

Simuleringsrapport
Strekningsvise utbyggsplaner - Sørlandsbanen
Banestrømforsyning med AT-system




SIMULERINGSRAPPORT

Strekningssvise utbyggingsplaner Sørlandsbanen

Strekningssvise utviklingsplaner skal ta for seg jernbanens hovedstrekninger i Norge og fremlegge helhetlige planer for utvikling av banestrømforsyningen. Kontaktledningsanlegg med AT-system forutsettes som fremtidig løsning og med dette systemet kan en ha færre, men større omformerstasjoner og samtidig øke transportarbeidet vesentlig i forhold til dagens. Med planlagt AT-system oppnåes dette med lavere kostnader, både for investering og drift. Denne rapporten tar for seg Sørlandsbanen fra Nordagutu til Stavanger.

Dimensjonerende ruteplan skal være en såkalt kapasitetsoptimal ruteplan der godstogene skal ha en lastvekt på 1200 tonn, men også tyngre godstog blir undersøkt for å undersøke marginene for økning. Det som har vært undersøkt i dette arbeidet er omformerstasjonenes plassering når det i utgangspunktet forutsettes ca 120 km mellom dem, tverrsnitt for negativ- og positivleder, samt spenning og strømbelasting i normal og unormale driftsituasjoner. Regelverket for prosjektering av banestrømforsyningen (JD 546) har vært grunnlaget for vurderinger og anbefalingene.

Det anbefales at AT-system bygges fra Neslandsvatn til Ganddal, med omformerstasjoner for fremtiden ved Herefoss, Leivoll, Kjelland og Ganddal. Ledertverrsnittet for negativ- og positivleder forutsettes å være 381 mm². Denne anbefalingen gir færrest mulig omformerstasjoner, samtidig som lokaltrafikken rundt Stavanger sikres høy redundans ved at unormale driftstilstander gir minst mulig ulemper for trafikken, samt at banestrømforsyningen dimensjoneres konservativt og med marginer for trafikkøkninger.

000	Endelig utgave	14.09.2007	FM	StOy	FJ	
Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Utarb. av	Kontr. av	Godkj. av	
Banestrømforsyning, AT-system Sørlandsbanen, Nordagutu - Ganddal Simulering og kapasitetsdimensjonering Strekningssvise utbyggingsplaner Simuleringsrapport		Ant. sider	Fritekst 1d			
		145	Fritekst 2d			
			Fritekst 3d			
			Produsent	Frank Martinsen (FM)		
		Prod. dok. nr.				
		Erstatning for				
Erstattet av						
 Jernbaneverket	Dokument nr.			Rev.		
	EB. 100645 - 000			000		

1	INNLEDNING	4
1.1	INNLEDNING	4
1.2	MÅLSETNING	4
1.3	FORUTSETNINGER	4
2	KRAV TIL BANESTRØMFORSYNINGEN	6
2.1	KRAV TIL SPENNING	6
2.2	SIMULERING AV AVVIKSSITUASJONER OG UNORMALE DRIFTSSITUASJONER	9
2.3	BELASTNING AV OMFORMERE	10
2.4	KONTAKTLEDNINGENS STRØMFØRINGSEVNE	12
2.5	NEGATIV- OG POSITIVLEDERES STRØMFØRINGSEVNE	13
2.6	BELASTNING AV AUTOTRANSFORMATORER	14
3	INNDATA FOR SIMULERINGENE	15
3.1	AVGRENSING AV SIMULERINGSOMRÅDE	15
3.2	MATENDE TREFASENETT	15
3.3	OMFORMERSTASJONER	16
3.4	SPENNINGREGULERING FOR OMFORMERE	17
3.5	AT-SYSTEM MED SEKSJONERT KONTAKTLEDNING	17
3.6	MODELLERING AV TOMGANGSTAP	19
3.7	BANEDATA	19
3.8	GRADIENTER OG KURVER (VERTIKAL OG HORISONTALKURVATUR)	20
3.9	HASTIGHETSPROFIL	20
3.10	LOK OG VOGNMATERIELL	20
3.11	TREKKRAFT SOM FUNKSJON AV SPENNING	21
3.12	SPENNINGSAVHENGIG UTSTYR I TOGENE	22
3.13	RUTEPLAN	22
4	SIMULERINGSRESULTATER	24
4.1	SIMULERING 1A MED KAPASITETSOPTIMAL RUTEPLAN OG ALTERNATIV A0	24
4.2	SIMULERING 2A MED KAPASITETSOPTIMAL RUTEPLAN OG ALTERNATIV A2	31
4.3	SIMULERING 3A MED KAPASITETSOPTIMAL RUTEPLAN OG ALTERNATIV A1	35
4.4	SIMULERING 4A MED KAPASITETSOPTIMAL RUTEPLAN OG ALTERNATIV A1B	40
4.5	SIMULERING 5A MED KAPASITETSOPTIMAL RUTEPLAN OG ALTERNATIV A3 OG SIMULERING 5AK MED TVERRSNITT 240 MM ² FOR NL OG PL	44
4.6	SIMULERING 5A MED EKSTRATOG INNSATT I KAPASITETSOPTIMAL RUTEPLAN ALTERNATIV A3 OG SIMULERING 5AK MED TVERRSNITT 240 MM ² FOR NL OG PL	52
4.7	SIMULERING 5A MED KAPASITETSOPTIMAL RUTEPLAN OG LASTVEKT 1600 TONN FOR GODSTOGENE	60
4.8	SIMULERING 5AA MED KAPASITETSOPTIMAL RUTEPLAN OG ALTERNATIV A3 MED STØRRE LEDERTVERRSNITT PÅ FJERNLEDNINGEN	64
4.9	SIMULERING 5AA MED KAPASITETSOPTIMAL RUTEPLAN OG ALTERNATIV A3 MED UTFALL AV KJELLAND OMFORMERSTASJON	67
4.10	SIMULERING 5AAA MED KAPASITETSOPTIMAL RUTEPLAN OG ALTERNATIV A3 MED UTFALL AV EN OMFORMERENHET I GANDDAL OG KJELLAND	69
4.11	SIMULERING 5AAAA MED KAPASITETSOPTIMAL RUTEPLAN OG ALTERNATIV A3 MED UTFALL AV LEIVOLL OMFORMERSTASJON OG SIMULERING 5AAAAK MED TVERRSNITT 240 MM ² FOR NL OG PL	72
4.12	SIMULERING 5AAAAAK MED KAPASITETSOPTIMAL RUTEPLAN OG ALTERNATIV A3 MED UTFALL AV LEIVOLL OMFORMERSTASJON OG FORØKNING AV YTELSEN I KJELLAND	79
4.13	SIMULERING 5AAAAAA MED KAPASITETSOPTIMAL RUTEPLAN OG ALTERNATIV A3 MED UTFALL AV FJERNLEDNINGEN MELLOM NORDAGUTU OG SKOLLENBORG	83
4.14	SIMULERING 5B OG 5BK MED RUTEPLAN R152.2 OG ALTERNATIV A3	85
4.15	SIMULERING 5BB OG 5BBK MED RUTEPLAN R152.2 OG ALTERNATIV A3 MED UTFALL AV KJELLAND OMFORMERSTASJON OG ENSIDIG MATING TIL SIRA	92
4.16	SIMULERING 6B MED RUTEPLAN R152.2 OG ALTERNATIV A4 MED KONVENJONELT KONTAKTLEDNINGSANLEGG OG NYE OMFORMERE PÅ NESLANDSVATN OG VATNESTRÅUM	98
5	OPPSUMMERING OG DISKUSJON	101

5.1	SPENNINGEN VED NORMAL DRIFT OG DIMENSJONERENDE RUTEPLAN (KAPASITETSOPTIMAL) MED 1200 TONN LASTVEKT	101
5.2	SPENNING FOR TOGENE MED ORDINÆR RUTEPLAN	103
5.3	SPENNINGEN VED TRAFIKK UT OVER DIMENSJONERENDE RUTEPLAN	104
5.4	SPENNINGEN VED UNORMAL DRIFT	105
5.5	BELASTNING FOR NL OG PL	108
5.6	BELASTING AV OMFORMERNE	108
5.7	VURDERINGER VEDRØRENDE SIMULERINGENE	109
6	KONKLUSJON	123
6.1	OMFORMERSTASJONENES PLASSERING OG BESTYKNING	123
6.2	TVERRSNITT FOR PL- OG NL OG SPENNING FOR TOGENE	123
7	APPENDIKS A	125
7.1	OPPTATT ENERGI FOR HVER OMFORMER FOR SIMULERING 5B	125
7.2	OPPTATT ENERGI FOR HVER OMFORMER FOR SIMULERING 5BK	126
8	APPENDIKS B - ANTATT TRAFIKKAPASITET FOR FORSKJELLIGE PARAMETERE FOR AT-SYSTEMET	129
9	APPENDIKS C – LASTFLYTT I TOMGANG UNDER FORSKJELLIGE FORHOLD	131
10	APPENDIKS D - STATISK OMFORMER VED HEREF OSS I STEDENFOR ROTERENDE.....	133
10.1	TEST AV OMFORMERENS EGENSKAPER VED ØKENDE LAST	133
10.2	SIMULERING 5AS MED KAPASITETSOPTIMAL RUTEPLAN OG STATISK OMFORMER VED HEREF OSS.....	136
10.3	SIMULERING 5AS MED KAPASITETSOPTIMAL RUTEPLAN OG STATISK OMFORMER VED HEREF OSS NÅR ET AGGREGAT FALLER UT	137
11	REFERANSER	141
12	VEDLEGG 1	142
13	VEDLEGG 2	144
14	VEDLEGG 3	145

Forsidefoto: Roy Olsen

1 INNLEDNING

1.1 Innledning

For strekningsvise utbyggingsplaner skal det lages simuleringsrapporter som viser anbefalte valg for utbygging av banestrømforsyningen på hovedstrekningene. Det er en forutsetning at AT-system skal vurderes og det er dette systemet som nå bygges i de øvrige jernbanenettene i Europa. Grunnen til dette er blant annet et nasjonalt mål for å få fremført mye større godsmengder med tog i fremtiden. Tyngre godstog krever større installert effekt i banestrømforsyningen, dessuten krever sameksistens med forskjellige andre typer togmateriell stabil spenning også for store effektuttak. Her kommer AT-systemets fordel inn med overføring på et høyere spenningsnivå og dermed ca 1/3 av impedansen i forhold til et konvensjonelt kl-anlegg. I tillegg til dette er banestrømforsyningsanleggene av en slik alder at nye store fornyelser og utbygginger må gjøres. AT-systemet viser da en annen fordel ved at færre omformerstasjoner enn med konvensjonelt kontaktledningssystem trengs. For jernbanen som helhet vil et system med færre og større omformerstasjoner være å foretrekke, spesielt fordi mange av stasjonene nå er gamle og store reinvesteringer må komme. Se for øvrig Bane Energi sin rapport "Fremtidig banestrømforsyning" [1].

1.2 Målsetning

I denne simuleringsrapporten skal flere aktuelle parametere for banestrømforsyning med AT-system vurderes spesielt for Sørlandsbanen, dette gjelder omformerstørrelse, lengde av matestrekningene, plassering av omformerstasjoner sett i sammenheng med en dimensjonerende ruteplan. For den dimensjonerende ruteplanen skal marginer for ytreligere lastøkninger også vurderes. Flere av disse tingene er undersøkt og anbefalinger gitt i tidligere arbeid, se [1], men her er det spesifikke vurderinger for Sørlandsbanen som skal fremkomme for å bekrefte om generelle vurderinger stemmer for denne banen. Spesielt er det omformerstasjonenes plassering som er av stor interesse å få avklart. Dermed kan en få klarhet i hvilke av dagens omformerstasjoner som skal beholdes og opprustes, og hvilke som kan stenges og hvor eventuelt nye må bygges etter hvert som AT-system bygges ut.

1.3 Forutsetninger

Det forutsettes at dimensjonerende ruteplan skal være en såkalt kapasitetsoptimal ruteplan der maksimalt antall godstog går i begge retninger mellom begynnelsesstasjonene. Ruteplanen er konstruert med Skollenborg og Ganddal som start- og endepunkt for godstogene, men godstogene er forlenget til å gå fra Drammen. Minst 1200 tonn skal være mål for godstogenes lastvekt, men simuleringer med enda større lastvekt og enda tettere togtrafikk skal også undersøkes. For å fremføre godstog med denne lastvekten forutsettes det her at moderne fireakslede lokomotiver med kraftelektronisk motordrift blir valgt som fremtidens standardlokomotiv. Det forutsettes også at disse må gå i multippel for å trekke disse tunge godstogene. En annen forutsetning er at alle godstog har samme lastvekt, rullefriksjon og luftmotstand. Vedrørende disse forutsetningene se vedlegg 1.

Forskjellige stoppmønstre fra en ruteplan til en annen, friksjon for skinnene avhengig av været, forsinkelser, personlig kjørsstil for lokomotivfører, samt en rekke andre faktorer som forandres seg fra med årstiden og endog fra dag til dag kan få innvirkning på spenningen og effektuttak. Disse forholdene er ikke undersøkt verken generelt eller spesielt i dette arbeidet, men en får ha som en forutsetning at en for de fleste av disse parametrene holder seg til den

øvre delene av de normalt forekommende verdier. En forutsetter med andre ord at en beregner konservativt og banestrømforsyningen vil bli dimensjonert enten med gode marginer eller med muligheter for fremtidige utvidelser. Kapasitetsoptimal ruteplan forutsetter dagens hastighetsskilting og kurvatur, men at noen nye krysningssteder kommer i tillegg til dagens, se vedlegg 2. Dette gjelder Kvarehei og Høye som i dag er blokkposter.

Når det gjelder avstand mellom omformerstasjoner og dimensjonering for øvrig er det flere forutsetninger som gjøres. For det første forutsettes det at en i størst mulig grad skal benytte seg av allerede eksisterende omformerstasjoner (eller lokasjoner, tilknytningssteder til trefasenettet). En annen viktig forutsetning er at 120 km mellom omformerstasjonene er akseptabel avstand ut fra vurderinger angående spenning og hensiktsmessig ledertverrsnitt, samt redundans krav, [3]. Hensiktsmessig ledertverrsnitt er satt til enten 381 mm², men ut fra vurderinger angående montasjearbeid og øvrig utstyr (klemmer, befestigelse mm) er også 240 mm² vurdert. Videre er det forutsatt at en omformerstasjon ved enden av banestrekningen er en forutsetning for sikker trafikkavvikling, dermed må Ganddal omformerstasjon inkluderes i alle alternativer. Vedlegg 3 viser møtereferat vedrørende valg av ruteplan og mål for arbeid med dimensjonering av banestrømforsyningen.

Ved undersøkelse av spenning, strømmer og effekt er det ofte størrelsens påvirkning over tid som er interessant for dimensjonering av komponenter eller for vurdering av en lav spennings innvirkning på togfremføringen. Det har blitt praksis å vurdere effekter (aktiv-, reaktiv- eller syneffekt) ved å etterbehandle den simulerte verden av for eksempel omformereffekt ved å beregne MEAN verdier for forskjellige tidsperioder:

$$S_{MEAN} = \frac{1}{T} \int_{T_0}^{T_0+T} S dt$$

For strømmer og spenninger blir tidsverdier undersøkt med RMS (Rout Mean Squer) verdier:

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{T_0}^{T_0+T} I^2 dt}$$

2 KRAV TIL BANESTRØMFORSYNINGEN

Simuleringene skal påvise at visse kvalitetskriterier overholdes. For eksisterende og nye anlegg er det forskjellige kriterier med hensyn på laveste spenning, se avsnittet nedenfor. I tillegg må ikke matestasjoner, kontaktledning, sugetransformatorer, filterimpedanser, etc. overbelastes.

2.1 Krav til spenning

For at banestrømforsyningen ikke skal være til hinder for fremføringen av en gitt togtrafikk stilles det krav til spenningen. Det er flere forskjellige normer som gjelder og her gjengies normen EN 50163 som omtaler krav til spenning på togets strømtaker. EN 50163 stiller følgende:

- Varigheten av spenning mellom $U_{\min1}$ og $U_{\min2}$ skal ikke overstige 2 minutter.
- Varigheten av spenning mellom $U_{\max1}$ og $U_{\max2}$ skal ikke overstige 5 minutter.
- Spenningen på matestasjonens samleskinne skal være mindre eller lik $U_{\max1}$.
- I normal drift skal spenningen ligge mellom $U_{\min1}$ og $U_{\max1}$.
- Under unormal drift skal ikke spenning mellom $U_{\min1}$ og $U_{\min2}$ forårsake skader eller feil
- Dersom spenningen kommer opp mellom $U_{\max1}$ og $U_{\max2}$, skal den være mindre enn eller lik $U_{\max1}$ for et uspesifisert tidsprom. Spenning mellom $U_{\max1}$ og $U_{\max2}$, skal bare forekomme under midlertidige betingelser som ved regenerativ bremsing eller speningsregulering som for eksempel ved trinnkopling på transformatorer.
- Under unormal drift er $U_{\min2}$ den laveste spenning som rullende materiell er bygd for å operere under.

De ulike spenningsnivåene er gitt i tabell 2-1. Normal drift er definert som trafikk med rutetabell, togsammensetning/-vekt og trekkraftmateriell som er lagt til grunn for dimensjonering av banestrømforsyningen og at banestrømforsyningens komponenter belastes i henhold til respektive standarder for belastning.

Tabell 2-1: Spenningsnivåer i normer

Betegnelse	Spenning	Beskrivelse
$U_{\min2}$	11 000 V	Minimal midlertidig spenning
$U_{\min1}$	12 000 V	Minimal permanent spenning
U_n	15 000 V	Nominell spenning
$U_{\max1}$	17 250 V	Maksimal permanent spenning
$U_{\max2}$	18 000 V	Maksimal midlertidig spenning

Dette er i [3] drøftet normenes krav til spenning og hvorledes disse tingene skal fortolkes. Uansett er det for dimensjonering av banestrømforsyningen vedtatt følgende regler for prosjektering i JD 546, og her er hele kapitlet om krav til spenning gjengitt:

Generelle Krav til Energiforsyningen

For tog fremført med elektrisk trekraftmateriell er den elektriske energiforsyningens kvalitet viktig for å kunne holde ruteplanen. Med den elektriske energiforsyningen menes både banestrømforsyningsanlegg og kontaktledningsanlegg for levering av elektrisk energi helt fram til togets strømtaker.

Med *normal trafikk* menes:

- Trafikk i henhold til den til enhver tid gjeldende ruteplan, inklusive ekstratog kjørt innenfor rammene av restkapasitet, og de til enhver tid gjeldende ruteplanforutsetninger for vurderinger i forhold til vedlikeholdsregelverket
- Fremtidig trafikkprognose (se avsnitt 2.6) for vurderinger i forhold til prosjekteringsregelverket

Begrepet trafikk omfatter både ruteplan, togsammensetning/trekraft og togvekt.

Med *normal infrastruktur* menes:

- Drift av og forhold ved infrastrukturen som lagt til grunn under prosjektering av opprinnelig anlegg, det gjelder både
 - koblingsbilde i overføringsnett,
 - tilgjengelig og installert ytelse i matestasjoner,
 - samkjøring av matestasjoner samt
 - bruk av andre banestrømforsyningsanlegg (kondensatorbatterier etc).

Med overføringsnett menes kontaktledning, mateledning, fjernledning og AT-ledninger.

Overordnet krav

- a) Kvaliteten på den elektriske energiforsyningen skal ved *normal infrastruktur* ikke være en begrensning for *normal trafikk*.
- b) *Normal infrastruktur* skal utvikles slik at kvaliteten på den elektriske energiforsyningen ikke blir begrensende for *normal trafikk*.
- c) Kvaliteten på den elektriske energiforsyningen skal tilpasses de andre infrastrukturelementene slik at infrastrukturen, samlet sett, blir mest mulig optimal på kort og lang sikt sett i forhold til både drift-, vedlikeholds- og investeringskostnader samt kapasitet og tilgjengelighet for togframføring.

Spenningskrav

- a) Spenningen på togs strømtaker skal ikke underskride verdiene gitt i tabell 5.1.
 1. Dersom den vurderte trafikken ikke inkluderer endringene angitt i avsnitt 0 punkt a)3.1 og b)3.1 er bør-kravene i tabellen å oppfatte som skal-krav.
 2. Vurdering av spenning:
 - 2.1. Med kortvarig spenning menes laveste effektivverdi av spenning som måles på togs strømtaker. Ett sekund er godkjent samplingsintervall.
 - 2.2. Med langvarig spenning menes gjennomsnitt av effektivverdi av spenning over en periode av 2 minutter som måles på togs strømtaker.
 - 2.3. Med gjennomsnittlig spenning menes $U_{\text{mean useful}}$ for tog (train) og område (zone) som definert i EN 50388.

Tabell 5.1 Krav til spenning. Alle tall i kV.

	Type krav	Kortvarig	Langvarig	Gjennomsnitt
Normalt krav	Vedlikehold	Skal $\geq 12,0$ Bør $\geq 12,5$	Bør $\geq 13,5$	Skal $\geq 13,5$
	Prosjektering	Skal $\geq 13,0$	Skal $\geq 14,0$	Skal $\geq 14,0$
Redusert krav	Vedlikehold	Skal $\geq 11,0$	Skal $\geq 12,0$	Skal $\geq 13,5$
	Prosjektering	Skal $\geq 12,0$	Skal $\geq 12,0$	Skal $\geq 13,5$

Krav til behandling av driftsituasjoner (redundanskrav):

- a) Det stilles *normalt krav* til spenning i *normale driftsituasjoner* og i *normale driftsituasjoner med endringer som ofte kan forventes*.
- Den elektriske energiforsyningen skal ikke medføre forstyrrelser, forsinkelser og begrensninger for togtrafikken.
 - Med *normal driftsituasjon* menes:
 - Normal trafikk
 - Normal infrastruktur
 - Vedlikehold hvor *normal infrastruktur* kan opprettholdes
 - Med *normale driftsituasjoner med endringer som ofte kan forventes* menes for eksempel:
 - Trafikk:
 - Forsinkelser i togtrafikken som en normalt kan forvente.
 - Enkelttilfeller av bytte av trekraft.
 - Enkelttilfeller av ekstra vogner i persontog.
 - Enkelttilfeller av øket lastvekt for godstog dersom operativ ruteplanlegger tillater dette.
 - Ekstratog på baner med baneprioritet 1, 2 og 3.
 - Infrastruktur:
 - Uforutsett utfall/stans av en mateenhet i en matestasjon i Oslo-området. Med Oslo-området menes banestrekningene med baneprioritet 1 i og rundt Oslo.
- b) Det stilles *reduisert krav* til spenning i *avvikssituasjoner*.
- Forsinkelser og begrensninger i togtrafikken bør unngås ved vurderinger i forhold til vedlikeholdsregelverket
 - Forsinkelser og begrensninger i togtrafikken skal unngås ved vurderinger i forhold til prosjekteringsregelverket
 - Med *avvikssituasjoner* menes for eksempel:
 - Trafikk:
 - Ekstratog på baner med baneprioritet 4 og 5.
 - Infrastruktur:
 - Feil i matestasjon hvor matestasjonen ikke kontinuerlig kan mate ut 100 % av stasjonens installerte ytelse fordelt på alle utgående linjeavganger.
 - Samtidig utfall/stans av en mateenhet i to forskjellige matestasjoner i Oslo-området.
 - Vedlikehold:
 - Planlagt vedlikehold av overføringsnett eller andre seriekomponenter (kondensatorbatteri etc.) som ikke hindrer togframføringen fysisk.
 - Planlagt vedlikehold av matestasjoner hvor matestasjonen ikke kontinuerlig kan mate ut etterspurt effekt fordelt på alle utgående linjeavganger.
 - Kravene vedrørende planlagt vedlikehold anses også som oppfylt dersom vedlikeholdet kan legges til perioder med liten trafikk slik at *normalt krav* til spenning kan opprettholdes for de togene som på det tidspunktet er i trafikk.
- c) Det stilles redusert krav til spenning i unormale driftsituasjoner.

