Jessheim	6.8	1.3	71	803 (06.57)	775 (08.46)	750 (06.22)
	Alnabru	6.9	5.3	56	1100 (07.35)	1025 (07.16)	1000 (07.46)
	Asker	7.5	6.7	50	1400 (07.45)	1350 (07.34)	1250 (07.12)
	Holmlia	7.5	7.7	46	1530 (07.05)	1500 (06.34)	1400 (08.16)
	Smørbekk	8.8	4.2	59	1340 (07.05)	1150 (08.08)	1125 (09.10)
2	Lillestrøm	12.7	5.7	61	1561 (07.43)	1530 (08.38)	1500 (08.02)
	Jessheim	6.9	1.3	71	824 (06.57)	775 (08.46)	750 (06.22)
	Alnabru	6.9	4.3	59	1049 (07.34)	975 (07.14)	950 (06.34)
	Asker	7.6	6.2	51	1425 (07.12)	1350 (07.44)	1250 (07.34)
	Holmlia	8.7	12.3	25	1869 (06.23)	1700 (07.24)	1600 (08.24)
	Smørbekk	8.6	3.3	62	1398 (06.56)	1300 (06.40)	1170 (07.56)

Tabell 5.1: Resultater fra kapasitetsvurderingene.

Simulerings- alternativ	Maksimal timebelastning		Installert reserve [%]	De høyeste strømtoppene i løpet av simuleringsperioden (Tallene i parentes angir tidspunktet for strømtoppen) [A]			
	[MW]	[MVA _r]					
3	Lillestrøm	13	5.4	61	1553 (08.39)	1525 (07.42)	1500 (08.04)
	Jessheim	7	1.2	70	822 (06.57)	775 (08.46)	750 (06.22)
	Alnabru	7	3.7	60	932 (07.34)	920 (07.14)	890 (08.22)
	Asker	8.8	8.5	39	1492 (07.54)	1450 (07.48)	1380 (06.46)
	Holmlia	8.9	11.5	27	1820 (06.23)	1680 (07.24)	1600 (08.24)
	Smørbekk	8.7	3.2	61	1400 (06.56)	1275 (06.40)	1170 (07.56)
4	Lillestrøm	13.4	5.3	60	1561 (08.03)	1550 (08.38)	1520 (07.42)
	Jessheim	7.2	1.1	70	833 (06.57)	775 (08.44)	750 (06.22)
	Alnabru	7.3	3.9	59	972 (07.14)	970 (07.34)	900 (08.20)
	Asker	9.6	10.1	30	1599 (07.20)	1550 (07.54)	1520 (07.38)
	Holmlia	9.3	11.9	24	1831 (06.23)	1750 (07.24)	1610 (08.24)
	Smørbekk	8.8	3.1	61	1400 (06.56)	1275 (06.40)	1170 (07.58)

Tabell 5.2: Resultater fra kapasitetsvurderingene.

Kommentarer:

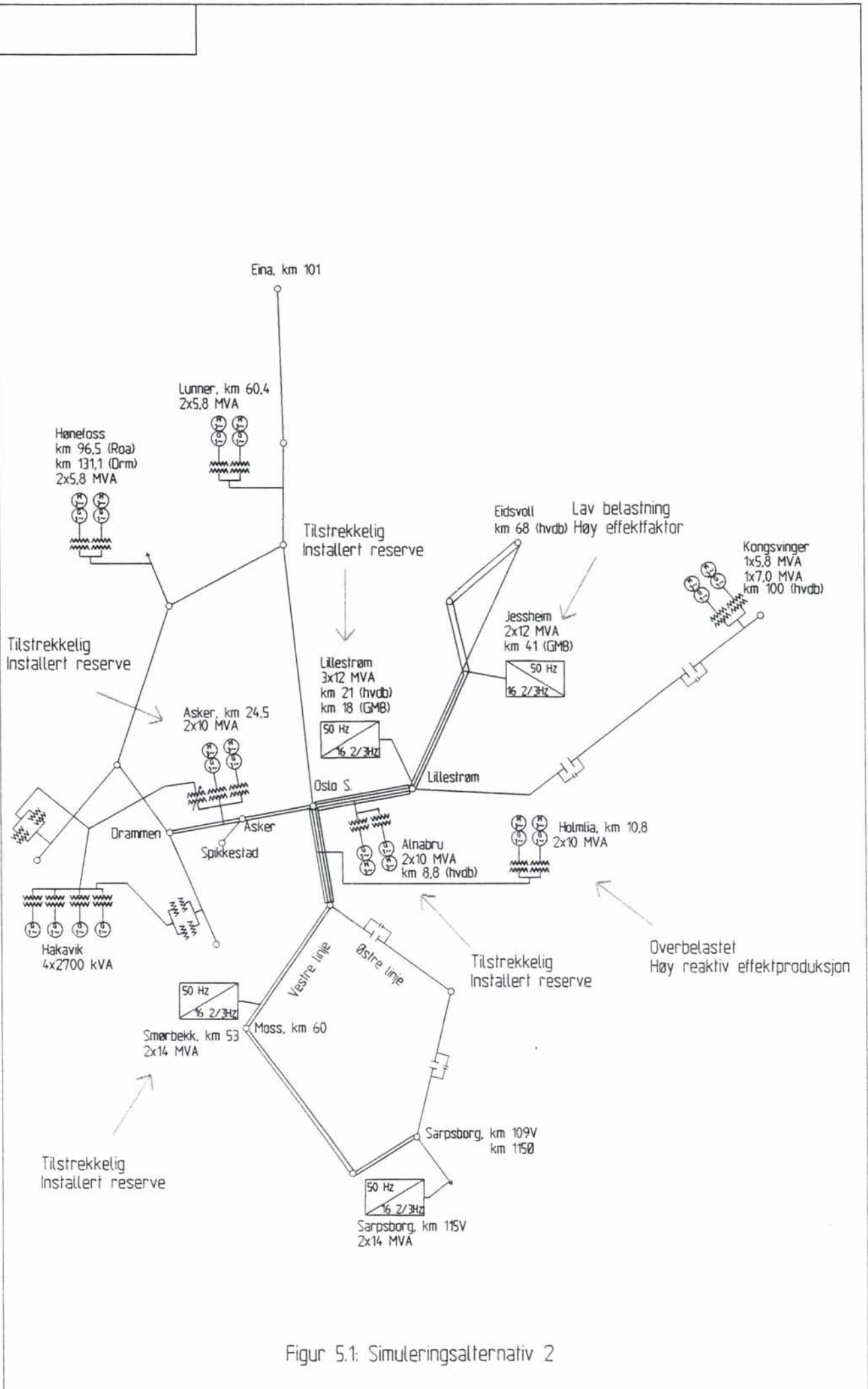
Simuleringsalternativ 1: GMB & nytt dobbeltspor fra Ski til Sarpsborg i tillegg til dagens infrastruktur

Det er tilstrekkelig installert ytelse i Lillestrøm, Jessheim, Alnabru, Asker, Holmlia og Smørbekk omformerstasjon. Simuleringene viser en høy reaktiv effektproduksjon i Holmlia omformerstasjon i forhold til den aktive effektproduksjonen. Tidligere målinger av aktiv og reaktiv effekt viser en lav effektfaktor i Holmlia omformerstasjon[13].

Simuleringsalternativ 2: GMB & nytt dobbeltspor fra Oslo S til Sarpsborg i tillegg til dagens infrastruktur

Figur 5.1 gir en oppsummering av resultatene fra simuleringsalternativ 2.

Det er tilstrekkelig installert ytelse i Lillestrøm, Jessheim, Alnabru, Asker og Smørbekk omformerstasjon. Holmlia omformerstasjon er overbelastet. Den høyeste aktive og reaktive gjennomsnittlige belastningen i løpet av en time i Holmlia er henholdsvis 8,7 og 12,3 MVA_r. Det vil si at Holmlia omformerstasjon i løpet av denne tidsperioden går med en effektfaktor lik 0,6. Dette høye reaktive effektbehovet skyldes en høy frekvens med motorvognsett av type 69 mellom Oslo Sentralstasjon og Ski stasjon. Under oppstartingsfasen går en motorvogn av type BM69 med en lav effektfaktor, (se vedlegg 5 for beskrivelse av modellen for BM69).



Figur 5.1: Simuleringsalternativ 2

Simuleringsalternativ 3: *Nytt dobbeltspor mellom Asker og Skøyen i tillegg til GMB & nytt dobbeltspor fra Oslo S til Sarpsborg.*

Simuleringsalternativ 3 gir en jevnere belastning i Asker omformerstasjon i forhold til simuleringsalternativ 2 (GMB & nytt dobbeltspor fra Oslo S til Sarpsborg i tillegg til dagens infrastruktur), men det er små endringer i de høyeste strømtoppene i Asker.

Det er tilstrekkelig installert ytelse i Lillestrøm, Jessheim, Alnabru, Asker og Smørbekk omformerstasjon.

Simuleringsalternativ 4: *Ringeriksbanen i tillegg til nytt dobbeltspor mellom Asker og Skøyen, GMB & nytt dobbeltspor fra Oslo S til Sarpsborg.*

Simuleringsalternativ 4 gir en jevnere belastning i Asker omformerstasjon i forhold til simuleringsalternativ 2 (GMB & nytt dobbeltspor fra Oslo S til Sarpsborg i tillegg til dagens infrastruktur), samtidig som den høyeste strømtoppen i Asker omformerstasjonen øker med 174 A fra 1425 til 1599 A. Den høyeste aktive og reaktive gjennomsnittlige belastningen i løpet av en time i Asker er henholdsvis 9,6 og 10,1 MVA. Det vil si at Asker omformerstasjon i løpet av denne tidsperioden går med en effektfaktor lik 0,7. Med 2x10 MVA i Asker omformerstasjon tilfredsstillers ikke omformerstasjonen kravet til installert reserve (se kap. 2.4). I omformerstasjonen er det derimot mulig å sette inn ett tredje aggregat, som vil gi tilstrekkelig installert reserve.

Det er tilstrekkelig installert ytelse i Lillestrøm, Jessheim, Alnabru og Smørbekk omformerstasjon.

**5.1.2 Resultater fra simuleringer med nytt matepunkt, nytt kondensatorbatteri & utvidelse av Holmlia.
 (Alt. 5-8)**

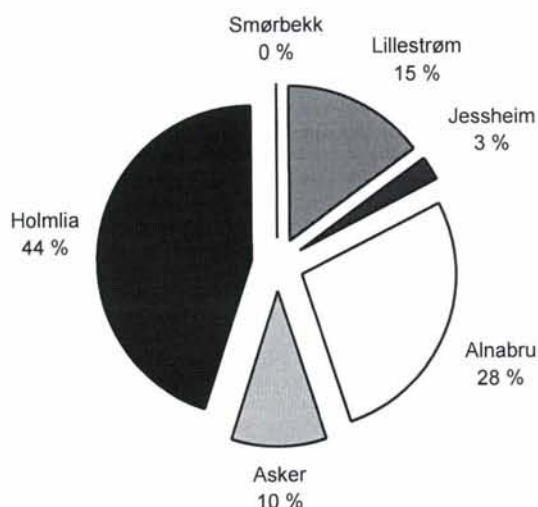
Simulerings- alternativ	Maksimal timebelastning		Installert reserve [%]	De høyeste strømtoppene i løpet av simuleringsperioden (Tallene i parentes angir tidspunktet for strømtoppen) [A]			
	[MW]	[MVA _r]					
5	Lillestrøm	12.8	5.1	62	1539 (07.43)	1500 (08.38)	1480 (08.04)
	Jessheim	6.9	1.2	71	824 (06.57)	775 (08.46)	750 (06.22)
	Alnabru	6.8	3.2	62	981 (07.34)	900 (07.14)	890 (06.34)
	Asker	7.8	5.8	51	1404 (07.12)	1350 (07.44)	1275 (07.34)
	Holmlia	8.6	10.5	32	1776 (06.23)	1600 (07.24)	1550 (08.24)
	Smørbekk	8.7	3.3	61	1398 (06.56)	1300 (06.40)	1170 (07.56)
6	Lillestrøm	12.9	5.6	61	1564 (07.43)	1530 (08.38)	1500 (08.02)
	Jessheim	7	1.2	70	825 (06.57)	775 (08.46)	750 (06.22)
	Alnabru	7	4.2	59	1038 (07.34)	970 (07.14)	900 (08.22)
	Asker	7.7	6.1	51	1423 (07.12)	1400 (07.24)	1350 (08.24)
	Holmlia	8.1	6.6	48	1557 (06.23)	1350 (07.44)	1250 (07.34)
	Smørbekk	8.7	3.2	61	1399 (06.56)	1310 (06.40)	1180 (07.56)
7	Lillestrøm	10.7	5.2	67	1461 (08.39)	1360 (07.42)	1275 (06.44)
	Jessheim	6.1	1.7	74	811 (06.57)	750 (06.22)	750 (08.34)
	Alnabru	5.2	1.9	72	744 (07.34)	650 (07.14)	640 (07.04)
	Asker	6.5	5.9	56	1338 (07.12)	1325 (07.24)	1250 (07.34)
	Holmlia	6.5	7.6	50	1474 (06.23)	1150 (08.12)	1150 (07.52)
	Smørbekk	7.9	4	63	1396 (06.56)	1300 (06.40)	1170 (07.58)
	Oslo	9	10	44	1694 (07.23)	1350 (06.24)	1350 (09.14)
8	Lillestrøm	12.5	5.8	62	1549 (08.39)	1545 (07.42)	1500 (08.02)
	Jessheim	6.8	1.3	71	823 (06.57)	750 (06.22)	750 (08.46)
	Alnabru	6.8	4.4	60	1058 (07.34)	975 (07.14)	975 (06.34)
	Asker	7.5	6.3	51	1377 (07.44)	1310 (07.34)	1300 (07.52)
	Holmlia	9.6	11.5	50	1796 (06.23)	1625 (07.24)	1600 (08.24)
	Smørbekk	8.4	3.4	62	1398 (06.56)	1310 (06.40)	1200 (07.56)

Tabell 5.3: Resultater fra kapasitetsvurderingene.

Kommentarer:

Simuleringsalternativ 5: Nytt kondensatorbatteri på 8 MVAR i koblingshuset på Oslo S.

Med et nytt kondensatorbatteri på 8 MVAR i koblingshuset på Oslo S (dagens kondensatorbatteri har en ytelse på 4 MVAR), reduseres den reaktive effektproduksjonen i Lillestrøm, Alnabru, Asker og Holmlia omformerstasjon. Figur 5.3 viser hvordan en kapasitetsøkning på 4 MVAR i koblingshuset på Oslo S fordeles på de forskjellige omformerstasjonene. Prosentatsene er beregnet ut ifra forholdet mellom reduksjonen i den høyeste gjennomsnittlige reaktive belastningen i løpet av en time i hver enkelt omformerstasjon og kapasitetsøkningen på 4 MVAR i koblingshuset.



Figur 5.3: Prosentvis fordeling av reaktiv effekt med en kapasitetsøkning i koblingshuset på Oslo S.

Den høyeste strømtoppen i Holmlia omformerstasjon reduseres med 93A fra 1869 til 1776A. Den høyeste strømtoppen i Alnabru omformerstasjon reduseres med 68 A fra 1049 til 981 A. I perioder med lav last i Alnabru omformerstasjon går omformerstasjonen kapasitivt. Del 2, vedlegg 5, tegning nr. 5-6 viser at Alnabru omformerstasjon går kapasitivt i lavlastperioder.

Ett kondensatorbatteri på 4 MVAR i koblingshuset på Oslo S avlaster ikke Holmlia omformerstasjon tilstrekkelig.

Simuleringsalternativ 6: *Nytt kondensatorbatteri på 6 MVAR i Holmlia omformerstasjon.*

Med et nytt kondensatorbatteri på 6 MVAR i Holmlia omformerstasjon reduseres den høyeste strømtoppen i omformerstasjonen med 312A fra 1869 til 1557A. Med alternativ 5 (Nytt kondensatorbatteri på 8 MVAR i koblingshuset på Oslo S), reduseres den høyeste strømtoppen i Holmlia omformerstasjon med 93 A. Ett kondensatorbatteri i Holmlia omformerstasjon må reguleres slik at det ikke produserer reaktiv effekt i en lavlast periode. Uten en slik regulering vil Holmlia omformerstasjon gå kapasitivt i en lavlast periode. Dersom det velges en løsning med kondensatorbatteri må det utredes en teknisk løsning som ikke gir effekt-pendlinger eller andre ustabile forhold i nettet.

Det er tilnærmet ingen forandringer i belastningsforholdene i de andre omformerstasjonene.

Simuleringsalternativ 7: *Ny omformerstasjon på 2x14 MVA ved Oslo Sentralstasjon.*

Det er en tilstrekkelig installert reserve i Lillestrøm, Jessheim, Alnabru, Asker, Holmlia, Smørbekk og Oslo omformerstasjon.

En ny omformerstasjon på 2x14 MVA ved Oslo Sentralstasjon avlaste Holmlia både aktivt og reaktivt. Den høyeste strømtoppen i Holmlia reduseres med 395 A fra 1869 til 1474 A.

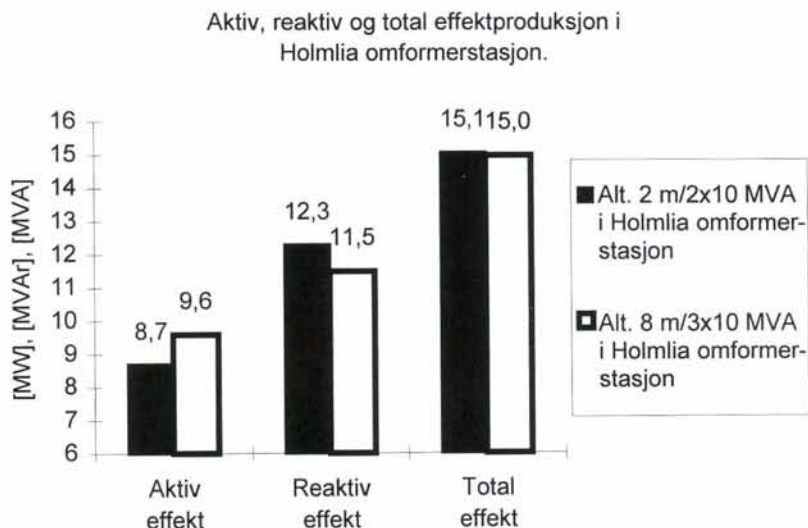
Med en installert ytelse lik 2x10 MVA går Alnabru omformerstasjonen lite belastet med en ny omformerstasjon ved Oslo S. Den maksimale totale belastningen i Alnabru omformerstasjon er lik 12.3 MVA. I store deler av simuleringsperioden går Alnabru omformerstasjon kapasitivt, (se DEL 2, vedlegg 7, tegning nr. 7-6).

Resultatene fra simuleringsalternativ 1 og 2 viser at det er kun Holmlia omformerstasjon som er hardt belastet i en normal driftssituasjon. Holmlia omformerstasjon kan avlastes på andre måter enn å bygge en ny omformerstasjon ved Oslo Sentralstasjon, som for eksempel med ett kondensatorbatteri i Holmlia omformerstasjon. Alternativ 6 (nytt kondensatorbatteri på 6 MVAR i Holmlia omformerstasjon) viser at den høyeste strømtoppen i Holmlia reduseres med 312 A.

Simuleringsalternativ 8: Nytt aggregat på 10 MVA i Holmlia omformerstasjon, totalt 3x10 MVA.

Figur 5.4 viser den høyeste aktive, reaktive og totale gjennomsnittlige belastningen i løpet av en time i Holmlia.

Figur 5.4 viser at Holmlia omformerstasjon går med en høyere effektfaktor enn med alternativ 2 (med 2x10 MVA i Holmlia omformerstasjon). Det er liten endring i den totale belastningen i Holmlia omformerstasjon med en installert ytelse lik 3x10 MVA i forhold til med 2x10 MVA.



Figur 5,4: Aktiv, reaktiv og total effektproduksjon i Holmlia omformerstasjon.

Det er små forandringer i den totale belastningen i Lillestrøm, Jessheim, Alnabru, Asker og Smørbekk omformerstasjon, (jmf. tabell 5.3).

5.1.3 Utfall av aggregat i Holmlia og Alnabru omformerstasjon & spenningsreduksjon i Holmlia. (Alt. 9-13)

Det er utført 4 forskjellige utfallsanalyser. I tillegg er det utført en simulering med normal driftssituasjon, bortsett fra at utmatet spenning i Holmlia følger en lineært synkende karakteristikk som funksjon av strømmen. Tabell 5.4 og 5.5 gir ett utdrag av resultatene fra disse simuleringene.

Utfallsanalysene forutsetter lastfordelingsutstyr i de roterende omformerstasjonene som gir en lineært synkende utmatet spenning som funksjon av den totale strømmen.

Sim alter	Maksim timebela		Installert reserve [%]	De høyeste strømtoppene i løpet av simuleringsperioden (Tallene i parentes angir tidspunktet for strømtoppen) [A]			
	[MW]	[MVA]					
9	Lillestrøm	13.3	6.4	59	1560 (07.43)	1540 (06.32)	1520 (08.02)
	Jessheim	7.1	1.2	70	809 (06.57)	770 (06.22)	
	Alnabru	7.5	6.1	52	1161 (07.34)	1060 (07.16)	1060 (07.46)
	Asker	7.9	6.7	48	1408 (07.44)	1400 (07.34)	1275 (07.52)
	Holmlia	4.6	7.2	15	1105 (06.34)	1100 (07.15)	1050 (07.05)
	Smørbekk	9.5	4.4	56	1372 (07.07)	1200 (08.18)	1170 (08.08)
10	Lillestrøm	12.8	6.2	60	1585 (07.43)	1560 (08.38)	1500 (08.02)
	Jessheim	6.9	1.3	71	824 (06.57)	775 (08.46)	750 (06.22)
	Alnabru	7.1	5.3	56	1099 (07.34)	1020 (07.14)	1000 (06.34)
	Asker	7.7	6.6	49	1455 (07.12)	1400 (07.44)	1320 (07.34)
	Holmlia	8.1	9.5	38	1539 (06.23)	1400 (07.24)	1350 (08.24)
	Smørbekk	8.7	3.8	60	1427 (06.56)	1350 (06.40)	1200 (07.58)
11	Lillestrøm	13.5	5.1	60	1539 (07.43)	1500 (06.32)	1450 (06.46)
	Jessheim	7.2	1.1	70	843 (06.57)	750 (06.22)	
	Alnabru	7.4	3.9	58	1076 (07.34)	1000 (06.34)	990 (07.14)
	Asker	7.9	5.8	51	1420 (07.12)	1350 (07.44)	1300 (07.34)
	Holmlia	5.9	14.8	-59	1580 (06.23)	1550 (07.24)	1550 (07.12)
	Smørbekk	9.1	2.9	60	1401 (06.56)	1325 (06.40)	

Tabell 5.4: Resultater fra kapasitetsvurderingene.

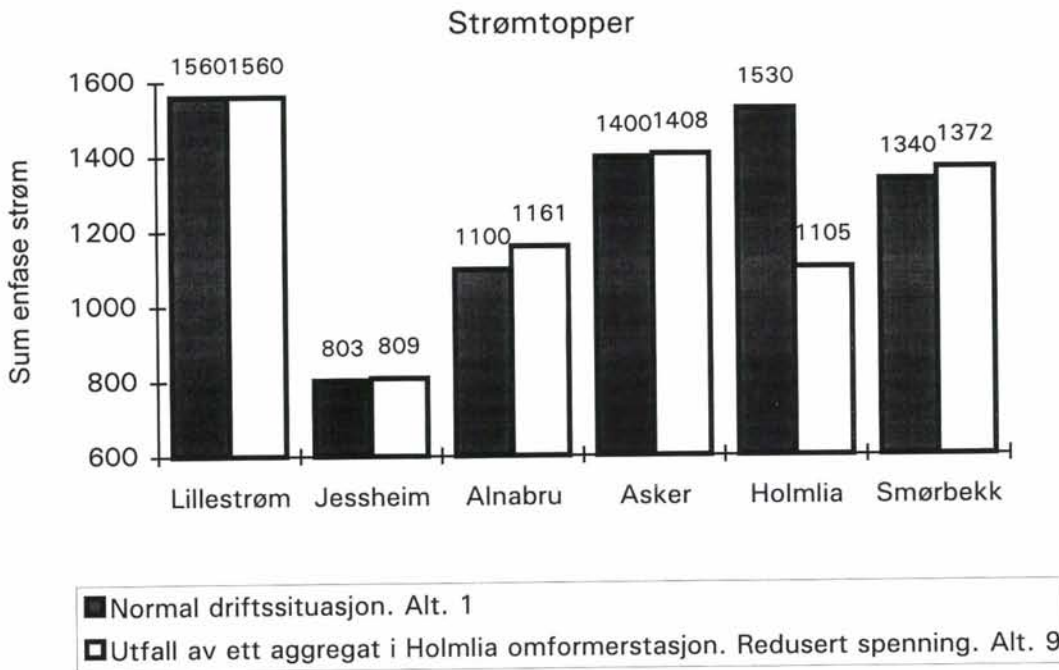
Simulerings- alternativ	Maksimal timebelastning		Installert reserve [%]	De høyeste strømtoppene i løpet av simuleringsperioden (Tallene i parentes angir tidspunktet for strømtoppen) [A]			
	[MW]	[MVar]					
12 <i>1x10 +R</i>	Lillestrøm	13.6	6.2	58	1603 (07.43)	1575 (08.38)	1575 (08.02)
	Jessheim	7.2	1.1	70	828 (06.57)	775 (08.46)	750 (06.22)
	Alnabru	7.7	6	51	1163 (07.34)	1130 (07.16)	1120 (07.12)
	Asker	8.1	6.6	48	1412 (07.44)	1350 (07.34)	1320 (07.52)
	Holmlia	5.1	9.5	-8	1294 (06.23)	1300 (07.24)	1150 (07.12)
	Smørbekk	9.3	3.8	58	1453 (06.56)	1400 (06.40)	1250 (07.58)
13 <i>1x10 +R</i>	Lillestrøm	13.9	6.8	57	1653 (07.43)	1648 (08.04)	1600 (08.38)
	Jessheim	7.2	1.1	70	829 (06.57)	780 (08.46)	760 (06.22)
	Alnabru	4	3.9	44	729 (07.34)	690 (07.14)	620 (06.36)
	Asker	7.9	6.1	50	1432 (07.12)	1380 (07.44)	1300 (07.34)
	Holmlia	9.3	12.7	21	1914 (06.23)	1775 (07.24)	1700 (08.24)
	Smørbekk	8.8	3.1	61	1403 (06.56)	1315 (06.40)	1180 (07.58)

Tabell 5.5: Resultater fra kapasitetsvurderingene.

Kommentar:

Simuleringsalternativ 9: Utfall av ett aggregat i Holmlia omformerstasjon (kun 2 spor Oslo S - Ski)

I simuleringsalternativ 9 er det brukt samme infrastruktur som i alternativ 1 (GMB & nytt dobbeltspor fra Ski til Sarpsborg i tillegg til dagens infrastruktur), men til forskjell fra alternativ 1 er det simulert med utfall av ett aggregat i Holmlia omformerstasjon. Under utfallsanalysen senkes utmatet spenning i omformerstasjonen lineært fra 16,5 kV i tomgang til 16,25 kV ved nominell ytelse (606A). Utmatet spenning i omformerstasjonen følger denne lineære karakteristikken, for alle verdier av den totale strømmen i omformerstasjonen. Figur 5.5 viser endringen i den høyeste strømtoppen for hver enkelt omformerstasjon ved utfall av ett aggregat i Holmlia omformerstasjon. Det er viktig å merke seg at den eneste betydelige forandringen inntreffer i Holmlia omformerstasjon. Under alternativ 11 & 12 er det gjort en grundigere analyse av endringer i effektfordelingen mellom omformerstasjonene ved utfall av ett aggregat i Holmlia omformerstasjon.

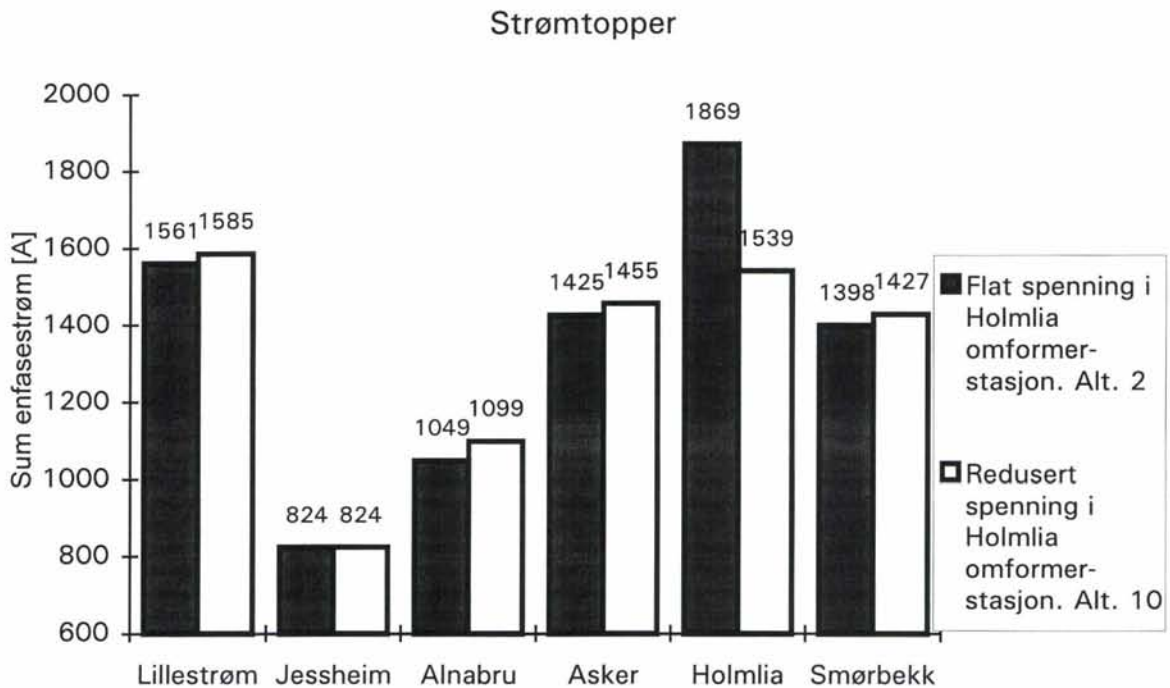


Figur 5.5: Utfall av ett aggregat i Holmlia omformerstasjon

Ved en ytterligere reduksjon av utmatet spenning (spenningen følger en brattere lineær karakteristik enn under simuleringene) vil det være mulig å opprettholde driften av ett aggregat i Holmlia. En driftssituasjon med kun ett aggregat i Holmlia gir ikke utfall i de omliggende omformerstasjonene.

Simuleringsalternativ 10: Redusert utmatet spenning i Holmlia omformerstasjon.

Figur 5.6 viser den høyeste strømtoppen i hver enkelt omformerstasjon med redusert utmatet spenning i Holmlia omformerstasjon. Utmatet spenning i omformerstasjonen senkes lineært fra 16,5 kV i tomgang til 16,25 ved nominell ytelse (1212A). Utmatet spenning i omformerstasjonen følger denne lineære karakteristikken, for alle verdier av den totale strømmen i omformerstasjonen. Strømtoppen i Holmlia reduseres med 330 A fra 1869 til 1539 A, mens det er små forandringer i de resterende omformerstasjonene.



Figur 5.6: Redusert utmatet spenning i Holmlia omformerstasjon

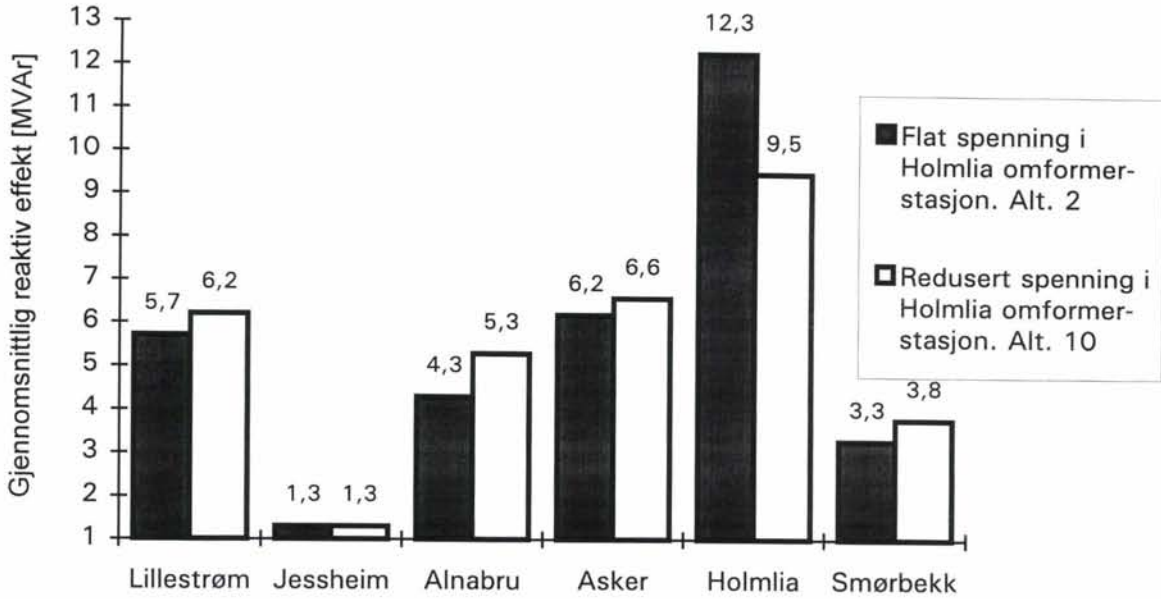
Figur 5.7 viser at den høyeste gjennomsnittlige reaktive belastningen i løpet av en time i Holmlia reduseres med 2,8 MVAR fra 12,3 til 9,5 MVAR. Denne reaktiv effektreduksjonen i Holmlia omformerstasjon fordeles til Lillestrøm, Alnabru, Asker og Smørbekk omformerstasjon.

Figur 5.8 viser at det er små endringer i den aktive effektproduksjonen i omformerstasjonene med redusert spenning i Holmlia omformerstasjon. Figur 5.8 viser den høyeste gjennomsnittlige aktive belastningen i løpet av en time i hver omformerstasjon.

Alnabru omformerstasjon overtar den største delen av den totale effekten som Holmlia omformerstasjon "skyver" fra seg. Den høyeste strømtoppen i Alnabru omformerstasjon øker med 50 A, med redusert spenning i Holmlia.

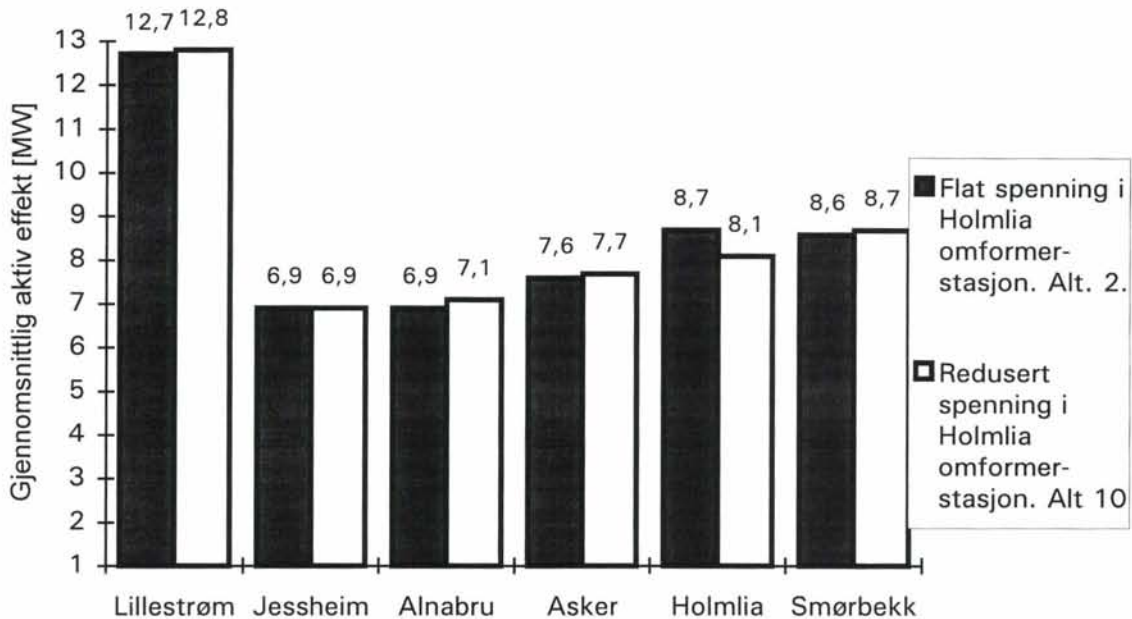
Med redusert spenning i Holmlia tilfredsstillers Lillestrøm, Jessheim, Alnabru, Asker, Holmlia og Smørbekk omformerstasjon kravet til installert reserve, (se kap 2.4).

Timeverdier (gjennomsnittlig reaktiv effekt)



Figur 5.7: Redusert utmatet spenning i Holmlia omformerstasjon

Timeverdier (gjennomsnittlig aktiv effekt)

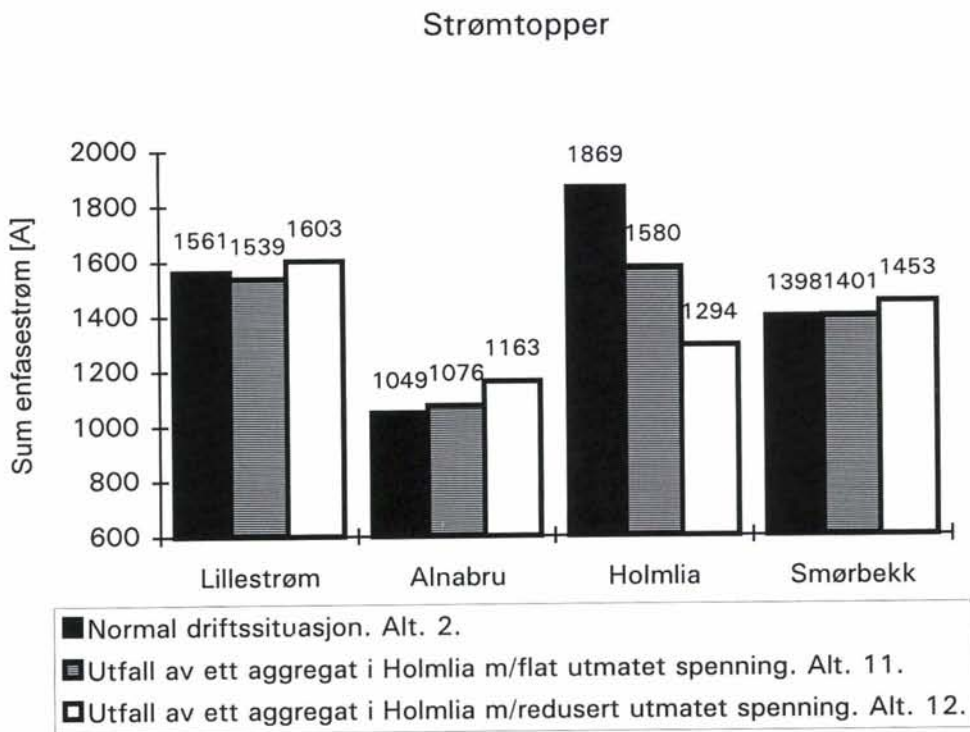


Figur 5.8: Redusert utmatet spenning i Holmlia omformerstasjon

Simuleringsalternativ 11 & 12: *Utfall av ett aggregat i Holmlia omf. med flat utmatet spenning i omformerstasjonen & Utfall av ett aggregat i Holmlia omf. med redusert utmatet spenning i omformerstasjonen, (4 spor Oslo S - Ski)*

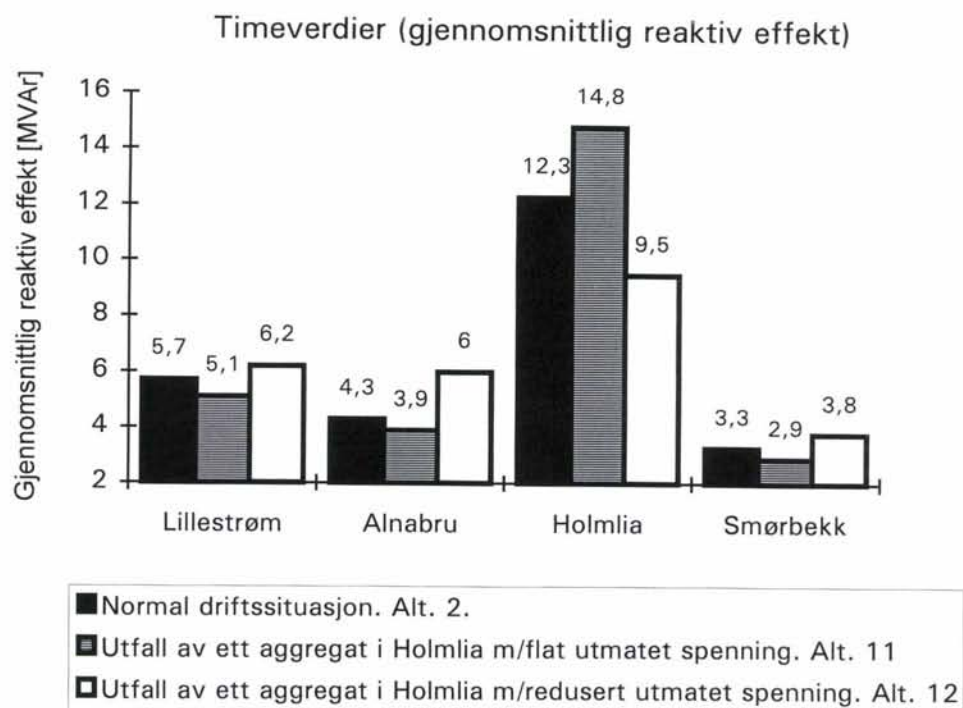
Med alternativ 11 er det utfall av ett aggregat i Holmlia omformerstasjon, med flat spenning lik 16.5 kV. Figur 5.9 viser at den høyeste strømtoppen i Holmlia omformerstasjon reduseres med 289 A fra 1869 til 1580 A i forhold til alternativ 2, (begge aggregater i Holmlia i drift, med flat utmatet spenning lik 16.5 kV). Med ett aggregat i drift og flat spenning lik 16,5 kV i Holmlia omformerstasjon, er Holmlia overbelastet og det gjenværende aggregatet vil kobles ut.

Med alternativ 12 følger utmatet spenning i Holmlia omformerstasjon en lineær karakteristik fra 16,5 kV i tomgang til 16,25 kV ved nominell ytelse (606 A). Utmatet spenning i omformerstasjonen følger denne lineære karakteristikken, for alle verdier av den totale strømmen i omformerstasjonen. Ved å utnytte den sterke samkjøringen i Oslo -området er det mulig å opprettholde driften av ett aggregat i Holmlia, dersom utmatet spenning i omformerstasjonen følger en noe brattere karakteristik enn den som er brukt i simuleringene.

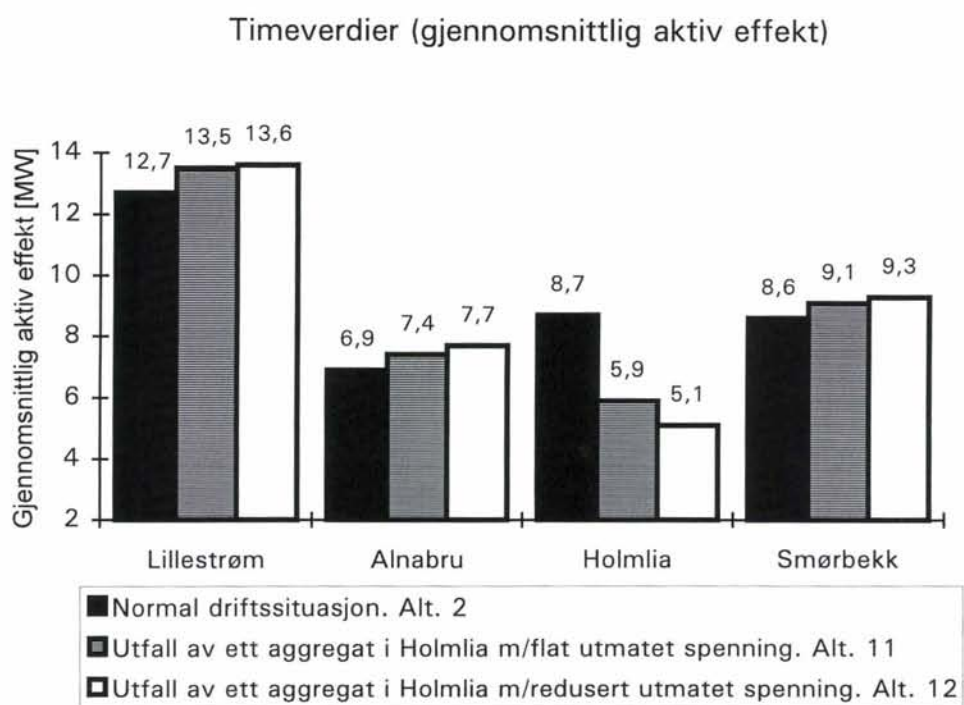


Figur 5.9: Utfall av ett aggregat i Holmlia omformerstasjon.

Figur 5.10 og 5.11 viser henholdsvis den høyeste reaktive og aktive belastningen i løpet av en time i Lillestrøm, Alnabru, Holmlia og Smørbekk omformerstasjon. Figur 5.10 og 5.11 beskriver effektfordelingen mellom Lillestrøm, Alnabru, Holmlia og Smørbekk omformerstasjon.



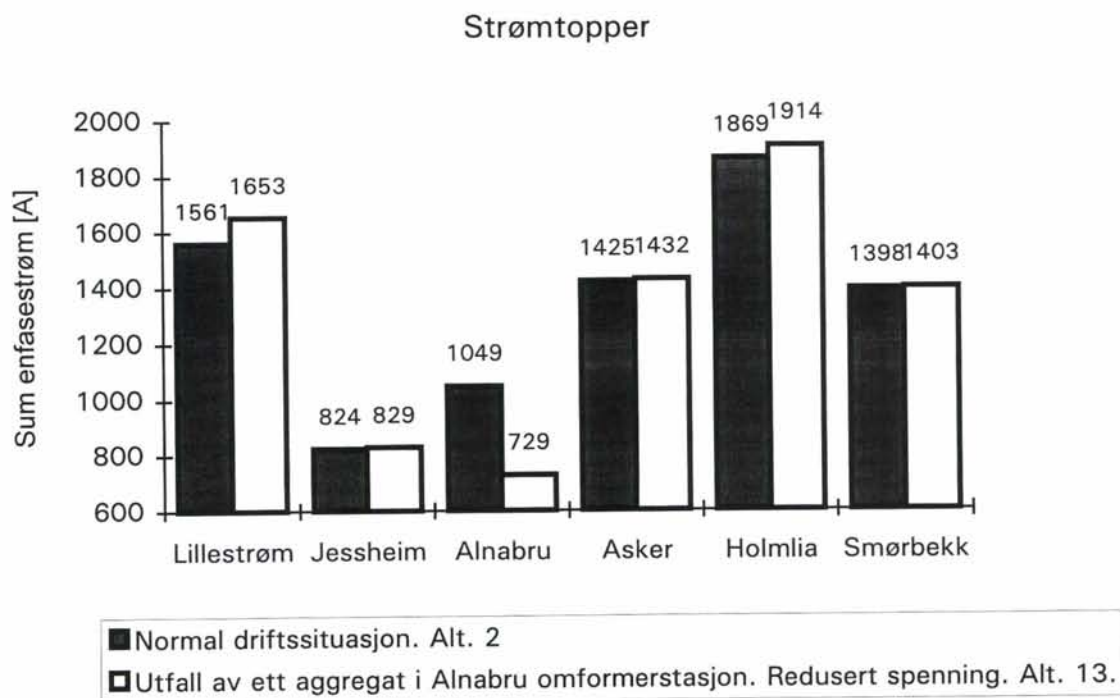
Figur 5.10: Utfall av ett aggregat i Holmlia omformerstasjon.



Figur 5.11: Utfall av ett aggregat i Holmlia omformerstasjon.

Simuleringsalternativ 13: Utfall av ett aggregat i Alnabru omf. med redusert utmatet spenning i omformerstasjonen.

Tilsvarende simuleringsalternativ 12 (Utfall av ett aggregat i Holmlia omf. med redusert utmatet spenning i omformerstasjonen), viser resultatene at det er en betydelig reduksjon i den høyeste strømtoppen i Alnabru omformerstasjon, mens det er en mindre endring i den høyeste strømtoppen for de resterende omformerstasjonene, (jfr. figur 5.12). Ved å redusere spenningen i Alnabru omformerstasjon fra 16.5 kV i tomgang til 16.3 kV ved nominell ytelse (606 A) er det mulig å opprettholde driften av ett aggregat i Alnabru omformerstasjon. Dette forutsetter at Lillestrøm, Jessheim og Asker er stilt med flat utmatet spenning. For å unngå utfall av Holmlia omformerstasjon ved utfall av ett aggregat i Alnabru er det nødvendig med tiltak som gir en høyere installert reserve i Holmlia omformerstasjon.



Figur 5.12: Utfall av ett aggregat i Alnabru omformerstasjon.

5.1.4 Holmlia omformerstasjon erstattet av ny omformerstasjon ved Oslo S (Alt. 14-15)

I simuleringsalternativ 14 og 15 er det forutsatt at Holmlia omformerstasjon fjernes, ved bygging av nytt dobbeltspor mellom Oslo og Ski.

Simulerings- alternativ	Maksimal timebelastning		Installert reserve [%]	De høyeste strømtoppene i løpet av simuleringsperioden (Tallene i parentes angir tidspunktet for strømtoppen) [A]			
	[MW]	[MVA]					
14	Lillestrøm	11	5.1	66	1404 (08.39)	1350 (07.42)	1300 (06.44)
	Jessheim	6.3	1.6	73	810 (06.57)	760 (06.32)	750 (08.44)
	Alnabru	5.4	1.8	72	733 (07.34)	680 (07.12)	660 (07.14)
	Asker	6.7	5.8	56	1332 (07.12)	1320 (07.44)	1275 (07.34)
	Smørbekk	8.6	5.1	58	1461 (06.56)	1360 (06.40)	1300 (07.58)
	Oslo	14.1	16.9	39	2207 (07.24)	2190 (08.24)	2150 (06.24)
15	Lillestrøm	12.7	6.6	60	1544 (07.12)	1490 (07.42)	1480 (08.38)
	Jessheim	5.8	1.3	75	815 (06.57)	800 (08.34)	770 (08.44)
	Asker	7.1	5.4	55	1304 (07.12)	1300 (07.44)	1250 (07.34)
	Smørbekk	9	4.8	58	1459 (06.56)	1360 (06.40)	1300 (07.58)
	Oslo	16.1	18.4	32	2216 (07.24)	2200 (07.42)	2200 (08.24)

Tabell 5.6: Resultater fra kapasitetsvurderingene

Simuleringsalternativ 14 & 15: Ny omformerstasjon ved Oslo S, men uten Holmlia omformerstasjon & Ny omformerstasjon ved Oslo S, men uten Holmlia og Alnabru omformerstasjon.

Resultatene fra simuleringsalternativ 14 og 15 viser at Oslo omformerstasjon når strømgrensen, med en installert ytelse i omformerstasjonen på 3x14 MVA. Det er i hovedsak Oslo omformerstasjon som overtar effektproduksjonen etter Holmlia. I simuleringsalternativ 14 går Alnabru omformerstasjon med en lav belastning. Den høyeste strømtoppen i omformerstasjonen er lik 733, mens den installerte reserven er på 72%.

Oslo omformerstasjon tilfredsstillers ikke kravet til installert reserve.

5.1.5 Utfall av omformerenheter i Lillestrøm og Jessheim omformerstasjon (Alt. 16 - 20)

I simuleringsalternativ 16 til 20 er det tatt hensyn til Gardermobanen og nytt dobbeltspor fra Ski stasjon til Sarpsborg stasjon, i tillegg til eksisterende infrastruktur. I disse alternative er simuleringene avgrenset ved Hamar, mens i de tidligere alternativene (alt. 1-15) er simuleringene avgrenset ved Eidsvoll.