1. Forsinkelser og begrensninger i togtrafikken bør begrenses/redueres ved vurderinger i forhold til vedlikeholdsregelverket
 2. Forsinkelser og begrensninger i togtrafikken skal begrenses/redueres ved vurderinger i forhold til prosjekteringsregelverket
 3. Med *unormale driftssituasjoner* menes for eksempel:
 - 3.1. Trafikk:
 - 3.1.1. Oppløsning etter masseforsinkelse i henhold til gjeldende rutiner
 - 3.2. Infrastruktur:
 - 3.2.1. Alvorlig feil i matestasjon hvor matestasjonen ikke kontinuerlig kan mate ut 50 % av stasjonens installerte ytelse fordelt på alle utgående linjeavganger.
 - 3.2.2. Utfall av energiforsyning til en matestasjon
 - 3.2.3. Brudd i samkjøringen, både planlagt og uforutsett, mellom matestasjoner som følge av brudd i samkjøringen i trefasenettet.
 - 3.2.4. Uforutsett brudd på samkjøringen eller elektrisk øydannelse på grunn av brudd i overføringsnett og andre seriekomponenter (kondensatorbatteri etc.) som ikke fysisk hindrer togframføringen på de(n) elektriske øyen(e).
Med elektrisk øydannelse menes seksjonering av overføringsnett som fører til at banestrekninger eller deler av banestrekninger isoleres elektrisk fra samkjøringen med resten av nettet.
 - 3.3. Vedlikehold av infrastruktur:
 - 3.3.1. Større vedlikehold av matestasjoner hvor begrensning i ytelsen er nødvendig, for eksempel bytte av roterende aggregater.
 4. Begrensning/reduksjon av forsinkelser og begrensninger i togtrafikken som følge av lav spenning på togs strømtakere kan for eksempel være:
 - 4.1. Strategiske, taktiske og/eller operative disponeringer i trafikken.
 - 4.2. Optimalisering av seksjoneringsmuligheter.
 - 4.3. Etablering av flere mulige matingsveier.
 - 4.4. Planlegging av vedlikehold.
- d) Det stilles ikke krav til spenningen i berørt(e) seksjon(er) i *situasjoner der togtrafikk ikke er mulig*.
1. Energiforsyningens nedetid i *situasjoner der togtrafikk ikke er mulig* skal reduseres mest mulig
 2. Med *situasjoner der togtrafikk ikke er mulig* menes for eksempel:
 - 2.1. Trafikk:
 - 2.1.1. Stående feil/kortslutning i rullende materiell.
 - 2.2. Infrastruktur:
 - 2.2.1. Regionalt kraftsystemutfall med manglende energiforsyning til to eller flere nærliggende matestasjoner.
 - 2.2.2. Brudd i samkjøringen, både planlagt og uforutsett, i overføringsnett som fysisk hindrer togframføringen.
 - 2.2.3. Utløst utløsning av nødfrakobling
 - 2.3. Vedlikehold:
 - 2.3.1. Annet vedlikehold (ikke energiforsyningen) som hindrer fysisk togframføringen.

2.2 Simulering av avvikssituasjoner og unormale driftssituasjoner

Mange av situasjonene beskrevet som "avvikssituasjoner" og "unormale driftssituasjoner" er ikke enkle å etterligne i simuleringer uten at det blir svært mye arbeid med for eksempel å omarbeide innleste ruteplaner. Noen av de simuleringene som kan vurderes å simuleres og som sannsynligvis ville gitt større eller mindre avvik fra normalsituasjonen er:

- Mindre forsinkelser.

- Bytte av trekraft, flere vogner, økt lastvekt, ekstratog etc.
- Feil i matestasjon slik at denne ikke kan mate ut kontinuerlig 100 % av sin installerte ytelse. Dette kan gjøres i simuleringen ved å stoppe en omformerenhet i en stasjon.
- Alvorlig feil i matestasjon der den ikke kontinuerlig kan mate ut 50 % av installert ytelse. Også dette simuleres med å koble ut en omformerenhet.
- Planlagt vedlikehold av overføringsnettet som ikke hindrer togtrafikken fysisk. Simuleres ved å bryte forbindelsen mellom to omformere en kortere tid.
- Utfall av energiforsyningen til en hel omformerstasjon. Simuleres med utfall av trefaselinjen til stasjonen.
- Uforutsett brudd på samkjøringen eller elektrisk øydannelse på grunn av brudd i seriekomponenter som ikke fysisk hindrer togfremføringen på den elektriske øyen. Simuleres ved å koble ut forbindelsen mellom to omformerstasjoner i kortere eller lengre tid.

Tilfellene er forsøkt sortert i stigende alvorlighetsgrad. De første tilfellene er "avvikssituasjoner" og er ikke så alvorlige som "avvikende driftstilstand". Tilfeller med forsinkelser kunne vært interessant å simulere for å finne hva en kan forvente av laveste spenning i normal drift, men mange tilfeller burde da vært undersøkt og arbeidet ville blitt meget omfattende uten at en ville sett særlig store spenningsfall. En får anta at om spenningen for dimensjonerende ruteplan og normal driftstilstand er god (sjeldent/kortvarig under nominell spenning) vil banestrømforsyningen være så robust at små forsinkelser og avvik ikke skaper særlig mye annerledes situasjoner som drar spenningen ytterligere ned.

De mest alvorlige feiltilfellene vil kunne simuleres ved å koble ut trefaseforsyningen til en omformer med lang matestrekning, koble fra utmatningen i en retning fra en omformerstasjon slik at nabostasjonen får ensidig mating, eller utkobling slik at det oppstår elektrisk øy (øydannelse). Å koble ut omformeren på enden av banestrekningen vil nok være noe av det verste på grunn av stor lokaltrafikk i Stavangerområdet. En ikke fullt så alvorlig feil kunne vært reduksjon ned til 50 % av installert ytelse i en stasjon.

De øvrige feilene regnes på langt nær å være så alvorlige, eller de er ikke så vanskelige å oppfylle dimensjoneringskravene for. Utfall av trefaseforsyningen til en omformer er ikke særlig sannsynlig å inntreffe, men derimot elektrisk øydannelse på grunn av utfall (feil) av NL og PL nært en omformer kan antas å oppstå oftere (årlig eller med noen års mellomrom).

2.3 Belastning av omformere

Tabell 2-2 nedenfor viser den tillatte belastningsgraden for roterende omformeraggregater. Av hensyn til redundans i strømforsyningen og nødvendig ytelse er det i de fleste omformerstasjoner installert to eller flere aggregater.

Tabell 2-2 Belastning av roterende omformeraggregater

Aggregat Type [MVA]	Maks 6 min belastning [MVA]	Maks time belastning [MVA]	Maks 2sek belastning [A]
3,1	4,8	3,1	450
5,8	8	5,8	625
7,0	11	7,0	825
10,0	14	10	1180

Definisjonen av disse verdiene er som følger:

- Timebelastningen er aggregatenes nominelle ytelse (kontinuerlig belastning). Maksimal tillatte temperatur oppnåes for aggregatet.
- Maksimal 6 minutters belastning defineres som aggregatenes/stasjonenes termiske over-belastbarhet. Denne verdien stiller for de roterende aggregatene krav til at belastningen forut for maksimalbelastningen har vært under grunnlasten som er halve 6 minutters verdien. Om dette er oppfylt vil maksimalt tillatte temperatur oppnåes, som om aggregatet var belastet med nominell effekt i en time.
- Maksimal 2 sekunders verdi er aggregatenes maksimale strømbelastbarhet. Denne grensen er satt etter starttrinnet for generatorens overstrømsvern. Dersom denne grenseverdien overskrides vil det kunne føre til at overstrømsvernet kobler ut stasjonen. 2 sekundsverdien er kun benyttet for roterende aggregater siden de statiske aggregatene har en elektronisk strømgrense slik at de ikke overbelastes og heller ikke kobles ut dersom strømgrensen overskrides.

Aggregatene vil selvsagt belastes med stadig varierende verdier. Innenfor for eksempel maksimal 6 minutters verdi kan derfor belastningen tillates å overskride fastsatt verdi, hvis belastningen senere innenfor denne perioden er tilsvarende mye under. Således er det gjennomsnittsbeklastningen innenfor den aktuelle tidsperioden som er av betydning. Det samme gjelder for times- og 2 sekunders belastning.

Maksimal verdiene er beregnet i ORIGIN ved at belastningen (i MVA eller kA) er integrert over den aktuelle tidsperioden, integralet får enheten MVAs eller kAs. Dette divideres deretter med aktuelle tidsperiode (1 time, 6 minutter eller 2 sekunder). Verdien en da får vil være ekvivalent med en kontinuerlig belastning over den aktuelle tidsperioden. Samme fremgangsmåte benyttes også for å beregne belastningen på kontaktledningen og andre komponenter.

Når det skal dimensjoneres anlegg for banestrømforsyning sier regelverket (JD 546) at det skal legges til noen marginer. Det bør være en margin for overbelastning på 5 % og det skal være en margin for tillatte endringer i trafikken (forsinkelser i trafikken, bytte av trekraft, ekstra vogner etc.) som kan forventes å forekomme på 10 %. Endelig skal det for normale og unormale driftsituasjoner tillegges minst 20 % margin for å ta høyde for fremtidig trafikkøkning utover trafikkprognosen. Med disse skal- og bør-kravene er Tabell 2-3 satt opp for å gi oversikt. En skal i simuleringene undersøke at belastningen ikke kommer over "skal kravet" markert med uthevning i tabellene nedenfor.

Men dette er mer komplisert enn som så, fordi en planlegger to eller flere roterende eller statiske omformere i hver stasjon og det gjelder spesielt redundanskrav for disse. Redundanskravet sier at om et aggregat faller ut skal det/de gjenværende ikke overbelastes. Dermed kan en sette opp en tomelfinger regel om at stasjoner med to roterende omformere i en stasjon må de aldri belastes mer enn tilsammen 50-60 % av sin nominelle ytelse. For stasjoner med tre omformere ikke større belastning enn 66 – 76 % og for fire 75 – 85 %. Prosenttallene er satt opp for et intervall fordi nabostasjoner vil ta opp en del av mer av belastningen ved utfall. For statiske omformere gjelder omentrent samme regel.

Stasjoner med fire roterende omformer på 5,8 MVA skal altså ikke belastes mer enn $4 \times 0,75 \times 5,8 = 17,4$ MVA for timesverdi og $4 \times 0,75 \times 8,0 = 24$ MVA for 6 minutters verdi. Med 30

% "skalkrav" som skal tilfredsstilles også ved utfall av et aggregat finner en at belastningen ikke må overskride henholdsvis 13,4 og 18,5 MVA for times og 6 minutters belastning. Si at en har tre omformere på 5,8 MVA, da blir kravet til marginer $3 \times 0,66 \times 5,8 = 11,5$ MVA for timesverdi og $3 \times 0,66 \times 8 = 15,8$ MVA for 6 minutters verdi. Med 30 % "skalkrav" finner en 8,8 og 12,2 MVA for henholdsvis times og 6 minutters belastning.

For bestykning av omformerstasjoner kan det synes noe i overkant å si at det skal være så store marginer når en skal planlegge fremtidig kapasitet, tross alt kan omformerstasjonene bygges ut senere. Ser en på de to marginene som ikke skyldes trafikkvekst (5 + 10 % margin) og antar at de ikke vil oppstå samtidig med utfall av omformere skulle redundanskravet alene være tilstrekkelig. Mulig at en bør planlegge for å ha mulighetene til å utvide en stasjon med ett nytt aggregat uten for store kostnader, men ytterligere trafikkvekst over det som simuleres her vil nok skje langt frem i tiden.

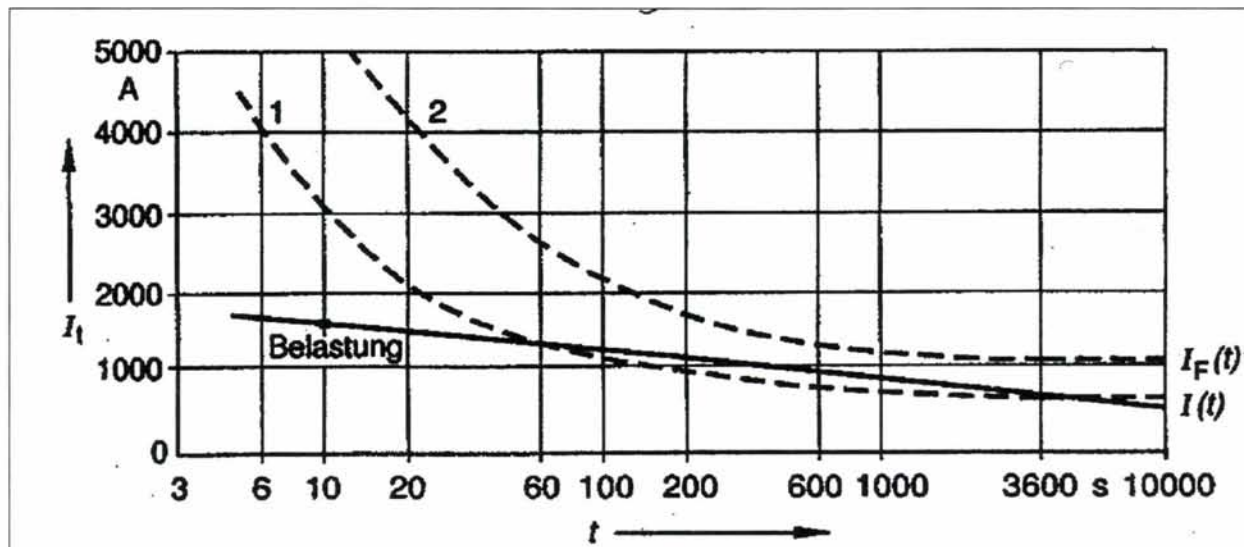
Tabell 2-3 Belastning av roterende omformeraggregater når "skal" og "bør" verdier for marginer til fremtidig trafikkveksts tillegges.

Aggregat Type [MVA]	Maks 6 min belastning [MVA]	Maks time belastning [MVA]	Maks 2sek belastning [A]
5,8	8	5,8	625
30 % skal	6,15	4,46	481
35 % bør	5,93	4,30	463
7,0	11	7,0	825
30 % skal	8,46	5,38	635
35 % bør	8,15	5,19	611
10,0	14	10	1180
30 % skal	10,77	7,69	908
35 % bør	10,37	7,41	874

2.4 Kontaktledningens strømføringsevne

Kontaktledningen for de fleste strekninger er av typen Cu 100mm² kontakttråd og 50mm² bæreline. Figur 2-, kurve 1 nedenfor viser denne type kontaktlednings strømføringsevne. Det er forutsatt følgende; at kontakttråden er slitt 10 %, det er 35 °C lufttemperatur og 1m/s vindhastighet. Nominell strømføringsevne er 600A. Imidlertid vil det på de strekninger der det innføres AT-system skje med seksjonert kontaktledning og negativ- og positivleder, dermed vil effektoverføringen på kontaktledningen skje på bare noen få kilometer av gangen. Strømbelasting på kontaktledningen vil dermed bli høyst moderat.

Tilnærmede verdier for strømbelastningen kan avleses: Tillatt strøm for 10 sekunders belastning 3000A, for 1 minutt 1250A og for 6 minutter 800A. På samme måte som for belastning av omformerne gjelder verdiene belastning av angitt strøm kontinuerlig over angitt tid. Også ved bygging av nytt kontaktledningsanlegg vil denne typen materiell benyttes.



Figur 2-1 Kontaktledningens strømføringssevne, tid i sekunder

2.5 Negativ- og positivleders strømføringssevne

I henhold til utredninger foretatt av Statnett for aluminiumsledere og Norconsult for kabler i tunneler, er høyeste kontinuerlige strømstyrke henholdsvis **697 A** og **507 A** for liner og kabler med tverrsnitt 240 mm^2 , se [6] og [7], samt vurderinger foretatt av ITPE, se [8]. Denne belastningen gjelder for ekstremt varmt vær (omgivelsestemperatur $35 \text{ }^\circ\text{C}$, vind $1,0 \text{ m/s}$, og sol 1030 W/m^2). Når det gjelder liner med tverrsnitt 400 mm^2 (nærmeste undersøkt til 381 mm^2 standardtverrsnitt) er kontinuerlig belastning under disse forholdene **960 A** og for kabel med samme tverrsnitt **676 A**.

Når det gjelder kortvarig belastning er det oppnådd høyeste temperatur på kabel eller line ved dimensjonerende omgivelsesforhold som er begrensende. Fra beregninger [8] er det sett på en meget høy strømbelastningssyklus for en avgang fra Oppdal omformer. Med en høyeste belastning på **1340 A i 1 minutt** og de værforholdene som beskrevet ovenfor, viste det seg at høyeste temperatur ble $72 \text{ }^\circ\text{C}$ for liner med tverrsnitt 240 mm^2 . Høyeste tillatte temperatur er ofte $90 \text{ }^\circ\text{C}$, så det er enda en mulighet for noe mer belastning enn det som den aktuelle belastningssyklusen ga. For kabler er kortvarig belastning for TSLE med tverrsnitt 240 mm^2 eller 400 mm^2 på henholdsvis **845 A eller 1235 i 10 minutter**.

Med de samme "skal-" og "børkravene" som redegjort for i forrige avsnitt 2.3 kan Tabell 2-4 og Tabell 2-5 settes opp for ledernes strømføringssevne. En skal i simuleringene undersøke at strømbelastningen ikke kommer over "skal kravet" markert med utheving i tabellene nedenfor. For kortvarige belastninger for liner er tallene ikke absolutte og om en i simuleringene får for store belastninger bør egne beregninger (simuleringer) av oppnådd temperatur gjøres fordi strømmens form og varighet er av stor betydning.

Tabell 2-4 Strømgrenser for 240 mm² liner og kabler med "skal" og "bør" krav relatert til dimensjonering av nye anlegg

Høyeste belastning for liner og kabel 240 mm ²				
NL og PL avgang ved omformer	Strøm [A]			
	Liner		Kabel	
	Kortvarig	Kontinuerlig	Kortvarig	Kontinuerlig
Maks grense	1340	700	850	510
30 % "skal"	1030	540	650	390
35 % "bør"	990	520	630	381

Tabell 2-5 Strømgrenser for 381 mm² liner og kabler med "skal" og "bør" krav relatert til dimensjonering av nye anlegg

Høyeste belastning for liner og kabel 381 mm ²				
NL og PL avgang ved omformer	Strøm [A]			
	Liner		Kabel	
	Kortvarig	Kontinuerlig	Kortvarig	Kontinuerlig
Maks grense	-	960	1235	680
30 % "skal"	-	740	950	520
35 % "bør"	-	710	910	500

2.6 Belastning av autotransformatorer

Belastbarheten for autotransformatorene er gitt som generelle verdier for denne typen komponenter. Egne termiske beregninger for de størrelsene som er aktuelle er ikke utført fra fabrikanten. Verdiene nedenfor viser veiledende tall. Strømmen er referert 30,0 kV spenningsnivå, dette er det samme som faktisk strømmen i viklingene. I de modellene som blir brukt i simuleringene her er ikke autotransformatorene med, annet enn at tomgangstapene blir inkludert som passive belastninger ved omformerne, se avsnitt 3.6.

Tabell 2-6 Preliminære verdier for overbelastbarhet av autotransformatorer

Størrelse for autotransformator	Nominell strøm [A]	2 sek [A]	30 sek [A]	90 sek [A]	60 min [A]
6 MVA	200	6000	1500	500	260
3 MVA	100	6000	1500	250	130

3 INNDATA FOR SIMULERINGENE

I dette kapittelet beskrives kort de modeller som anvendes i simuleringen og inndata for disse. Mange av modellene som er med i simuleringen er meget avanserte standardmodeller som er definert i SIMPOW og SIMTRAC og det henvises til manualene for disse programmene. En stor datamengde er hentet fra NSB, Jernbaneverkets egen database, BaneEnergi og flere regionale elverker. Det vil bli altfor omfattende om alle disse dataene skulle beskrives i denne simuleringsrapporten.

3.1 Avgrensning av simuleringsområde

Følgende grenser for kjøreveien er valgt:

- **Drammen** ved km 52,76
- **Hokksund** ved km 70,22 som endepunkt for tog til Bergen.
- **Brevik på Breiviklinja** ved km 202,4
- **Arendal på Arendalsbanen** ved km 317,63
- **Kristiansand** ved 365,3
- **Stavanger** ved 598,71

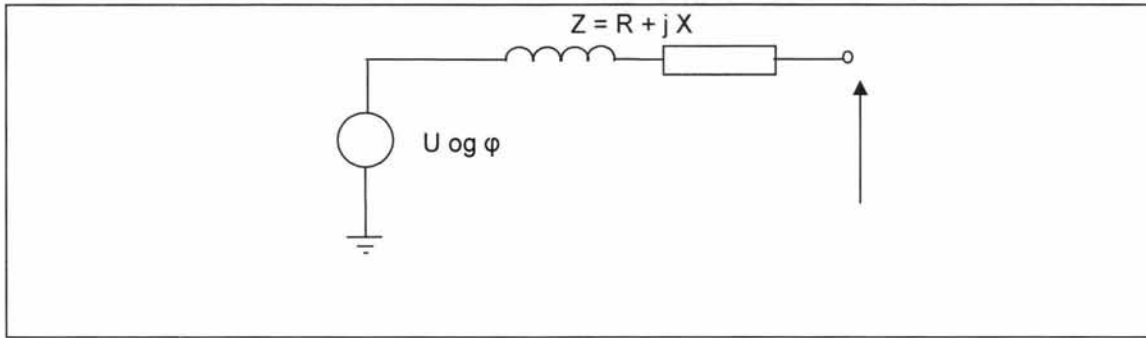
Selv om modellene er så vidt stor er det kun forholdene fra Nordagutu til Ganddal som blir undersøkt. Banestrekningene er modellert med den nødvendige infrastruktur slik som fjernledning, kontaktledningsnett og omformerstasjoner. Omformerstasjonene er forsynt fra de respektive Elverkene. Modellen omfatter også Vestfoldbanen og togtrafikken på denne, inkludert godstog mellom Eidanger og Brevik. Tog til Bergen går mellom Drammen og stopper ved Hokksund.

3.2 Matende trefasenett

Hver omformerstasjon er forsynt fra det regionale/lokale forsyningsnettet der normal tilførselsspenning er i området 66 til 132 kV, 50 Hz. De enkelte forsyningsnett er i sin tur forsynt fra og knyttet sammen via det overliggende sentralnettet på 300kV og 400kV spenningsnivå. Dette fører til at forsyningsspenningene til alle omformerstasjoner er synkrone med hensyn til frekvensen, men med innbyrdes vinkelforskjeller som er avhengig av lastflytsituasjonen både i sentralnettet og i de underliggende forsyningsnett.

I modellen er dette forenklet ved at sentralnettet er modellert som stive noder, dvs. noder med fast spenning og vinkel på grunnlag av data fra Statnett. De underliggende forsyningsnett til alle eksisterende omformerstasjoner er representert som Thevenin-ekvivalenter slik at linjedata, belastninger og eventuell produksjon blir erstattet av en impedans, se Figur 3-1. Opplysninger angående disse data er gitt fra de enkelte elverk og alle data for overliggende nettverk er hentet fra tidligere arbeid [4]. Tabell 3-1 viser verdier brukt for overliggende nett for samtlige av omformerstasjonene som er brukt i de forskjellige simuleringene.

En egen simulering gjøres for å undersøke lastflyten som går i kontaktledningsnettet i tomgang (før togene begynner å gå), se simulering 5a, avsnitt 4.5. Er det stor transitt av aktiv og reaktiv effekt når systemet er i tomgang økes tapene i nettverket.



Figur 3-1 Thevenin-ekvivalenter for overliggende sentralnett.