Simulerings- alternativ	Maksimal timebelastning		Installert reserve	De høyeste strømtoppene i løpet av simuleringsperioden (Tallene i parentes angir tidspunktet for strømtoppen) [A]			
	[MW]	[MVA _r]		[%]			
16	Lillestrøm	11.5	8.1	41	1480 (07.43)	1480 (07.38)	1470 (06.44)
	Jessheim	6.5	3.2	40	738 (06.57)	730 (07.22)	730 (06.22)
	Alnabru	7.9	4.2	55	1089 (07.34)	1000 (07.16)	960 (07.46)
	Asker	8.1	6	50	1424 (07.12)	1360 (07.44)	1350 (07.34)
	Holmlia	8.3	7.1	45	1511 (07.07)	1450 (06.34)	1400 (08.16)
	Tangen	3.8	1	72	703 (07.36)	660 (07.56)	550 (07.42)
17	Lillestrøm	16.7	10.4	45	2069 (07.43)	2010 (08.38)	2000 (07.12)
	Alnabru	7.9	4.2	55	1070 (07.34)	1000 (07.16)	930 (08.22)
	Asker	8.1	6	50	1376 (07.44)	1350 (07.34)	1260 (07.12)
	Holmlia	8.3	7.1	45	1514 (07.07)	1450 (06.34)	1400 (08.16)
	Tangen	4.4	1.5	67	754 (07.36)	700 (07.56)	600 (07.42)
18	Lillestrøm	6.8	9.2	5	834 (08.39)	830 (07.42)	800 (06.44)
	Jessheim	9.1	1.4	62	959 (07.12)	900 (06.58)	890 (07.58)
	Alnabru	8.6	5.7	48	1279 (07.34)	1275 (07.34)	1190 (07.12)
	Asker	8.2	6	49	1379 (07.44)	1350 (07.34)	1280 (07.38)
	Holmlia	8.5	7.1	45	1506 (07.07)	1450 (06.34)	1400 (08.16)

Tabell 5.7: Resultater fra kapasitetsvurderingene

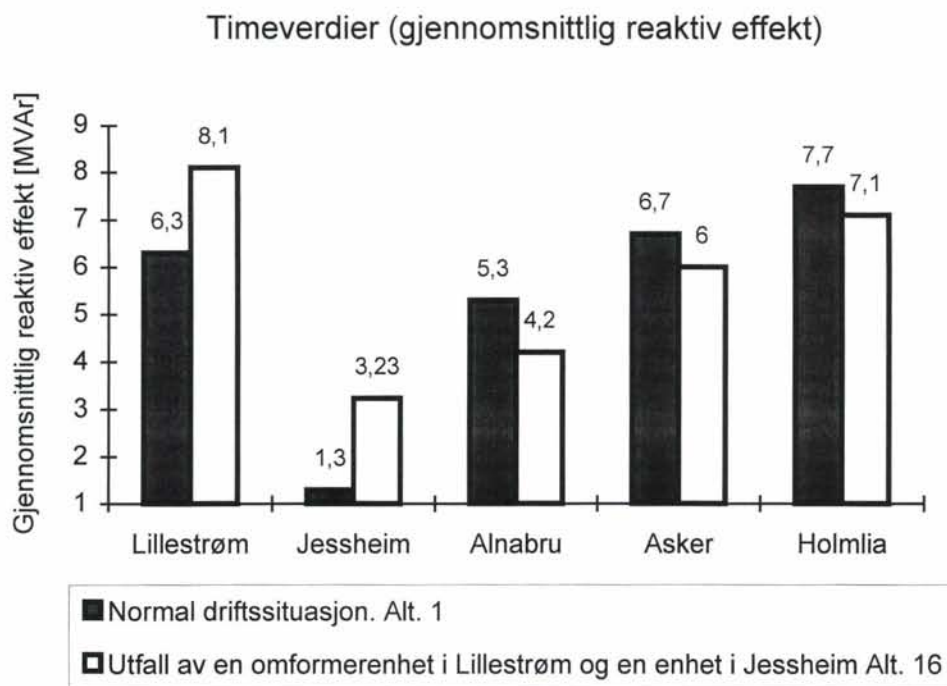
Simulerings- alternativ	Maksimal timebelastning		Installert reserve [%]	De høyeste strømtoppene i simuleringsperioden (Tallene i parentes angir tidspunktet for strømtoppen) [A]			
	[MW]	[MVA _r]					
19	Lillestrøm	11.7	10.2	35	1481 (07.43)	1480 (06.32)	1480 (08.38)
	Jessheim	8.6	1	64	849 (07.12)	800 (06.57)	800 (07.44)
	Alnabru	4.5	4.3	38	789 (07.44)	680 (07.26)	650 (08.22)
	Asker	8.2	6.2	49	1392 (07.43)	1350 (07.34)	1275 (07.52)
	Holmlia	8.5	7.6	43	1553 (07.06)	1500 (06.32)	1425 (08.16)
20	Lillestrøm	11.4	9.3	39	1485 (08.38)	1485 (07.42)	1480 (08.02)
	Jessheim	8.4	1.1	65	833 (07.11)	830 (06.58)	800 (06.22)
	Alnabru	8.3	6	49	1229 (07.33)	1200 (07.46)	1100 (07.16)
	Asker	8.3	6.5	47	1450 (07.12)	1400 (07.44)	1350 (07.34)
	Holmlia	4.5	5.3	30	927 (06.34)	900 (07.16)	870 (06.22)

Tabell 5.8: Resultater fra kapasitetsvurderingene

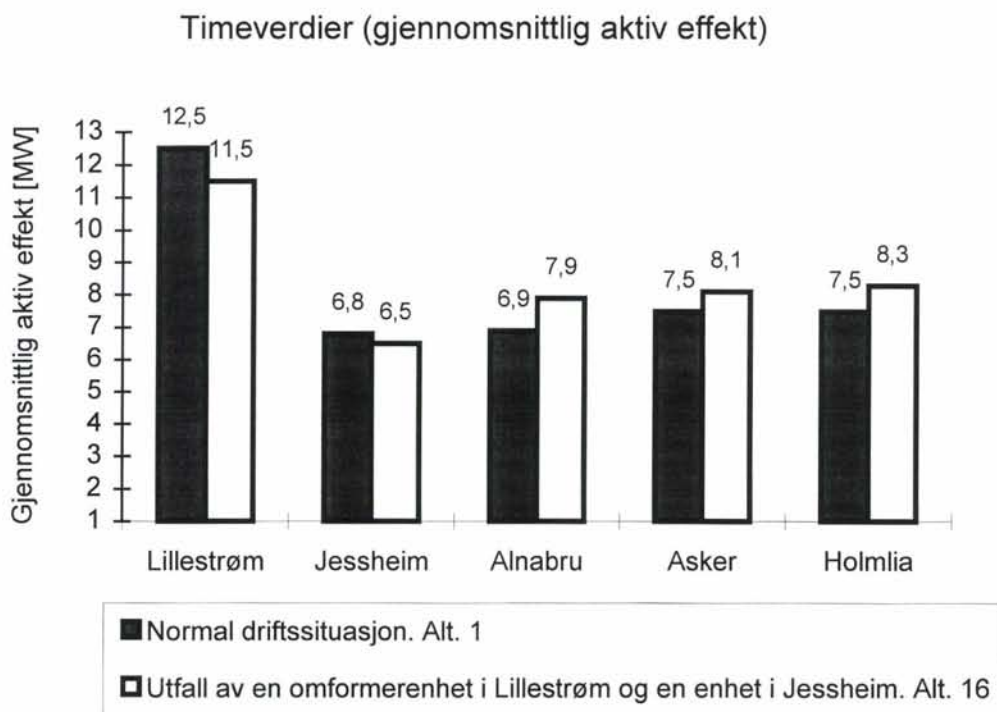
Simuleringsalternativ 16: Utfall av en omformerenhet i Lillestrøm og en enhet i Jessheim omformerstasjon. 2x12 MVA i Lillestrøm og 1x12 MVA i Jessheim omformerstasjon

Resultatene fra simuleringen viser en annen effektfordeling mellom omformerstasjonene i Oslo-området i forhold til alternativ 1 (med 3x12 MVA i Lillestrøm og 2x12 MVA i Jessheim). Det er derimot små endringer i de høyeste strømtoppene i omformerstasjonene. Både Lillestrøm og Jessheim omformerstasjon når strømgrensen og må i svært korte perioder senke utmatet spenning for å unngå overlast. Utmatet spenning i Lillestrøm og Jessheim omformerstasjon er gitt i Del 2, vedlegg 16. Figur 5.13 og 5.14 viser den høyeste gjennomsnittlige reaktive og aktive belastningen i løpet av en time i omformerstasjonene. Kun en omformerenhet i Jessheim gir en høyere reaktiv effektproduksjon i omformerstasjonen i forhold til med to omformerenheter i drift.

Alternativ 16 gir en noe høyere total belastning i Jessheim i forhold til simuleringsalternativ 1, (avgrenset ved Eidsvoll.)



Figur 5.13 : Utfall av en omformerenhet i Lillestrøm og en enhet i Jessheim omformerstasjon.



Figur 5.14: Utfall av en omformerenhet i Lillestrøm og en enhet i Jessheim omformerstasjon.

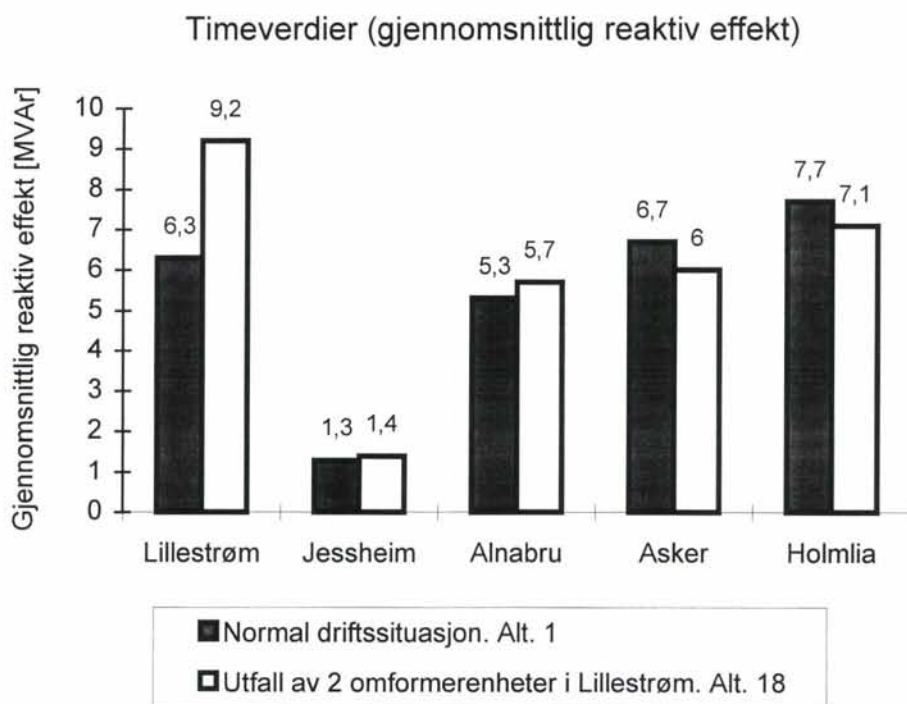
Simuleringsalternativ 17: Utfall av 2 omformerenheter i Jessheim omformerstasjon

Lillestrøm omformerstasjon overtar effektproduksjonen etter Jessheim. Den høyeste strømtoppen i Lillestrøm omformerstasjon er 2069 A. Med alle omformerenehetene i drift i Lillestrøm gir ikke dette kapasitetsproblemer i omformerstasjonen (se kapittel 4.5). Det er små endringer i de høyeste strømtoppene i Alnabru, Asker og Holmlia omformerstasjon. Den høyeste strømtoppen i Tangen omformerstasjon er 754 A.

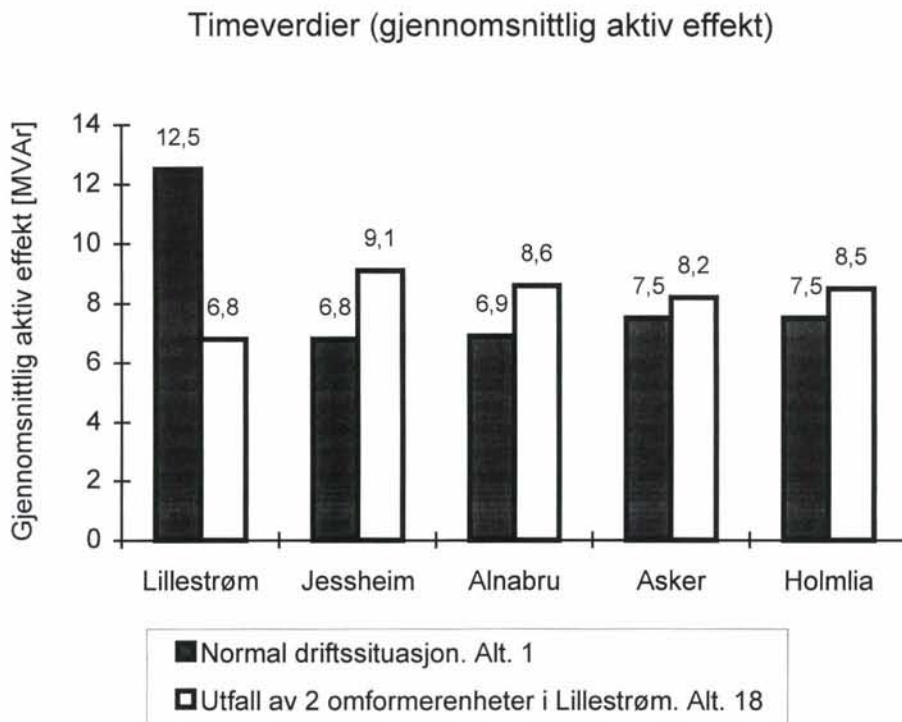
Det er forutsatt at den elektriske sammenkobling på Jessheim mellom Gardermobanen og Hovedbanen opprettholdes, ved utfall av Jessheim omformerstasjon.

Simuleringsalternativ 18: Utfall av 2 omformerenheter i Lillestrøm omformerstasjon.

Lillestrøm omformerstasjon når strømgrensen og går med en lav effektfaktor (se Del 2, vedlegg 18). Figur 5.15 og 5.16 viser den høyeste gjennomsnittlige reaktive og aktive belastningen i løpet av en time i omformerstasjonen, som avlastes ved å redusere utmatet spenning. Det er registrert utmatet spenning ned mot 15.8 kV, (se DEL 2, vedlegg 18)



Figur 5.15: Utfall av 2 omformerenheter i Lillestrøm omformerstasjon.



Figur 5.16: Utfall av 2 omformerenheter i Lillestrøm omformerstasjon.

Forutsatt en flat spenningskarakteristikk i omformerstasjonene er det mulig å opprettholde driften i Lillesstrøm omformerstasjon med utfall av 2 omformerenheter i omformerstasjonen.

Simuleringsalternativ 19: Utfall av en omformerenhhet i Lillestrøm og ett aggregat i Alnabru.

Ved å redusere spenningen i Alnabru omformerstasjon fra 16.5 kV i tomgang til 16.3 kV ved nominell ytelse (606 A), er det mulig å opprettholde driften av ett aggregat i Alnabru omformerstasjon. Alnabru omformerstasjon går med en lav effektfaktor (se Del 2, vedlegg 19).

Lillestrøm omformerstasjon når strømgrensen og må i svært korte perioder senke utmatet spenning for å unngå overlast.

Simuleringsalternativ 20: Utfall av en omformerenhhet i Lillestrøm og ett aggregat i Holmlia.

Med en lineær reduksjon av utmatet spenning i Holmlia omformerstasjon fra 16,5 kV til 16,0 kV ved nominell ytelse (606 A) er den høyeste strømtoppen i omformerstasjonen lik 927 A. Holmlia omformerstasjon går med en lav effektfaktor (se Del 2, vedlegg 20).

Lillestrøm omformerstasjon når strømgrensen og må i svært korte perioder senke utmatet spenning for å unngå overlast.

5.1.6 Utgående linjestrømmer i Lillestrøm og Jessheim omformerstasjon

I tabell 5.9 til 5.14 er det gitt maksimal strøm og middelveiden av strømmen over simuleringsperioden (kl. 06.00 - 09.15) for utgående linjer i Lillestrøm og Jessheim omformerstasjon. Strømverdiene er lest av kurvene vist i Del 2, vedlegg 2, 16, 17 og 18. I simuleringene er ikke strømmen til stasjonsområdet adskilt fra de øvrige utgående linjestrømmene. Årsaken til dette var manglende informasjon om hvor de enkelte utgående linjene skulle tilkobles kontaktledningsanlegget.

Simuleringsalternativ 2: GMB & nytt dobbeltspor fra Oslo S til Sarpsborg i tillegg til dagens infrastruktur

Lillestrøm omformerstasjon, utgående linjestrømmer						
Banestrekning	Retning/spor	Registrerte strømverdier [A]		Referanse til vedlegg i DEL 2		
		Maks. verdi	Middel verdi	Vedlegg	tegn nr.	
Gardermobanen	Fra Lillestrøm mot Etterstad	520	180	2	2-3	B122
	Fra Etterstad til Lillestrøm	570	180	2	2-3	B123
	Fra Lillestrøm mot Kløfta	280	120	2	2-4	B113
	Fra Kløfta til Lillestrøm	300	100	2	2-4	B112
Hovedbanen	Fra Lillestrøm mot Strømmen	490	170	2	2-5	B117
	Fra Strømmen til Lillestrøm	460	180	2	2-5	B119
	Fra Lillestrøm mot Leirsund	360	100	2	2-6	B110
Kongsvingerbanen	Fra Lillestrøm mot Fetsund	770	250	2	2-6	B36

Tabell 5.9: Lillestrøm omformerstasjon, utgående linjestrømmer

Jessheim omformerstasjon, utgående linjestrømmer						
Banestrekning	Retning/spor	Registrerte strømverdier [A]		Referanse til vedlegg i DEL 2		
		Maks. verdi	Middel verdi	Vedlegg	tegn. nr.	
Gardermobanen	Fra Jessheim mot Kløfta	240	120	2	2-9	B104
	Fra Kløfta til Jessheim	240	120	2	2-11	B105
	Fra Jessheim mot Gardermoen	460	100	2	2-10	B100
	Fra Gardermoen til Jessheim	600	160	2	2-10	B99
Hovedbanen	Fra Jessheim mot Kløfta					
	Fra Jessheim mot Bøn					

Tabell 5.10: Jessheim omformerstasjon, utgående linjestrømmer

Simuleringsalternativ 16: Utfall av en omformerenhet i Lillestrøm og en enhet i Jessheim omformerstasjon. GMB & nytt dobbeltspor fra Ski til Sarpsborg i tillegg til dagens infrastruktur.

Lillestrøm omformerstasjon, utgående linjestrømmer						
Banestrekning	Retning/spor	Registrerte strømverdier [A]		Referanse til vedlegg i DEL 2		
		Maks. verdi	Middel verdi	Vedlegg	tegn nr.	
Gardermobanen	Fra Lillestrøm mot Etterstad	540	180	16	16-13	B122
	Fra Etterstad til Lillestrøm	550	180	16	16-13	B123
	Fra Lillestrøm mot Kløfta	330	140	16	16-14	B113
	Fra Kløfta til Lillestrøm	340	100	16	16-14	B112
Hovedbanen	Fra Lillestrøm mot Strømmen	460	170	16	16-15	B117
	Fra Strømmen til Lillestrøm	460	160	16	16-15	B119
	Fra Lillestrøm mot Leirsund	440	100	16	16-16	B110
Kongsvingerbanen	Fra Lillestrøm mot Fetsund	840	250	16	16-16	B36

Tabell 5.11: Lillestrøm omformerstasjon, utgående linjestrømmer

Jessheim omformerstasjon, utgående linjestrømmer						
Banestrekning	Retning/spor	Registrerte strømverdier [A]		Referanse til vedlegg i DEL 2		
		Maks. verdi	Middel verdi	Vedlegg	tegn nr.	
Gardermobanen	Fra Jessheim mot Kløfta	190	80	16	16-17	B104
	Fra Kløfta til Jessheim	210	80	16	16-17	B105
	Fra Jessheim mot Gardermoen	450	100	16	16-18	B100
	Fra Gardermoen til Jessheim	600	150	16	16-18	B99
Hovedbanen	Fra Jessheim mot Kløfta	350	90	16	16-19	B102
	Fra Jessheim mot Bøn	320	80	16	16-19	B6

Tabell 5.12: Jessheim omformerstasjon, utgående linjestrømmer

*Simuleringsalternativ 17: Utfall av 2 omformerenheter i Jessheim omformerstasjon.
 GMB & nytt dobbeltspor fra Ski til Sarpsborg i tillegg til dagens infrastruktur*

Lillestrøm omformerstasjon, utgående linjestrømmer						
Banestrekning	Retning/spor	Registrerte strømverdier [A]		Referanse til vedlegg i DEL 2		
		Maks. verdi	Middel verdi	Vedlegg	tegn nr.	
Gardermobanen	Fra Lillestrømmot Etterstad	500	180	17	17-3	B122
	Fra Etterstad til Lillestrøm	560	180	17	17-3	B123
	Fra Lillestrøm mot Kløfta	460	230	17	17-4	B113
	Fra Kløfta til Lillestrøm	500	180	17	17-4	B112
Hovedbanen	Fra Lillestrøm mot Strømmen	470	170	17	17-5	B117
	Fra Strømmen til Lillestrøm	470	180	17	17-5	B119
	Fra Lillestrøm mot Leirsund	520	200	17	17-6	B110
Kongsvingerbanen	Fra Lillestrøm mot Fetsund	840	280	17	17-6	B36

Tabell 5.13: Lillestrøm omformerstasjon, utgående linjestrømmer

*Simuleringsalternativ 18: Utfall av 2 omformerenheter i Lillestrøm omformerstasjon.
 GMB & nytt dobbeltspor fra Ski til Sarpsborg i tillegg til dagens infrastruktur*

Jessheim omformerstasjon, utgående linjestrømmer						
Banestrekning	Retning/spor	Registrerte strømverdier [A]		Referanse til vedlegg i DEL 2		
		Maks. verdi	Middel verdi	Vedlegg	Tegn. nr.	
Gardermobanen	Fra Jessheim mot Kløfta	260	140	18	18-5	B104
	Fra Kløfta til Jessheim	300	140	18	18-5	B105
	Fra Jessheim mot Gardermoen	460	90	18	18-6	B100
	Fra Gardermoen til Jessheim	600	150	18	18-6	B99
Hovedbanen	Fra Jessheim mot Kløfta	320	90	18	18-7	B102
	Fra Jessheim mot Bøn	320	90	18	18-7	B6

Tabell 5.14: Jessheim omformerstasjon, utgående linjestrømmer

5.2 SPENNINGSBETRAKNINGER

5.2.1 Spenningsforhold i Oslo - området ved normale forhold i strømforsyningen.

Figur 5.17 gir en oppsummering av spenningsforholdene i Oslo - området. Resultatene viser at det er generelt bra spenningsforhold i Oslo-området. I simuleringene er trafikken på Gjøvikbanen kun kjørt til Eina stasjon. Resultatene indikerer dårlige spenningsforhold på strekningen fra Lunner omformerstasjon til Gjøvik. (I DEL 2 vedlegg 1, 2, 3, 4, 10, 16, 17, 18 er det gitt spenning over et utdrag av tog. Rutetidene for disse togene er gitt i vedlegg 8).

Med simuleringsalternativ 1 (GMB & nytt dobbeltspor fra Ski til Sarpsborg i tillegg til dagens infrastruktur), er det registrert et svært kortvarig spenningsfall ned mot 13.0 kV over et tog på Østre linje, (tog nr 198 på Østfoldbanen). Vedlegg 1, del 2, tegning nr. 1-15 viser at den gjennomsnittlige spenningen over dette toget ligger over 15.0 kV.

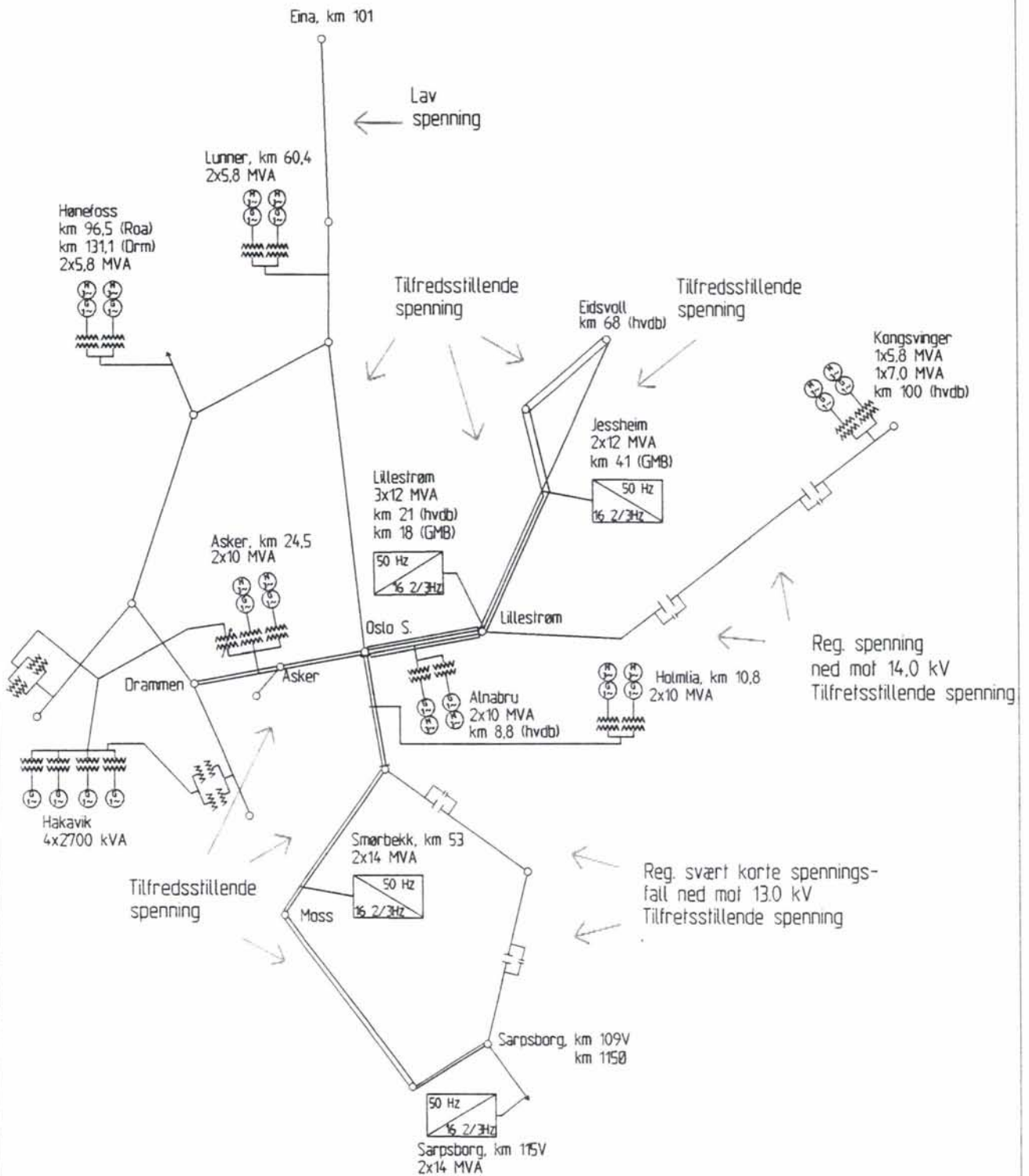
Figur 5.17 viser resultatene fra simuleringer med kun 2 spor mellom Oslo S og Asker. Resultatene fra simuleringsalternativ 3 (nytt dobbeltspor mellom Asker og Skøyen i tillegg til GMB & nytt dobbeltspor fra Oslo S til Sarpsborg), viser en forbedring i spenningsforholdene fra Oslo S til Asker i forhold til med kun 2 spor mellom Oslo S og Asker,

På Ringeriksbanen fra Hønefoss til Sandvika stasjon er det ikke registrert spenning under 14,5 kV. Det vil si at det er tilfredsstillende spenning på Ringeriksbanen.