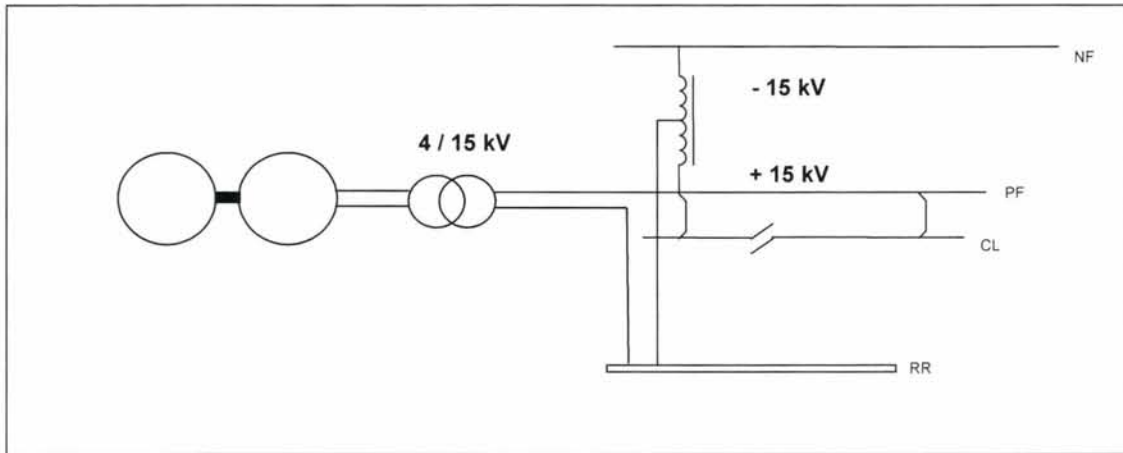
Tabell 3-1 Representasjon av overliggende nett som Thevenin-ekvivalenter med stiv spenningskilde bak impedans. Spenningskilder merket med "*" er antatte verdier for foreslåtte nye omformerstasjoner ut fra nabostasjoners spenning, vinkelforskyvning og typisk impedans.

Nett for omformerstasjon	Nominell Spenning [kV]	Spenning og vinkel for stiv spenningskilde [kV]	Impedans for nett [Ohm]
Skoppum	22	23,184 $\varphi = -35,25^\circ$	0,284 + j4,257
Larvik	66	67,915 $\varphi = -37,27^\circ$	8,975 + j41,898
Nordagutu	66	66,211 $\varphi = -23,49^\circ$	2,782 + j19,257
Neslandsvatn*	66	68,0 $\varphi = -25^\circ$	2 + j20
Nelaug	66	67,687 $\varphi = -28,77^\circ$	3,282 + j22,891
Vatnestraum*	132	134,0 $\varphi = -32^\circ$	2 + j20
Herefoss*	66	67,0 $\varphi = -29^\circ$	3 + j20
Krossen	50	49,169 $\varphi = -36,59^\circ$	2,077 + j6,332
Leivoll	110	105,878 $\varphi = -30,03^\circ$	17,754 + j52,422
Sira	66	57,959 $\varphi = -29,65^\circ$	20,166 + j41,752
Kielland	50	51,546 $\varphi = -26,75^\circ$	0,527 + j5,723
Ganddal	50	50,972 $\varphi = -29,02^\circ$	0,355 + j2,056

3.3 Omformerstasjoner

For omformerstasjonenes aggregater er både motor og generator modellert med såkalte 7. ordens modeller. Det vil si at det er 7 differensialligninger som beskriver statisk- og dynamisk oppførsel. Parametere som beskriver mekaniske egenskaper, samt elektromagnetiske parametere for stator og rotor er inngangsdata til SIMPOW. På grunn av begrensede tilgjengelige data er ikke parametere som angår dynamiske egenskaper for transienter med varighet kortere enn 1 sekund fullgodt beskrevet. Dette vil imidlertid spille liten rolle da så korte tidsforløp ikke er av interesse i denne typen undersøkelser.

Nedenfor viser Figur 3-3 tilknytning mellom AT-system og utmatetransformator. Om det ikke utvikles en egen transformator for overgangen fra 4 kV til AT-systemets spesielle spenningsnivåer blir det nødvendig å ha to seriekoblede transformatorer.



Figur 3-2 Omformer og tilknytning til AT-system med

3.4 Spenningsregulering for omformere

For å få ønsket karakteristikk for en omformerstasjons spenning er det innført medkomponerende samkjøring mellom aggregatene i samme stasjon. For å få ønsket samkjøring mellom stasjonene kan en innføre forskjellige typer karakteristikk for spenningen ved økende belastning. I et simuleringsarbeid utført for Banverket [10] er det funnet at fallende statikk med 4 % spenningsfall ved merkeytelse (reaktiv) er gunstig for AT-system. Innstillingen er gjort slik som BaneEnergi sitt prøveutstyr brukes for innstilling av spenningsregulatoren ved at en laster opp aggregatene til merkelast og med en effektfaktor 0,7 reaktivt skal ønsket spenning (her 15,85 kV) innstilles. Fallende karakteristikk for omformerstasjonene skal forhindre effektflyt i nettet ved tomgang og gi en gunstigere lastfordeling mellom stasjonene. Tapene i kl-anlegget skal ved denne innstillingen bli minst. Det er ikke gjort undersøkelser for å optimalisere denne karakteristikken.

3.5 AT-system med seksjonert kontaktledning

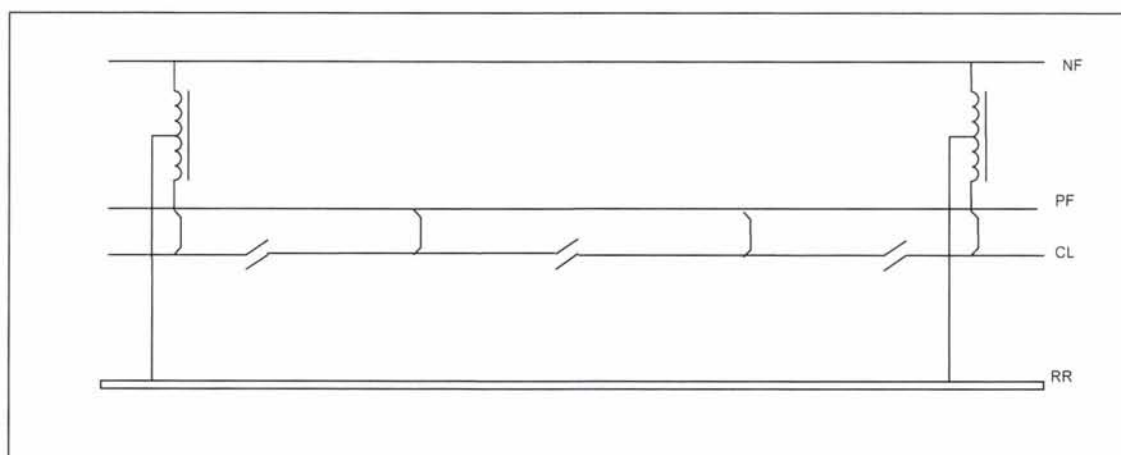
AT-system med seksjonert kontaktledning er vist i Figur 3-3 har vist seg å ha fordeler med hensyn på induksjon i andre installasjoner langs jernbanen (EMC) og kostnader, se [5]. Det at negativ- (NL) og positivleder (PL), som fører strømmen over størsteparten av matestrekningen, står montert såpass nært hverandre gjør impedansen i systemet lav, dermed blir selvfølgelig også spenningsfallet lav. Den seksjonert kontaktledningen gjør dessuten at strømmen i PL ikke går i den parallelle kontaktledningen i seksjoner mellom to AT'er der det ikke går tog. Dette enkle og symmetriske magnetiskefeltbildet gjør at det heller ikke går mye strøm i skinnene på seksjoner uten tog, dette gjør at faren for induktiv påvirkning av andre installasjoner blir liten. Feltbildet i seksjoner med tog mellom to AT'er er også av betydning og oppdelingen av kontaktledningen og tilkoblingspunktene plassering spiller her inn. Figuren viser en oppdeling som er hensiktsmessig med hensyn på dette og også gunstig i forhold til kobling ved arbeid etc.

Å lage en modell i SIMPOW av dette systemet er vanskelig og det er derfor gjort visse forenklinger. Dette har å gjøre med at programmet ikke gir muligheten for å legge inn så spesielle flerfasesystemer med mange forskjellige ledere og få med egen- og gjensidig impedans mellom dem. Derfor er det ikke lagt inn ledere som vist i figuren, men benyttet standardmodellen i SIMTRAC som her vil representere impedansen i NL og PL. Dette er den

mest dominerende impedansen i systemet og den som bidrar mest til spenningsfallet. For system med 240 mm^2 er det benyttet en impedans på $0,0595 + j0,0510 \Omega/\text{km}$ og for 381 mm^2 er det benyttet $0,03895 + j0,04850 \Omega/\text{km}$. Dette gjelder når impedansen er referert til 15 kV nivå.

Simuleringene vil dermed gi spenningen for togene som har å gjøre med impedansen for NL og PL, men ikke si noe om spenningsfallet som har å gjøre med impedansen på 15 kV nivå mellom autotransformatorene. Denne impedansen har å gjøre med magnetisk kobling mellom kontaktledningen, skinne, strøm i jord, NL og PL. Spenningsfallet på grunn av dette er beregnet til å komme opp mot 340 V, se [5] Figur 3-5 på side 3-7, som er den konfigurasjonen som ligner mest på den som er aktuell her. 340 V som største spenningsfall gjelder om toget trekker 500 A med en effektfaktor på 1,0. Videre forutsettes det 120 km mellom omformerne, ingen andre tog på matestrekningen, 12 km mellom autotransformatorene og oppdeling av kontaktledningen slik at hver seksjon er 6 km lang og har forbindelse til PL vekselvis ved autotransformatorer og mitt mellom dem. Overføres dette til forholdene slik de er tenkt her er det flere ting som er annerledes og drar i forskjellig retning. Det som vil gjøre spenningsfallet større er multiple BR189 lokomotiver som maksimal kan få et strømuttak på ca 1000 A med effektfaktor lik 1. Forhold som virker til å gjøre spenningsfallet mindre er at oppdelingen av kontaktledningen vil være mer som på Figur 3-3 med seksjoner noe mindre enn 6 km og tilknytningspunkter til PL som kommer nærmere autotransformatorene. Forutsettes dobbelt så stor strøm blir det ekstra spenningsfallet 680 V, men hvorledes de andre forholdene angående oppdeling av kontaktledningen spiller inn er ikke enkelt å si basert på vurderinger.

En rekke tilfeldigheter gjør at dette spenningsfallet ved praktisk togtrafikk allikevel vil være noe mindre. Dette har å gjøre med oppdelingen av kontaktledningen i forhold til hvor det er sannsynlig at togene trekker stor effekt og hvor lange seksjonsdelene er. Varigheten av lave spenninger er igjen avhengig av de samme tingene, i tillegg til togenes hastighet, lastvekt og akselasjonstider. Sannsynligvis har alle disse forholdene en del å si for å gjøre spenningsfallet mindre enn 680 V, men her får en anta at spenningen for togene i simuleringene har en usikkerhet på 700 V (runder oppover for å gjøre avlesningen enklere), slik at spenningen fra simuleringen tillegges en usikkerhetsmargin på **0 – 700 V**.

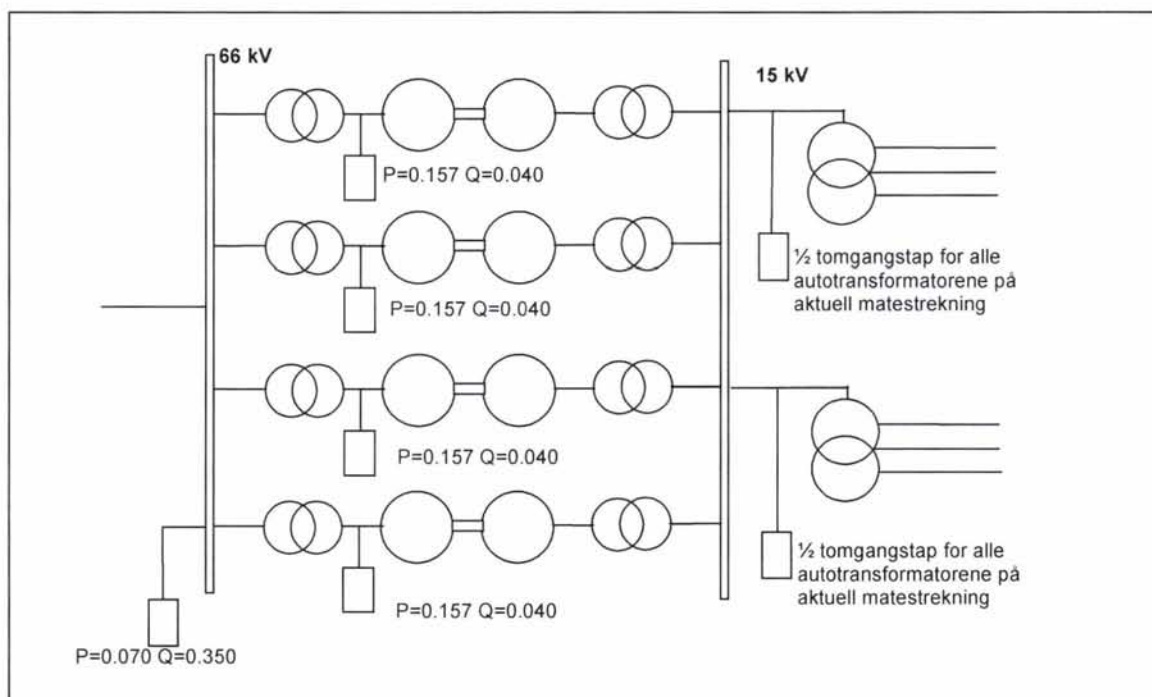


Figur 3-3 AT-system med seksjonert kontaktledning, negativ- og positivleder.

3.6 Modellering av tomgangstap

Energi- og effekttap skal undersøkes og derfor er enkelte modeller utviklet for å få inkluderte flest mulig av tap som har betydning. Standardmodellene i SIMPOW vil inkludere belastningsavhengige tap bedre enn tomgangstap og for å få med disse legges det inn belastninger som trekker konstant effekt (aktiv og reaktiv) for å inkludere disse. Nedenfor viser Figur 3-4 hvorledes tomgangstapene er modellert der alle tallene for tap er oppgitt i MW. Tomgangstapene for transformatorene er satt på primærsiden av trefasetransformatorene og gjelder for jerntap for samtlige åtte transformatorer. Omformeraggregatenes tap (motor og generator som til sammen er 157 kW og 40 kVAr) er de belastningsuavhengige tapene for roterende omformere (motor og generator). Tapene i samtlige autotransformatorer legges til utmatningene ved hver omformer, halvparten til hver av matestrekingenes endepunkter. Det er forutsatt at hver autotransformator har et aktivt og reaktivt tomgangstap på henholdsvis 2,6 kW og 2,0 kVAr.

Tapene for Kjelland omformer med samtlige to aggregater forutsettes å være for transformatorene; 45 kW og 225 kVAr, og for omformere (like- og vekselretterne); 390 kW og 99 kVAr. For transformatorene for fjernledningen er det forutsatt at tomgangstapene er 40 kW og 200 kVAr.



Figur 3-4 Omformerstasjoner og utmatning med laster som trekker konstant aktiv og reaktiv effekt.

3.7 Banedata

Det er benyttet parametere for gradienter (vertikalkurvatur), adhesjonskoeffisient og hastighetsprofil. Ekstra luftmotstand for tunneler er også inkludert.

3.8 Gradienter og kurver (vertikal og horisontalkurvatur)

Disse data er hentet fra banedatabanken. Data for horisontale kurver er ikke benyttet i studien siden disse vil øke mengden av inndata uforholdsmessig mye uten å gi noen særlig innvirkning på resultatet.

3.9 Hastighetsprofil

For simuleringene er det benyttet tre ulike hastighetsprofiler; normal-, pluss og krengehastighetsprofil. For togtypene gjelder:

- Godstogene holder normalhastighet, men har 90 km/t som maksimal hastighet.
- Lokaltog (type 72 og 69 til Kongsberg) holder pluss-hastighet.
- Regionaltog og persontog med E118 holder pluss-hastighet.
- Nattoget holder normalhastighet begrenset oppad til maks 100 km/t.
- Motorvogner av type 73 (Signatur) holder krengetog-hastighet (maksimalt 130 km/t).

3.10 Lok og vognmateriell

I simuleringene er det satt konstant togvarme for passasjertogene tilsvarende effekten en normal vinterdag. Følgende tog og trekk materiell er inkludert, maksimal effekt er oppgitt:

Godstog

For simuleringene er det benyttet fireakslede lokomotiv BR189 fra SIEMENS. Det er antatt at lokomotivene må gå i multippel for å trekke en lastvekt på 1200 tonn. Maksimalt effektuttak for hvert lokomotiv er 7,8 MW og lokomotivets vekt er 87 tonn. Det er forutsatt at hvert tog er 615 m langt (inkludert lokomotiv), har to akslinger pr vogn og har en blanding av åpne og lukkede vogner. Lokomotivene gies en maksimal akselerasjon på $0,5 \text{ m/s}^2$ og maksimal retardasjon på $0,45 \text{ m/s}^2$. Vedlegg 1 viser tekniske data for dette toget. Også for Bergensbanen er det satt opp godstog med denne typen lokomotiver. For simuleringene med kapasitetsoptimal ruteplan går det ingen andre tog enn disse mellom Egersund og Nordagutu. For Breviklinja er det simulert med godstog med E114.

Lokaltog

Mellom Stavanger og Egersund er det togtrafikk med lokaltog type 72 med mellomvogner og motorvogner. Maksimalt effektuttaket for disse er 3,42MW. For lokaltogene til Kongsberg går det eldre togsett av typen 69, det samme gjelder mellom Nelaug og Arendal.

Ekspresstog

For ekspresstog er det satt opp motorvognsett type 73.

Regionstog

For regionstog på Vestfolbanen er det benyttet togsett type 70, enkle eller doble sett. Maksimalt effektuttak er 1720kW.

Nattog

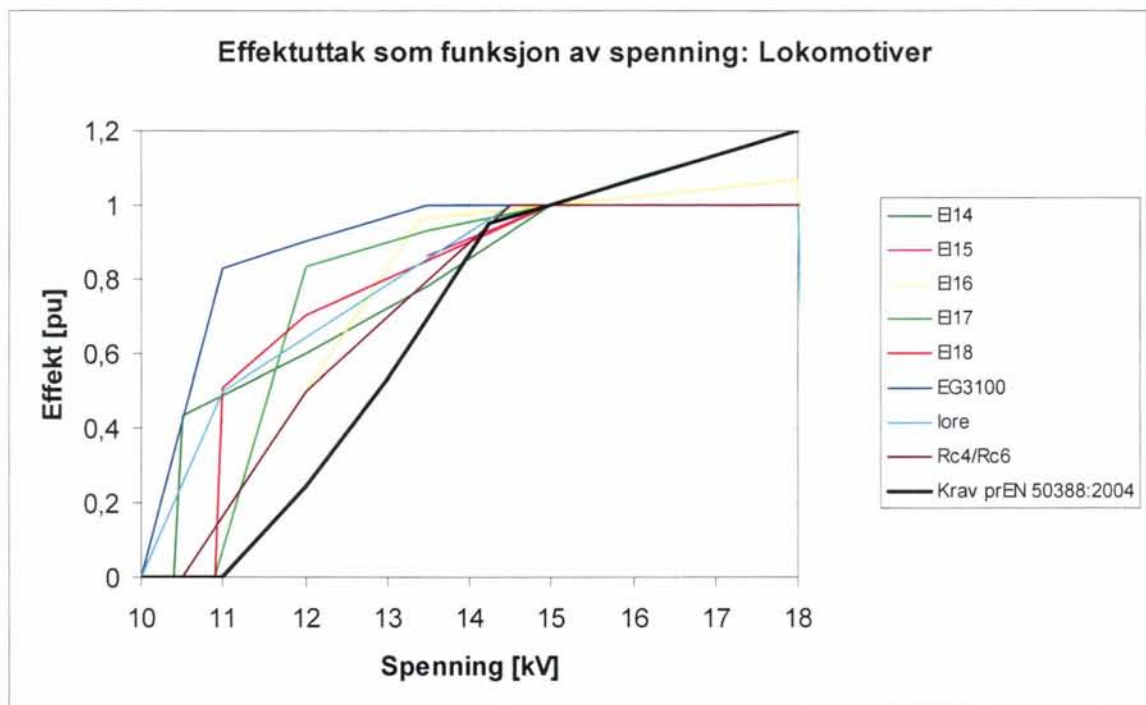
Mellom Oslo og Kristiansand settes det inn nattog med åtte vogner og mellom Kristiansand og Stavanger seks vogner. På Bergensbanen (kjører bare Drammen – Hokksund) går det nattog med elleve vogner. Det er benyttet EL 18 lokomotiver for nattog.

3.11 Trekkraft som funksjon av spenning

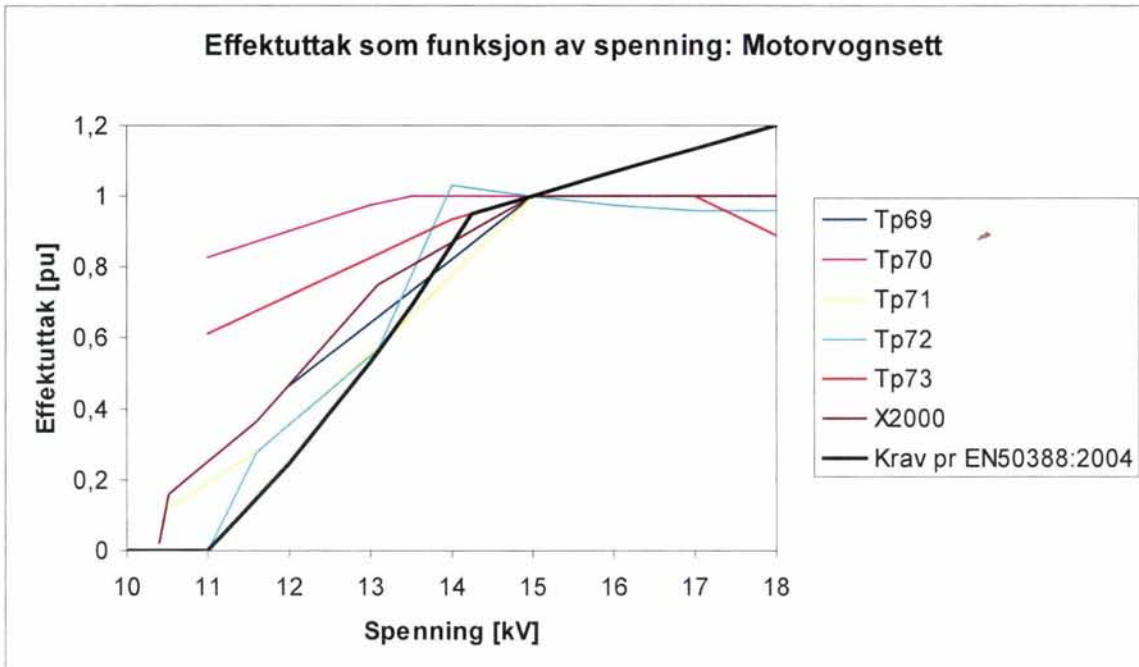
Trekkraftmateriellets prestasjonsevne reduseres normalt når spenningen minker. For eldre materieltypen vil trekkraftreduksjonen være direkte definert av fysiske og elektriske begrensninger i traksjonsutrustningen. For nyere materiell vil fremdeles fysiske og elektriske begrensninger være gjeldende, men kun indirekte da spenningsavhengigheten gjerne defineres gjennom enhetens programvare.

EN 50388 pkt. 7 stiller krav til spenningsavhengighet på nytt trekkraftmateriell. Dette for å ivareta stabile driftsbetingelser i svak banestrømforsyning eller i unormale driftsituasjoner. Begrensningen skal være automatisk.

Figur 3-5 og figur 3-6 viser maksimalt effektuttak (gjennom strømvaktaker) som funksjon av spenningen for et utvalg lokomotiver og motorvogner som trafikkerer (eller kan være aktuelle for) norske spor. Kurvene er hentet ut fra inputdata til modellene i simuleringsverktøyet SIMPOW/SIMTRAC og forutsetter at virkningsgrad og tilleggsuttak holdes konstant. Inntegnet er også EN 50388 sitt krav til effektbegrensning som funksjon av spenningen for nytt materiell, denne er for øvrig benyttet for lokomotivene for godstog (BR189) og for lokaltogene ved Stavanger. Kravet i EN 50388 er omregnet fra strøm til effekt.



Figur 3-5: Effektuttak som funksjon av spenningen for lokomotiver.



Figur 3-6: Effektuttak som funksjon av spenningen for motorvognsett.

3.12 Spenningsavhengig utstyr i togene

I tillegg til reduksjon i trekkraften kan det være annet utstyr om bord i det rullende materiell som er avhengig av spenningen. En oversikt over det utstyr som er kartlagt/oppført av trafikktøverne følger i tabell 3-2. En har imidlertid grunn til å tro at listen ikke er fullstendig og heller ikke nødvendigvis er helt korrekt på grunn av motstridende opplysninger.

Tabell 3-2: Oversikt over spenningsavhengig utstyr i rullende materiell.

Utstyr/anlegg	Hendelse	Ved spenning [kV]	Gjelder materiell
Høyspentbryter	Faller	10-11	Alt
Kompressorer	Overbelastes	10-12	Vekselspanningsslok (EI 14 osv.)
Trekkraft	Utfall av trekkraft/banemotor	<12	EI18 ved tungt tog
Batterilading	Stopper	<13,5	Tp73

EN 50163 anbefaler at underspenningsvern i rullende materiell bør stilles inn på 0,85 til 0,95 ganger $U_{\min 2}$, det vil si 9,35 til 10,45 kV.

3.13 Ruteplan

To ruteplaner er benyttet, ruteplan R152.2 gjeldende fra 13. desember 2003 og en såkalt kapasitetsoptimal. Ruter for en alminnelig hverdag er benyttet for R152.2 fordi dette gir tettest trafikk. For de fleste simuleringer er imidlertid kapasitetsoptimal ruteplan benyttet.

Dette er en ruteplan der maksimalt antall godstog trafikkerer Sørlandsbanen. Denne ruteplanen er laget slik at samme antall tog går i hver retning og det er 60 minutter mellom

hvert tog, se vedlegg 2. I denne ruteplanen vil det oppstå krysninger på mange flere stasjoner enn hva ruteplan R152.2 legger opp til, der mange godstog bare får noen meget få stopp. Det er sannsynlig at det er akselrasjon etter krysning som kommer til å gi de laveste spenningene i simuleringen, tillegg til høy hastighet eller akselrasjon i stigninger. Den kapasitetsoptimale ruteplanen skal vise en intens togtrafikk på hele banestrekningen, i motsetning til den ordinære som gir veldig intens trafikk i krysningsbeltet i noen timer. Således viser den kapasitetsoptimale ruteplanen maksimalt antall tog pr døgn.

For dimensjonering av banestrømforsyningen hadde det vært mest riktig med en ruteplan som viser maksimal times- og eventuelt døgnbelastning for hver matestrekning. Dette kunne vært gjort at krysningsbeltet forsøkes forskjøvet til forskjellige seksjoner av banen. Det sier seg selv at dette ville gitt svært mye arbeid og mange forskjellige ruteplaner å forholde seg til. Ved at både kapasitetsoptimal- og ordinærruteplan simuleres vil en nok kunne forutsette at en får en god pekepinne på noen forskjellige belastningstilfeller.

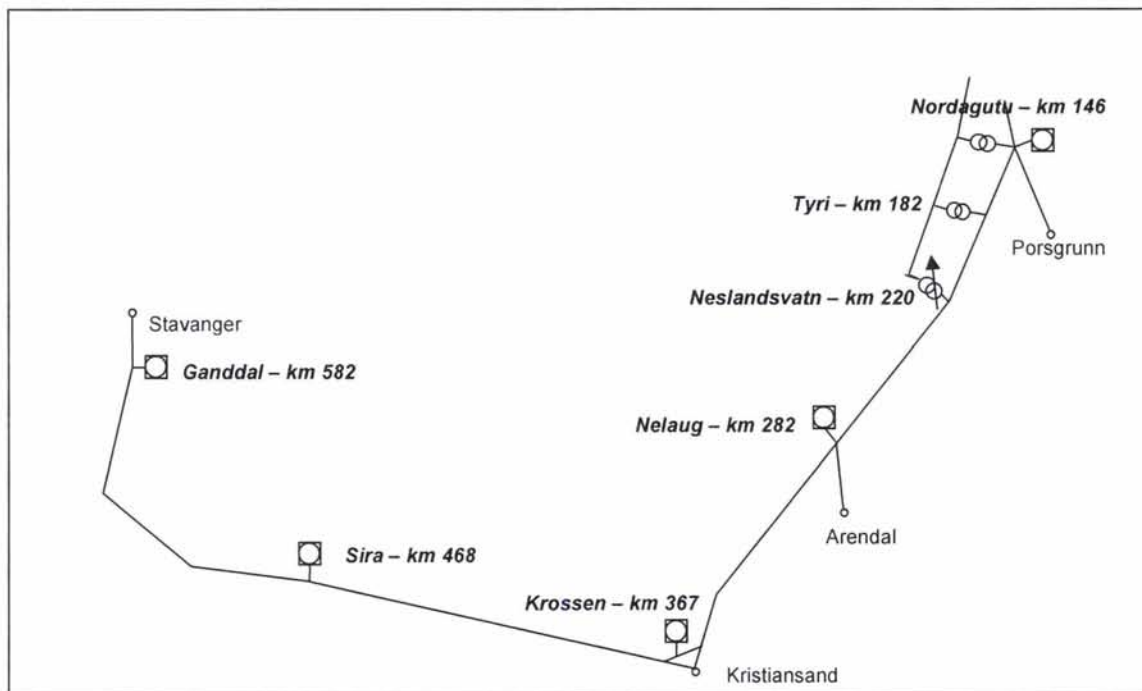
I dette arbeidet har som vanlig ruteplankontoret utarbeidet ruteplanen og denne har vært sett og godkjent av forskjellige avdelinger i Jernbaneverket, inkludert marked. Siden det er forskjellige ønsker og ambisjonsnivåer hva angår økt lastvekt for godstogene og frekvens, skal en i dette arbeidet forsøke å simulere med noen forskjellige transportmengder. Dette for å se hvordan elektriske dimensjoneringsparametere påvirkes, om de er innenfor akseptable grenser eller når utvidelse av anleggene er nødvendig. Ut fra dette forsøkes det å lage en trappetrinnskurve som skal vise nødvendige investeringsnivåer for økende transportkapasitet.

4 SIMULERINGSRESULTATER

Alle simuleringer med bokstaven "a" er utført med kapasitetsoptimal ruteplan, doble BR189 lokomotiver med lastvekt 1200 tonn. Lokaltrafikken Stavanger til Egersund, på Vestfollbanen og fra Oslo til Kongsberg er også med, men effekten for omformere som er oppgitt er før lokaltogene begynner å gå. Simuleringer med bokstaven "b" gjelder for ordinær ruteplan 152.2.

4.1 Simulering 1a med kapasitetsoptimal ruteplan og alternativ A0

Simulering 1a gjøres for alternativet A0, se Figur 4-1, med AT-system fra Neslandsvatn til Ganddal, og omformerstasjoner på Nordagutu, Nelaug, Krossen, Sira og Ganddal med installert ytelse 4 x 5,8 MVA i alle stasjonene. I tillegg til eksisterende transformatorstasjoner på Nordagutu og Neslandsvatn settes det inn en ny på Tyri, da det er kjent at dette området kan ha noe lav spenning.



Figur 4-1 Omformerplassering med alternativ A0 med AT-system fra Neslandsvatn til Ganddal. Alle omformerstasjoner har roterende aggregater. Neslandsvatn har transformator med automatisk trinnkobler.

4.1.1 Belastning av omformere og transformatorstasjoner

Nedenfor viser Tabell 4-1 belastningen av omformerstasjonene for denne simuleringen. Med fire innsatte aggregater i hver stasjon er det tydeligvis meget moderat belastning, se prosentverdien for hvert av tidsavsnittene. Det er rimelig å kreve at ved utfall av et aggregat skal de andre kunne gå uten å overbelastes, med fire aggregater i hver stasjon skulle en da forvente at om belastningen ikke overstiger 75 % skal dette være oppfylt. Da er det ikke tatt hensyn til fordeling av effekten mellom nabostasjoner, til spenningskrav for togene som også må være oppfylt, samt at togene også trekker mindre effekt når spenningen eventuelt blir noe lavere. Sannsynligvis vil en kunne belaste omformerstasjonen enda noe mer enn 75 %. Her

ser det ut til at belastningen blir såpass moderat at en kunne hatt bare tre aggregater i hver stasjon og allikevel vært godt innenfor redundanskravene. Tabell 4-2 som viser belastningen for transformatorstasjonene viser veldig moderate belastninger.

Tabell 4-1 Belastning av omformerstasjoner. Simulering 1a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn og AT-system på hele strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Høyeste tall for MEAN verdien for henholdsvis 2 sekunder, 6 minutter og 1 time. Prosentvis belastning av totalt innsatt ytelse.

Simulering 1a AT-system med 381 mm² tverrsnitt for NL og PL og godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan

Omformer	Innsatt ytelse [MVA]	Effekt					
		2 sek		6 min		1 time	
		[MVA]	[%]	[MVA]	[%]	[MVA]	[%]
Nordagutu	4 x 5,8	22,007	53	12,621	39	6,951	30
Nelaug	4 x 5,8	19,894	48	10,276	32	6,770	29
Krossen	4 x 5,8	18,797	46	10,007	31	6,407	28
Sira	4 x 5,8	19,585	47	9,748	30	6,693	29
Ganddal	4 x 5,8	16,709	41	7,984	25	5,528	24

Tabell 4-2 Belastning av transformatorstasjoner. Simulering 1a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på hele strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Høyeste tall for MEAN verdien av henholdsvis 2 sekunder, 6 minutter og 1 time. Prosentvis belastning av innsatt ytelse.

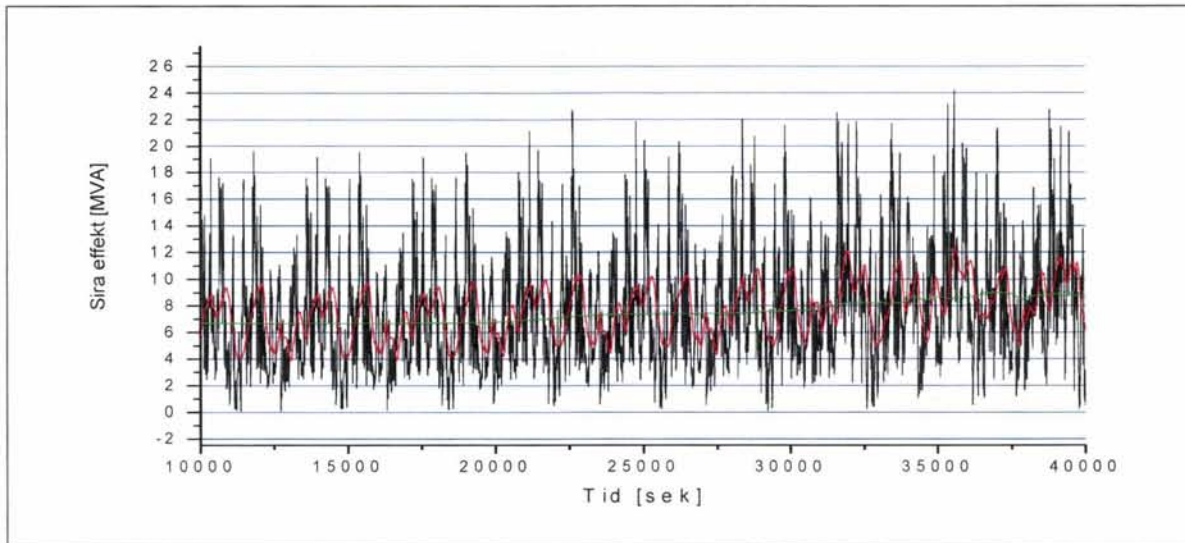
Simulering 1a AT-system med 381 mm² tverrsnitt for NL og PL og godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan

Transformator	Innsatt ytelse [MVA]	Effekt [MVA]		
		2 sek	6 min	1 time
		Nordagutu	11,415	5,658
Tyri	6,826	2,914	2,140	
Neslandsvatn	10,351	7,322	3,908	

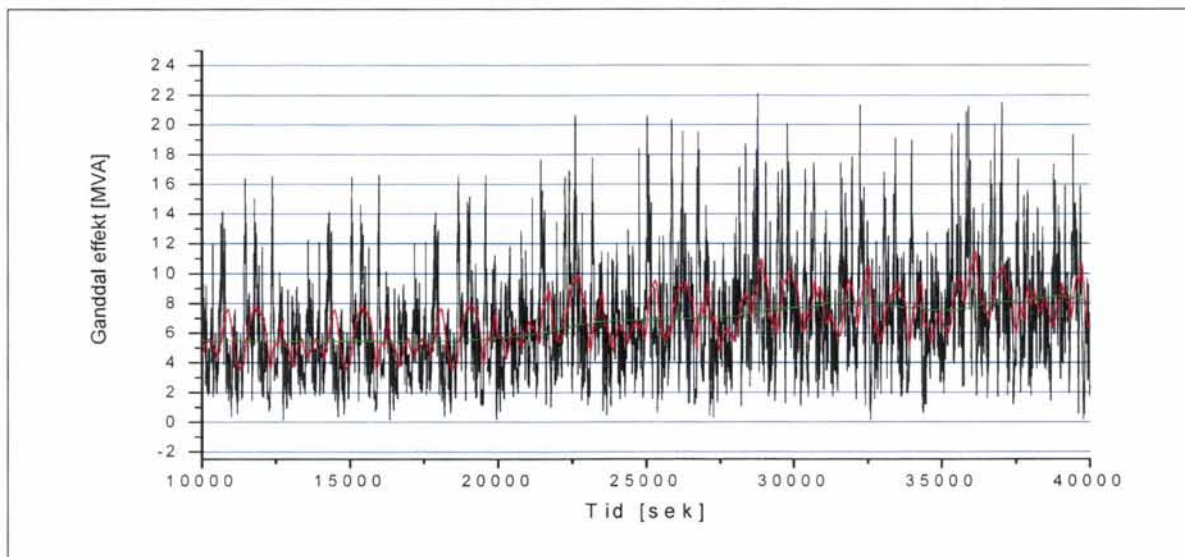
Nedenfor er betydningen av rushtrafikken om morgenen undersøkt for Sira og Ganddal omformer, se henholdsvis Figur 4-2 og Figur 4-3. Begge grafene viser tydelig hvorledes effekten øker fra ca klokken 05:30 (20 000 sekunder) og utover til simuleringen stanser. Etter dette ser det ut til at bidraget til effekten som rushtrafikken skaper minker. Maksimal effekt for Sira kan leses av til 24 MVA (2 sekunder), 13 MVA (6 minutter) og 9 MVA (1 time) og for Ganddal 22 MVA (2 sekunder), 12 MVA (6 minutter) og 8 MVA (1 time). Spesielt for Ganddal omformerstasjon er disse tilleggene nokså store, men selv for disse økningene er 4 aggregater for mye. Aggregater på 3 x 5,8 MVA ser ut til å kunne være mer passende. I alle videre undersøkelser vedrørende effekten fra omformerne er det avgitt effekt for lokaltrafikken starter som blir undersøkt.

Ruteplan R152.2 er dessuten mer relevant når det gjelder belastning av Ganddal omformer. Dette fordi den kapasitetsoptimale ruteplanen er laget uten å ta hensyn til lokaltogenes stoppmønster. Dermed blir det ikke særlig realistisk med mange lokaltog og godstog som kjører uten å stoppe for hverandre. Derfor vil den ordinære med både lokaltog og godstog si

mer om hva som er relevant trafikkbelastning. Et annet forhold er imidlertid at det planlagte dobbeltsporet fra Stavanger til Sandnes vil gi et annet trafikkemønster og selvfølgelig også flere tog.



Figur 4-2 Tilsynelatende effekt [MVA] fra Sira omformer fra klokken 02:46 til ca 11:06. MEAN verdier beregnet for 2 sekunder (svart), 6 minutter (rød) og 1 time (grønn).



Figur 4-3 Tilsynelatende effekt [MVA] fra Ganddal omformer fra klokken 02:46 til ca 11:06. MEAN verdier beregnet for 2 sekunder (svart), 6 minutter (rød) og 1 time (grønn).

4.1.2 Opptatt effekt og energi fra trefasenettet

Tabell 4-3 nedenfor viser opptatt effekt og energi fra overliggende nett til hver omformerstasjon. MEAN verdier er beregnet for effekten og for maksimal effekt er 2 sekundersverdier brukt og middelverdier er gjennomsnittlig effekt når kapasitetsoptimal ruteplan simuleres. Effektopptak gjelder før lokaltrafikken begynner å gå tildelig om morgenen, dette vil påvirke effektbehovet bare for omformerstasjonene i Nordagutu, Sira og Ganddal.

Energibehovet inkluderer tap i omformerstasjoner, autotransformatorer og kontaktledningsanlegg. Men på grunn av modellvalg er ikke alle komponenter inkludert, dette gjelder viftetap i omformeraggregater, belastningsavhengige tap i autotransformatorene og tap i selve kontaktledningen (men NL og PL sine tap er med).

For effektopptaket er det for Nordagutu omformer ikke tatt hensyn til at noen av omformerens effekt går østover til Drammen og sørover til Vestfoldbanen. Imidlertid er det sett på effektopptaket tidlig på morgenen slik at dette uansett er lite. For summering av energiopptaket er det subtrahert den delen av energien som overføres fra Nordagutu i østlig og sørlig retning, og som da går utenfor grensen for disse betraktningene. Denne energien har sannsynligvis mest å gjøre med energioverføring mellom omformerne på grunn av vinkelforskjyning i overliggende nett.

Energiregnskapet består av både opptatt energi (inn) og tilbakelevert energi på grunn av togenes regenererte effekt, summen av disse er netto energiopptakt. På grunn av elverkenes manglende interesse for denne lille og svært variabel tilbakeleverte energien får ikke Bane Energi kompensasjon for dette bidraget. Når en her skal undersøke energiforbruket for forskjellige alternativer for banestrømforsyningen for å utføre et gitt transportarbeid er det derfor naturlig å se mest på verdien for "Energi inn" eller brutto energiforbruk. I dette tilfellet er altså energiforbruket for en time til sammen 33,528 MWh.

Tabell 4-3 Opptatt effekt fra overliggende kraftnett. Simulering 1a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på hele strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Maksimal tosekunders verdi og middelværdi for en time er vist. Også energiforbruket og tilbakelevert energi i løpet av en time er vist.

Simulering 1a AT-system med 381 mm² tverrsnitt for NL og PL og godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan			
Omformer	Effekt [MW]		Energi inn/ut/sum [MWt]
	Maks	Middel	Time
Nordagutu	22,120	6,991	7,531 / -0,816 / 6,715
Nelaug	19,879	6,998	6,758 / -0,074 / 6,684
Krossen	19,506	6,545	6,458 / -0,087 / 6,371
Sira	19,552	7,003	6,900 / -0,005 / 6,895
Ganddal	17,964	6,024	5,880 / -0,0 / 5,880
Sum energi			<u>33,528 / 0,982 / 32,545</u>

4.1.3 Belastning av negativ- og positivleder

Tabell 4-4 nedenfor viser strømmen på avgangene fra omformerne. Strøm ut fra omformerens 15 kV nivå er vist og strømstyrken videre på 30 kV nivå (NL og PL) er halvparten av denne strømmen. I henhold til utredninger fra Statnett for aluminiumsledere og Norconsult for kabler i tunnel er høyeste kontinuerlige strømstyrke henholdsvis 960 A og 676 A. Dette gjelder for liner og kabel med tverrsnitt 400 mm² (nærmeste undersøkte til 381 mm² standardtverrsnitt) og under ekstreme værforhold med hensyn til sterk sol, høy temperatur og liten vind, se [6] og [7]. Med hensyntagen til "bør" krav ved prosjektering av nye anlegg blir de tillatte grensene for line og kabel henholdsvis 710 og 500 A. For kortvarige belastningsstopper er tillatt belastning betydelig større, med "bør" marginer tillagt får en for

liner og kabler henholdsvis 1030 og 650 A. Når en her ser at selv de kortvarige store strømstyrkene (i alle fall for 1 minutt) ligger innenfor disse verdiene vil en nok kunne si at strømbelastningen vil bli akseptabel og godt innenfor kravene.

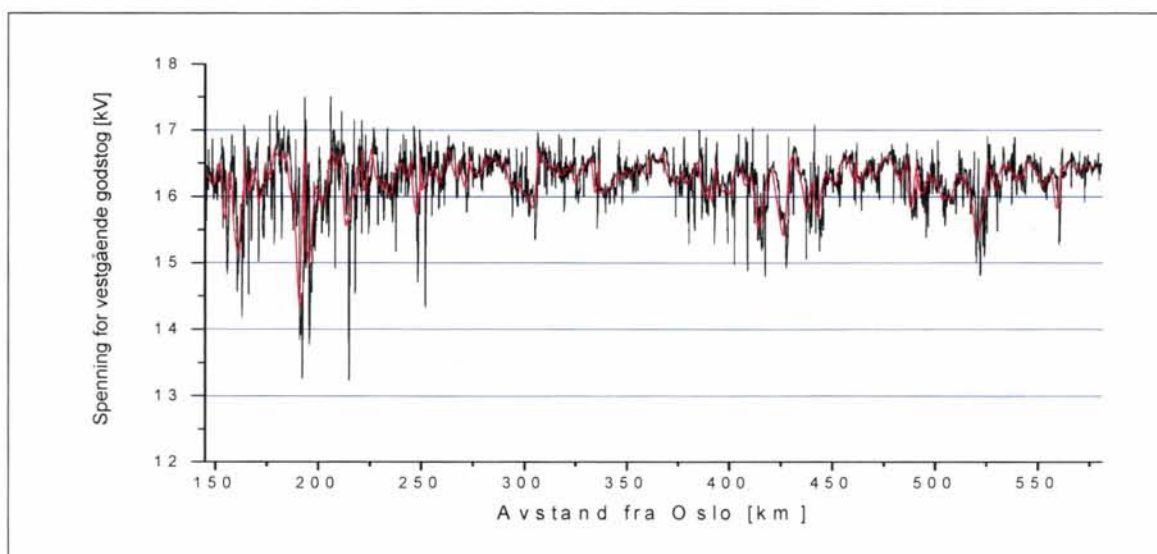
Tabell 4-4 Belastning av ledere ut fra omformerstasjonene. Det er vist belastning ut fra dagens 15,0 kV enfasetransformatorer og for å finne strømbelastningen på 30 kV nivå på utgående NL og PL må tallene divideres på to. Simulering 1a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på hele strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Maksimal RMS verdi for en del tidsavsnitt.