5.2.2 Spenningsforhold langs Hovedbanen og Gardermobanen ved utfall av en/flere omformer-enhet(er) i Lillestrøm og Jessheim omformerstasjon

Ved utfall av Jessheim omformerstasjon (simuleringsalternativ 17) klarer Lillestrøm og Tangen omformerstasjon å opprettholde tilfredsstillende spenning langs Hovedbanen og Gardermobanen. I simuleringsperioden fra 06.00 til 09.15 er det registrert spenning ned mot 14,5 kV over tog på Gardermobanen og Hovedbanen, (mellom Oslo S og Tangen omformerstasjon).

I de resterende simuleringene med utfall av ett eller flere omformerenheter i Lillestrøm og Jessheim omformerstasjon (simuleringsalternativ 16, 18, 19 og 20) er det tilfredsstillende spenning langs Gardermobanen og Hovedbanen fra Oslo S til Tangen omformerstasjon.



Figur 5.17: Spenningsforhold i Oslo - området

6 KONKLUSJON

Resultatene fra simuleringer med Gardermobanen og nytt dobbeltspor fra Oslo S til Sarpsborg (4 spor mellom Oslo og Ski) i tillegg til dagens infrastruktur viser at Holmlia omformerstasjon er overbelastet. Det er da forutsatt en installert ytelse i Holmlia lik 2×10 MVA. Følgende tiltak gir tilstrekkelig installert ytelse i Holmlia omformerstasjon:

- Nytt 10 MVA aggregat i omformerstasjonen.
- Nytt kondensatorbatteri på 6 MVar i omformerstasjonen.
- Nytt matepunkt ved Oslo S, det vil si en statisk omformerstasjon på 2×14 MVA.

Dersom det velges en løsning med kondensatorbatteri må det utredes en teknisk løsning som ikke gir effektpendlinger eller andre ustabile forhold i nettet. Ett kondensatorbatteri i Holmlia omformerstasjon må reguleres slik at det ikke produserer reaktiv effekt i en lavlast periode.

Et nytt matepunkt ved Oslo S viser at:

- Med Holmlia omformerstasjon i drift er det tilstrekkelig med en installert ytelse i Oslo omformerstasjon lik 2×14 MVA.
- Uten Holmlia omformerstasjon tilfredsstillers ikke 3×14 MVA i Oslo omformerstasjon, kravet til installert reserve.
- Alnabru omformerstasjon går lavt belastet.

Resultatene fra simuleringer med Gardermobanen og nytt dobbeltspor fra Ski til Sarpsborg (2 spor mellom Oslo og Ski) i tillegg til dagens infrastruktur viser at det er tilstrekkelig med en installert ytelse i Holmlia lik 2×10 MVA. Ett kondensatorbatteri i Holmlia vil gi større driftssikkerhet ved utfall av ett aggregat i omformerstasjonen. Det forutsettes at kondensatorbatteriet reguleres etter lastsituasjonen i Holmlia omformerstasjon.

Det er tilstrekkelig installert ytelse i Lillestrøm, Jessheim, Alnabru, Asker og Smørbekk omformerstasjon.

Det er tilfredsstillende spenning på Gardermobanen, Hovedbanen fra Oslo til Tangen, Østfoldbanen fra Oslo til Sarpsborg, Gjøvikbanen fra Oslo til Eina og fra Oslo til Drammen.

LITTERATURLISTE

- [1] Ruteopplegg for Gardermobanen (22.06.94)
Ett eksemplar finnes hos NSB Bane Ingeniørtjenesten, elkraft.
- [2] P98- C: Sammendrag.
Hovedsatsing: Materiellfornyelse/Hastighet/Stive ruter/Frekvensøkning.
Versjon 1.0.
Ps/18.10.94
- [3] Ny satsing på Gjøvikbanen
Utviklingsmuligheter for kollektivtilbudet 1994-1999
NSB Persontrafikk
Oslo, august 1993
- [4] HØYHASTIGHET Oslo - Kornsjø (Gøteborg)
Jernbaneutredning
Hovedrapport
NSB konsernstab strategi og miljø
Oktober 1992
- [5] Simulering og driftsanalyse for Ringeriksbanen
Region Vest, Plankontoret
Juli 1994
- [6] Simulering av strømforsyningen på Østfoldbanen
NSB Bane Ingeniørtjenesten
April, 1994
- [7] TEKNISK RAPPORT
NSB BANE
Rapport nr. 94-3196
Det Norske Veritas Industry AS
- [8] Notat 16.09.92 PGr
Revidert og utvidet 01.08.94 PGr
NSB Bane Region Sør
Plankontoret
- [9] CENELEC
Railway application - Supply voltages of traction system
Ref. no. prEN 50163: 1993
Oktober 1993.
- [10] EFI, Sintef gruppen
Installasjon av statiske omformerstasjoner i NSBs
eksisterende banestrømforsyning, Del 1 og 2
J.O. Gjerde, T. Toftevaag
November 1994.

- [11] FoU 18 Rapport
Simulering av banestrømforsyningen i matestasjoner
og kontaktledningsanlegg
Del III
H.E Børresen
Januar 1992
- [12] Måling av kl. anleggets elektriske konstanter
Div. strekninger
Utført av Ekbl
Målingene finnes hos NSB Bane Ingeniørtjenesten, elkraft
- [13] Forsterkning av banestrømforsyningen på Østfoldbanen-Hovedplan
NSB Baneregion Øst
Juni 1994

VEDLEGG

- 1 Impedans i mateledning og transformatorer
- 2 Fasevinkelkarakteristikk for et 10 MVA omformeraggregat
- 3 Uteffekt for en omformerenhet på 14 MVA
- 4 Impedans i kontaktledningsanlegget
- 5 Strømforbruk/trekkraftkurver for lokomotiv og motorvogner
- 6 Resultater fra simulering med modifisert versjon av VISION (tunnelmotstand).
- 7 Krav til reservekapasitet i omformerstasjoner
- 8 Rutetider for et utvalg av tog
- 9 Impedansberegninger fra EFI

Vedlegg 1

Induktans i mateledningene

Fra Hakavik kraftstasjon til Asker, Skollenborg og Sande transformator, er det brukt mateledning av type 50mm² Cu. Induktansen i mateledningen er beregnet som følger:

50mm² Cu

$$X=2\cdot\mu\cdot f\cdot\ln\left(\frac{D}{g_{11}}\right)\cdot 10^3 \quad (1)$$

$$X=2\cdot\mu\cdot f\cdot\ln\left(\frac{D}{0.39d_y}\right)\cdot 10^3 \quad (2)$$

$$X=0.24\Omega/km \quad (3)$$

- μ permeabilitetskonstant ($4\pi\times 10^{-7}$)
- f 16 2/3 Hz
- D avstand mellom lederne, $D = 1.0$ m.
- g_{11} geometrisk middelavstand for en leder med hensyn på lederen selv.
- d_y ytre diameter på lederen, $d_y = 7.98$ mm.

Resistans i mateledningene

Resistans i mateledningene:

50mm² Cu $r = 0.36 \Omega/km$

Lengde, mateledninger

Fra Hakavik kraftstasjon til Asker transformator: 50.1 km

Fra Hakavik kraftstasjon til Sande transformator: 17.5 km

Fra Hakavik kraftstasjon til Skollenborg transformator: 23.3 km

Kortslutningsimpedans i transformatorene

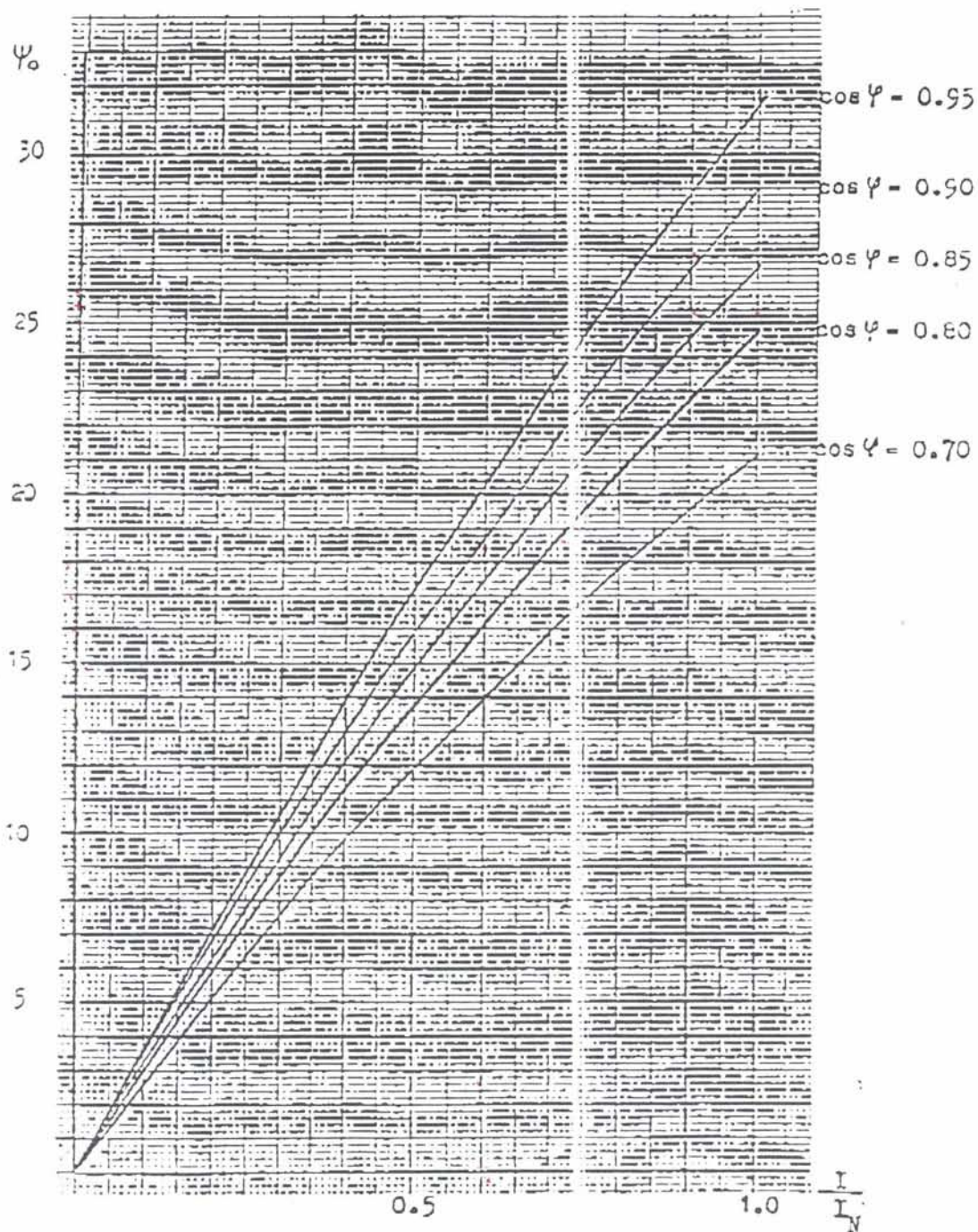
Hakavik transformator: 4 à 2.7MVA, 16 2/3 Hz	$e_r = 1.0\%$,	$e_k = 9.0\%$ (<u>hver enhet</u>)
Skollenborg transformator: 2 à 2.5MVA 16 2/3 Hz	$e_r = 1.0\%$,	$e_k = 9.0\%$ (<u>hver enhet</u>)
Sande transformator: 2 à 2.5MVA 16 2/3 Hz	$e_r = 1.0\%$,	$e_k = 9.0\%$ (<u>hver enhet</u>)
Asker transformator: 8 MVA, 16 2/3 Hz	$e_r = 0.87\%$,	$e_k = 6.2\%$

Hakavik kraftstasjon

På grunn av synkrogeneratorenes høye alder var det vanskelig å finne nøyaktige data for synkrogeneratorene. NSB har tidligere modellert disse synkrogeneratorene i forbindelse med kortslutningsberegninger, med en synkronreaktans på 20 til 40%. I simuleringene ble det derfor valgt å modellere synkrogeneratorene med en synkronreaktans lik 40%.

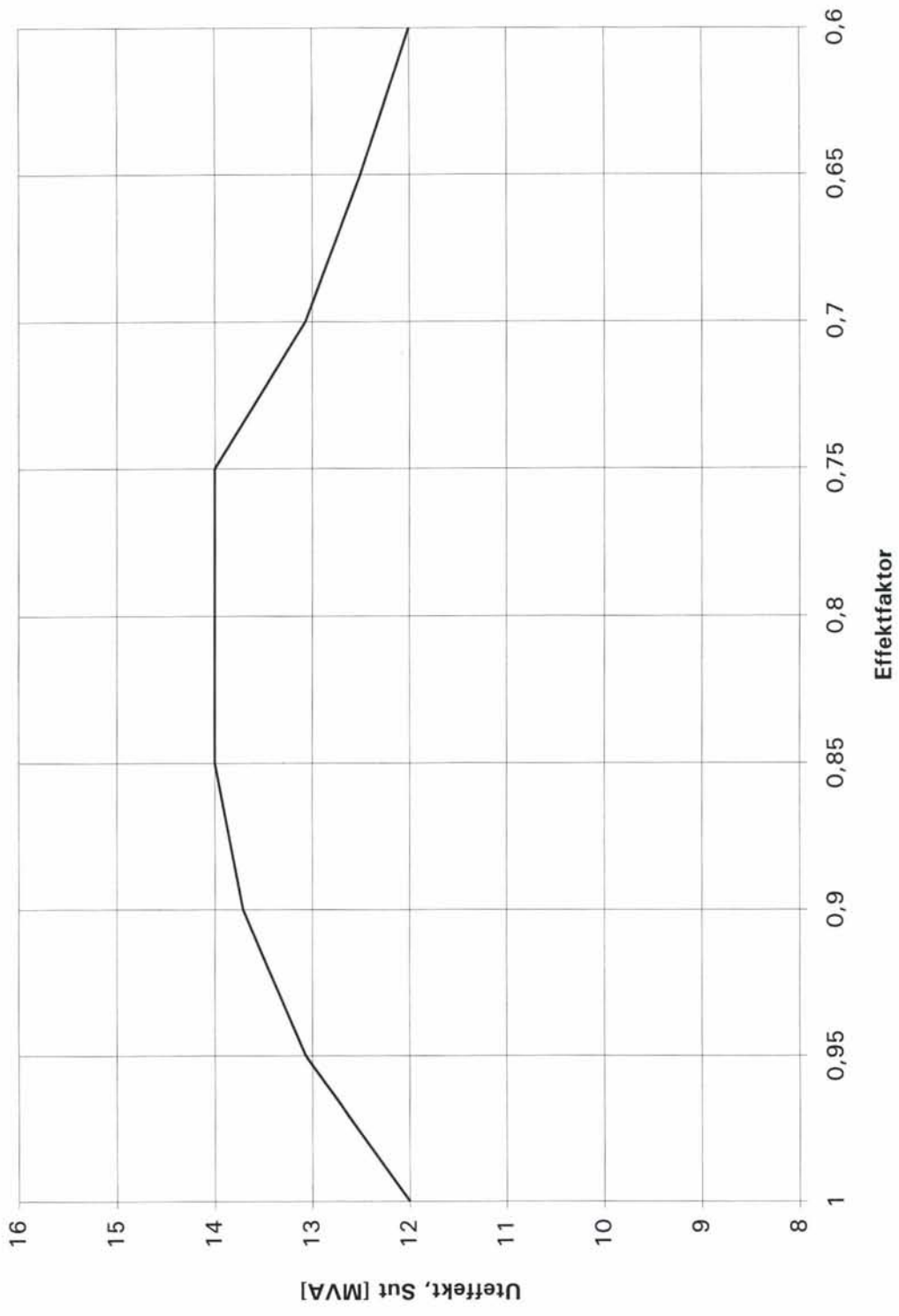
Vedlegg 2

FASEVINKEL FOR 10 MVA. OMFORMER.



Vedlegg 3

Uteffekt for en omformerenhhet på 14 MVA



Vedlegg 4

Impedans i kontaktledningsanlegget

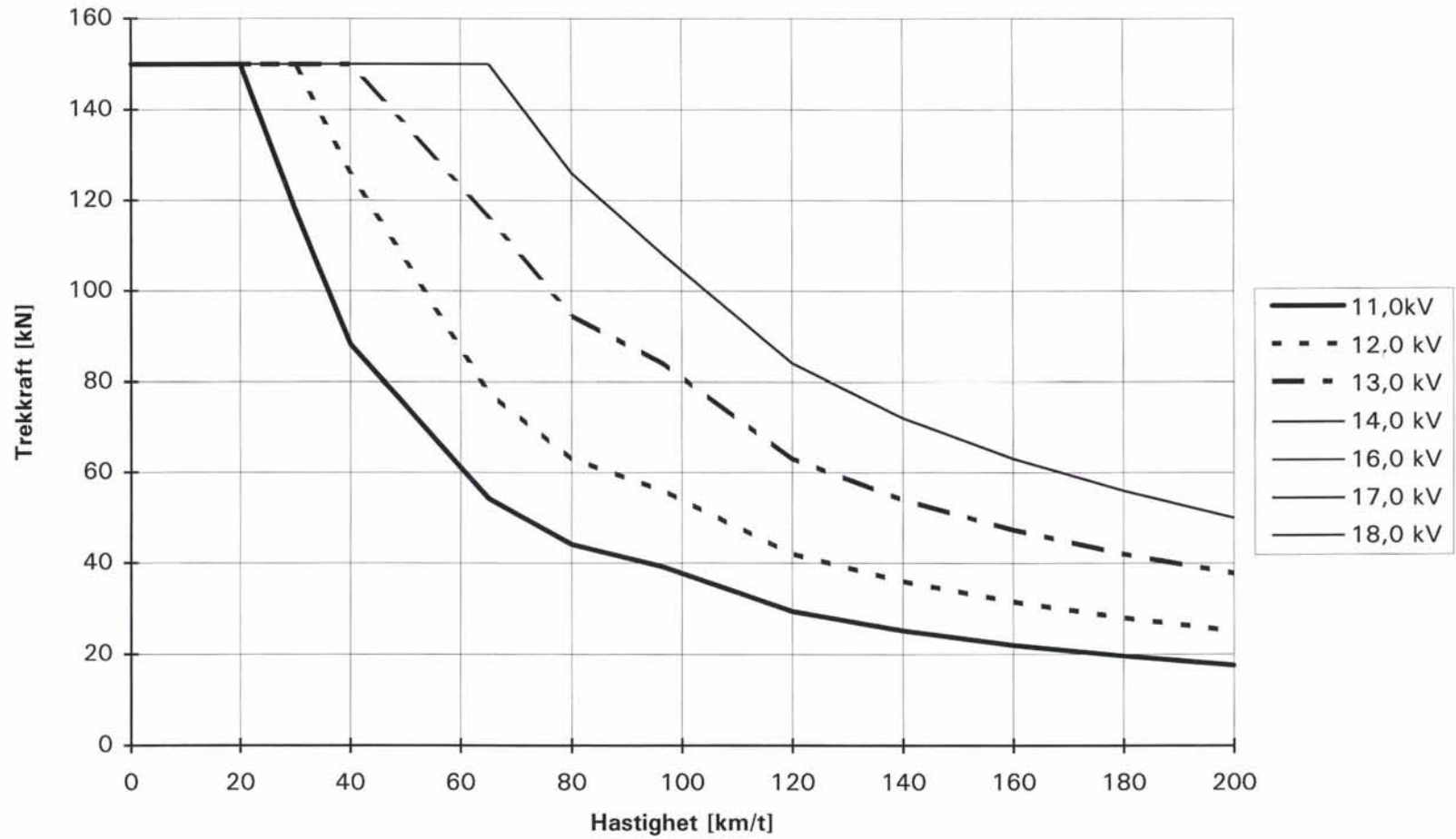
Tabell 1 viser impedansverdiene som er brukt for å representere kontaktledningsanlegget på de forskjellige strekningene.

Kontaktledningsanlegget		Resistans	Induktans	Kommentar
		Ω/km	Ω/km	
Gardermobanen	Oslo S - Lillestrøm	0.20	0.19	System 20A m/ 2*240 Al returleder (vedlegg 9)
	Lillestrøm - Eidsvoll	0.20	0.19	
Hovedbanen	Oslo S - Lillestrøm	0.20	0.19	Dobbel returleder. Verdiene er hentet fra tidligere målinger[12] og beregninger(vedlegg 9)
	Lillestrøm - Eidsvoll	0.21	0.23	Uten returleder. Verdier er hentet fra tidligere målinger[12]
	Eidsvoll - Tangen	0.21	0.23	
Kongsvingerbanen	Lillestrøm - Kongsvinger	0.21	0.21	Eksisterer ingen målinger.
Østfoldbanen	Oslo S - Ski - Moss - Sarpsborg (vestre linje)	0.20	0.19	System 20A m/ 2*240 Al returleder (vedlegg 9)
	Ski - Mysen - Sarpsborg (østre linje)	0.22	0.23	Uten returleder. Verdier er hentet fra tidligere målinger[12]
Gjøvikbanen	Oslo S - Lunner	0.21	0.24	Uten returleder. Verdier er hentet fra tidligere målinger[12]
	Lunner - Eina	0.21	0.22	
Sørlandsbanen	Oslo S - Asker	0.20	0.19	Verdier er hentet fra tidligere målinger[12]. Drammen-Holmestrand har ikke returleder.
	Asker - Drammen	0.20	0.19	
	Drammen - Holmestrand	0.21	0.23	
Bergensbanen	Hønefoss - Hokksund	0.22	0.23	Uten returleder. Verdier er hentet fra tidligere målinger[12]
	Hokksund - Drammen	0.22	0.23	
	Roa - Hønefoss	0.19	0.22	Uten returleder. Verdier er hentet fra tidligere målinger[12]

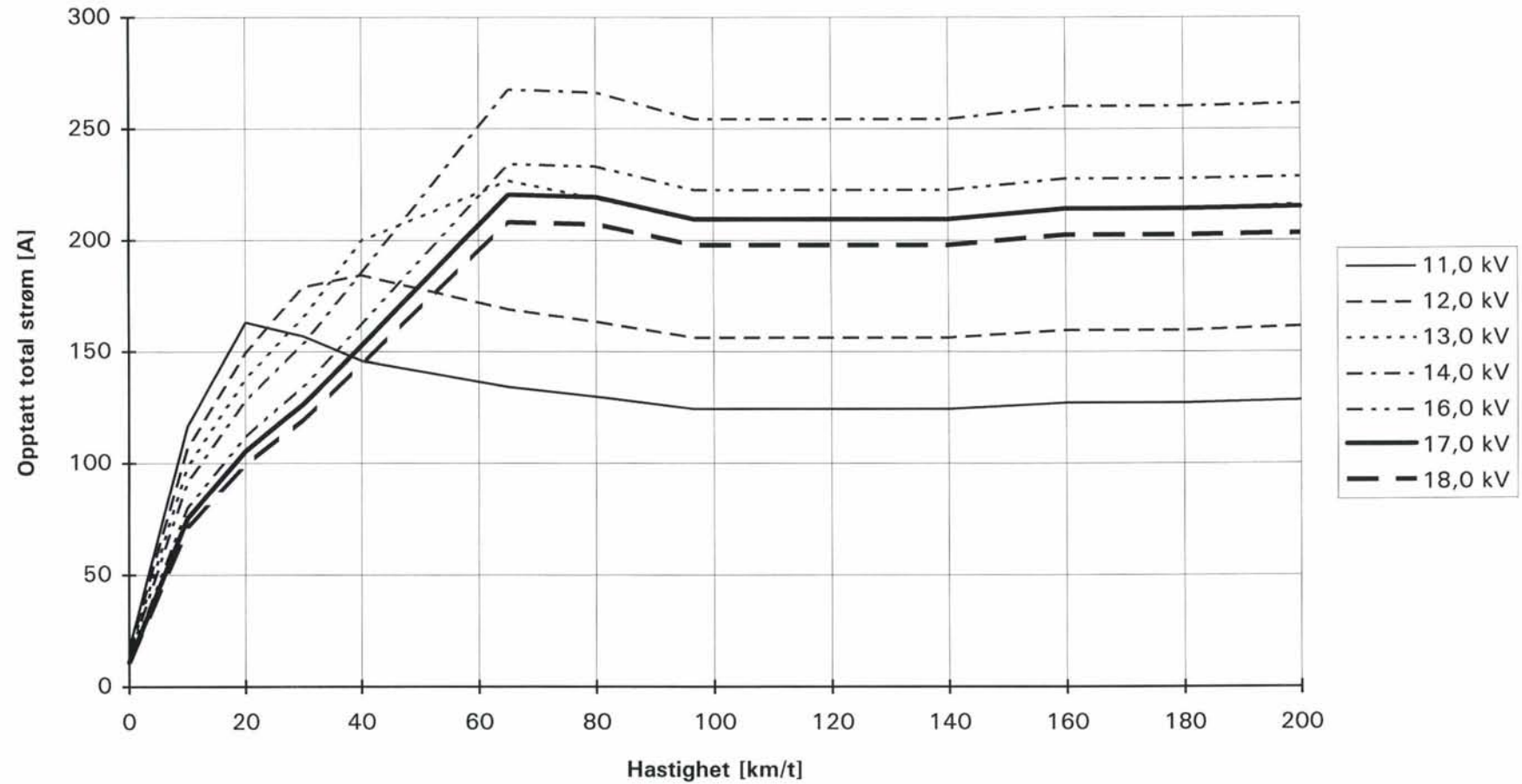
Tabell 1: Impedans i kontaktledningsanlegget