Simulering 1a AT-system med 381 mm² tverrsnitt for NL og PL og godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan

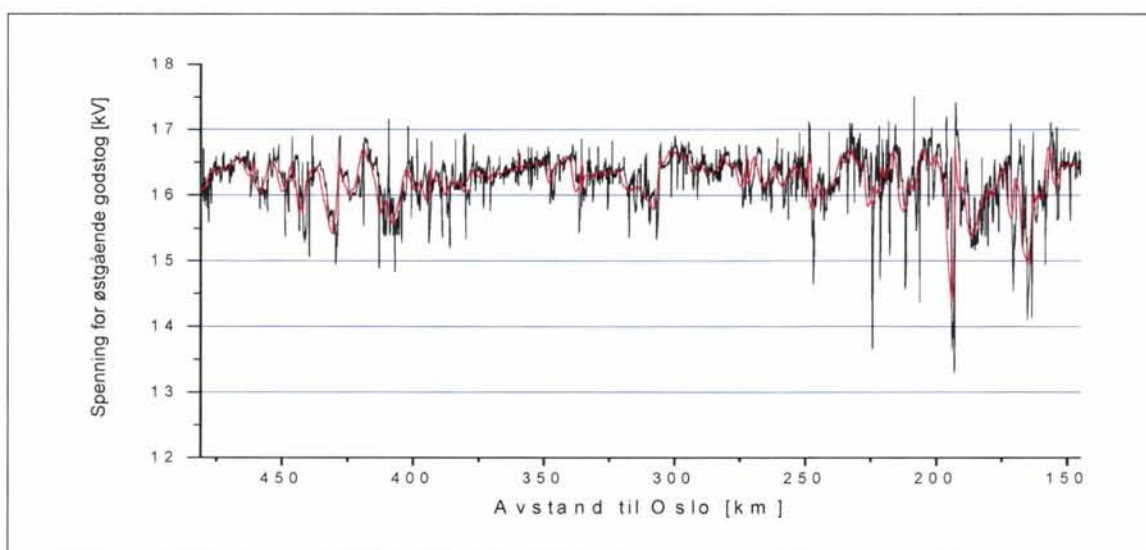
NL og PL avgang ved omformer	Strøm [kA]					
	1 sek	10 sek	1 min	6 min	10 min	1 time
Nordagutu vest	0,835	0,720	0,590	0,412	0,373	0,219
Neslandsvatn øst	0,640	0,624	0,435	0,249	0,235	0,163
Neslandsvatn vest	0,791	0,774	0,579	0,427	0,402	0,287
Nelaug øst	1,330	1,298	1,049	0,570	0,523	0,363
Nelaug vest	1,027	0,960	0,828	0,617	0,550	0,375
Krossen øst	0,884	0,860	0,678	0,479	0,434	0,311
Krossen vest	1,284	1,178	0,744	0,472	0,425	0,346
Sira øst	1,130	1,062	0,890	0,686	0,616	0,436
Sira vest	1,023	1,000	0,797	0,522	0,448	0,336
Ganddal øst	1,033	0,973	0,759	0,493	0,466	0,369

4.1.4 Spenningen for togene

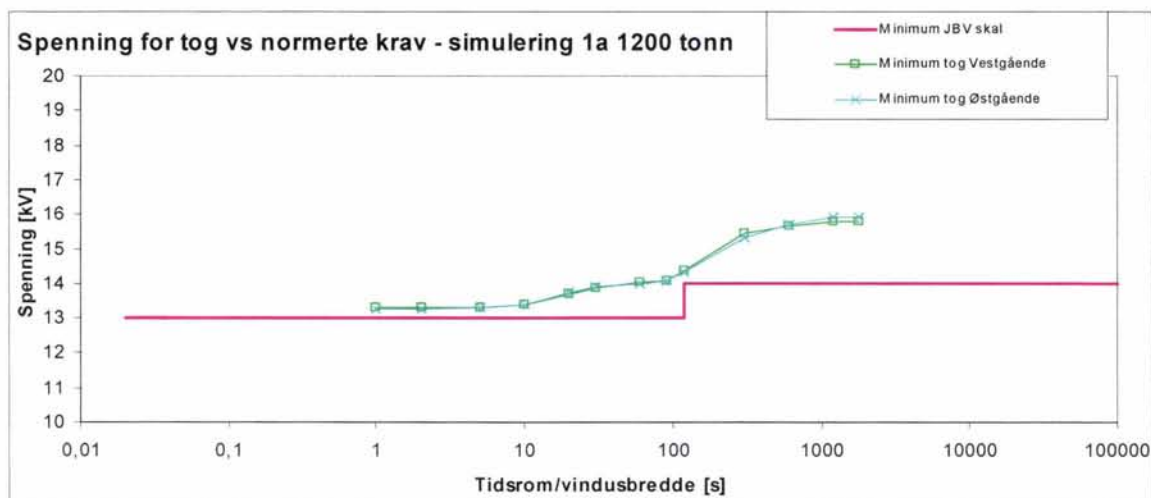
Spenningen for vest- og østgående godstog er undersøkt for hele strekningen fra Nordagutu til Ganddal, se henholdsvis Figur 4-4 og Figur 4-5. RMS verdier for momentane og 2 minutters verdier er vist. Spenningen skal for prosjektering av nye anlegg ikke komme under 14,0 kV, men det tillates allikevel at den for tider under 2 minutter sammenhengende kan komme under 14 kV. Spenningen tillates imidlertid ikke å komme under 13,0 kV. Som en kan se av figurene kommer spenningen både for vest- og østgående tog godt innenfor dette kravet, selv om spenningen er noe lav ved km 200 altså ved Neslandsvatn transformatorstasjon. Figur 4-6 som viser tidsvektet varighetskurve for godstogene for hele strekningen og resultatet er noe lave verdier for det vestgående godstoget. Legges det ekstra spenningsfallet som har å gjøre med kontaktledningen på 0 - 700 V til verdiene her, ser en at spenningen selv da alltid vil komme over 14 kV på strekningen med AT-system.



Figur 4-4 Spenning for vestgående godstog fra Nordagutu til Ganddal. Simulering 1a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på hele strekningen. RMS verdier for spenningen er vist, og svart strek viser momentanverdi og rød viser 2 minutters verdi.

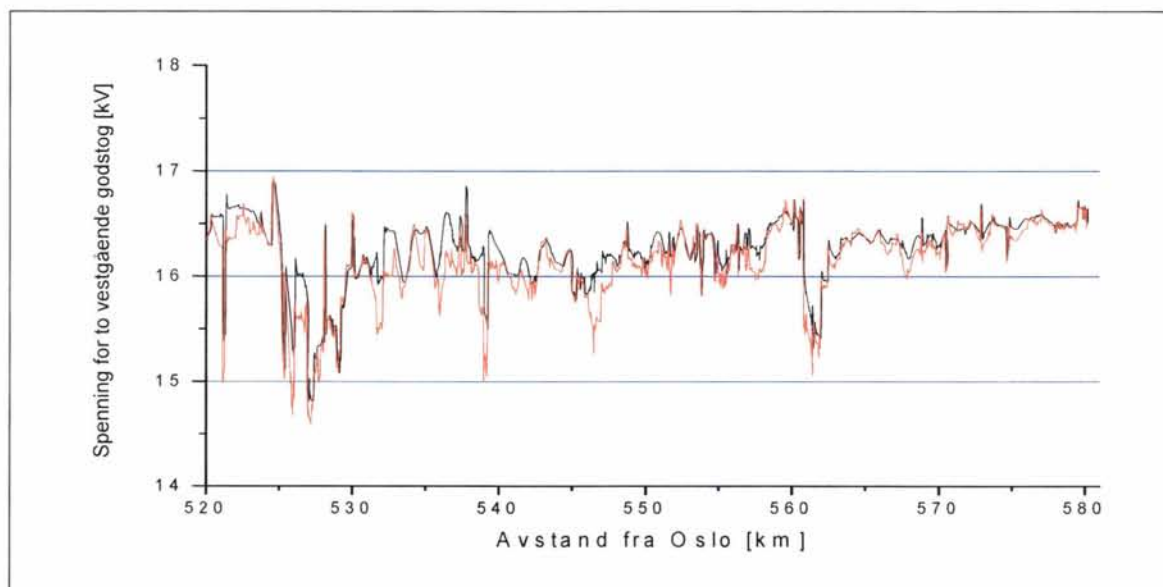


Figur 4-5 Spenning for østgående godstog fra Ganddal til Nordagutu. Simulering 1a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på hele strekningen. RMS verdier for spenningen er vist, og svart strek viser momentanverdi og rød viser 2 minutters verdi.



Figur 4-6 Minimumsverdier for tidsvektet varighetskurve for RMS verdien av spenningen for vest- og østgående godstog på hele strekningen fra Nordagutu til Ganddal. Simulering 1a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på hele strekningen.

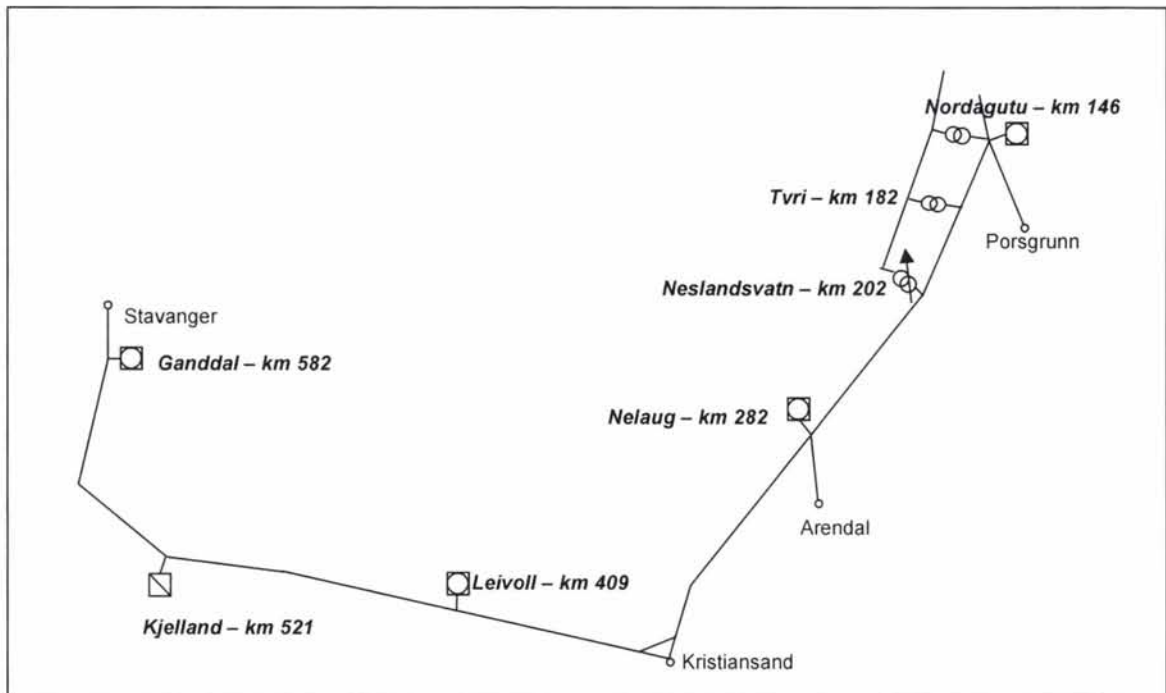
Nedenfor er det i Figur 4-7 vist en sammenligning mellom to vestgående tog mellom Egersund og Ganddal. Den svarte streken viser et godstog med tidlig ankomst til Ganddal (klokken 03:41) og den oransje viser spenning for toget som er undersøkt ovenfor med ankomst klokken 07:41. Forskjellen mellom disse to togene skyldes at det med senest ankomst kommer inn til Ganddal samtidig med at det er stor morgenrusstrafikk inn til Stavanger. En legger merke til at lavest spenning ikke er stort forskjellig fra de to tilfellene. I alle undersøkelsene ellers er det spenningen for toget med lavest spenning (altså med ankomst klokken 07:41) som det er sett på.



Figur 4-7 Spenning for to vestgående godstog fra Egersund til Ganddal. Simulering 1a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på hele strekningen. RMS verdier for spenningen er vist, og svart strek viser spenningen for tidlig tog og oransje viser spenningen for tog med ankomst klokken 07:41.

4.2 Simulering 2a med kapasitetsoptimal ruteplan og alternativ A2

I simulering 2a er konstellasjonen av omformerstasjoner en helt annen ved at en legger ned Krossen og Sira og beholder Nelaug, Leivoll og Ganddal. Alternativet kalles A2 og er vist nedenfor i Figur 4-8. Begrunnelsen for dette er at Kjelland og Leivoll er nye stasjoner, mens Sira og Krossen er gamle, en vil derfor være mer interessert i å beholde de nye og legge ned de gamle som krever rehabilitering. Dette vil om mulig gi enda bedre spenningsforhold på den vestligste delen av Sørlandsbanen fordi avstanden mellom Kjelland og Ganddal er 62 km, men muligens verre ved Kristiansand fordi avstanden mellom Nelaug og Leivoll blir ca 127 km.



Figur 4-8 Omformerplassering med alternativ A2 med AT-system fra Neslandsvatn til Ganddal. Alle omformerstasjoner, utenom Kjelland har roterende aggregater. Neslandsvatn har transformator med automatisk trinnkobler.

4.2.1 Belastning av omformere og transformatorstasjoner

I Tabell 4-5 er belastningen av omformerne vist og også denne gangen er belastningen av omformerne høyst moderat, det samme gjelder for transformatorene, se Tabell 4-6. Leivoll og Nelaug omformere blir belastet tyngst noe en kan forvente da disse har lengst avstand mellom seg i dette alternativet.

Tabell 4-5 Belastning av omformerstasjoner. Simulering 2a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på hele strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Høyeste tall for MEAN verdien for henholdsvis 2 sekunder, 6 minutter og 1 time. Prosentvis belastning av totalt innsatt ytelse.

Simulering 2a AT-system med 381 mm ² tverrsnitt for NL og PL og godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan							
Omformer	Innsatt ytelse [MVA]	Effekt					
		2 sek		6 min		1 time	
		[MVA]	[%]	[MVA]	[%]	[MVA]	[%]
Nordagutu	4 x 5,8	22,362	54	13,066	56	7,203	31
Nelaug	4 x 5,8	22,691	55	11,817	51	7,604	33
Leivoll	4 x 5,8	22,111	54	11,228	48	7,787	34
Kjelland	3 x 7,5	16,231	72	8,642	38	6,346	28
Ganddal	4 x 5,8	13,953	34	6,802	29	4,939	21

Tabell 4-6 Belastning av transformatorstasjoner. Simulering 2a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på hele strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Høyeste tall for MEAN verdien av henholdsvis 2 sekunder, 6 minutter og 1 time. Prosentvis belastning av innsatt ytelse.

Simulering 2a AT-system med 381 mm ² tverrsnitt for NL og PL og godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan				
Transformator	Innsatt ytelse [MVA]	Effekt [MVA]		
		2 sek	6 min	1 time
		Nordagutu	1 x 8,0	11,660
Tyri	1 x 8,0	6,824	2,917	2,133
Neslandsvatn	1 x 8,0	10,713	7,476	4,074

4.2.2 Opptatt effekt og energi fra trefasenettet

Nedenfor viser Tabell 4-7 opptatt energi og effekt fra overliggende kraftnett. Samlet brutto energibehov i denne timen blir 33,2 MWh, altså så vidt noe lavere enn simulering 1a der forbruket ble 33,5 MWh.

Tabell 4-7 Opptatt effekt fra overliggende kraftnett. Simulering 2a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på hele strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Maksimal tosekunders verdi og middelvei for en time er vist. Også energiforbruket og tilbakelevert energi i løpet av en time er vist.

Simulering 2a AT-system med 381 mm² tverrsnitt for NL og PL og godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan			
Omformer	Effekt [MW]		Energi inn/ut/sum [MWt]
	Maks	Middel	Time
Nordagutu	22,649	7,259	7,492 / -0,831 / 6,661
Nelaug	22,674	7,776	7,550 / -0,100 / 7,450
Leivoll	22,820	7,935	7,845 / -0,052 / 7,793
Kielland	16,256	5,380	5,284 / 0 / 5,284
Ganddal	15,105	5,145	5,026 / 0 / 5,026
Sum energi			33,197 / -0,983 / 32,214

4.2.3 Belastning av negativ- og positivleder

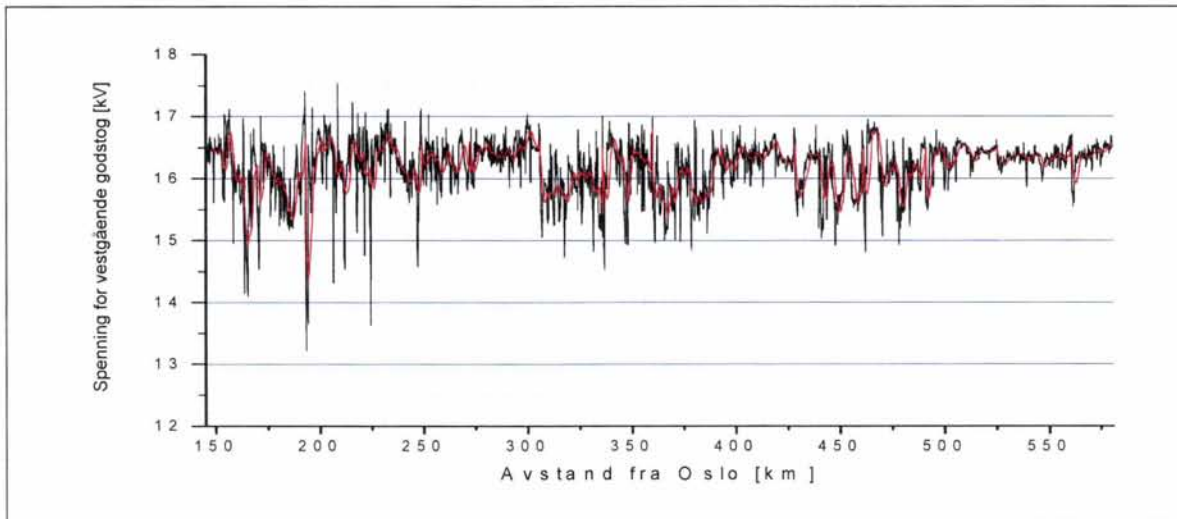
I Tabell 4-8 er belastningen for avgangene fra omformerstasjonene vist. Igjen ser en moderate strømverdier i forhold til valgt tverrsnitt på 381 mm².

Tabell 4-8 Belastning av ledere ut fra omformerstasjonene. Det er vist belastning ut fra dagens 15,0 kV enfasetransformatorer og for å finne strømbelastningen på 30 kV nivå på utgående NL og PL må tallene divideres på to. Simulering 2a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på hele strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Maksimal RMS verdi for en del tidsavsnitt.

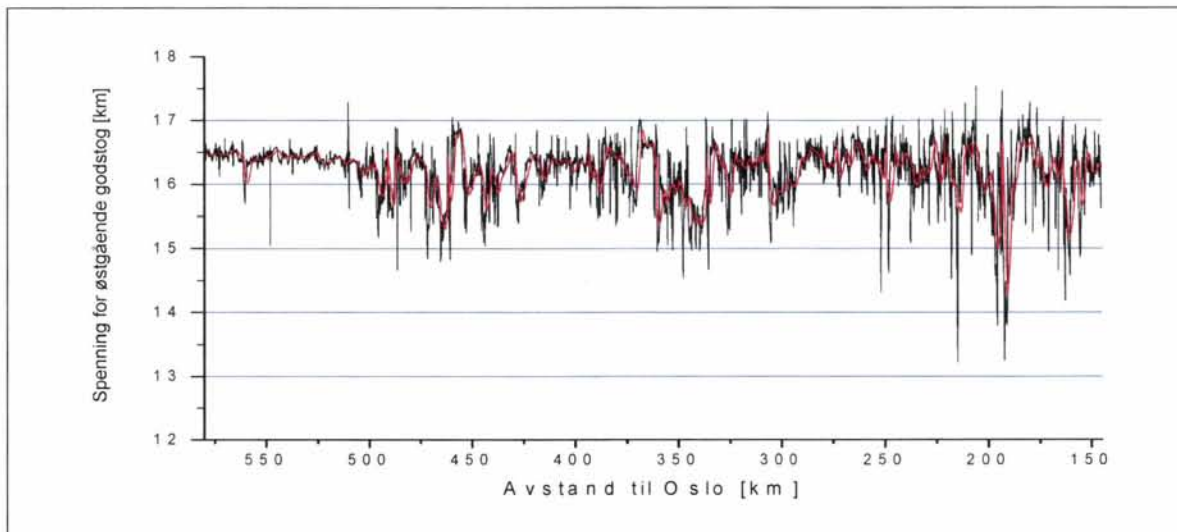
Simulering 2a AT-system med 381 mm² tverrsnitt for NL og PL og godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan						
NL og PL avgang ved omformer	Strøm [kA]					
	1 sek	10 sek	1 min	6 min	10 min	1 time
Nordagutu vest	0,851	0,731	0,602	0,421	0,382	0,224
Neslandsvatn øst	0,650	0,623	0,432	0,250	0,236	0,164
Neslandsvatn vest	0,865	0,842	0,623	0,440	0,417	0,300
Nelaug øst	1,278	1,253	1,021	0,559	0,504	0,355
Nelaug vest	1,235	1,166	0,905	0,752	0,667	0,434
Leivoll øst	1,294	1,085	0,834	0,609	0,541	0,414
Leivoll vest	1,201	1,133	0,990	0,557	0,522	0,370
Sira øst	1,238	1,055	0,840	0,628	0,590	0,433
Sira vest	0,795	0,778	0,58	0,397	0,361	0,243
Ganddal øst	0,820	0,765	0,595	0,418	0,398	0,314

4.2.4 Spenningen for togene

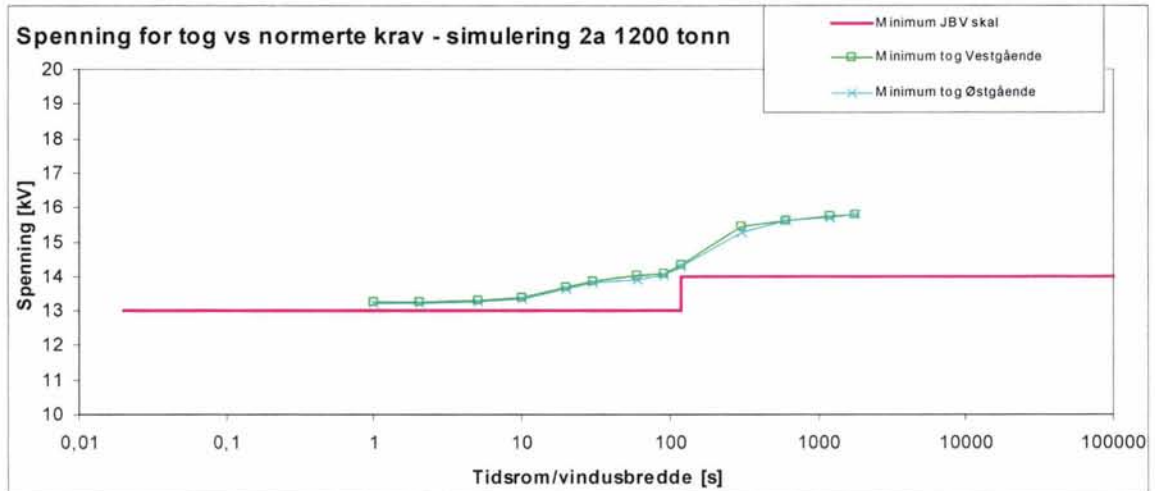
Nedenfor viser Figur 4-9 og Figur 4-10 at spenningen for henholdsvis øst og vestgående godstog blir meget gode, knapt noe sted annet enn ved Neslandsvatn er spenningen under 15,0 kV. Tillegges usikkerhetsmarginen på 0 – 700 V til vil også da spenningen for togene stort sett være godt over 14,0 kV. Kurven for tidsvektet varighetsskurve i Figur 4-11 viser spenninger ned mot 13,0 kV for de korteste periodene, og det er altså spenningsforholdene rundt Neslandsvatn transformatorstasjon og fjernledningen som drar spenningen ned.



Figur 4-9 Spenning for vestgående godstog fra Nordagutu til Ganddal. Simulering 2a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på hele strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. RMS verdier for spenningen er vist, og svart strek viser momentanverdi og rød viser 2 minutters verdi.