Vedlegg 5

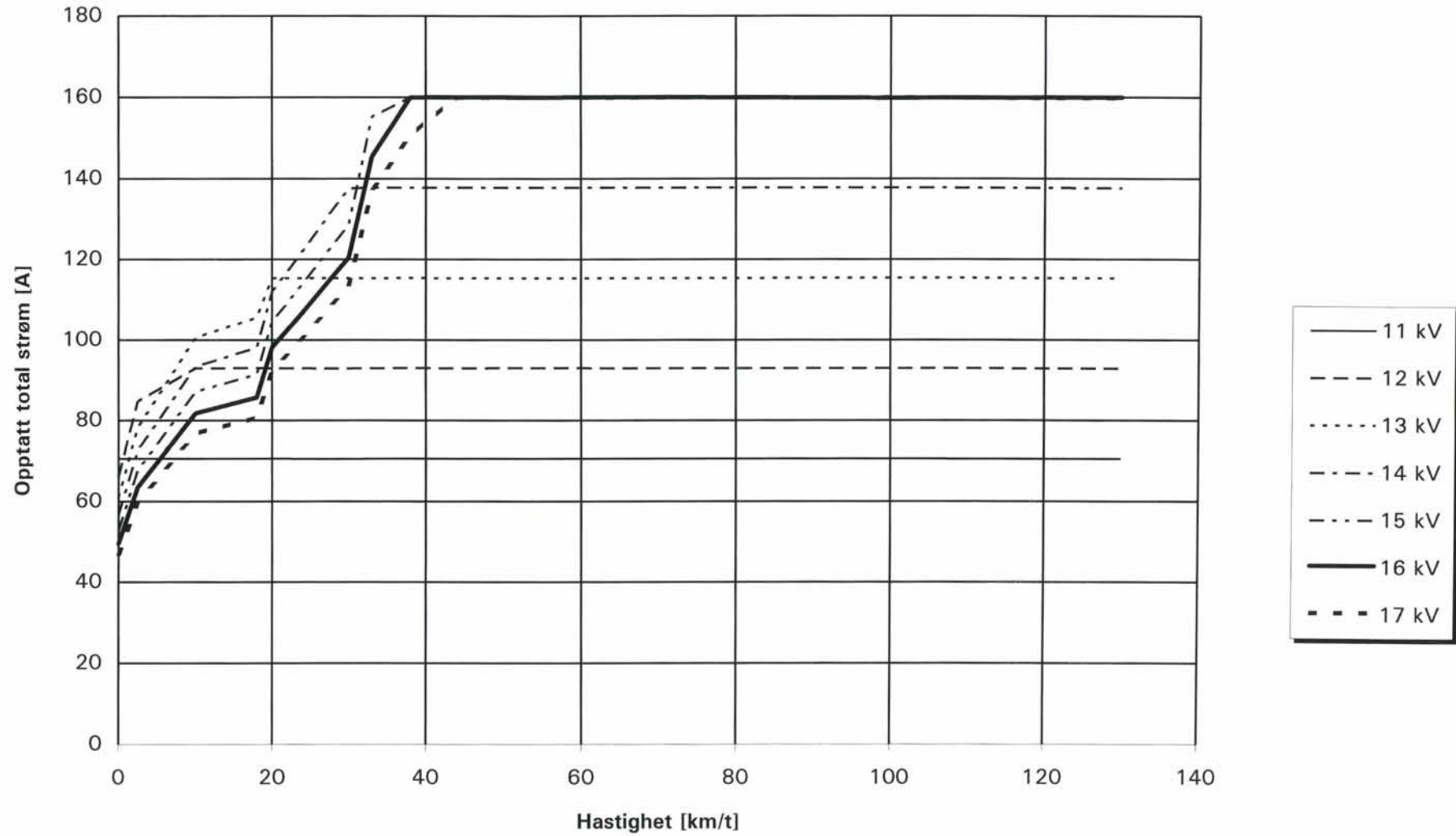
Trekraft som funksjon av hastighet og spenning; Flyplasstog



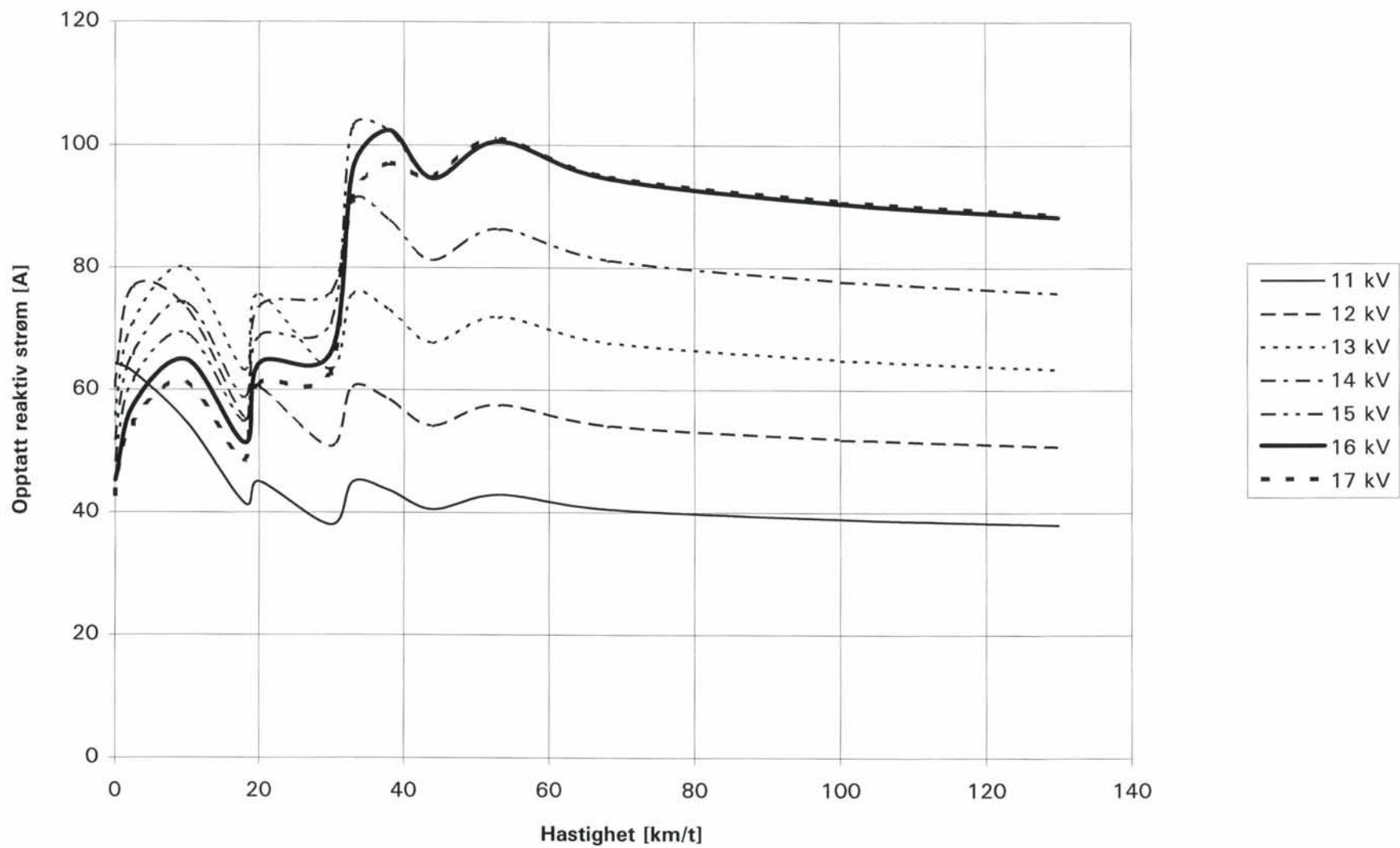
Strømforbruk i flyplasstog som funksjon av hastighet og spenning



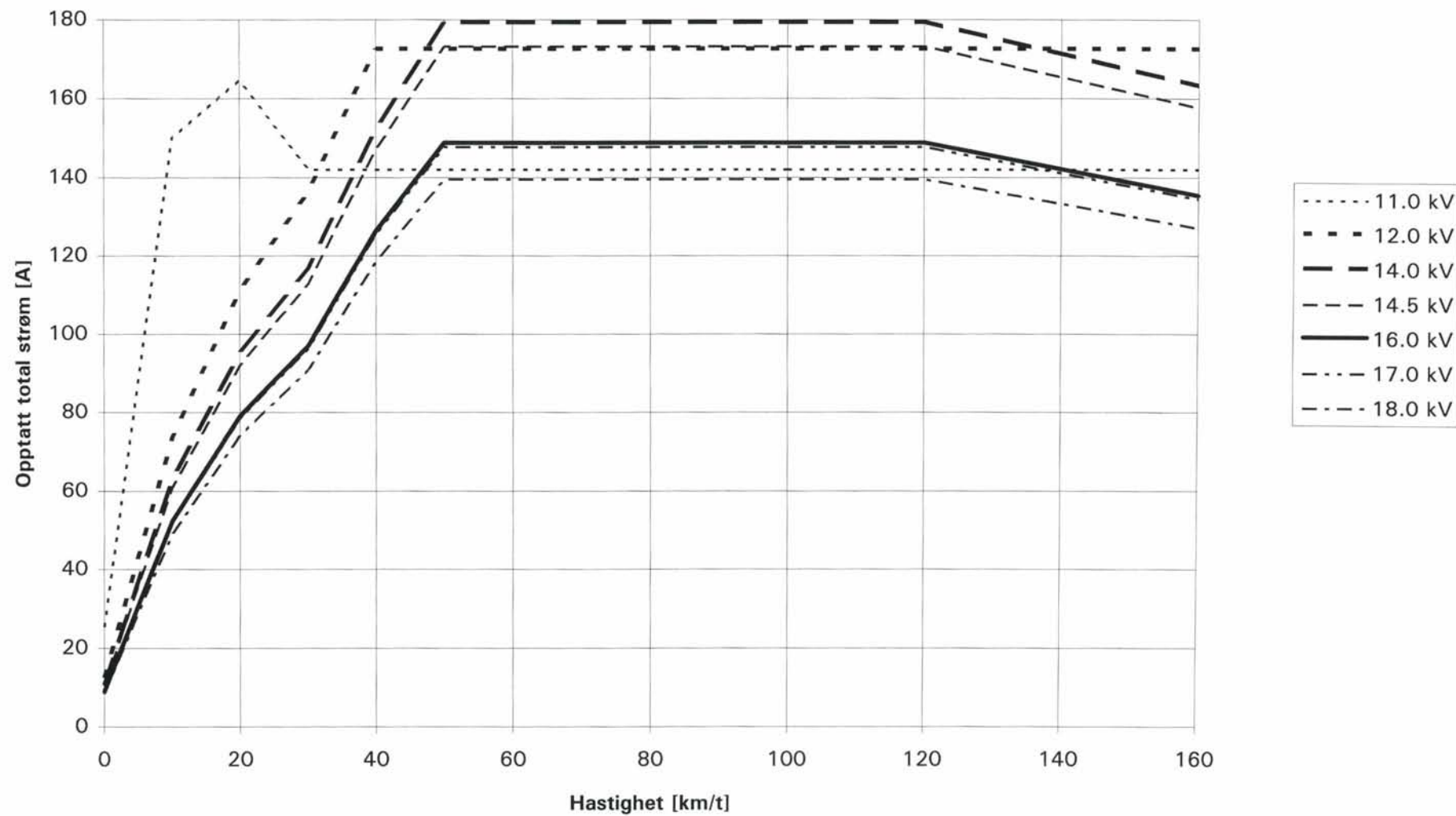
Strømforbruk i motorvogn av type BM69D som funksjon av hastighet og spenning.



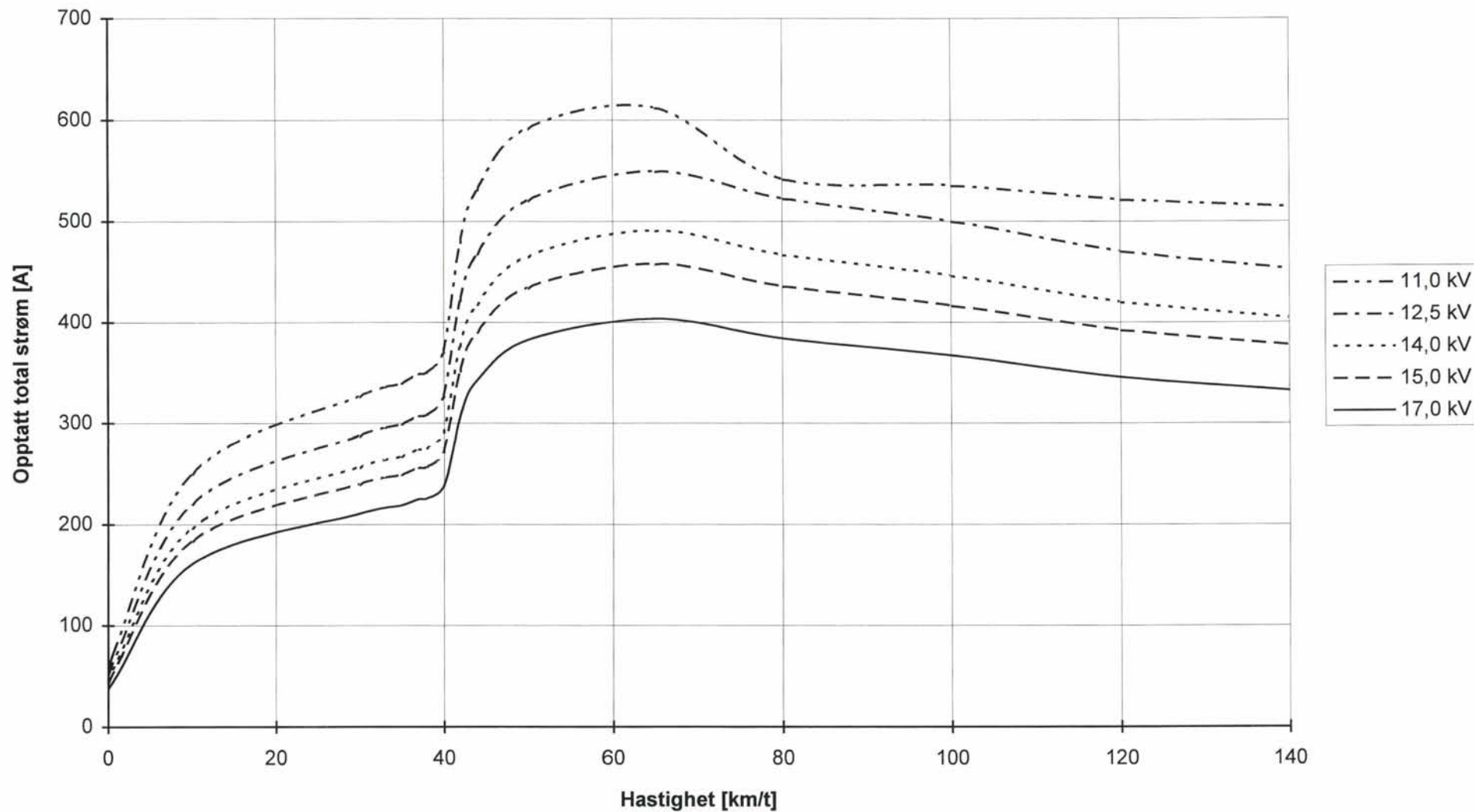
Reaktivt strømforbruk i motorvogn av type BM69D som funksjon av hastighet og spenning



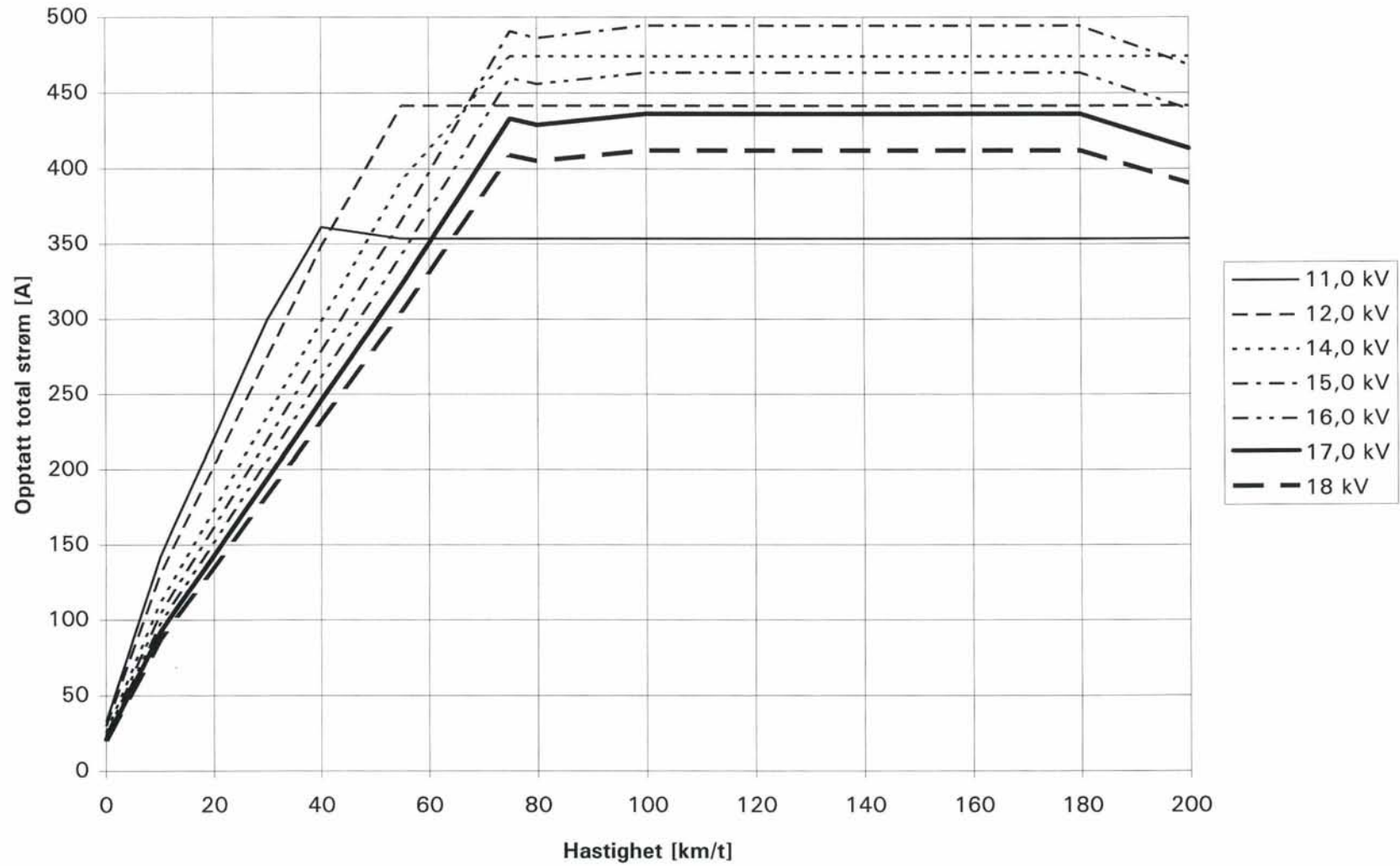
Strømforbruk i motorvogn av type BM70 som funksjon av hastighet og spenning



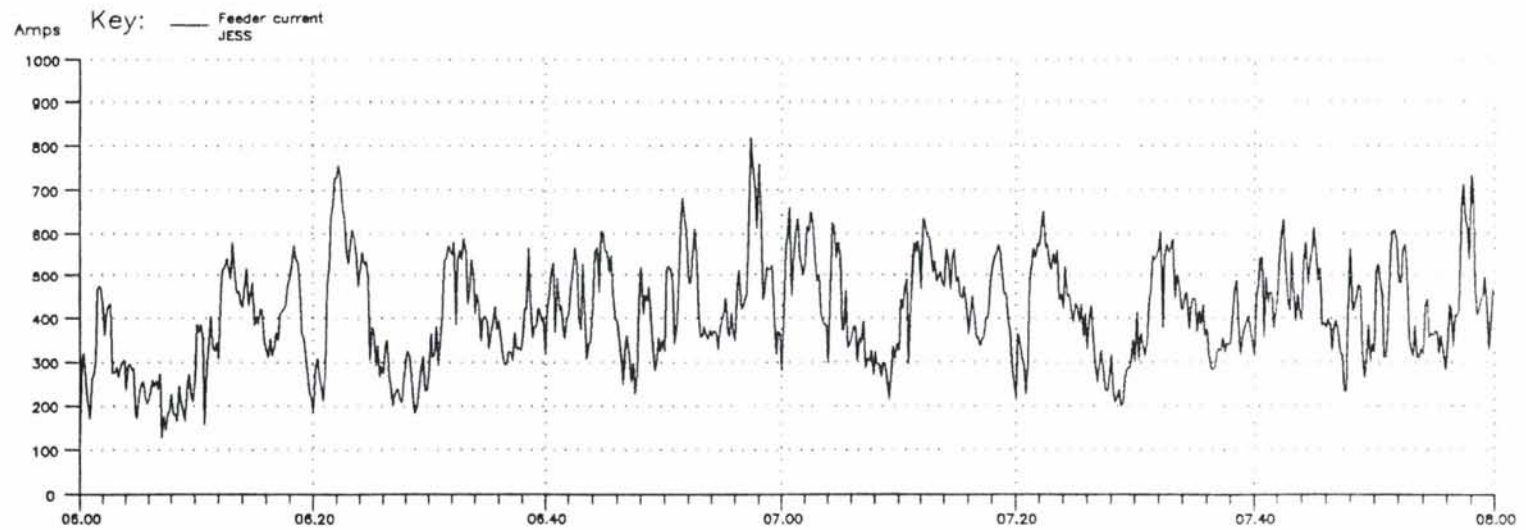
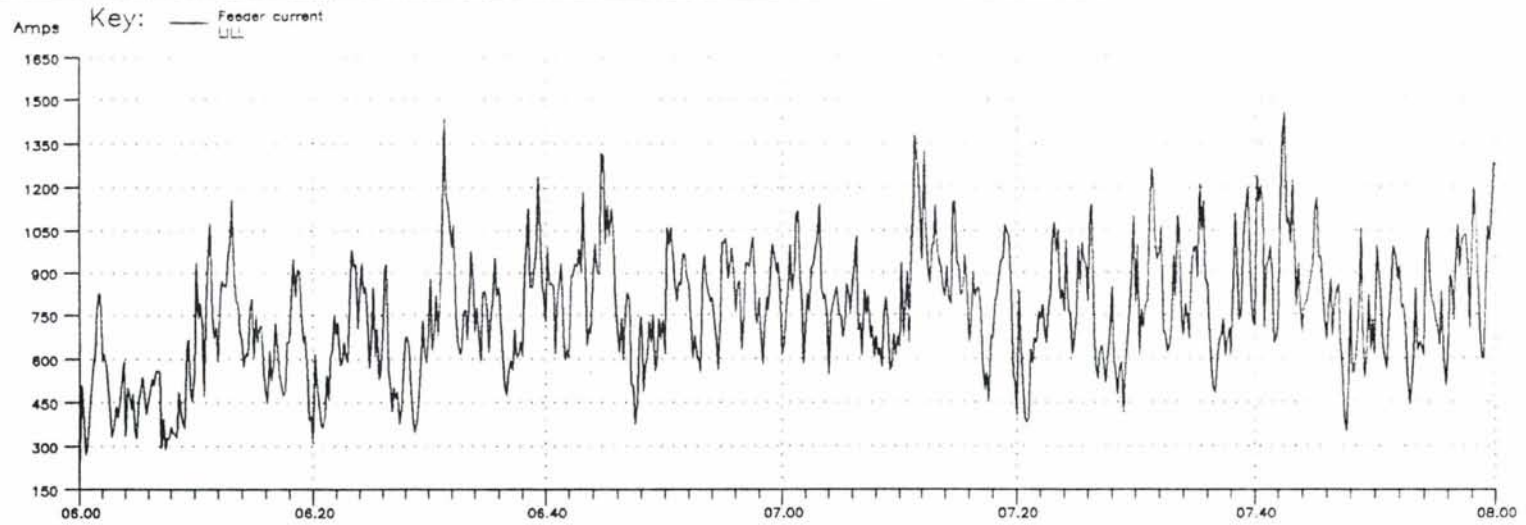
Strømforbruk i EL16 med 4 vogner, som funksjon av hastighet og spenning.



Strømforbruk i EL18 som funksjon av hastighet og spenning



Vedlegg 6



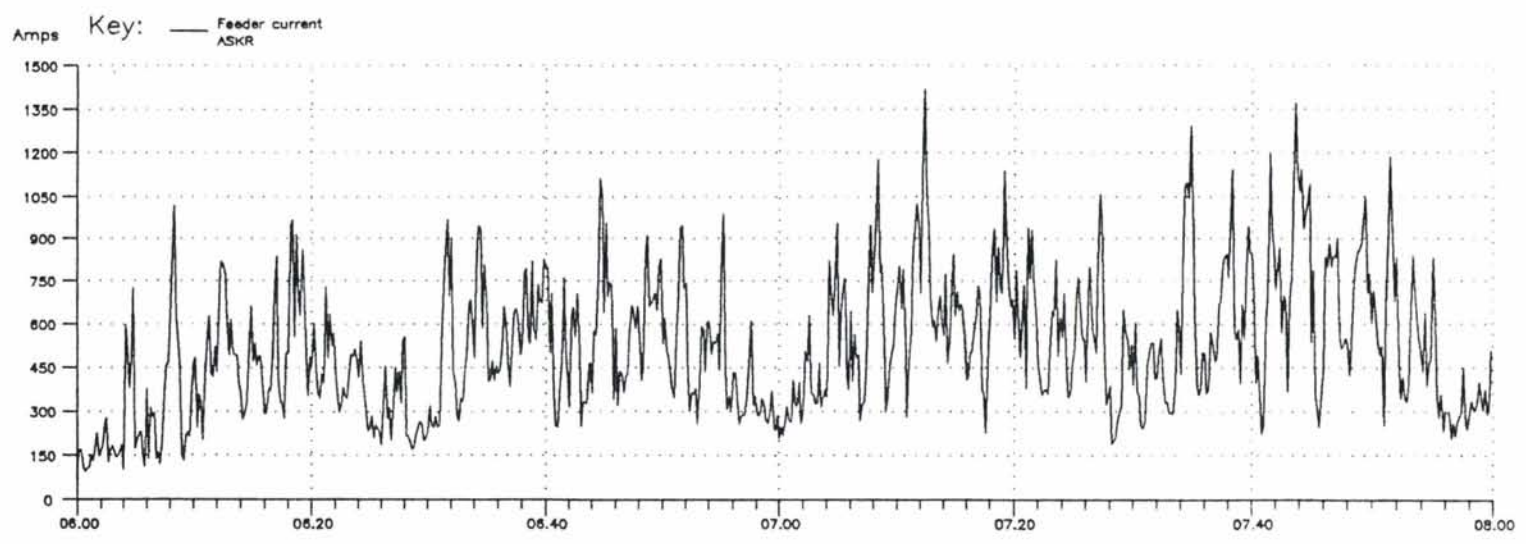
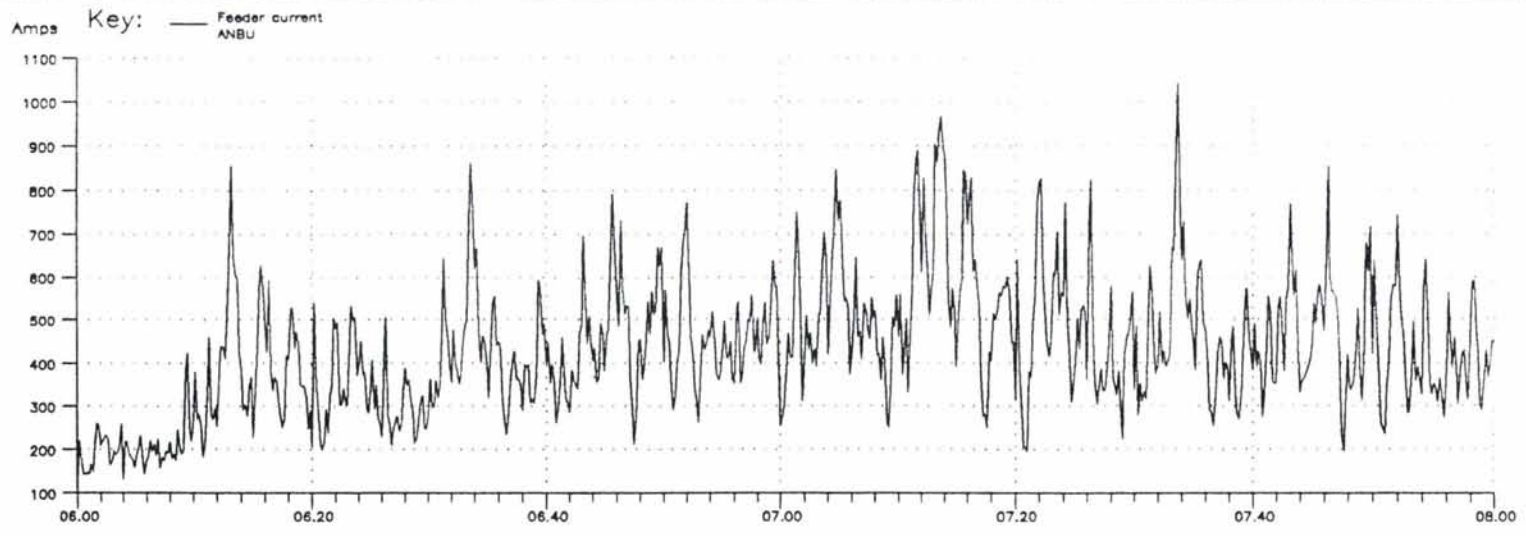
LILLESTROM (overst) JESSHEIM (nederst) OMF.

Plotted by VISION

Drawing no. : 6-1

Date :

Page 1 of 1



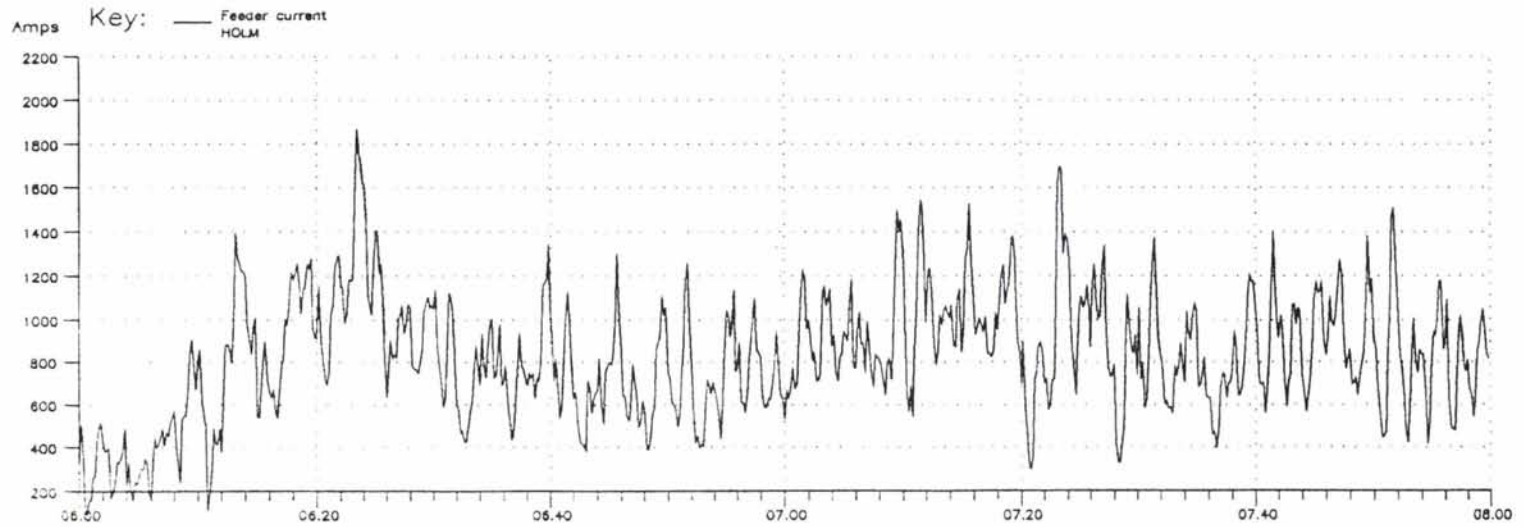
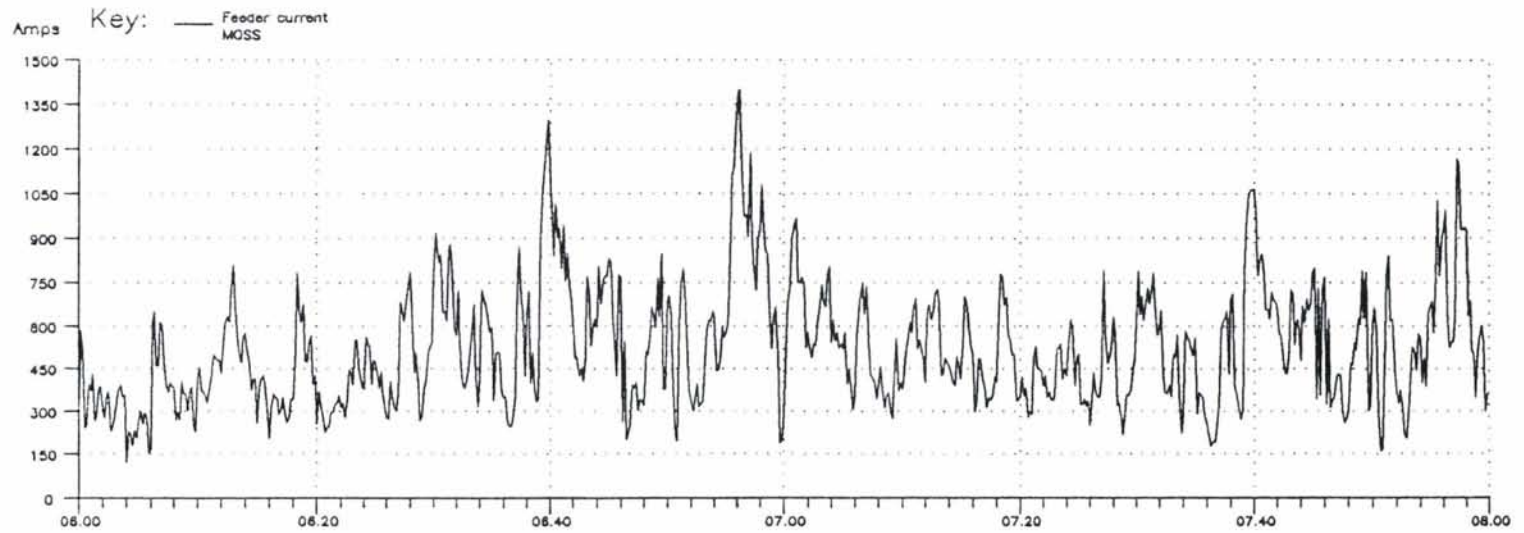
ALNABRU (overst) ASKER (nederst) OMF.

Plotted by VISION

Drawing no. : 6-2

Date :

Page 1 of 1



MOSS (overst) HOLMLA (necerst) DMF.

Plotted by VISION

Drawing no. : 6-3

Date :

Page 1 of 1

Vedlegg 7

Notat

Dato: 1. mars 1995

Til : PCB
Kopi til :
Fra : VIM

Saksnr : 95/241
Arkivb. : Bø 762

RESERVEKAPASITET I OMFORMERSTASJONER

Vedlagt ligger kopi av brev fra Brs angående reservekapasitet i omformerstasjoner.

Ved beregning av reservekapasitet i omformerstasjonen i forbindelse med Oslo-området skal retningslinjene i brevet benyttes. Brevet legges ved som vedlegg i simuleringsrapporten.

Hilsen

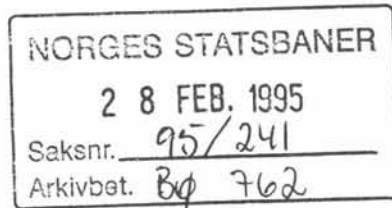


Vidar Martiniussen



Gj. part: Bt, Bts, BrE, JPH, B's forv., saken

NSB Bane
Region Øst
Oslo City



Henvendelse til
J.P. Haugli
67154

Deres referanse
95/241
Bø 762

Saksreferanse
92/872
B 760

Dato
24. FEB. 1995

RESERVEKAPASITET I OMFORMERSTASJONER

Viser BrØs brev av 16.01.95 og telefonsamtale med Vidar Martiniussen 1.02.95 vedrørende reservekapasitet i omformerstasjoner i Oslo-området.

Bortfall av omformere i Oslo-området har ved flere tilfeller vist seg å få store konsekvenser for trafikkavviklingen. Det er derfor viktig at man ved utarbeidelse av hovedplaner for strømforsyningen i Oslo-området opererer med stor nok reservekapasitet. Bts anser at man bør beregne en overkapasitet på 100% av timelasten i hver stasjon.

Med hilsen

Ingolv Pedersen
Tekn. sjef

Vedlegg 8

Rutetider for tog i DEL2, vedlegg 1, 16, 17 og 18

(Rutetider for tog i DEL2, vedlegg 2 og 10 er gitt fra side 5 til 13
Rutetider for tog i DEL2, vedlegg 3 og 4 er gitt fra side 14 til 17)

Tog- nummer	Type		Ankomst	Avgang	Stopptid Stasjon
4	Flyplass	44	0055300	0055400	60 ASKER
4	tog	58	0060130	0060200	30 SNDVIKA
4		62	0060730	0060800	30 LYSAKER
4		64	0061030	0061100	30 SKOEYEN
4		66	0061430	0061500	30 NTHEATR
4		1	0061800	0062200	30 OSLOSEN
4		20	0063230	0063300	30 LILSTRM
4		123	0063630	0063700	30 LEIRSUN
4		104	0064030	0064100	30 FROGNER
4		105	0064230	0064300	30 LINBERG
4		106	0064630	0064700	30 KLOEFTA
4		36	0065500	0065700	30 GARMOEN
4		38	0070230	0070300	30 RAAHOLT
4		39	0070700		60 EIDSVGB
8	Flyplass	1	0063900	0064000	60 OSLOSEN
8	tog	20	0064930	0065000	30 LILSTRM
8		36	0070200		60 GARMOEN
14	Flyplass	44	0064100	0064200	60 ASKER
14	tog	58	0064930	0065000	30 SNDVIKA
14		62	0065830	0065900	30 LYSAKER
14		66	0070630	0070700	30 NTHEATR
14		1	0070900	0071000	30 OSLOSEN
14		36	0072900		60 GARMOEN
16	2*BM69	121	0064030	0064100	30 DRAMMEN
16		80	0064330	0064400	30 BRAKOYA
16		138	0064630	0064700	30 TUVERUD
16		44	0065300	0065400	60 ASKER
16		58	0070130	0070200	30 SNDVIKA
16		62	0070730	0070800	30 LYSAKER
16		64	0071030	0071100	30 SKOEYEN
16		66	0071430	0071500	30 NTHEATR
16		1	0071800	0072200	30 OSLOSEN
16		20	0073230	0073300	30 LILSTRM
16		123	0073630	0073700	30 LEIRSUN
16		104	0074030	0074100	30 FROGNER
16		105	0074230	0074300	30 LINBERG
16		106	0074630	0074700	30 KLOEFTA
16		36	0075500	0075700	30 GARMOEN
16		38	0080230	0080300	30 RAAHOLT
16		39	0080700		60 EIDSVGB

21	Flyplass	44	0072330	0072400	30 ASKER
21	tog	58	0073130	0073200	30 SNDVIKA
21		62	0073730	0073800	30 LYSAKER
21		66	0074430	0074500	30 NTHEATR
21		1	0074800	0075000	30 OSLOSEN
21		36	0080900		60 GARMOEN
45	2*BM69	1	0073530	0073600	30 OSLOSEN
45		20	0074630	0074700	30 LILSTRM
45		134	0074930	0075000	30 TUEN
45		133	0075230	0075300	30 NERDRUM
45		81	0075430	0075500	30 FETSUND
45		131	0075530	0075600	30 SVINGEN
45		132	0075830	0075900	30 GUTTERU
45		113	0080300	0080400	30 SOERUMS
45		48	0080830	0080900	30 BLAKER
45		46	0081130	0081200	30 RANAFO
45		45	0081330	0081400	30 AULI
45		47	0081530	0081600	30 HAGA
45		79	0082030	0082100	30 BODUNG
45		21	0082500		30 ARNES
46	EL16+4V	1	0080430	0080500	30 OSLOSEN
46		20	0081530	0081600	30 LILSTRM
46		113	0083030	0083100	30 SOERUMS
46		21		0084600	30 ARNES
46		89	0090030	0090100	30 SKARNES
46		111	0091500		60 KONGSVI
95	Flyplass	36	0065930	0070000	30 GARMOEN
95	tog	1	0071900	0072100	30 OSLOSEN
95		66	0072230	0072300	30 NTHEATR
95		62	0073030	0073100	30 LYSAKER
95		58	0073630	0073700	30 SNDVIKA
98	Flyplass	36	0070930	0071000	30 GARMOEN
98	tog	20		0072200	30 LILSTRM
98		1	0073200		30 OSLOSEN
103	Flyplass	36	0072930	0073000	30 GARMOEN
103	tog	20		0074200	30 LILSTRM
103		1	0075200		30 OSLOSEN
106	BM70	39	0073100	0073200	60 EIDSVGB
106		36	0074200	0074400	30 GARMOEN
106		20		0075900	30 LILSTRM
106		1	0080900	0081200	30 OSLOSEN
106		66		0081400	30 NTHEATR
106		62		0082200	30 LYSAKER
106		44		0083700	30 ASKER
106		121	0085100		30 DRAMMEN

118	2*BM69	39	0083100	0083200	60 EIDSVGB
118		36	0084200	0084400	30 GARMOEN
118		20		0085900	30 LILSTRM
118		1	0090900	0091200	30 OSLOSEN
118		66		0091400	30 NTHEATR
118		62		0092200	30 LYSAKER
118		44		0093700	30 ASKER
118		121	0095100		30 DRAMMEN
143	2*BM69	25	0073630	0073700	30 FREDKSD
143		24		0074300	30 ONSOY
143		124		0074900	30 RADE
143		102		0075400	30 RYGGE
143		101		0075800	30 DILLING
143		100	0080100	0080400	180 MOSS
143		99		0080700	30 SNDBKTA
143		18		0081000	30 KAMBO
143		17		0081600	30 HOLEN
143		16		0082200	30 VESTBY
143		15		0082800	30 AS
143		94		0083300	30 SKI
143		1	0085400		30 OSLOSEN
150	EL18+8V	4	0063830	0063900	30 SARPSBG
150		25		0064700	30 FREDKSD
150		100		0070200	30 MOSS
150		94		0071900	30 SKI
150		1	0074000		30 OSLOSEN
170	EL16+4V	111	0075330	0075400	30 KONGSVI
170		89		0080800	30 SKARNES
170		21		0082300	30 ARNES
170		113		0083800	30 SOERUMS
170		20		0085300	30 LILSTRM
170		1	0090300		30 OSLOSEN
198	BM69	1	0053230	0053300	30 OSLOSEN
198		94		0055400	30 SKI
198		29		0055900	30 KRAKSTD
198		30		0060700	30 TOMTER
198		31		0061400	30 SPYDBRG
198		32		0062700	30 ASKIM
198		82		0064000	30 MYSEN
198		83		0064400	30 EIDSBRG
198		35		0065900	30 RAKSTAD
198		122		0071400	30 ISE
198		4	0074000		30 SARPSBG

199	BM69	1	0063930	0064000	30 OSLOSEN
199		94		0065400	30 SKI
199		29		0065900	30 KRAKSTD
199		30		0070700	30 TOMTER
199		31		0071400	30 SPYDBRG
199		32		0072700	30 ASKIM
199		82		0074000	30 MYSEN
199		83		0074400	30 EIDSBRG
199		35		0075900	30 RAKSTAD
199		122		0081400	30 ISE
199		4	0084000		30 SARPSBG
210	2*BM69	4	0055130	0055200	30 SARPSBG
210		122		0061400	30 ISE
210		35		0062900	30 RAKSTAD
210		83		0064400	30 EIDSBRG
210		82		0064700	30 MYSEN
210		32		0065700	30 ASKIM
210		31		0071400	30 SPYDBRG
210		30		0072200	30 TOMTER
210		29		0072900	30 KRAKSTD
210		94		0073900	30 SKI
210		1	0080000		30 OSLOSEN
262	EL16 1300t	1	0061030	0061100	30 OSLOSEN
262		4	0072600		30 SARPSBG
281	BM70	151	0074930	0075000	30 HAMAR
281		149		0080000	30 STANGE
281		148		0080200	0 SORLI
281		146		0081000	30 TANGEN
281		41		0082500	0 MINSUND
281		39	0083130		15 EIDSVGB
290	2*BM69	39	0070645	0070700	15 EIDSVGB
290		41		071400	MINSUND
290		146		073100	30 TANGEN
290		149		074800	30 STANGE
290		151	0080000		30 HAMAR

Rutetider for tog i DEL2, vedlegg 2 og 10

Tog- nummer	Type		Ankomst	Avgang	Stopptid Stasjon
6	BM69	1	0063300	0063400	60 OSLOSEN
6		20	0064430	0064500	30 LILSTRM
6		106	0065330	0065400	30 KLOEFTA
6		108	0065930	0070000	30 JESHMHB
6		114	0070130	0070200	30 NORDBY
6		110	0070530	0070600	30 HRSETER
6		117	0071030	0071100	30 DAL
6		84	0071530	0071600	30 BOEN
6		34	0072000		60 EIDSVHB
8	Flyplass tog	1	0063900	0064000	60 OSLOSEN
8		20	0064930	0065000	30 LILSTRM
8		36	0070200		60 GARMOEN
14	Flyplass tog	44	0064100	0064200	60 ASKER
14		58	0064930	0065000	30 SNDVIKA
14		62	0065830	0065900	30 LYSAKER
14		66	0070630	0070700	30 NTHEATR
14		1	0070900	0071000	30 OSLOSEN
14		36	0072900		60 GARMOEN
15	Flyplass tog	1	0071900	0072000	60 OSLOSEN
15		20	0072930	0073000	30 LILSTRM
15		36	0074200		60 GARMOEN
16		121	0064030	0064100	30 DRAMMEN
16		80	0064330	0064400	30 BRAKOYA
16		138	0064630	0064700	30 TUVERUD
16		44	0065300	0065400	60 ASKER
16		58	0070130	0070200	30 SNDVIKA
16		62	0070730	0070800	30 LYSAKER
16		64	0071030	0071100	30 SKOEYEN
16		66	0071430	0071500	30 NTHEATR
16		1	0071800	0072200	30 OSLOSEN
16		20	0073230	0073300	30 LILSTRM
16		123	0073630	0073700	30 LEIRSUN
16		104	0074030	0074100	30 FROGNER
16		105	0074230	0074300	30 LINBERG
16		106	0074630	0074700	30 KLOEFTA
16		36	0075500	0075700	30 GARMOEN
16		38	0080230	0080300	30 RAAHOLT
16		39	0080700		60 EIDSVGB
17	Flyplass tog	44	0070000	0070100	60 ASKER
17		58	0071030	0071100	30 SNDVIKA
17		62	0071730	0071800	30 LYSAKER
17		66	0072430	0072500	30 NTHEATR
17		1	0072700	0073000	30 OSLOSEN
17		36	0074900		60 GARMOEN

19	2*BM69	44	0070300	0070400	60 ASKER
19		53	0070530	0070600	30 HOEN
19		54	0070630	0070700	30 VAKAAS
19		55	0070830	0070900	30 HVALSTD
19		56	0071130	0071200	30 BILSTAD
19		57	0071330	0071400	30 SLEPDEN
19		58	0071630	0071700	30 SNDVIKA
19		59	0071830	0071900	30 BLOHOLM
19		60	0072030	0072100	30 HOEVIK
19		61	0072230	0072300	30 STABEKK
19		62	0072530	0072600	30 LYSAKER
19		64	0072830	0072900	30 SKOEYEN
19		66	0073330	0073400	30 NTHEATR
19		1	0073600	0073800	30 OSLOSEN
19		7	0074130	0074200	30 BRYNHB
19		9	0074430	0074500	30 ALNA
19		11	0074630	0074700	30 NYLAND
19		12	0074830	0074900	30 GRORUD
19		13	0075030	0075100	30 HAUGSTU
19		14	0075230	0075300	30 HBRAATN
19		95	0075430	0075500	30 LRNSKOG
19		96	0075630	0075700	30 HANBORG
19		97	0075730	0075800	30 FJHAMAR
19		98	0075930	0080000	30 STRMMEN
19		19	0080130	0080200	30 SAGDALN
19		20	0080500		60 LILSTRM
21	Flyplass	44	0072330	0072400	30 ASKER
21	tog	58	0073130	0073200	30 SNDVIKA
21		62	0073730	0073800	30 LYSAKER
21		66	0074430	0074500	30 NTHEATR
21		1	0074800	0075000	30 OSLOSEN
21		36	0080900		60 GARMOEN
22	BM70	121	0071200	0071300	60 DRAMMEN
22		44	0072630	0072700	30 ASKER
22		62	0074030	0074100	30 LYSAKER
22		66	0074730	0074800	30 NTHEATR
22		1	0075100	0075500	30 OSLOSEN
22		20	0080430	0080500	30 LILSTRM
22		36	0082000	0082200	30 GARMOEN
22		39	0083200		60 EIDSVGB

27	2*BM69	121	0074030	0074100	30	DRAMMEN
27		80	0074330	0074400	30	BRAKOYA
27		138	0074630	0074700	30	TUVERUD
27		44	0075300	0075400	60	ASKER
27		58	0080130	0080200	30	SNDVIKA
27		62	0080730	0080800	30	LYSAKER
27		64	0081030	0081100	30	SKOEYEN
27		66	0081430	0081500	30	NTHEATR
27		1	0081800	0082200	30	OSLOSEN
27		20	0083230	0083300	30	LILSTRM
27		123	0083630	0083700	30	LEIRSUN
27		104	0084030	0084100	30	FROGNER
27		105	0084230	0084300	30	LINBERG
27		106	0084630	0084700	30	KLOEFTA
27		36	0085500	0085700	30	GARMOEN
27		38	0090230	0090300	30	RAAHOLT
27		39	0090700		30	EIDSVGB
37	EL16+10V	121	0061500	0061600	60	DRAMMEN
37		44	0063030	0063100	30	ASKER
37		62	0064930	0065000	30	LYSAKER
37		1	0070000		30	OSLOSEN
43	2*BM69	1	0063530	0063600	30	OSLOSEN
43		20	0064630	0064700	30	LILSTRM
43		134	0064930	0065000	30	TUEN
43		133	0065230	0065300	30	NERDRUM
43		81	0065430	0065500	30	FETSUND
43		131	0065530	0065600	30	SVINGEN
43		132	0065830	0065900	30	GUTTERU
43		113	0070300	0070400	30	SOERUMS
43		48	0070830	0070900	30	BLAKER
43		46	0071130	0071200	30	RANAFO
43		45	0071330	0071400	30	AULI
43		47	0071530	0071600	30	HAGA
43		79	0072030	0072100	30	BODUNG
43		21	0072500		30	ARNES
45	2*BM69	1	0073530	0073600	30	OSLOSEN
45		20	0074630	0074700	30	LILSTRM
45		134	0074930	0075000	30	TUEN
45		133	0075230	0075300	30	NERDRUM
45		81	0075430	0075500	30	FETSUND
45		131	0075530	0075600	30	SVINGEN
45		132	0075830	0075900	30	GUTTERU
45		113	0080300	0080400	30	SOERUMS
45		48	0080830	0080900	30	BLAKER
45		46	0081130	0081200	30	RANAFO
45		45	0081330	0081400	30	AULI
45		47	0081530	0081600	30	HAGA
45		79	0082030	0082100	30	BODUNG
45		21	0082500		30	ARNES

46	EL16+10V	1	0080430	0080500	30 OSLOSEN
46		20	0081530	0081600	30 LILSTRM
46		113	0083030	0083100	30 SOERUMS
46		21		0084600	30 ARNES
46		89	0090030	0090100	30 SKARNES
46		111	0091500		60 KONGSVI
57	BM69	1	0073730	0073800	30 OSLOSEN
57		125	0074430	0074500	30 GREFSEN
57		129	0075930	0080000	30 NITTEDA
57		50	0081630	0081700	30 HARESTU
57		68	0082430	0082500	30 GRUA
57		69	0083130	0083200	30 ROA
57		77	0083530	0083600	30 LUNNER
57		70	0084130	0084200	30 GRAN
57		71	0084630	0084700	30 JAREN
57		63	0085230	0085300	30 BLEIKEN
57		65	0091000		30 EINA
64	BM69	26	0073330	0073400	30 SPIKKES
64		23	0073530	0073600	30 ASAKER
64		27	0073730	0073800	30 ROYKEN
64		28	0074030	0074100	30 HALLENS
64		33	0074230	0074300	30 HEGGEDA
64		42	0074430	0074500	30 GULLHEL
64		43	0074630	0074700	30 BONDIVA
64		44	0075030	0075100	30 ASKER
64		58	0075830	0075900	30 SNDVIKA
64		62	0080430	0080500	30 LYSAKER
64		64	0080730	0080800	30 SKOEYEN
64		66	0081230	0081300	30 NTHEATR
64		1	0091500		30 OSLOSEN
68	2*BM69	1	0061930	0062000	30 OSLOSEN
68		94	0063330	0063400	30 SKI
68		15	0063830	0063900	30 AS
68		16	0064430	0064500	30 VESTBY
68		17	0065030	0065100	30 HOLEN
68		18	0065630	0065700	30 KAMBO
68		99	0065930	0070000	30 SNDBKTA
68		100	0070130	0070200	30 MOSS
68		101	0070530	0070600	30 DILLING
68		102	0070930	0071000	30 RYGGE
68		124	0071430	0071500	30 RADE
68		24	0072030	0072100	30 ONSOY
68		25	0072600		30 FREDKSD