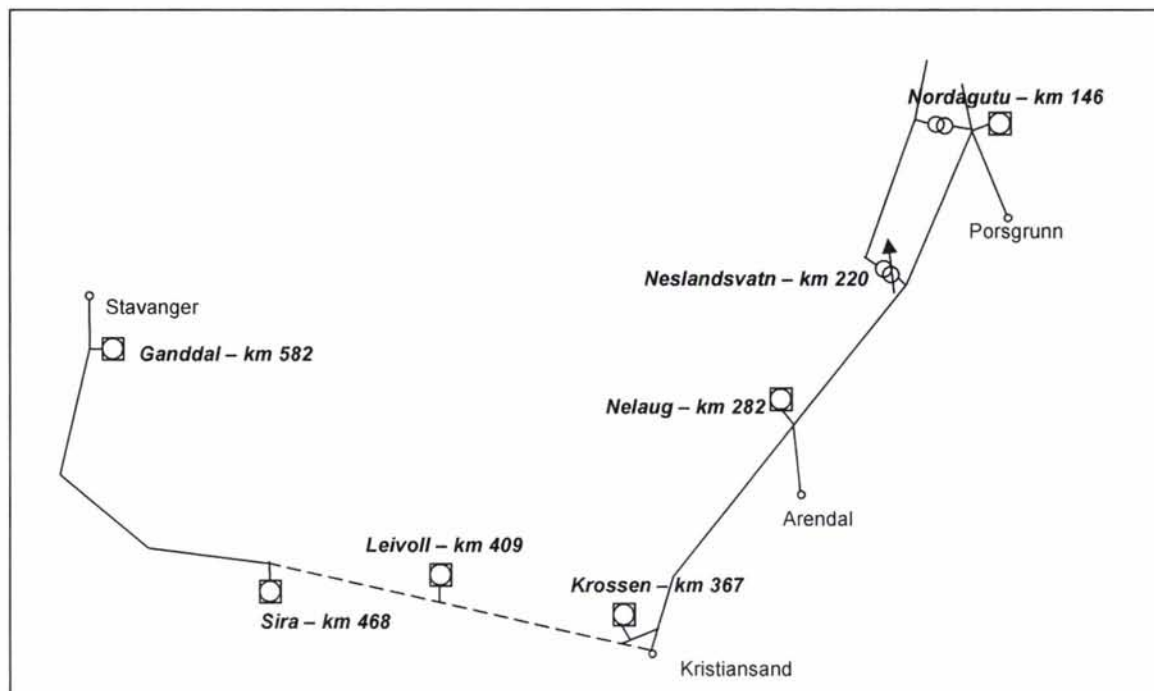
Figur 4-10 Spenning for østgående godstog fra Ganddal til Nordagutu. Simulering 2a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på hele strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. RMS verdier for spenningen er vist, og svart strek viser momentanverdi og rød viser 2 minutters verdi.



Figur 4-11 Minimumsverdier for tidsvektet varighetskurve for RMS verdien av spenningen for vest- og østgående godstog på hele strekningen fra Nordagutu til Ganddal. Simulering 2a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på hele strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal.

4.3 Simulering 3a med kapasitetsoptimal ruteplan og alternativ A1

Simulering 3a er utført med alternativet med konvensjonelt kontaktledningsanlegg mellom Krossen, Leivoll og Sira. Dette er kalt alternativ A1. Det er på denne strekningen bygd nytt kl-anlegg og kanskje vil det da vil være usannsynlig at dette blir ombygd til AT-system, i alle fall på kort- og mellomlang sikt. En ulempe med dette er at det er nødvendig å beholde omformerne på Krossen, Leivoll og Sira, og økonomisk sett vil det dermed kanskje være bedre å bygge om kl-anlegget for å få færre omformere. I denne simuleringen er transformatorstasjonen ved Tyri lagt ut for å se på forholdene uten denne. Først og fremst er det spenningen og forholdene mellom Krossen, Leivoll og Sira som er av interesse i denne simuleringen, samt mellom Nordagutu og Neslandsvatn der transformatorstasjon på Tyri ikke er med. Tyri transformatorstasjon er tatt ut for å se om det egentlig er nødvendig å ha en innmating her.



Figur 4-12 Omformerplassering med alternativ A1 med AT-system fra Neslandsvatn til Krossen og mellom Sira og Ganddal. Konvensjonell kl-anlegg mellom Krossen og Sira. Alle omformerstasjoner har roterende aggregater. Neslandsvatn har transformator med automatisk trinnekobler og Tyri transformatorstasjon er her utkoblet.

4.3.1 Belastning av omformere og transformatorstasjoner

Belastningen av omformere er vist i Tabell 4-9 nedenfor og for transformatorstasjonene i Tabell 4-10.

Tabell 4-9 Belastning av omformerstasjoner. Simulering 3a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Krossen og mellom Sira og Ganddal, konvensjonelt kl-anlegg mellom Krossen og Sira. Høyeste tall for MEAN verdien for henholdsvis 2 sekunder, 6 minutter og 1 time. Prosentvis belastning av totalt innsatt ytelse.

Simulering 3a AT-system med 381 mm² tverrsnitt for NL og PL, konvensjonelt kl-anlegg mellom Krossen – Leivoll - Sira og godstog med 1200 tonn lastvekt.

Kapasitetsoptimal ruteplan

Omformer	Innsatt ytelse [MVA]	Effekt MEAN					
		2 sek		6 min		1 time	
		[MVA]	[%]	[MVA]	[%]	[MVA]	[%]
Nordagutu	4 x 5,8	22,344	54	12,739	40	6,923	30
Nelaug	4 x 5,8	20,364	49	9,689	30	6,202	27
Krossen	4 x 5,8	13,818	34	8,674	27	5,377	23
Leivoll	4 x 5,8	15,807	38	8,749	27	5,248	23
Sira	4 x 5,8	17,927	43	8,428	26	5,352	23
Ganddal	4 x 5,8	17,186	42	7,483	23	5,193	22

Tabell 4-10 Belastning av transformatorstasjoner. Simulering 3a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Krossen og mellom Sira og Ganddal, konvensjonelt kl-anlegg mellom Krossen og Sira. Høyeste tall for MEAN verdien av henholdsvis 2 sekunder, 6 minutter og 1 time. Prosentvis belastning av innsatt ytelse.

Simulering 3a AT-system med 381 mm² tverrsnitt for NL og PL og godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan				
Transformator	Innsatt ytelse [MVA]	Effekt MEAN [MVA]		
		2 sek	6 min	1 time
Nordagutu	1 x 8,0	11,200	5,408	2,924
Tyri	1 x 8,0	-	-	-
Neslandsvatn	1 x 8,0	10,433	6,834	4,229

4.3.2 Opptatt effekt og energi fra trefasenettet

Opptatt effekt og energi fra overliggende nett er vist i Tabell 4-11. Effektopptaket er muligens noe jevnere og mindre enn i de foregående simuleringene. En legger også merke til at energibehovet som nå kom på 34,1 MWh bare er noe høyere enn foregående simuleringer med AT-system for hele strekningen. Det er jo overraskende når de foregående simuleringene bare hadde fem omformerstasjoner mot denne med seks. Generelt forventes det større energiforbruk med flere omformere på grunn av omformertapene som er ganske store for roterende omformere.

Tabell 4-11 Opptatt effekt fra overliggende kraftnett. Simulering 3a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Krossen og mellom Sira og Ganddal, konvensjonelt kl-anlegg mellom Krossen og Sira. Maksimal tosekunders verdi og middelvei for en time er vist. Også energiforbruket og tilbakelevert energi i løpet av en time er vist.

Simulering 3a AT-system med 381 mm² tverrsnitt for NL og PL og godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan			
Omformer	Effekt MEAN [MW]		Energi inn / ut / sum [MWh]
	Maks	Middel	Time
Nordagutu	22,490	6,816	6,862 / -0,781 / 6,081
Nelaug	20,518	6,337	6,101 / -0,097 / 6,004
Krossen	14,182	5,078	4,999 / -0,127 / 4,872
Leivoll	16,840	5,470	5,394 / -0,035 / 5,359
Sira	18,403	5,670	5,589 / -0,007 / 5,582
Ganddal	18,229	5,275	5,170 / -0,007 / 5,163
Sum energi			34,115 / 1,054 / 33,061

4.3.3 Belastning av negativ- og positivleder

Belastningen for avgangene fra omformerstasjonene er vist i Tabell 4-12 nedenfor og en ser at for strekningen med konvensjonelt kontaktledningsanlegg (fra Kjelland vestlig avgang til Sira østlig avgang) kommer langvarige strømverdier (1 times verdi) godt under nominell strømføringsevne på 600 A. Også de kortvarige strømverdiene ligger innenfor akseptable verdier.

Tabell 4-12 Belastning av ledere ut fra omformerstasjonene. Det er vist belastning ut fra dagens 15,0 kV enfasetransformatorer og for å finne strømbelastningen på 30 kV nivå på utgående NL og PL må tallene divideres på to. Simulering 3a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Krossen og mellom Sira og Ganddal, konvensjonelt kl-anlegg mellom Krossen og Sira. Maksimal RMS verdi for en del tidsavsnitt. Tall i kursiv gjelder deler av anlegget med konvensjonelt kontaktledningsanlegg.

Simulering 3a AT-system med 381 mm² tverrsnitt for NL og PL og godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan						
NL og PL avgang ved omformer	Strøm [kA]					
	1 sek	10 sek	1 min	6 min	10 min	1 time
Nordagutu vest	0,881	0,839	0,680	0,462	0,428	0,272
Neslandsvatn øst	0,703	0,672	0,593	0,305	0,260	0,206
Neslandsvatn vest	0,785	0,768	0,569	0,377	0,355	0,274
Nelaug øst	1,288	1,223	1,066	0,5710	0,539	0,369
Nelaug vest	1,054	0,984	0,695	0,575	0,523	0,323
Krossen øst	0,757	0,741	0,646	0,447	0,413	0,307
<i>Krossen vest</i>	<i>0,476</i>	<i>0,447</i>	<i>0,327</i>	<i>0,239</i>	<i>0,215</i>	<i>0,152</i>
<i>Leivoll øst</i>	<i>0,919</i>	<i>0,838</i>	<i>0,580</i>	<i>0,402</i>	<i>0,347</i>	<i>0,238</i>
<i>Leivoll vest</i>	<i>1,006</i>	<i>0,937</i>	<i>0,869</i>	<i>0,505</i>	<i>0,493</i>	<i>0,296</i>
<i>Sira øst</i>	<i>1,047</i>	<i>1,029</i>	<i>0,818</i>	<i>0,568</i>	<i>0,494</i>	<i>0,315</i>
Sira vest	1,027	1,005	0,720	0,494	0,422	0,320
Ganddal øst	1,059	1,010	0,798	0,472	0,430	0,335

4.3.4 Spenningen for togene

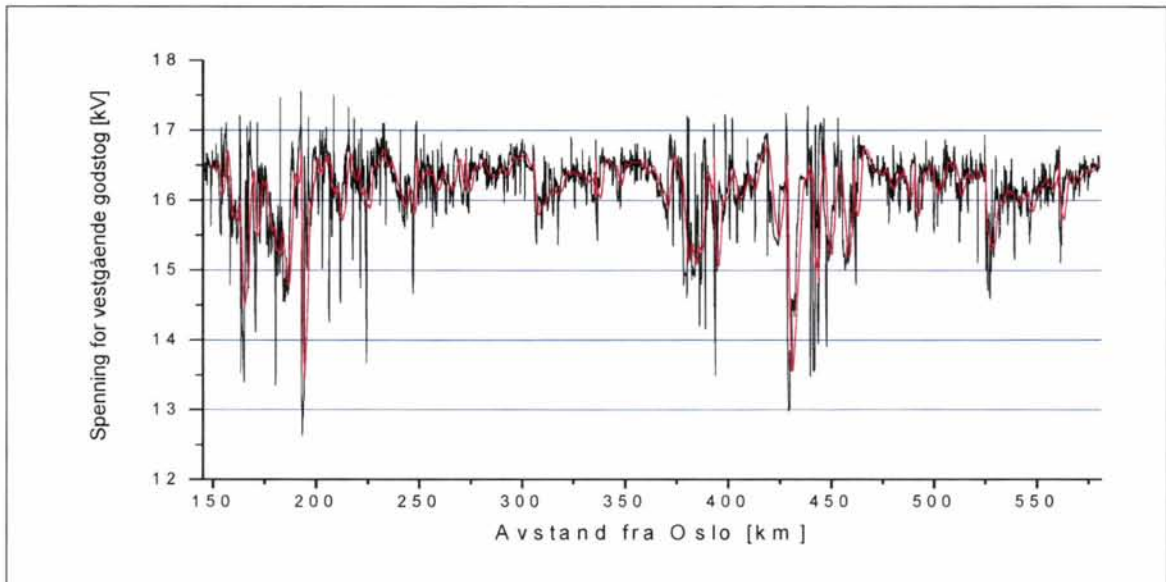
Nedenfor viser Figur 4-13 og Figur 4-14 spenningen for togene. For strekningen fra Krossen omformer ved km 367 til Sira ved km 468 ser en at spenningen blir noe lavere enn i simuleringene med AT-system på denne strekningen. Men siden dette er et eksisterende anlegg gjelder andre krav, spenningen skal aldri kommer under 12,5 kV som er "bør krav" for eksisterende anlegg (vedlikeholds krav). Der det er bygget AT-system mellom Neslandsvatn ved km 219 til Krossen ved km 367 og fra Sira ved km 468 til Ganddal ved km 581 ser det ut til at spenningen blir helt utmerket, også med tillagt usikkerhetsmargin for ekstra spenningsfall på 0 – 700 V.

At spenningen på strekningen med konvensjonelt kl-anlegg blir såpass lavere enn på resten av strekningen betyr at banestrømforsyningen her vil bli en flaskehals. Imidlertid betyr ikke kortvarig spenning ned mot 13,0 kV noe særlig for den trafikken som det er simulert med her, men for en yterligere økning av transportarbeidet vil spenningen bli enda mindre. Se for øvrig avsnitt 5.7.8 for videre drøfting av dette problemet.

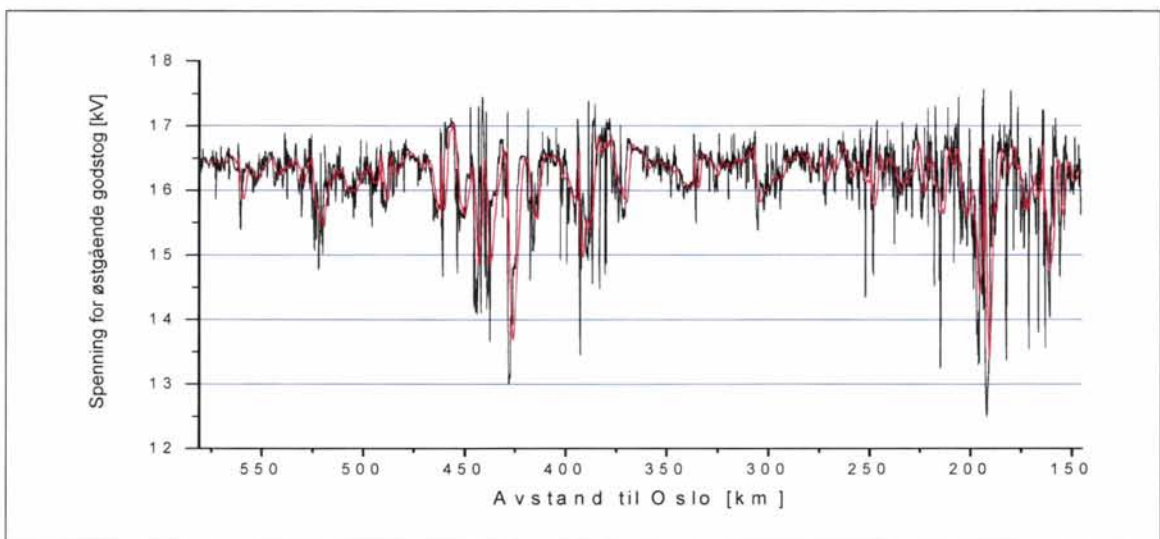
En ser heller ikke at spenningen på strekningen Nordagutu til Neslandsvatn kommer under "skal kravet" på 12,0 kV. Dette betyr at strengt tatt behøver en ikke noen ny transformatorstasjon på Tyri, imidlertid kommer en riktignok under det langvarige (2 minutter) "bør kravet" på 13,5 kV. Dermed er det nok på sin plass å vurdere forsterkninger her.

Figur 4-15 viser tidsvektet varighetskurve for spenningene for de to togene, men denne fremstillingsmåten blir ikke riktig her siden en evaluerer både eksisterende og nye anlegg og

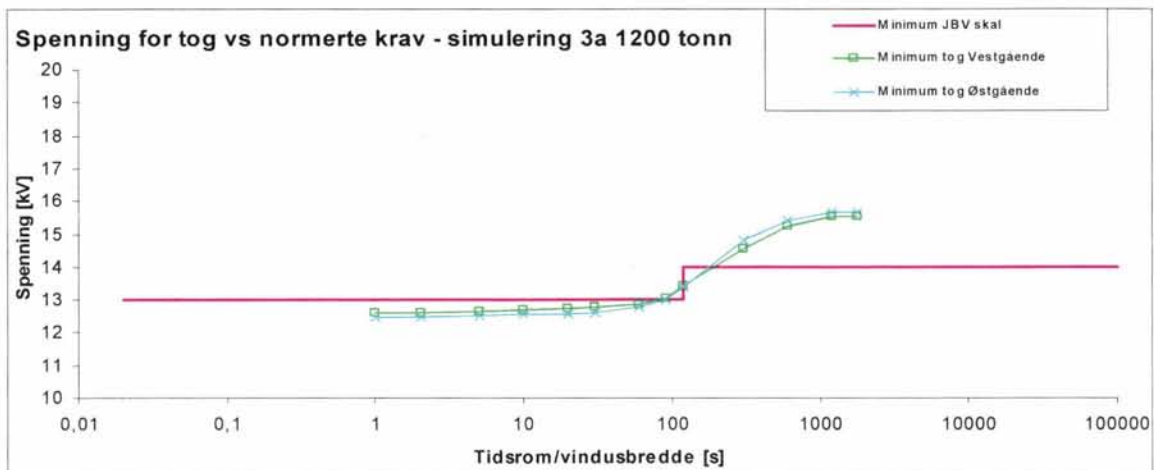
forskjellige akseptkriterier dermed gjelder. Men konklusjonen er altså at spenningen så vidt kommer innenfor det akseptable for eksisterende anlegg.



Figur 4-13 Spenning for vestgående godstog fra Nordagutu til Ganddal. Simulering 3a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Krossen og mellom Sira og Ganddal, konvensjonelt kl-anlegg mellom Krossen og Sira. RMS verdier for spenningen er vist, og svart strek viser momentanverdi og rød viser 2 minutters verdi.



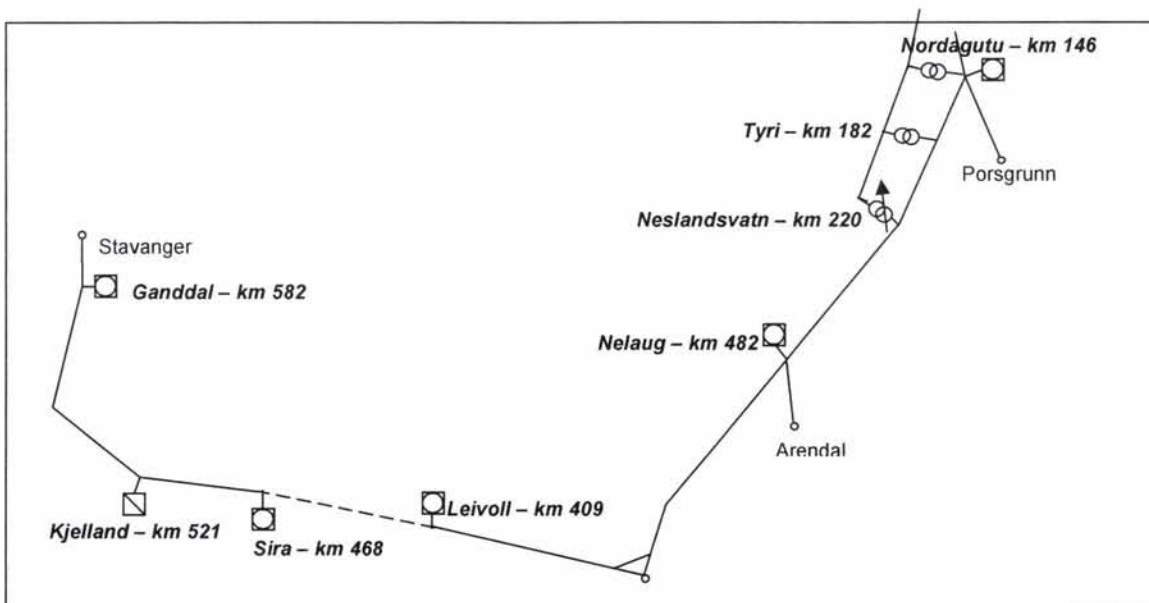
Figur 4-14 Spenning for østgående godstog fra Ganddal til Nordagutu. Simulering 3a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Krossen og mellom Sira og Ganddal, konvensjonelt kl-anlegg mellom Krossen og Sira. RMS verdier for spenningen er vist, og svart strek viser momentanverdi og rød viser 2 minutters verdi.



Figur 4-15 Minimumsverdier for tidsvektet varighetskurve for RMS verdien av spenningen for vest- og østgående godstog på hele strekningen fra Nordagutu til Ganddal. Simulering 3a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Krossen og mellom Sira og Ganddal, konvensjonelt kl-anlegg mellom Krossen og Sira.

4.4 Simulering 4a med kapasitetsoptimal ruteplan og alternativ A1b

Simulering 4a er utført med alternativ A1b med konvensjonelt kontaktledningsanlegg mellom Leivoll og Sira, se Figur 4-16, da det er denne strekningen som har flest tunneler og dermed muligens vanskeligst å innføre AT-system på. Gevinsten med dette alternativet er at en kan legge ned Krossen omformerstasjon. Først og fremst er det spenningsforholdene mellom Leivoll og Sira som er av interesse i denne simuleringen.



Figur 4-16 Omformerplassering med alternativ A1b med AT-system fra Neslandsvatn til Leivoll og mellom Sira og Ganddal. Konvensjonell kl-anlegg mellom Leivoll og Sira. Alle omformerstasjoner har roterende aggregater, unntatt Kjelland som har statiske aggregater. Neslandsvatn har transformator med automatisk trinnkobler.

4.4.1 Belastning av omformere og transformatorstasjoner

Nedenfor viser Tabell 4-13 og Tabell 4-14 belastningen for henholdsvis omformer- og transformatorstasjoner og som en kan forvente er Leivoll omformerstasjon belastet hardere nå som Krossen ikke er med.

Tabell 4-13 Belastning av omformerstasjoner. Simulering 4a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Leivoll og mellom Sira og Ganddal, konvensjonelt kl-anlegg mellom Leivoll og Sira. Høyeste tall for MEAN verdien for henholdsvis 2 sekunder, 6 minutter og 1 time. Prosentvis belastning av totalt innsatt ytelse.

Simulering 4a AT-system med 381 mm ² tverrsnitt for NL og PL og godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan							
Omformer	Innsatt ytelse [MVA]	Effekt					
		2 sek		6 min		1 time	
		[MVA]	[%]	[MVA]	[%]	[MVA]	[%]
Nordagutu	4 x 5,8	22,597	55	13,146	41	7,216	31
Nelaug	4 x 5,8	22,720	55	12,154	38	7,640	33
Leivoll	4 x 5,8	21,429	52	12,184	38	7,441	32
Sira	4 x 5,8	17,780	43	8,832	28	5,749	25
Ganddal	4 x 5,8	17,176	42	7,655	24	5,051	22

Tabell 4-14 Belastning av transformatorstasjoner. Simulering 4a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Leivoll og mellom Sira og Ganddal, konvensjonelt kl-anlegg mellom Leivoll og Sira. Høyeste tall for MEAN verdien av henholdsvis 2 sekunder, 6 minutter og 1 time. Prosentvis belastning av innsatt ytelse.