70	2*BM69	1	0071930	0072000	30 OSLOSEN
70		94	0073330	0073400	30 SKI
70		15	0073830	0073900	30 AS
70		16	0074430	0074500	30 VESTBY
70		17	0075030	0075100	30 HOLEN
70		18	0075630	0075700	30 KAMBO
70		99	0075930	0080000	30 SNDBKTA
70		100	0080430	0080500	30 MOSS
70		101	0080830	0080900	30 DILLING
70		102	0081230	0081300	30 RYGGE
70		124	0081730	0081800	30 RADE
70		24	0082330	0082400	30 ONSOY
70		25	0082900		30 FREDKSD
92	Flyplass	39	0061600	0061700	60 EIDSVGB
92	tog	38		0062100	30 RAAHOLT
92		36	0062800	0063000	30 GARMOEN
92		106		0063900	30 KLOEFTA
92		105		0064300	30 LINBERG
92		104		0064600	30 FROGNER
92		123		0064900	30 LEIRSUN
92		20		0065400	30 LILSTRM
92		1	0070400	0070900	30 OSLOSEN
92		66		0071100	30 NTHEATR
92		64		0071600	30 SKOEYEN
92		62		0071900	30 LYSAKER
92		58		0072500	30 SNDVIKA
92		44		0073400	30 ASKER
92		138		0074100	30 TUVERUD
92		80		0074400	30 BRAKOYA
92		121	0074700		30 DRAMMEN
93	BM70	39	0063100	0063200	60 EIDSVGB
93		36	0064200	0064400	30 GARMOEN
93		20		0065900	30 LILSTRM
93		1	0070900	0071200	30 OSLOSEN
93		66		0071400	30 NTHEATR
93		62		0072200	30 LYSAKER
93		44		0073700	30 ASKER
93		121	0075100		30 DRAMMEN
95	Flyplass	36	0065930	0070000	30 GARMOEN
95	tog	1	0071900	0072100	30 OSLOSEN
95		66	0072230	0072300	30 NTHEATR
95		62	0073030	0073100	30 LYSAKER
95		58	0073630	0073700	30 SNDVIKA
95		44	0074600		30 ASKER
97	BM69	34	0063700	0063800	60 EIDSVHB
97		84		0064200	30 BOEN
97		117		0064700	30 DAL
97		110		0065200	30 HRSETER
97		114		0065600	30 NORDBY
97		108		0065800	30 JESHMHB
97		106		0070500	30 KLOEFTA
97		20		0071600	30 LILSTRM
97		1	0072600		30 OSLOSEN

98	Flyplass	36	0070930	0071000	30	GARMOEN
98	tog	20		0072200	30	LILSTRM
98		1	0073200		30	OSLOSEN
101	BM69	34	0065000	0065100	60	EIDSVHB
101		84		0065600	30	BOEN
101		117		0070100	30	DAL
101		110		0070600	30	HRSETER
101		114		0071000	30	NORDBY
101		108		0071200	30	JESHMHB
101		106		0071800	30	KLOEFTA
101		105		0072400	30	LINBERG
101		104		0072600	30	FROGNER
101		123		0072900	30	LEIRSUN
101		20		0073300	30	LILSTRM
101		1	0074300		30	OSLOSEN
103	Flyplass	36	0072930	0073000	30	GARMOEN
103	tog	20		0074200	30	LILSTRM
103		1	0075200		30	OSLOSEN
133	BM69	1	0064730	0064800	30	OSLOSEN
133		66		0065000	30	NTHEATR
133		64		0065500	30	SKOEYEN
133		44		0071900	30	ASKER
133		43		0072000	30	BONDIVA
133		42		0072300	30	GULLHEL
133		33		0072600	30	HEGGEDA
133		28		0072800	30	HALLENS
133		27		0073100	30	ROYKEN
133		23		0073200	30	ASAKER
133		26	0073600		30	SPIKKES
134	BM69	1	0071430	0071500	30	OSLOSEN
134		66		0071700	30	NTHEATR
134		64		0072200	30	SKOEYEN
134		62		0072500	30	LYSAKER
134		58		0073100	30	SNDVIKA
134		44		0073900	30	ASKER
134		43		0074000	30	BONDIVA
134		42		0074300	30	GULLHEL
134		33		0074600	30	HEGGEDA
134		28		0074800	30	HALLENS
134		27		0075100	30	ROYKEN
134		23		0075200	30	ASAKER
134		26	0075500		30	SPIKKES

143	2*BM69	25	0072630	0072700	30 FREDKSD
143		24		0073300	30 ONSOY
143		124		0073900	30 RADE
143		102		0074400	30 RYGGE
143		101		0074800	30 DILLING
143		100	0075100	0075400	180 MOSS
143		99		0075700	30 SNDBKTA
143		18		0080000	30 KAMBO
143		17		0080600	30 HOLEN
143		16		0081200	30 VESTBY
143		15		0081800	30 AS
143		94		0082300	30 SKI
143		1	0083600		30 OSLOSEN
150	EL18+8V	4	0062830	0062900	30 SARPSBG
150		25		0063700	30 FREDKSD
150		100		0065200	30 MOSS
150		94		0070900	30 SKI
150		1	0072000		30 OSLOSEN
151	BM70	4	0070230	0070300	30 SARPSBG
151		25		0071100	30 FREDKSD
151		100		0072700	30 MOSS
151		94		0074300	30 SKI
151		1	0075400		30 OSLOSEN
152	EL18+8V	4	0072830	0072900	30 SARPSBG
152		25		0073700	30 FREDKSD
152		100		0075200	30 MOSS
152		94		0080900	30 SKI
152		1	0082000		30 OSLOSEN
156	2*BM69	65	0071230	0071300	30 EINA
156		63		0073000	30 BLEIKEN
156		71		0073600	30 JAREN
156		70		0074100	30 GRAN
156		77		0074700	30 LUNNER
156		69		0075100	30 ROA
156		68		0075800	30 GRUA
156		50		0080300	30 HARESTU
156		129		0082300	30 NITTEDA
156		125		0083800	30 GREFSEN
156		1	0084500		30 OSLOSEN

157	2*BM69	69	065530	0065600	30 ROA
157		68		0070100	30 GRUA
157		49		0070600	30 BJORGES
157		52		0071100	30 FURUMO
157		50		0071200	30 HARESTU
157		51		0071600	30 STRYKEN
157		130		0072400	30 HAKADAL
157		139		0072700	30 VARINGK
157		3		0072900	30 ANEBY
157		129		0073800	30 NITTEDA
157		128		0074400	30 MOVATN
157		136		0074700	30 SNIPPEN
157		127		0074800	30 SANDERM
157		126		0075700	30 KJELSAS
157		135		0080100	30 NYDALEN
157		125		0080200	30 GREFSEN
157		137		0080600	30 TOYEN
157		1	0081000		30 OSLOSEN
167	BM69	21	0065130	0065200	30 ARNES
167		79		0065600	30 BODUNG
167		47		0070000	30 HAGA
167		45		0070700	30 AULI
167		46		0070800	30 RANAFO
167		48		0071200	30 BLAKER
167		113		0071500	30 SOERUMS
167		132		0072400	30 GUTTERU
167		131		0072700	30 SVINGEN
167		81		0072800	30 FETSUND
167		133		0073100	30 NERDRUM
167		134		0073300	30 TUEN
167		20		0073800	30 LILSTRM
167		1	0074800		30 OSLOSEN
168	EL16+4V	111	0065330	0065400	30 KONGSVI
168		89		0070800	30 SKARNES
168		21		0072300	30 ARNES
168		113		0073800	30 SOERUMS
168		20		0075300	0 LILSTRM
168		1	0080300		30 OSLOSEN
170	EL16+4V	111	0075330	0075400	30 KONGSVI
170		89		0080800	30 SKARNES
170		21		0082300	30 ARNES
170		113		0083800	30 SOERUMS
170		20		0085300	30 LILSTRM
170		1	0090300		30 OSLOSEN

198	BM69	1	0052930	0053000	30 OSLOSEN
198		94		0054400	30 SKI
198		29		0054900	30 KRAKSTD
198		30		0055700	30 TOMTER
198		31		0060400	30 SPYDBRG
198		32		0061700	30 ASKIM
198		82		0063000	30 MYSEN
198		83		0063400	30 EIDSBRG
198		35		0064900	30 RAKSTAD
198		122		0070400	30 ISE
198		4	0073000		30 SARPSBG
199	BM69	1	0062930	0063000	30 OSLOSEN
199		94		0064400	30 SKI
199		29		0064900	30 KRAKSTD
199		30		0065700	30 TOMTER
199		31		0070400	30 SPYDBRG
199		32		0071700	30 ASKIM
199		82		0073000	30 MYSEN
199		83		0073400	30 EIDSBRG
199		35		0074900	30 RAKSTAD
199		122		0080400	30 ISE
199		4	0083000		30 SARPSBG
210	2*BM69	4	0054130	0054200	30 SARPSBG
210		122		0060400	30 ISE
210		35		0061900	30 RAKSTAD
210		83		0063400	30 EIDSBRG
210		82		0063700	30 MYSEN
210		32		0064700	30 ASKIM
210		31		0070400	30 SPYDBRG
210		30		0071200	30 TOMTER
210		29		0071900	30 KRAKSTD
210		94		0072900	30 SKI
210		1	0074200		30 OSLOSEN
262	EL16+1300t	1	0061130	0061200	30 OSLOSEN
262		4	0071600		30 SARPSBG

Rutetider for tog i DEL2, vedlegg 3 og 4

Tog- nummer	Type		Ankomst	Avgang	Stopptid Stasjon
6	BM69	1	0063300	0063400	60 OSLOSEN
6		20	0064430	0064500	30 LILSTRM
6		106	0065330	0065400	30 KLOEFTA
6		108	0065930	0070000	30 JESHMHB
6		114	0070130	0070200	30 NORDBY
6		110	0070530	0070600	30 HRSETER
6		117	0071030	0071100	30 DAL
6		84	0071530	0071600	30 BOEN
6		34	0072000		60 EIDSVHB
14	Flyplass	44	0064700	0064800	60 ASKER
14	tog	58	0065130	0065200	30 SNDVIKA
14		62	0065830	0065900	30 LYSAKER
14		66	0070630	0070700	30 NTHEATR
14		1	0070900	0071000	30 OSLOSEN
14		36	0072900		60 GARMOEN
15	Flyplass	1	0071900	0072000	60 OSLOSEN
15	tog	20	0072930	0073000	30 LILSTRM
15		36	0074200		60 GARMOEN
19	2*BM69	44	0070300	0070400	60 ASKER
19		53	0070530	0070600	30 HOEN
19		54	0070630	0070700	30 VAKAAS
19		55	0070830	0070900	30 HVALSTD
19		56	0071130	0071200	30 BILSTAD
19		57	0071330	0071400	30 SLEPDEN
19		58	0071630	0071700	30 SNDVIKA
19		59	0071830	0071900	30 BLOHOLM
19		60	0072030	0072100	30 HOEVIK
19		61	0072230	0072300	30 STABEKK
19		62	0072530	0072600	30 LYSAKER
19		64	0072830	0072900	30 SKOEYEN
19		66	0073330	0073400	30 NTHEATR
19		1	0073600	0073800	30 OSLOSEN
19		7	0074130	0074200	30 BRYNHB
19		9	0074430	0074500	30 ALNA
19		11	0074630	0074700	30 NYLAND
19		12	0074830	0074900	30 GRORUD
19		13	0075030	0075100	30 HAUGSTU
19		14	0075230	0075300	30 HBRAATN
19		95	0075430	0075500	30 LRNSKOG
19		96	0075630	0075700	30 HANBORG
19		97	0075730	0075800	30 FJHAMAR
19		98	0075930	0080000	30 STRMMEN
19		19	0080130	0080200	30 SAGDALN
19		20	0080500		60 LILSTRM

21	Flyplass	44	0072930	0073000	30 ASKER
21	tog	58	0073330	0073400	30 SNDVIKA
21		62	0073730	0073800	30 LYSAKER
21		66	0074430	0074500	30 NTHEATR
21		1	0074800	0075000	30 OSLOSEN
21		36	0080900		60 GARMOEN
22	BM70	121	0071700	0071800	60 DRAMMEN
22		44	0073130	0073200	30 ASKER
22		62	0074030	0074100	30 LYSAKER
22		66	0074730	0074800	30 NTHEATR
22		1	0075100	0075500	30 OSLOSEN
22		20	0080430	0080500	30 LILSTRM
22		36	0082000	0082200	30 GARMOEN
22		39	0083200		60 EIDSVGB
27	2*BM69	121	0074030	0074100	30 DRAMMEN
27		80	0074330	0074400	30 BRAKOYA
27		138	0074630	0074700	30 TUVERUD
27		44	0075300	0075400	60 ASKER
27		58	0080130	0080200	30 SNDVIKA
27		62	0080730	0080800	30 LYSAKER
27		64	0081030	0081100	30 SKOEYEN
27		66	0081430	0081500	30 NTHEATR
27		1	0081800	0082200	30 OSLOSEN
27		20	0083230	0083300	30 LILSTRM
27		123	0083630	0083700	30 LEIRSUN
27		104	0084030	0084100	30 FROGNER
27		105	0084230	0084300	30 LINBERG
27		106	0084630	0084700	30 KLOEFTA
27		36	0085500	0085700	30 GARMOEN
27		38	0090230	0090300	30 RAAHOLT
27		39	0090700		30 EIDSVGB
38	EL17+10V	121	0063700	0063800	60 DRAMMEN
38		44	0065130	0065200	30 ASKER
38		62	0070130	0070200	30 LYSAKER
38		1	0071200		30 OSLOSEN
92	2*BM69	39	0061600	0061700	60 EIDSVGB
92		38		0062100	30 RAAHOLT
92		36	0062800	0063000	30 GARMOEN
92		106		0063900	30 KLOEFTA
92		105		0064300	30 LINBERG
92		104		0064600	30 FROGNER
92		123		0064900	30 LEIRSUN
92		20		0065400	30 LILSTRM
92		1	0070400	0070900	30 OSLOSEN
92		66		0071100	30 NTHEATR
92		64		0071600	30 SKOEYEN
92		62		0071900	30 LYSAKER
92		58		0072400	30 SNDVIKA
92		44		0073100	30 ASKER
92		138		0073800	30 TUVERUD
92		80		0074100	30 BRAKOYA
92		121	0074400		30 DRAMMEN

93	BM70	39	0063100	0063200	60 EIDSVGB
93		36	0064200	0064400	30 GARMOEN
93		20		0065900	30 LILSTRM
93		1	0070900	0071200	30 OSLOSEN
93		66		0071400	30 NTHEATR
93		62		0072200	30 LYSAKER
93		44		0073400	30 ASKER
93		121	0074800		30 DRAMMEN
95	Flyplass	36	0065930	0070000	30 GARMOEN
95	tog	1	0071900	0072100	30 OSLOSEN
95		66	0072230	0072300	30 NTHEATR
95		62	0073030	0073100	30 LYSAKER
95		58	0073530	0073600	30 SNDVIKA
95		44	0074200		30 ASKER
97	BM69	34	0063700	0063800	60 EIDSVHB
97		84		0064200	30 BOEN
97		117		0064700	30 DAL
97		110		0065200	30 HRSETER
97		114		0065600	30 NORDBY
97		108		0065800	30 JESHMHB
97		106		0070500	30 KLOEFTA
97		20		0071600	30 LILSTRM
97		1	0072600		30 OSLOSEN
98	Flyplass	36	0070930	0071000	30 GARMOEN
98	tog	20		0072200	30 LILSTRM
98		1	0073200		30 OSLOSEN
101	BM69	34	0065000	0065100	60 EIDSVHB
101		84		0065600	30 BOEN
101		117		0070100	30 DAL
101		110		0070600	30 HRSETER
101		114		0071000	30 NORDBY
101		108		0071200	30 JESHMHB
101		106		0071800	30 KLOEFTA
101		105		0072400	30 LINBERG
101		104		0072600	30 FROGNER
101		123		0072900	30 LEIRSUN
101		20		0073300	30 LILSTRM
101		1	0074300		30 OSLOSEN
103	Flyplass	36	0072930	0073000	30 GARMOEN
103	tog	20		0074200	30 LILSTRM
103		1	0075200		30 OSLOSEN
282	EL16+1300t	66		0070500	0 NTHEATR
282		64		0070800	0 SKOEYEN
282		62		0071100	30 LYSAKER
282		58		0071600	0 SNDVIKA
282		141		0072100	0 RYKKIN
282		140	0073000		30 HONEFOS

289	BM69	140	0071630	0071700	30 HONFOS
289		141		0073700	30 RYKKIN
289		58		0074300	30 SNDVIKA
289		62		0075000	30 LYSAKER
289		64		0075300	30 SKOEYEN
289		66		0075800	0 NTHEATR
289		1	0080100		30 OSLOSEN
296	EL16+500t	140	0065930	0070000	30 HONFOS
296		141		0071900	0 RYKKIN
296		58		0072100	0 SNDVIKA
296		64		0072600	0 SKOEYEN
296		1	0073100		30 OSLOSEN

Vedlegg 9



Telefax

Dato 10.10.94

Telefax nr.: 73597202

Til EFI
v/Selvik

Sider inkludert denne: 8

Fra NSB Bane Ingeniørtjenesten
v/Per Bærø
Tlf. 22366776
Telefax 22367120

Sender over detaljer for beregning av impedans i kontaktledningsanlegget. Vi håper at Dere på grunnlag av dette kan gi oss en pris for beregningene og når Dere eventuelt kan være kan være ferdige med beregningene.

Vennlig hilsen

Per Bærø

IMPEDANSBEREGNINGER

Systemløsninger

Figur 1 viser en standard opphengsløsning for kontaktledningsanlegget i NSB. Kontakttråd og bæreline leder strømmen fram til togene. Returstrømmen fordeles mellom returledning og jord. Prinsippskisse for returstrømsystemet er vist i figur 2, system D. Sugetransformatoravstanden er ca. 3 km. Uten sugetransformatorer vil returstrømmen fordeles mellom returledning, skinner og jord.

Figur 3 viser en opphengsløsning uten returledning. Returstrømmene går i både skinner og jord. Prinsippskisse for returstrømsystemet er vist i figur 2, system B. Sugetransformatoravstanden er ca. 3 km. Figur 4 viser en opphengsløsning med både returledning og forsterkningsledning. Forsterkningsledningen er koblet sammen med kontakttråden hver 3. km. Returstrømsystemet er vist i figur 2, system D.

Figur 5 viser en opphengsløsning med returledning, forsterkningsledning og mateledning. Returstrømsystemet er vist i figur 2, system D.

Forutsetninger

Med system D som vist i figur 2 går 97% av returstrømmen i returledningen, mens 3% av returstrømmen går i jord.

I et system med sammenkobling av returledning og skinner hver 3 km, uten sugetransformatorer, fordeles 95% av returstrømmen mellom returledningen og skinnene. 5% av strømmen går i jord.

Med system B som vist i figur 2 går 95% av returstrømmen i skinnene, mens 5% av strømmen går i jord.

Med mateledning kan det forutsettes at effekten fordeles likt mellom mateledning og kontakttråd/bæreline. Det vil si at strømmen i kontakttråd og bæreline er større enn i mateledningen med en faktor på 66/16. Spenningsnivå med mateledning er 66 kV.

Kontakttråd og bæreline kan regnes som parallellkoblet.

Frekvensen er lik 16 ⅔ Hz.

Hver skinnestreng har en impedans: $z = 0.058 + j 0.106 \Omega/\text{km}$.

Sugetransformatorene har en impedans: $z = 0.0128 + j0.0334 \Omega$.

Beregninger

Det må utføres beregninger av resistans og reaktans pr. km ($z = r + jx \Omega/\text{km}$) for kontakttråd, bæreline, returledning, forsterkningsledning og mateledning. Beregningene må utføres for følgende systemløsninger:

1 Opphengsløsning som vist i figur 1, med sugetransformatorer og følgende dimensjoner:

- Kontakttråd 1*100 mm² Cu
- Bæreline 1*50 mm² Cu
- Returledning 2*240 mm² Al

2 Opphengsløsning som vist i figur 1, med sugetransformatorer og følgende dimensjoner:

- Kontakttråd 1*120 mm² Cu
- Bæreline 1*70 mm² Cu
- Returledning 2*240 mm² Al

3 Opphengsløsning som vist i figur 1, uten sugetransformatorer og følgende dimensjoner:

- Kontakttråd 1*120 mm² Cu
- Bæreline 1*70 mm² Cu
- Returledning 2*240 mm² Al

4 Opphengsløsning som vist i figur 3, med sugetransformatorer og følgende dimensjoner:

- Kontakttråd 1*100 mm² Cu
- Bæreline 1*50 mm² Cu

5 Opphengsløsning som vist i figur 4, med sugetransformatorer og følgende dimensjoner:

- Kontakttråd 1*100 mm² Cu
- Bæreline 1*50 mm² Cu
- Returledning 2*240 mm² Al
- Forsterkningsledning FeAl nr. 150

6 Opphengsløsning som vist i figur 4, uten sugetransformatorer og følgende dimensjoner:

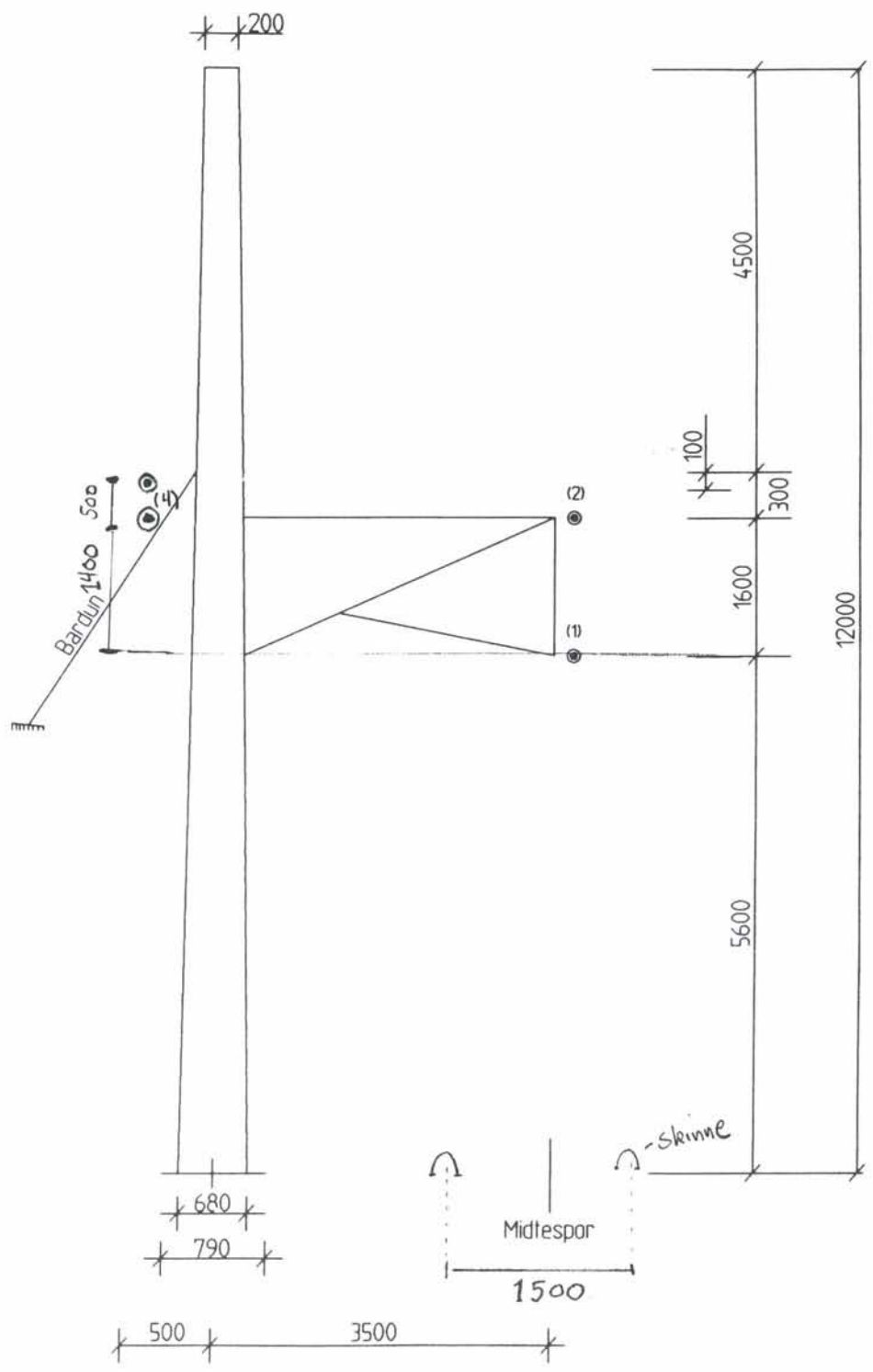
- Kontakttråd 1*120 mm² Cu
- Bæreline 1*70 mm² Cu
- Returledning 2*240 mm² Al
- Forsterkningsledning FeAl nr. 150

7 Opphengsløsning som vist i figur 5, med sugetransformatorer og følgende dimensjoner:

- Kontakttråd 1*100 mm² Cu
- Bæreline 1*50 mm² Cu
- Returledning 2*240 mm² Al
- Mateledning FeAl nr. 150
- Forsterkningsledning FeAl nr. 150

8 Opphengsløsning som vist i figur 5, med sugetransformatorer og følgende dimensjoner:

- Kontakttråd 1*100 mm² Cu
- Bæreline 1*50 mm² Cu
- Returledning 2*240 mm² Al
- Mateledning FeAl nr. 95
(Uten forsterkningsleder)

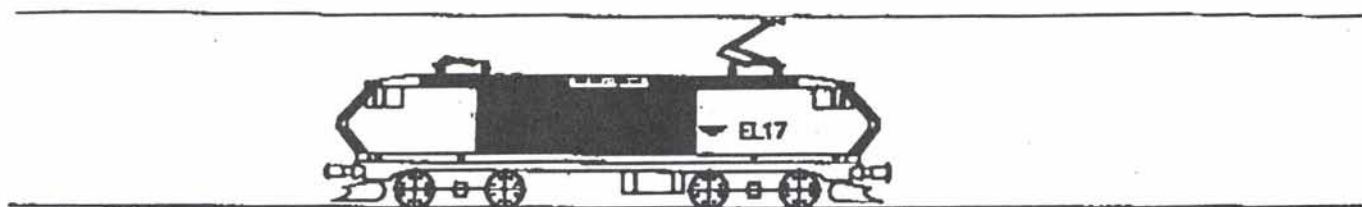


- 1) KONTAKTTRÅD
- 2) BÆRELINJE
- 3) RETURLEDNING

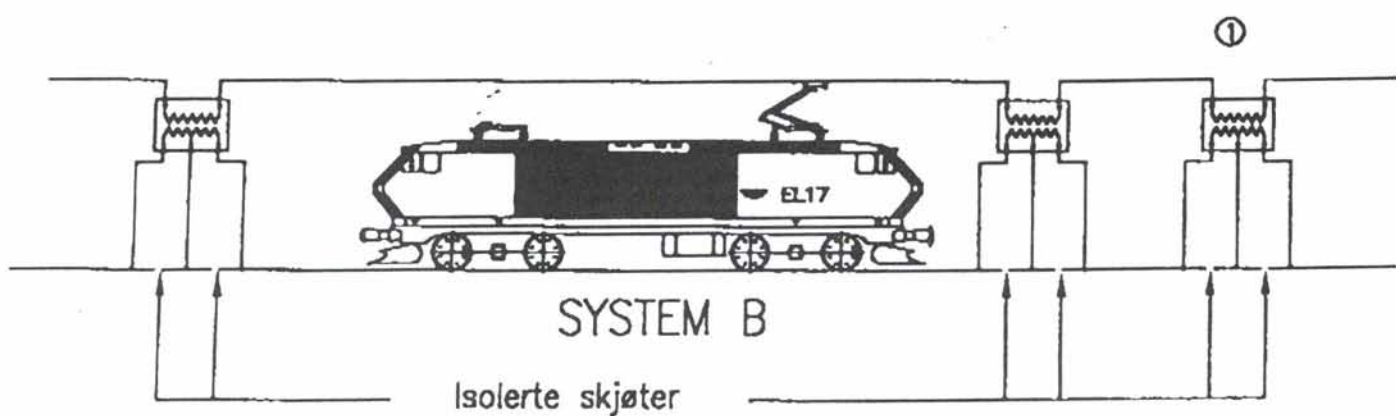
Mål er gitt i mm.

FIGUR 1

Figur 2

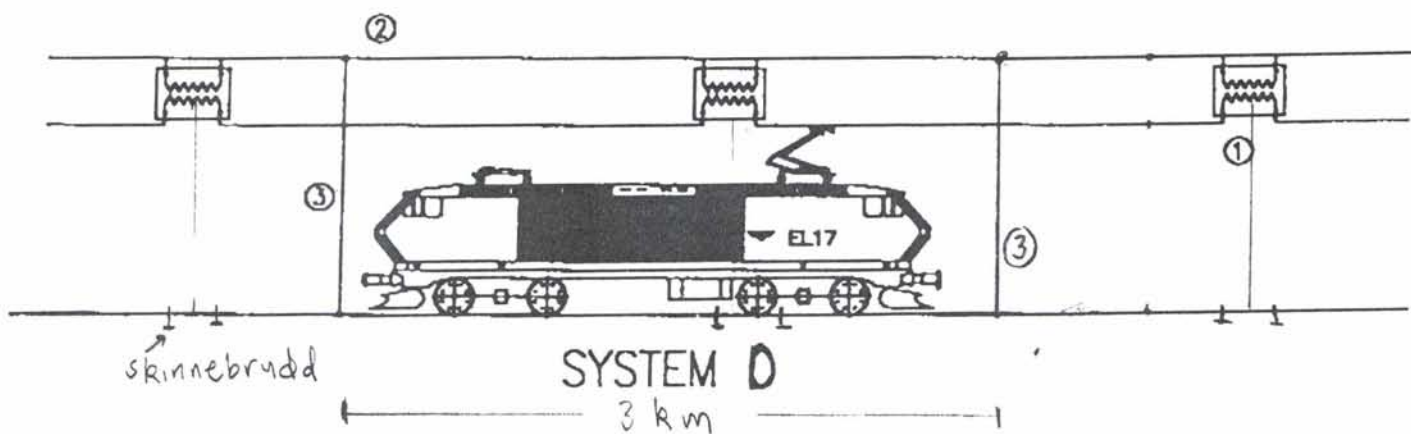


SYSTEM A



SYSTEM B

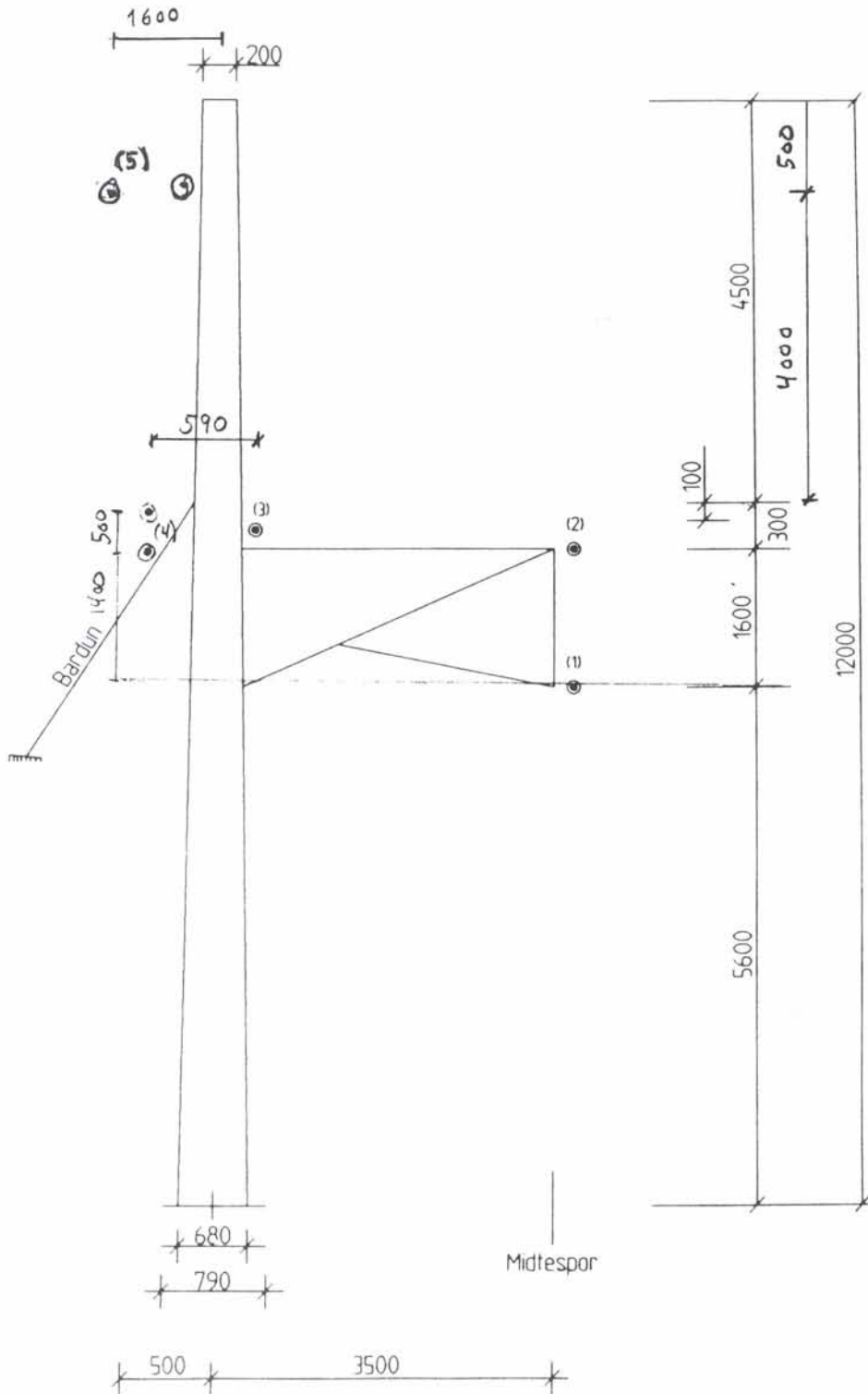
Isolerte skjøter



SYSTEM D

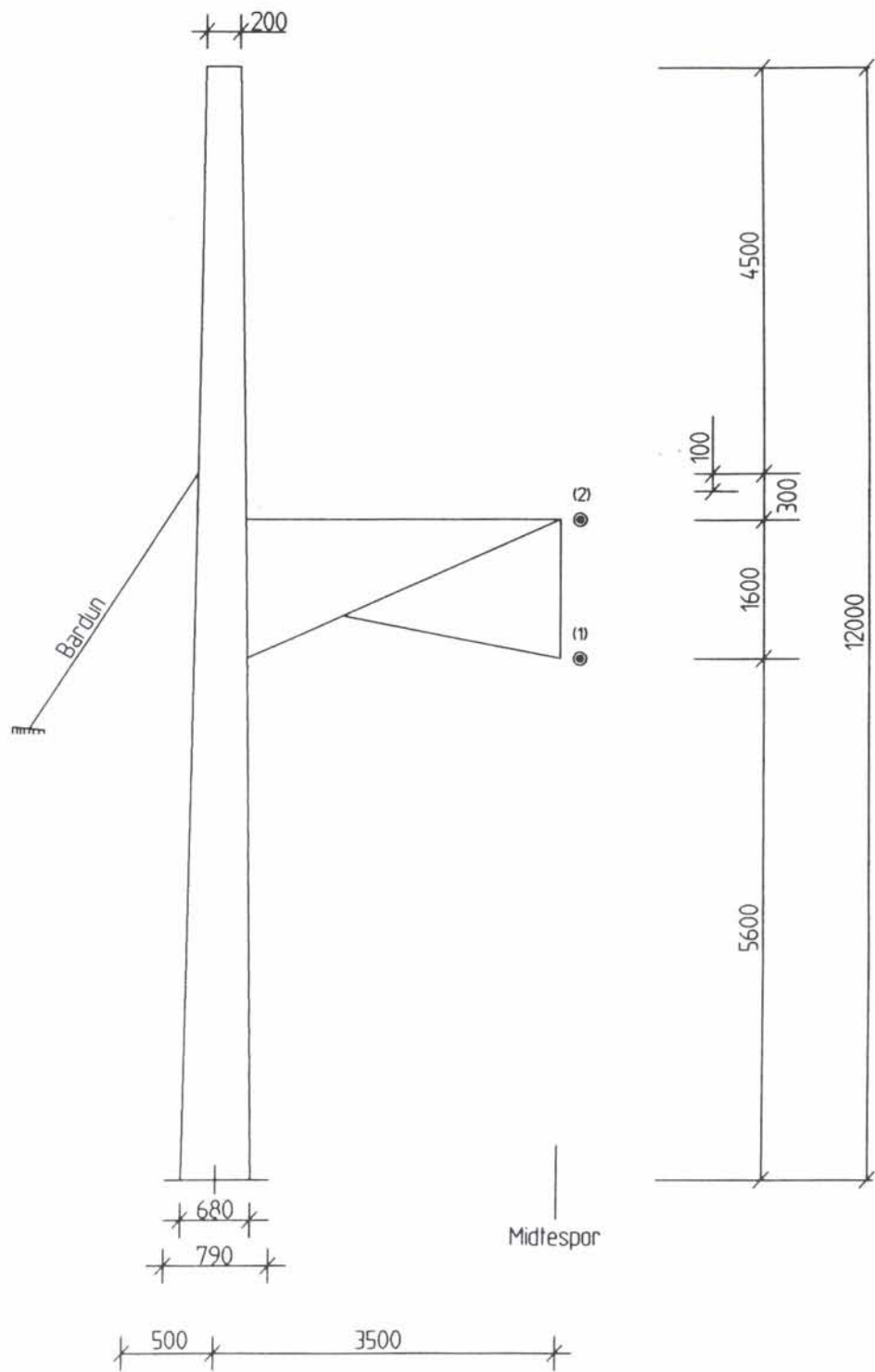
3 km

- ① Sugetransformator
- ② Returledning
- ③ Nedføringer
- ④ Kontaktledning



- 1) KONTAKTRÅD
- 2) BÆRELINJE
- 3) FORSTERKNINGSLEDNING
- 4) RETURLEDNING
- 5) MATELEDNING, 66 kV

FIGUR 5

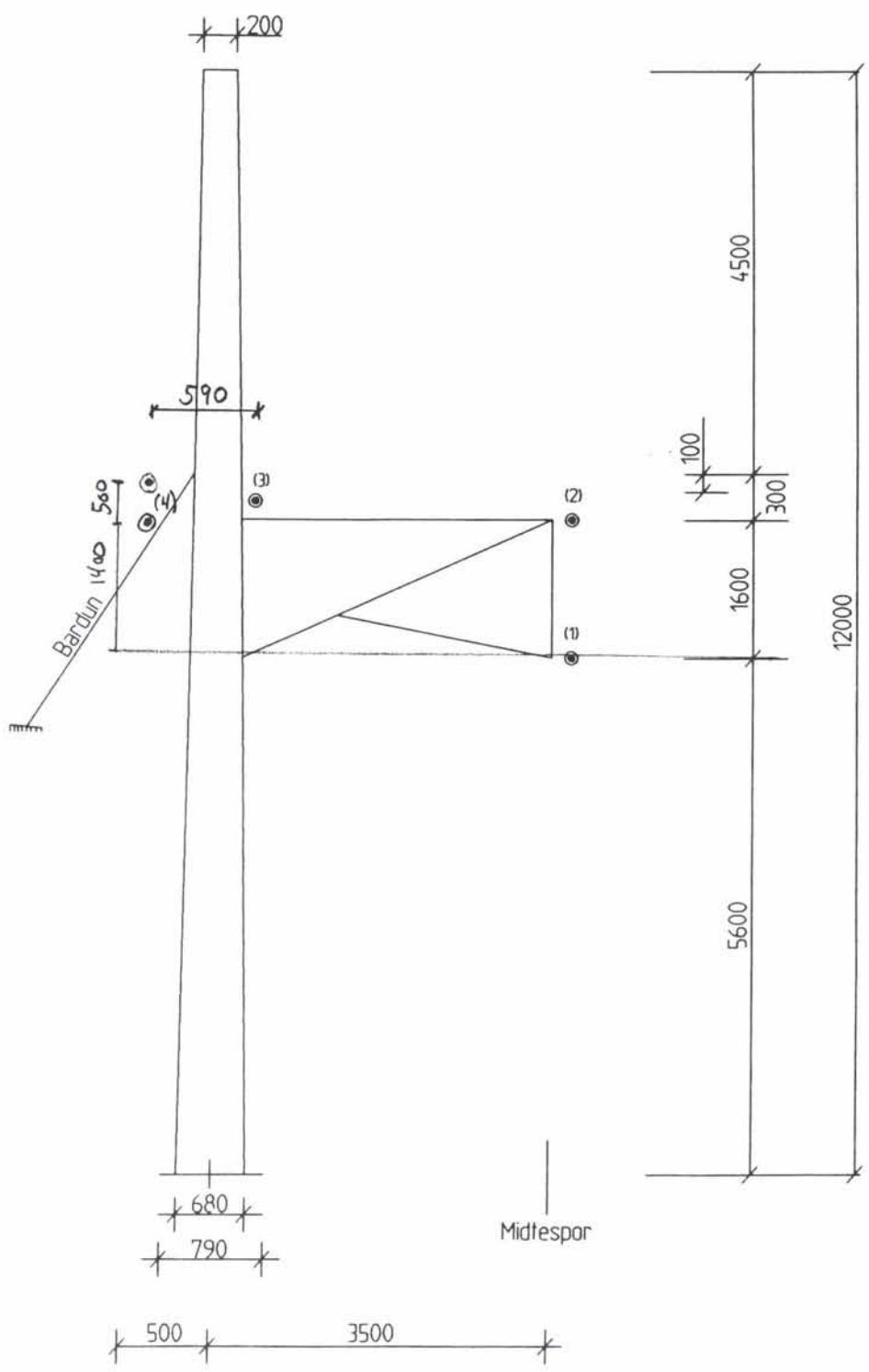


1) KONTAKTTRÅD

2) BÆRELINJE

Mål er gitt i mm

FIGUR 3



- 1) KONTAKTRÅD
- 2) BÆRELINJE
- 3) FORSTERKNINGSLEDNING
- 4) RETURLEDNING

Mål er gitt i mm

FIGUR 4

TELEFAX

TIL / TO

NSB Bane Ingeniørtjenesten

ATT.

Vidar Martiniussen

FAX NR. / FAX NO.

2236 7120

DATO / DATE

1994-11-03

FRA / FROM

Eirik Selvik

SIDER INKL. DENNE / PAGES INCL. THIS

6

PROSJEKT NR. / PROJECT NO.

200640.08

EL. ARKIVKODE / EL. FILE CODE

Innholdet i denne telefaxen er av formell art og vil bli bekreftet med brev.
As this fax is a formal document, its content will be confirmed by mail.

**Energiforsyningens
Forskningsinstitutt A/S**

**Norwegian Electric Power
Research Institute**

Address: N-7034 Trondheim,
NORWAY

Phone: +47 73 59 72 00

Fax: +47 73 59 72 50

+47 73 59 72 02 (Nardo)

Telex: 55 513 efi n

Foretaksnr./Enterprise no.:
939350675

BESKJED / MESSAGE

Vidar Martiniussen
NSB Banedivisjonen
Ingeniørtjenesten

Oversender korrigeret notat angående beregning av impedans som spesifisert i fax av 1994-10-10.
Beregningene er korrigeret mhp. konfigurasjon av returveier ved system D samt at frekvensen er riktig ved beregningene.

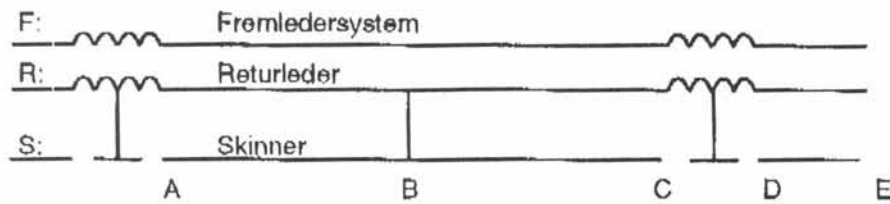
Vennlig hilsen

for Energiforsyningens Forskningsinstitutt A/S

Eirik Selvik

Energiforsyningens Forskningsinstitutt A/S Adresse: 7034 Trondheim Telefon: 73 59 72 00 Telefax: 73 59 72 50 Telex: 55 513 efi n Foretaksnr.: 939350875		NOTAT																																					
				GJELDER Beregning av impedans																																			
		GÅR TIL Per Bærø, NSB Banediv. Vidar Martiniussen, NSB Banediv.																																					
GRADERING	ANTALL SIDER																																						
Fortrolig	5																																						
ELEKTRONISK ARKIVKODE		FORFATTERE																																					
		Eirik Selvik																																					
PROSJEKTNR.	DATO																																						
200640.08	1994-11-03																																						
<p>Det er foretatt beregninger av impedanser for forskjellige konfigurasjoner av kjøreledning som spesifisert i fax av 1994-10-10.</p> <p>For beregningene er det lagt følgende forutsetninger til grunn:</p> <table border="0"> <tr> <td>Ledertemperatur:</td> <td>20°C</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Spes. motstand Cu:</td> <td>0,0178</td> <td>10⁻⁶ Ωm</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Spes. motstand Al:</td> <td>0,0278</td> <td>10⁻⁶ Ωm</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Spes. motstand Bronse:</td> <td>0,0277</td> <td>10⁻⁶ Ωm</td> <td>(for bæreline jfr. opplysninger pr telefon)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Spes. motstand skinner:</td> <td>0,2</td> <td>10⁻⁶ Ωm</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Frekvens:</td> <td>16^{2/3}</td> <td>Hz</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Spes. motstand jord:</td> <td>500</td> <td>Ωm</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p>For de konfigurasjoner hvor det ikke er benyttet sugetransformator, er retursystemet antatt å være parallellkoblet med jord. Det er ikke tatt hensyn til eventuelle overgangsmotstander til jord.</p> <p>I beregningene er skinnene ekvivalert med en sirkulær leder hvor ledergeometrien skal ivareta det indre feltet i skinnene (derigjennom den indre relative permeabilitet), mens selve togskinnens effektive lederareal er valgt satt til hhv. 1000 mm², 500 mm² og 100 mm². Utgangspunktet for geometrien er at den indre impedansen i skinnene skal bli lik oppgitt verdi fra NSB.</p> <p>Det presiseres at det indre feltet i togskinnene og derved bidraget til den totale impedanse er sterkt avhengig av hvilken strømstyrke som går i skinnene. Indre skinnereaktans er derfor avhengig av den aktuelle belastningen.</p> <p>Forsterkningsledningen er koblet i parallell med kjøreledning og bæreline.</p> <p>Beregninger er utført med vårt egenutviklede dataprogrammet STRFRD. STRFRD beregner strømfordeling, tap, og reaktanser på grunnlag av definerte strømpåtrykk.</p> <p>Strømfordelingen som er beregnet refereres til påtrykt strøm i kjøreledningssystemet, dvs laststrøm. På grunn av sirkulerende strømmen i parallellkoblede ledere kan den %-vise summen av strøm i parallell ledere overstige 100%.</p>					Ledertemperatur:	20°C				Spes. motstand Cu:	0,0178	10 ⁻⁶ Ωm			Spes. motstand Al:	0,0278	10 ⁻⁶ Ωm			Spes. motstand Bronse:	0,0277	10 ⁻⁶ Ωm	(for bæreline jfr. opplysninger pr telefon)		Spes. motstand skinner:	0,2	10 ⁻⁶ Ωm			Frekvens:	16 ^{2/3}	Hz			Spes. motstand jord:	500	Ωm		
Ledertemperatur:	20°C																																						
Spes. motstand Cu:	0,0178	10 ⁻⁶ Ωm																																					
Spes. motstand Al:	0,0278	10 ⁻⁶ Ωm																																					
Spes. motstand Bronse:	0,0277	10 ⁻⁶ Ωm	(for bæreline jfr. opplysninger pr telefon)																																				
Spes. motstand skinner:	0,2	10 ⁻⁶ Ωm																																					
Frekvens:	16 ^{2/3}	Hz																																					
Spes. motstand jord:	500	Ωm																																					

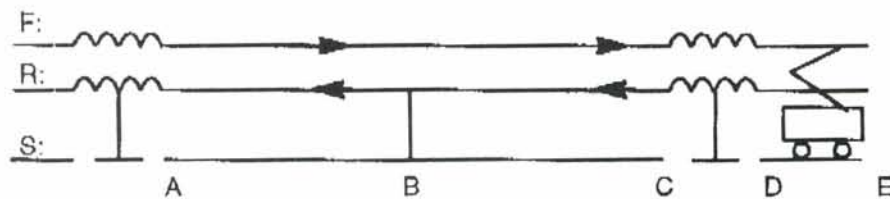
For alle konfigurasjoner med unntagelse av konfigurasjon nr. 4 vil returveisystemet være i hht system D (se figur 1).



Figur 1 – System D

Impedansen for fremføringsystemet (dvs uten sugetransformator) er sterkt avhengig av hvor et eventuelt lokomotiv befinner seg:

A: Toget befinner seg mellom D og E. Figur 2 indikerer strømveien for seksjonen A-C.



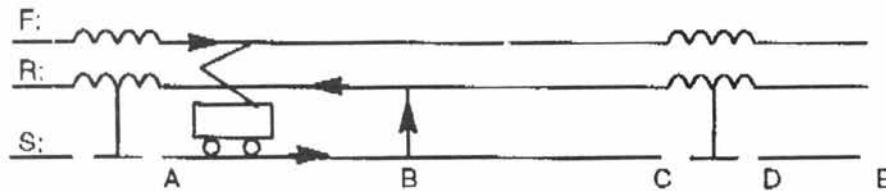
Figur 2 – System D,
Lokomotiv mellom D og E

For seksjonen A-C fås følgende impedanser:

Konfig. nr	Impedans [$10^{-3} \Omega \text{m}^{-1}$]	11 [%]	12 [%]	13 [%]	14 [%]
1	0,197 +j 0,186	73,5	28,0		
2	0,170 +j 0,181	69,4	32,2		
3	0,136 +j 0,150	69,5	32,1		58,7
5	0,115 +j 0,114	30,8	11,7	58,1	
6	0,080 +j 0,096	34,1	15,6	51,1	65,5
7	0,115 +j 0,115	30,9	11,7	58,0	
8	0,197 +j 0,187	73,5	28,0		

- B:** Toget befinner seg mellom A og B. For strekningen mellom A og lokomotivet vil forholdene bli som under pkt A;

Figur 3 indikerer strømveien i seksjonen tog-B. Som det fremgår av figur 3 så vil vi her ha et ledersystem bestående av skinnene som fremleder og returleder som returvei.



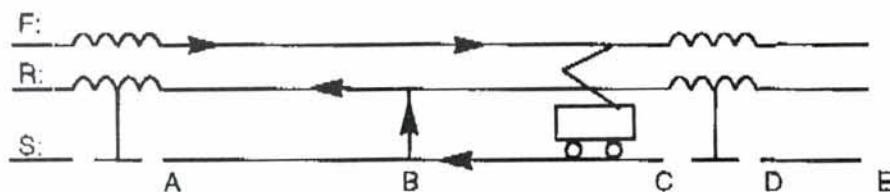
Figur 3 – System D,
Lokomotiv mellom A og B

For seksjonen tog-B fås følgende impedanser:

Konfig. nr	Impedans [$10^{-3} \Omega m^{-1}$]	Effektivt skinnetsvernsnitt [mm^2]
1,2,5	0,158 +j 0,208	1000
1,2,5	0,258 +j 0,208	500
1,2,5	1,058 +j 0,208	100
3,6	0,087 +j 0,169	1000
3,6	0,099 +j 0,185	500
3,6	0,084 +j 0,224	100
7	0,158 +j 0,208	1000
7	0,258 +j 0,208	500
7	1,058 +j 0,208	100
8	0,158 +j 0,208	1000
8	0,258 +j 0,208	500
8	1,058 +j 0,208	100

B: Toget befinner seg mellom B og C. For strekningen A-B vil forholdene bli som under pkt A;

Figur 4 indikerer strømveien i seksjonen B-tog. Som det fremgår av figur 4 så vil vi her ha et ledersystem bestående av fremledersystemet og skinnene som returvei.



Figur 4 – System D,
Lokomotiv mellom B og C

For seksjonen B-tog fås følgende impedanser:

Konfig. nr	Impedans [$10^{-3} \Omega m^{-1}$]	Effektivt skinnetsvernsnitt [mm^2]	I1 [%]	I2 [%]	I3 [%]
1	0,243 +j 0,202	1000	73,7	27,5	
1	0,385 +j 0,202	500	73,7	27,5	
1	1,138 +j 0,202	100	73,7	27,5	
2	0,211 +j 0,197	1000	69,8	31,5	
2	0,311 +j 0,197	500	69,8	31,5	
2	1,111 +j 0,197	100	69,8	31,5	
3	0,144 +j 0,165	1000	69,5	31,9	
3	0,156 +j 0,187	500	69,4	32,0	
3	0,144 +j 0,225	100	69,4	32,1	
5	0,161 +j 0,172	1000	37,9	13,6	50,7
5	0,261 +j 0,172	500	37,9	13,6	50,7
5	1,061 +j 0,172	100	37,9	13,6	50,7
6	0,085 +j 0,133	1000	37,6	16,8	47,2
6	0,096 +j 0,151	500	37,3	16,9	47,5
6	0,085 +j 0,191	100	37,0	16,9	47,7
7	0,161 +j 0,172	1000	38,0	13,6	50,7
7	0,261 +j 0,172	500	38,0	13,6	50,7
7	1,061 +j 0,172	100	38,0	13,6	50,7
8	0,239 +j 0,203	1000	73,7	27,5	
8	0,339 +j 0,203	500	73,7	27,5	
8	1,138 +j 0,203	100	73,7	27,5	

Konfigurasjon nr. 4 har et returveisystem i hht system B. For dette systemet vil impedansene pr lengdeenhet være uavhengig av lokomotivets posisjon på linjen. For denne konfigurasjonen vil en få følgende impedanser:

Konfig. nr	Impedans [$10^{-3} \Omega m^{-1}$]	Effektivt skinnnettverrsnitt [mm^2]	I1 [%]	I2 [%]
4	0,239 +j 0,202	1000	73,7	27,5
4	0,339 +j 0,202	500	73,7	27,5
4	1,139+j 0,202	100	73,7	27,5

I tabellene referer I1 – I4 seg til følgende:

- I1 - %-vis strøm i kontaktråd
- I2 - %-vis strøm i bæreline
- I3 - %-vis strøm i forsterkningsledning
- I4 - %-vis total strøm i returledning