Simulering 4a AT-system med 381 mm ² tverrsnitt for NL og PL og godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan				
Transformator	Innsatt ytelse [MVA]	Effekt [MVA]		
		2 sek	6 min	1 time
		Nordagutu	1 x 8,0	11,783
Tyri	1 x 8,0	6,813	2,918	2,130
Neslandsvatn	1 x 8,0	10,671	7,465	4,076

4.4.2 Opptatt effekt og energi fra trefasenettet

I Tabell 4-15 er opptatt effekt og energi fra overliggende nett vist og en ser at energiforbruket for dette alternativet er ubetydelig større enn for simulering 3a med et opptak på 34,1 MW.

Tabell 4-15 Opptatt effekt fra overliggende kraftnett. Simulering 4a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Leivoll og mellom Sira og Ganddal, konvensjonelt kl-anlegg mellom Leivoll og Sira. Maksimal tosekunders verdi og middelværdi for en time er vist. Også energiforbruket og tilbakelevert energi i løpet av en time er vist.

Simulering 4a AT-system med 381 mm² tverrsnitt for NL og PL og godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan			
Omformer	Effekt [MW]		Energi inn/ut/sum [MWt]
	Maks	Middel	Time
Nordagutu	22,974	7,266	7,512 / -0,756 / 6,756
Nelaug	23,353	7,820	7,598 / -0,110 / 7,489
Leivoll	22,442	7,709	7,607 / -0,075 / 7,532
Sira	18,358	6,140	6,043 / -0,005 / 6,038
Ganddal	18,241	5,568	5,449 / -0,002 / 5,448
Sum energi			34,209 / 0,947 / 33,261

4.4.3 Belastning av negativ- og positivleder

Belastningen for avgangene fra omformerstasjonene er vist i Tabell 4-16 nedenfor og en ser at for strekningen med konvensjonelt kontaktledningsanlegg (fra Leivoll vestlig avgang til Sira østlig avgang) kommer langvarige strømverdier (1 times verdi) også denne gangen godt under nominell strømføringssevne på 600 A. Også de kortvarige strømverdiene ligger langt innenfor akseptable verdier.

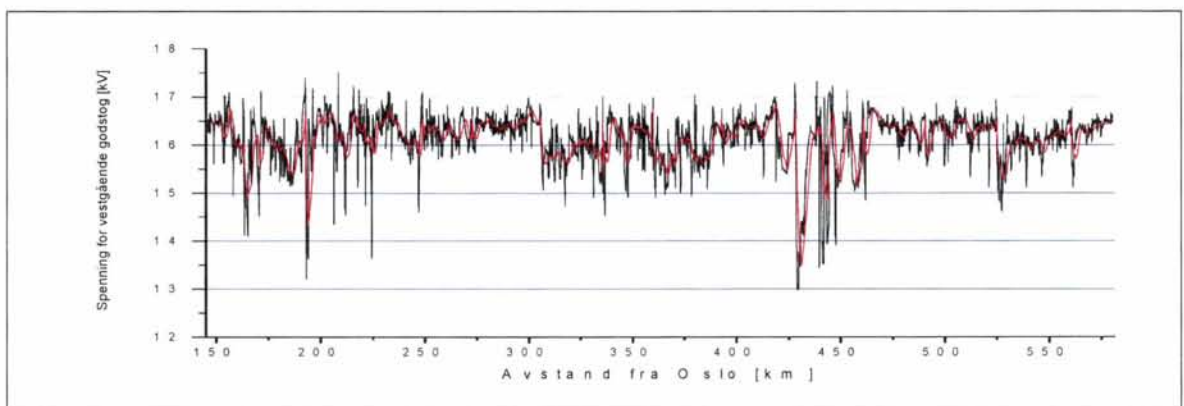
Tabell 4-16 Belastning av ledere ut fra omformerstasjonene. Det er vist belastning ut fra dagens 15,0 kV enfasetransformatorer og for å finne strømbelastningen på 30 kV nivå på utgående NL og PL må tallene divideres på to. Simulering 4a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Leivoll og mellom Sira og Ganddal, konvensjonelt kl-anlegg mellom Leivoll og Sira. Maksimal RMS verdi for en del tidsavsnitt.

Simulering 4a AT-system med 381 mm² tverrsnitt for NL og PL og godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan						
NL og PL avgang ved omformer	Strøm [kA]					
	1 sek	10 sek	1 min	6 min	10 min	1 time
Nordagutu vest	0,849	0,737	0,603	0,424	0,385	0,224
Neslandsvatn øst	0,636	0,622	0,430	0,247	0,234	0,164
Neslandsvatn vest	0,854	0,831	0,610	0,437	0,412	0,300
Nelaug øst	1,261	1,231	1,003	0,548	0,498	0,352
Nelaug vest	1,303	1,235	0,963	0,791	0,699	0,436
Leivoll øst	1,321	1,113	0,797	0,623	0,555	0,420
Leivoll vest	0,997	0,930	0,843	0,488	0,487	0,294
Sira øst	1,073	1,068	0,851	0,624	0,541	0,350
Sira vest	1,008	0,985	0,726	0,494	0,422	0,322
Ganddal øst	1,060	1,009	0,794	0,485	0,439	0,348

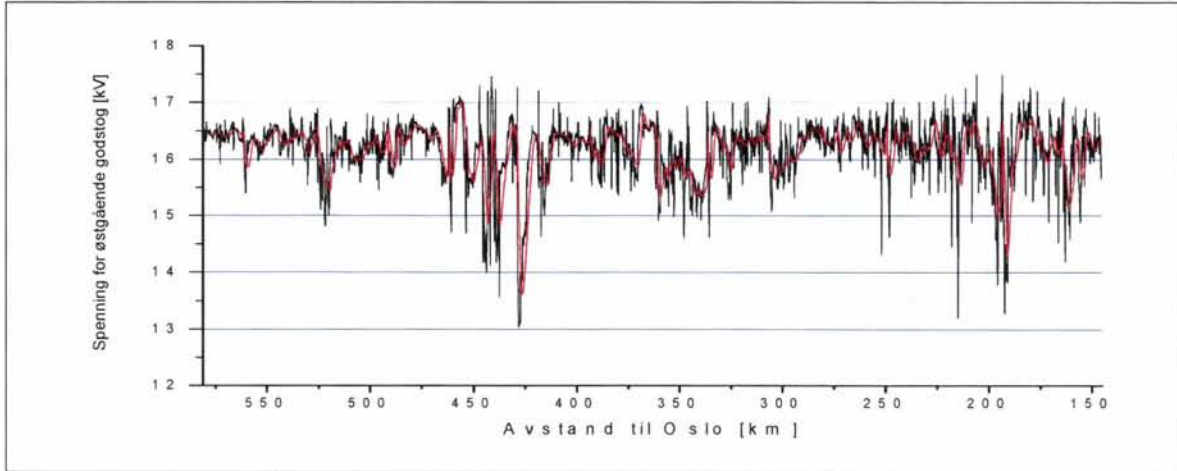
4.4.4 Spenningen for togene

Nedenfor viser Tabell 4-23 og Tabell 4-33 spenningen for togene. For strekningen fra Leivoll omformer ved km 367 til Sira ved km 468 ser en at spenningen blir noe lav, men aldri kommer under 12,5 kV som er "bør krav" for eksisterende anlegg (vedlikeholdskrav). Med yterligere trafikkvekst forventes det at denne strekningen blir en flaskehals og at den da bør bygges om til AT-system. Se for øvrig avsnitt 5.7.8 for videre diskusjon om dette problemet. Der det er bygget AT-system mellom Neslandsvatn ved km 219 til Leivoll ved km 409 og fra Sira ved km 468 til Ganddal ved km 581 ser det ut til at spenningen blir helt utmerket, også med tillagt usikkerhetsmargin på 0 – 700 V.

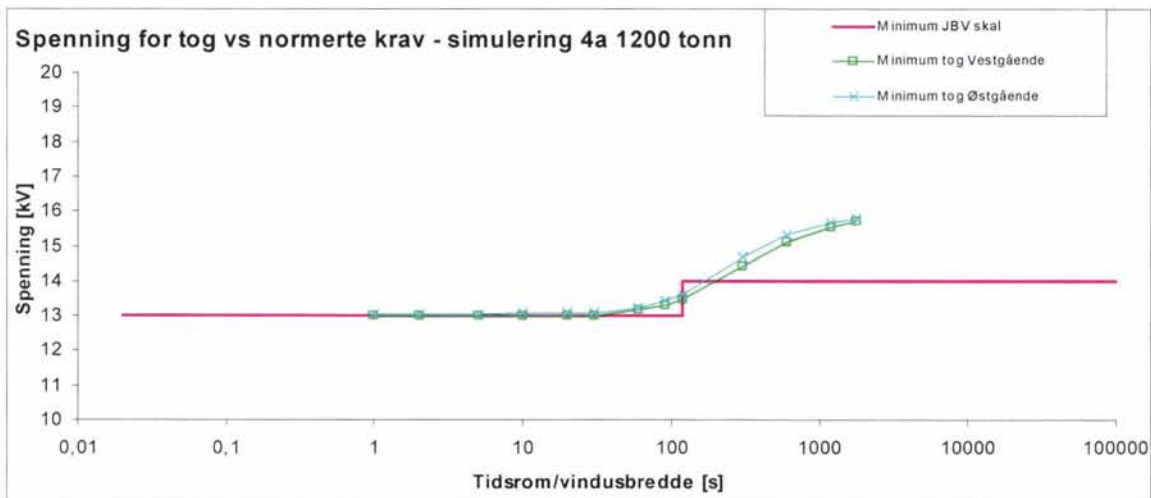
Figur 4-15 viser tidsvektet varighetskurve for spenningene for de to togene, men som påpekt tidligere blir ikke denne fremstillingsmåten helt riktig her siden en evaluerer både eksisterende og nye anlegg og forskjellige akseptkriterier dermed gjelder. Uansett viser denne figuren at spenningen blir knapt kommer innenfor det akseptabel.



Figur 4-17 Spennning for vestgående godstog fra Nordagutu til Ganddal. Simulering 4a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Leivoll og mellom Sira og Ganddal, konvensjonelt kl-anlegg mellom Leivoll og Sira. RMS verdier for spenningen er vist, og svart strek viser momentanverdi og rød viser 2 minutters verdi.



Figur 4-18 Spenning for østgående godstog fra Ganddal til Nordagutu. Simulering 4a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Leivoll og mellom Sira og Ganddal, konvensjonelt kl-anlegg mellom Leivoll og Sira. RMS verdier for spenningen er vist, og svart strek viser momentanverdi og rød viser 2 minutters verdi.



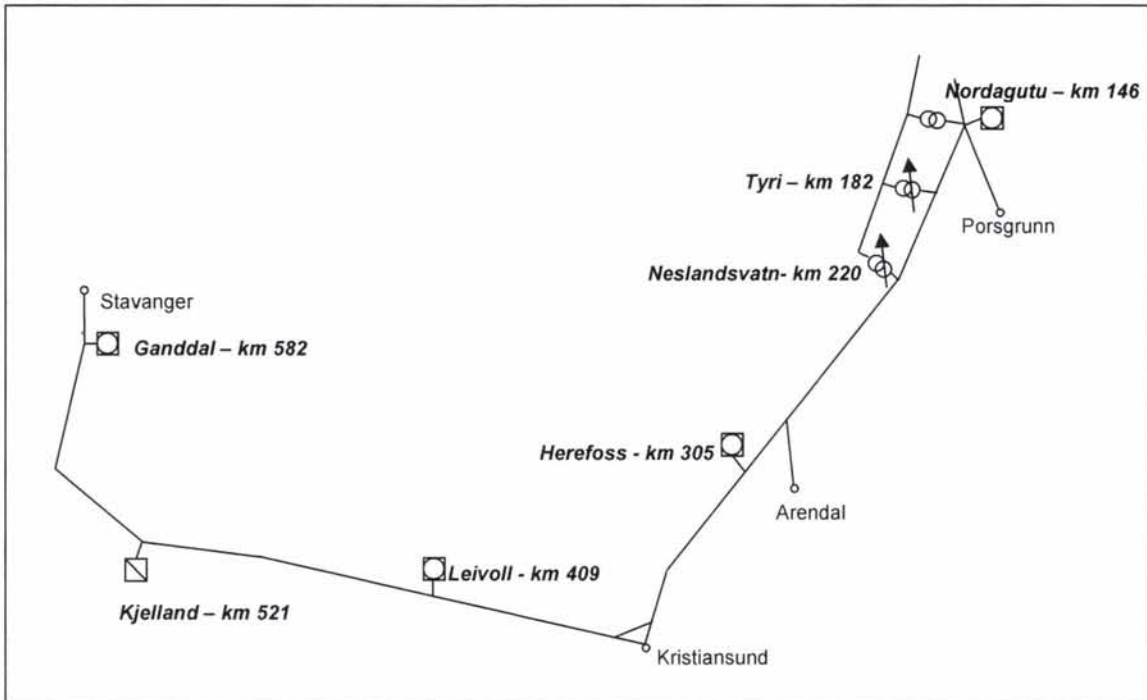
Figur 4-19 Minimumsverdier for tidsvektet varighetskurve for RMS verdien av spenningen for vest- og østgående godstog på hele strekningen fra Nordagutu til Ganddal. Simulering 4a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Leivoll og mellom Sira og Ganddal, konvensjonelt kl-anlegg mellom Leivoll og Sira.

4.5 Simulering 5a med kapasitetsoptimal ruteplan og alternativ A3 og simulering 5ak med tverrsnitt 240 mm² for NL og PL

Simulering 5a er utført med alternativ A3 med AT-system hele strekningen fra Neslandsvatn til Ganddal og med omformerplassering som vist nedenfor i Figur 4-20. Denne simuleringen er veldig lik 2a med alternativ A2, med den forandringen at Nelaug omformer er lagt ned og en ny omformerstasjon er opprettet på Herefoss, ca 23 km lenger sør. Med dette alternativet oppnåes jevnere lengde på matestrekningene. I tillegg til dette er simuleringen også utført med transformator på Neslandsvatn med åtte trinn, og den på Tyri får den gamle med fire fra Neslandsvatn. Dagens fjernledning er benyttet. En annen forskjell er at omformerstasjonene

er utstyrt med bare 3 aggregater istedenfor 4. Simulering 5ak er utført med ledertverrsnitt 240 mm² for NL og PL for å se om dette tverrsnittet kan vurderes istedenfor det store på 381 mm².

Dette alternativet (A3) med den omformerplasseringen som nevnt ovenfor velges som den foretrukne og de simuleringene som utføres med driftsavvik skjer kun med denne. Mer diskusjon om omformerplassering og alternativer i avsnitt 5.7.3.



Figur 4-20 Omformerplassering med alternativ A3 med AT-system fra Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon etablert på Herefoss og transformatorstasjonene på Tyri og Neslandsvatn utstyrt med automatisk trinnkobler. Alle omformerstasjoner har roterende aggregater.

4.5.1 Lastflyt uten trafikk

Nedenfor viser Tabell 4-17 og Tabell 4-18 lastflyten i henholdsvis kontakt- og fjernledning før trafikken starter. Aktiv og reaktiv effekt inn til en avgang (node) får positivt fortegn og ut fra noden negativt fortegn. Som en ser er det en del store effekter som flyter på fjernledningen og det ser ut som om det er hele 2,95 MW som kommer fra Skoppum inn til Nordagutu. En del av denne effekten taes opp av omformeren og mates ut på kontaktledningen, mens det er 2,20 MW som transporteres videre på fjernledningen og leveres ut på kontaktledningen ved Tyri og Neslandsvatn transformatorstasjoner. Effekten går derfra videre til Herefoss og Leivoll omformerstasjoner hvor noe mates ut til trefasenettet, mens det meste av effekten forsvinner som tap i kl-anlegget og tomgangstap. Ut fra dette ser det ikke ut til at effektflyt i tomgang skyldes faseforskyving av spenningen i overliggende nett, men at Hakavik kraftstasjon mater konstant effekt inn i nettet (uavhengig av toggangen). I appendiks C er det laget flere lastflyt beregninger for tomgang med og uten fallende statikk for omformerstasjonene, samt forsøk med å legge ut Hakavik kraftstasjon.

Tabell 4-17 Effektflyt for omformere og transformatorstasjoner (15,0 kV nivå) for alternativ A3 for simulering 5 før trafikken starter.

Simulering 5 før trafikken starter			
Omformeravgang	Spenning og vinkel [kV]	Aktiv effekt [MW]	Reaktiv effekt [MVar]
Nordagutu øst	16,53 $\delta = -6,34^\circ$	-0,94	-0,48
Nordagutu sør		-0,46	-0,38
Nordagutu vest		0,21	0,35
Tyri øst	16,76 $\delta = -6,47^\circ$	-0,21	-0,35
Tyri vest		-0,40	-0,10
Neslandsvatn øst	16,66 $\delta = -7,22^\circ$	0,39	-0,11
Neslandsvatn vest		-1,84	0,55
Herefoss øst	16,49 $\delta = -9,15^\circ$	1,54	-0,80
Herefoss vest		-0,93	0,50
Leivoll øst	16,47 $\delta = -10,51^\circ$	0,68	-0,69
Leivoll vest		-0,41	0,10
Kjelland øst	16,48 $\delta = -10,99^\circ$	0,07	-0,35
Kjelland vest		-0,29	0,04
Ganddal vest	16,49 $\delta = -11,15^\circ$	-0,03	-0,27

Tabell 4-18 Effektflyt for omformere og transformatorstasjoner i forbindelse med fjernledningen (55,0 kV nivå) for alternativ A3 for simulering 5 før trafikken starter.

Simulering 5 før trafikken starter		
Fjernledning 55 kV	Aktiv effekt [MW]	Reaktiv effekt [MVar]
Nordagutu øst	2,95	-0,03
Nordagutu vest	2,20	-0,26
Tyri øst	2,16	0,24
Tyri vest	-1,51	0,22
Neslandsvatn	1,48	-0,22

4.5.2 Belastning av omformere og transformatorstasjoner

Nedenfor viser henholdsvis Tabell 4-19 og Tabell 4-20 belastningen av omformerstasjonene og transformatorene. Med tre aggregater i hver omformer og krav om at en omformerenhet skal kunne falle ut uten å overbelaste de andre er det rimelig å anta at om de gjenværende da ikke skal belastes mer enn 90 - 100 %, da bør ikke aggregatene belastes særlig mer enn ca 67 % når alle tre ligger inne. Tabellen viser at dette kriteriet er oppfylt for 6 minutter og for timesverdien for samtlige aggregater. Unntatt for 2 sekundsverdien er belastningen noe høy, men allikevel vil dette sannsynligvis ikke føre til utfall av de resterende om ett aggregat faller ut. Det er i appendiks D vist resultater fra en egen simulering for alternativ A3 der det på Herefoss er statiske omformere istedenfor roterende. Alle andre forhold som i simulering 5a.

Tabell 4-19 Belastning av omformerstasjoner. Simulering 5a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss. Høyeste tall for MEAN verdien for henholdsvis 2 sekunder, 6 minutter og 1 time. Prosentvis belastning av totalt innsatt ytelse.

Simulering 5a AT-system med 381 mm ² tverrsnitt for NL og PL godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan							
Omformer	Innsatt ytelse [MVA]	Effekt					
		2 sek		6 min		1 time	
		[MVA]	[%]	[MVA]	[%]	[MVA]	[%]
Nordagutu	3 x 5,8	25,783	83	14,052	59	8,142	47
Herefoss	3 x 5,8	22,990	74	11,731	49	7,391	42
Leivoll	3 x 5,8	20,652	67	10,953	46	7,359	42
Kjelland	3 x 7,5	18,588	83	10,066	42	6,388	28
Ganddal	3 x 5,8	12,454	40	6,254	26	4,775	27

Tabell 4-20 Belastning av transformatorstasjoner Simulering 5a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss. Høyeste tall for MEAN verdien av henholdsvis 2 sekunder, 6 minutter og 1 time. Prosentvis belastning av innsatt ytelse.

Simulering 5a AT-system med 381 mm ² tverrsnitt for NL og PL godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan				
Transformator	Innsatt ytelse [MVA]	Effekt [MVA]		
		2 sek	6 min	1 time
Nordagutu	1 x 8,0	15,140	7,301	4,772
Tyri	1 x 8,0	8,664	4,003	2,583
Neslandsvatn	1 x 8,0	10,733	7,956	4,362

4.5.3 Opptatt effekt og energi fra trefasenettet

Tabell 4-21 og Tabell 2-2 viser opptatt effekt fra overliggende nett, som en ser er middelverdien rundt 7 MW og tendensen er noe mindre opptatt effekt enn i simulering 2a, se Tabell 4-7. Det er også et noe større effektopptak ca (3 %) for simuleringen med lavere tverrsnitt.

Tabell 4-21 Opptatt effekt fra overliggende kraftnett Simulering 5a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss. Maksimal tosekunders verdi og middelvei for en time er vist, samt energiforbruket og tilbakelevert energi i løpet av en.

Simulering 5a AT-system med 381 mm² tverrsnitt for NL og PL godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan			
Omformer	Effekt [MW]		Energi inn/ut/sum [MWt]
	Maks	Middel	Time
Nordagutu	25,128	7,599	8,097 / -0,955 / 7,142
Herefoss	22,172	7,323	7,144 / -0,094 / 7,050
Leivoll	21,227	7,285	7,170 / -0,049 / 7,121
Kjelland	19,154	6,208	6,096 / 0 / 6,096
Ganddal	13,333	4,553	4,447 / 0 / 4,447
Sum energi			<u>32,950 / -1,138 / 31,856</u>

Tabell 4-22 Opptatt effekt fra overliggende kraftnett Simulering 5ak med 240 mm² ledertverrsnitt for NL og PL, kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss. Maksimal tosekunders verdi og middelvei for en time er vist, samt energiforbruket og tilbakelevert energi i løpet av en time.

Simulering 5ak AT-system med 240 mm² tverrsnitt for NL og PL godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan			
Omformer	Effekt [MW]		Energi inn/ut/sum [MWt]
	Maks	Middel	Time
Nordagutu	26,717	7,809	7,967 / -0,976 / 8,944
Herefoss	24,683	7,656	7,6151 / -0,0956 / 7,520
Leivoll	23,593	7,802	7,7662 / -0,0513 / 7,715
Kjelland	20,579	6,366	6,2905 / 0 / 6,291
Ganddal	14,204	4,309	4,2238 / 0 / 4,224
Sum energi			<u>33,863 / 1,123 / 32,740</u>

4.5.4 Tap i kontaktledningssystem og omformere

Ved hjelp av energisummering i hvert enkelt tog er det mulig å finne opptatt energi til alle togene for en hel time og trekke dette fra opptatt energi til omformerne i den samme timen, ut fra dette fremkommer tapene i hele systemet. Det har i tidligere arbeid med å finne kontaktledningstap [9] blitt utredet en rekke forskjellige metoder for å beregne tapene i kontaktledningsnett, her benyttes metode 5 som også var den som ble brukt i dette arbeidet. Ved å se på Nordagutu omformerstasjon som systemgrense finner en de samlede omformer- og kontaktledningstapene til **14,0 %** for simulering 5a og **15,5 %** for simulering 5ak. Dette utgjør i tall et tap på 5,81 MWh for simulering 5a og 6,6 MWh for 5ak for en time med trafikk. I disse tallet er også tomgangstap i omformerstasjoner og autotransformatorene inkludert. Det ville vært mer hensiktsmessig om systemgrensen ikke gikk ved Neslandsvatn transformatorstasjon siden AT-systemet begynner her, tapsprosenten gjelder dermed også for den delen av Sørlandsbanen som har konvensjonelt kl-anlegg og fjernledning.

4.5.5 Belastning av negativ- og positivleder

Tabell 4-28 viser belastning av avgangene til NL og PL på 15 kV nivå og belastningene er i samme størrelsesorden som tidligere simuleringer. Det er ikke laget tilsvarende tabell for simuleringen med det lavere tverrsnittet, men strømbelastningen på NL og PL forventes å være nesten like stor. For kontinuerlig belastning av line og kabel på 240 mm² er "bør" verdiene satt til henholdsvis 520 og 380 A og timeverdiene her (dividert på 2) ligger godt under dette kravet. Når det gjelder kortvarig belastning er "bør" verdiene for line og kabel med tverrsnitt 240 mm² henholdsvis 990 og 630 A. Som sakt før er ikke disse verdiene absolutte, og for line kan en se på verdier helt til venstre i tabellen og for kabel gjelder "kortvarig" verdi 10 minutter.

En ser at Herefoss omformeravgang i østlig retning og avgang ved Kjelland, også i østlig retning, mater ut mest strøm. Høyeste 1 sekundverdi på 30 kV nivå blir 682 A som er godt innenfor kravet hva gjelder "bør" verdi for liner og kabler, i alle fall om en ser på 10 minuttersverdi for kabler. Imidlertid gjelder verdiene i tabellen for avgangene og strømmen blir mindre desto lengre ut på matestrekningen en kommer, dermed må en kabel for tunnelgjennomføring komme rett ved Herefoss eller Kjelland om dette skal kunne bli nødvendig å vurdere som problematisk.

Tabell 4-23 Belastning av ledere ut fra omformerstasjonene. Det er vist belastning ut fra dagens 15,0 kV enfasetransformatorer og for å finne strømbelastningen på 30 kV nivå på utgående NL og PL må tallene divideres på to. Simulering 5a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss. Maksimal RMS verdi for en del tidsavsnitt.

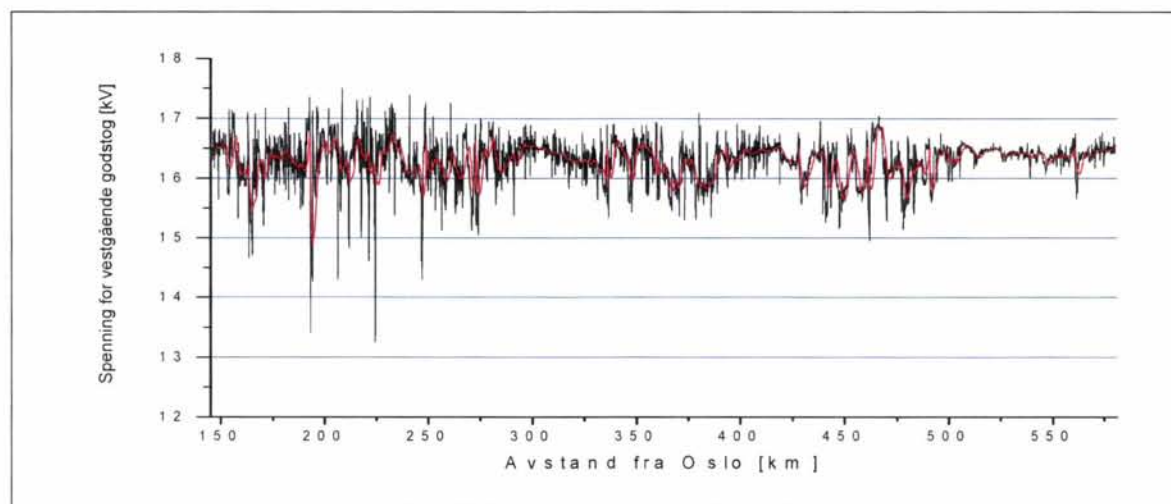
NL og PL avgang ved omformer	Strøm [kA]					
	1 sek	10 sek	1 min	6 min	10 min	1 time
Nordagutu vest	0,818	0,695	0,579	0,407	0,369	0,213
Neslandsvatn øst	0,624	0,595	0,381	0,236	0,223	0,151
Neslandsvatn vest	0,896	0,875	0,655	0,473	0,448	0,326
Herefoss øst	1,365	1,217	0,940	0,531	0,503	0,389
Herefoss vest	1,121	1,088	0,921	0,481	0,470	0,363
Leivoll øst	1,192	1,022	0,820	0,585	0,521	0,402
Leivoll vest	1,157	1,104	0,975	0,556	0,531	0,376
Kjelland øst	1,288	1,093	0,866	0,652	0,615	0,453
Kjelland vest	0,898	0,882	0,670	0,438	0,386	0,253
Ganddal øst	0,761	0,715	0,556	0,382	0,364	0,291

4.5.6 Spenningen for togene

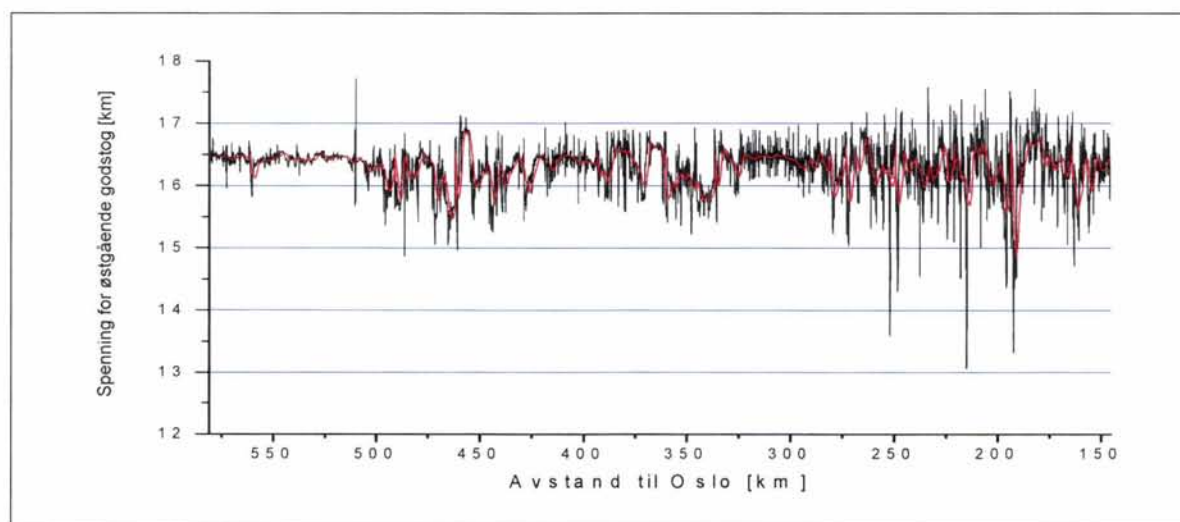
Figur 4-21 og Figur 4-22 viser spenningen for henholdsvis vest og østgående godstog og en ser at spenningen er meget god stort sett på hel strekningen, men ved Neslandsvatn er den noe få steder noen kortvarige spenninger ned mot 13,0 kV. Selv med det tiltaket som er gjort med flere trinn på transformatoren i Neslandsvatn og Tyri er det vanskelig å si om dette har hatt noen som helst betydning. I Figur 4-25 viser tidsvektet varighetskurve for spenningen for de to togene at spenningen blir akseptabel og innenfor kravene. Hadde denne kurven vært laget bare for strekningen fra Neslandsvatn til Ganddal hadde nok verdien for tidsvektet spenning

knapt vært under 15,0 kV selv for ett sekunds verdier. Også med usikkerhetsmargin på 0 – 700 V blir spenningen altså god over 14,0 kV.

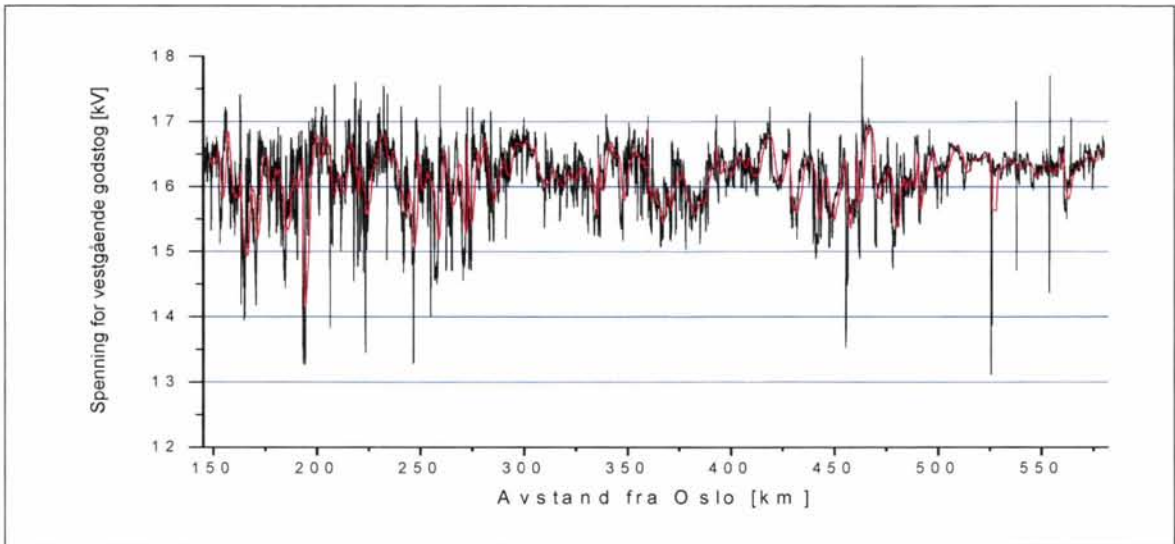
I Figur 4-22 og Figur 4-23 er spenningen for simulering 5ak med ledertverrsnitt 240 mm² for NL og PL vist. Som en ser er spenningen for denne simuleringen noe lavere, og med den tillagte usikkerhetsmarginen på 0 – 700 V er det en viss sannsynlighet for spenninger under akseptkriteriet på 13,0 kV. Imidlertid er det kun snakk om noen meget kortvarige spenningsfall under 13,0 kV. Spenningen er også med dette tverrsnittet sannsynligvis innenfor akseptable grenser, og det er fremdeles i området rundt Neslandsvatn transformatorstasjon at spenningen er noe lav. Figur 4-26 som viser som vanlig tidsvektet varighetskurve helt fra Nordagutu til Ganddal.



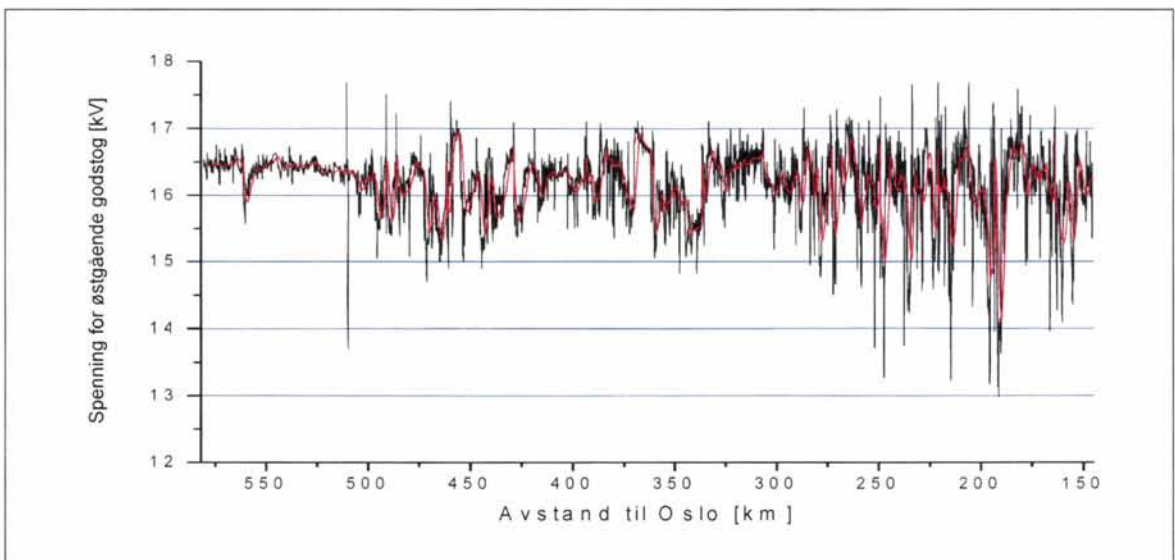
Figur 4-21 Spennning for vestgående godstog fra Nordagutu til Ganddal. Simulering 5a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss. RMS verdier for spenningen er vist, og svart strek viser momentanverdi og rød viser 2 minutters verdi.



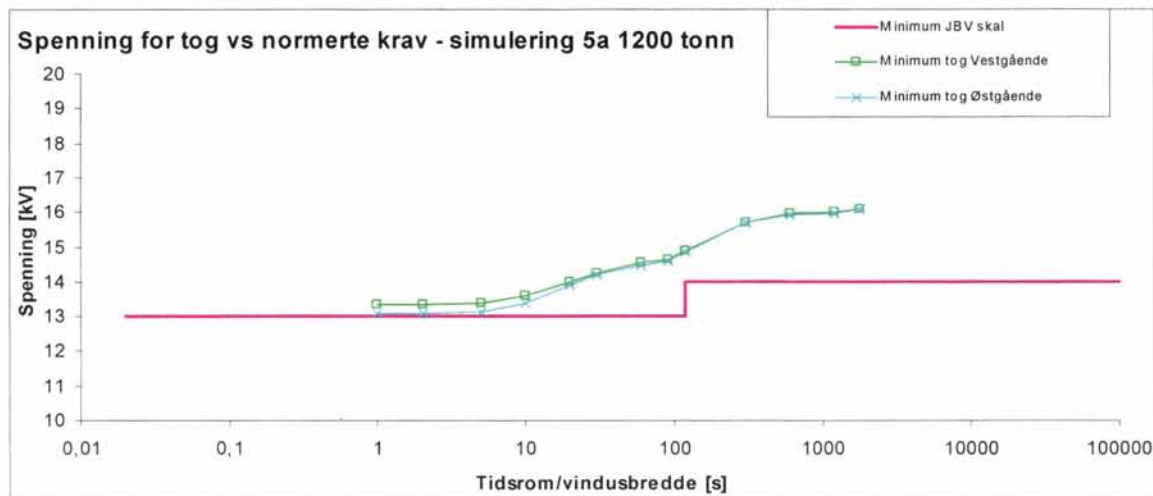
Figur 4-22 Spennning for østgående godstog fra Ganddal til Nordagutu. Simulering 5a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss. RMS verdier for spenningen er vist, og svart strek viser momentanverdi og rød viser 2 minutters verdi.



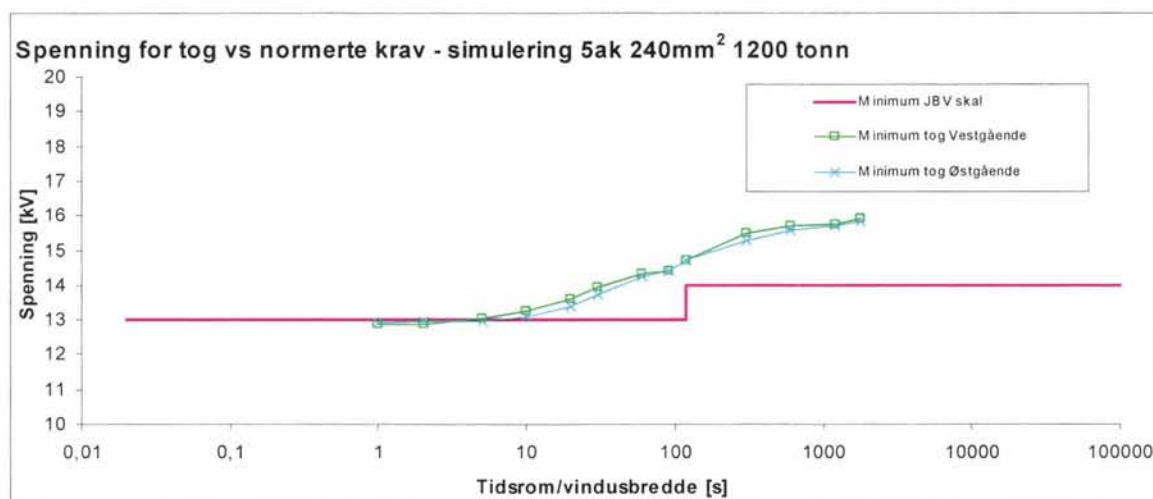
Figur 4-23 Spenning for vestgående godstog fra Nordagutu til Ganddal. Simulering 5ak med 240 mm² ledertverrsnitt, kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss. RMS verdier for spenningen er vist, og svart strek viser momentanverdi og rød viser 2 minutters verdi.



Figur 4-24 Spenning for østgående godstog fra Ganddal til Nordagutu. Simulering 5ak med 240 mm² ledertverrsnitt, kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss. RMS verdier for spenningen er vist, og svart strek viser momentanverdi og rød viser 2 minutters verdi.



Figur 4-25 Minimumsverdier for tidsvektet varighetskurve for RMS verdien av spenningen for vest- og østgående godstog på hele strekningen fra Nordagutu til Ganddal. Simulering 5a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss.



Figur 4-26 Minimumsverdier for tidsvektet varighetskurve for RMS verdien av spenningen for vest- og østgående godstog på hele strekningen fra Nordagutu til Ganddal. Simulering 5ak med 240 mm² ledertverrsnitt for NL og PL, kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss.

4.6 Simulering 5a med ekstratog innsatt i kapasitetsoptimal ruteplan alternativ A3 og simulering 5ak med tverrsnitt 240 mm² for NL og PL

Simuleringen med ekstratog er gjort ved at det i ruteplanen er forsøkt satt inn ekstra tog mellom de togene som kapasitetsoptimal ruteplan opprinnelig har med. (Disse ekstra togene må ikke forveksles med regelverkets begrep "ekstratog" som betegner et enkelt tog som settes inn ved behov.) Togfølgetiden reduseres fra 60 minutter pr tog pr retning til 30 minutter og banestrømforsyningen belastes tilsvarende hardere. Imidlertid er det ikke mulig å få inn disse ekstratogene slik at det blir realistisk å få oppfylt, til det er det for få krysningssteder og for mange tog. Allikevel får en anta at dette gir en pekepinn om hva doblet transportarbeid kan få

for betydning for banestrømforsyningen. Belastningsøkningen som dette innebærer er så stor at en må se på dette som en indikasjon på marginene for økt transportarbeid langt frem i tiden når anlegget allerede har eksistert lenge. Dermed benytter en akseptkravene som gjelder for spenningen for allerede eksisterende anlegg (vedlikeholdskrav).

4.6.1 Belastning av omformere og transformatorstasjoner

I Tabell 4-24 og Tabell 4-25 er belastningen på henholdsvis omformerstasjoner og transformatorer vist. Det ser ut som om tre roterende aggregater i hver omformerstasjon er for lite både fordi den kortvarige belastningen er høy og fordi en mangler redundans i tilfelle utfall av et aggregat. Fire omformere på 5,8 MVA eller tre på 7 MVA er nok nødvendig om trafikken noen gang skulle bli så stor.

Tabell 4-24 Belastning av omformerstasjoner. Simulering 5a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss. Høyeste tall for MEAN verdien for henholdsvis 2 sekunder, 6 minutter og 1 time. Prosentvis belastning av totalt innsatt ytelse.

Simulering 5a AT-system med 381 mm ² tverrsnitt for NL og PL godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan							
Omformer	Innsatt ytelse [MVA]	Effekt					
		2 sek		6 min		1 time	
		[MVA]	[%]	[MVA]	[%]	[MVA]	[%]
Nordagutu	3 x 5,8	37,997	123	21,341	89	14,939	86
Herefoss	3 x 5,8	30,589	98	18,302	76	12,218	70
Leivoll	3 x 5,8	38,595	125	18,415	77	12,084	69
Kjelland	3 x 7,5	22,317	99	13,405	60	10,096	45
Ganddal	3 x 5,8	28,007	91	10,350	43	8,019	46

Tabell 4-25 Belastning av transformatorstasjoner Simulering 5a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss. Høyeste tall for MEAN verdien av henholdsvis 2 sekunder, 6 minutter og 1 time. Prosentvis belastning av innsatt ytelse.

Simulering 5a AT-system med 381 mm ² tverrsnitt for NL og PL godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan				
Transformator	Innsatt ytelse [MVA]	Effekt [MVA]		
		2 sek	6 min	1 time
		Nordagutu	1 x 8,0	19,575
Tyri	1 x 8,0	10,940	5,791	3,534
Neslandsvatn	1 x 8,0	12,488	9,725	5,720

4.6.2 Opptatt effekt og energi fra trefasenettet

Tabell 4-26 og Tabell 4-27 nedenfor viser opptatt effekt fra overliggende nett. Som en ser er middelveidien (timeverdi) rundt 7 MW for simulering 5a og rundt 8 MVA for simulering 5ak.

Tabell 4-26 Opptatt effekt fra overliggende kraftnett for simulering 5a med 381 mm² ledertverrsnitt for NL og PL, kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss. Maksimal tosekunders verdi og middelvei for en time er vist, samt energiforbruket og tilbakelevert energi i løpet av en time.

Simulering 5a AT-system og godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan med ekstra godstog.			
Omformer	Effekt [MW]		Energi inn/ut/sum [MWt]
	Maks	Middel	Time
Nordagutu	25,128	7,599	8,097 / -0,955 / 7,142
Herefoss	22,172	7,323	7,144 / -0,094 / 7,050
Leivoll	21,227	7,285	7,170 / -0,049 / 7,121
Kjelland	19,154	6,208	6,096 / 0 / 6,096
Ganddal	13,333	4,553	4,446 / 0 / 4,446
Sum energi			32,953 / 1,098 / 31,855

Tabell 4-27 Opptatt effekt fra overliggende kraftnett for simulering 5ak med 240 mm² ledertverrsnitt for NL og PL, kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss. Maksimal tosekunders verdi og middelvei for en time er vist, samt energiforbruket og tilbakelevert energi i løpet av en time.

Simulering 5ak AT-system med 240 mm² tverrsnitt for NL og PL godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan med ekstra godstog.			
Omformer	Effekt [MW]		Energi inn/ut/sum [MWt]
	Maks	Middel	Time
Nordagutu	26,717	7,809	8,253 / -0,959 / 7,294
Herefoss	24,683	7,656	7,477 / -0,107 / 7,370
Leivoll	23,593	7,802	7,702 / -0,055 / 7,647
Kjelland	20,579	6,366	6,262 / 0 / 6,262
Ganddal	14,204	4,309	4,205 / 0 / 4,205
Sum energi			33,899 / -1,121 / 32,778

4.6.3 Belastning av negativ- og positivleder

I Tabell 4-28 nedenfor sees det at strømmen på avgangene har økt en hel del etter at de ekstra togene ble satt inn. Vestlig avgang fra Leivoll omformerstasjon har størst strøm på 2170 A, dette er en økning på hele 87 %. For liner og kabler på 240 mm² kan det se ut som om kortvarige belastning vil komme over "bør" verdiene i alle fall for de aller korteste strømverdiene som gjelder for liner (990 A). Ser en på 10 minuttersverdier for kabler på 240 mm² (630 A) er en innenfor grensen. For tverrsnitt på 381 mm² er ikke dette noe problem. Imidlertid er det nok ikke riktig å se på disse prosjekteringsverdiene for "skal" og "bør" siden denne ruteplanen jo skulle si noe om fremtidig transportøkning. Ser en istedenfor på maksimalgrensene som gjelder er marginene store for begge tverrsnittene.

Tabell 4-28 Belasting av ledere ut fra omformerstasjonene. Det er vist belasting ut fra dagens 15,0 kV enfasetransformatorer og for å finne strømbelastningen på 30 kV nivå på utgående NL og PL må tallene divideres på to. Simulering 5a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, ekstratog som fordobler trafikken, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss. Maksimal RMS verdi for en del tidsavsnitt.

Simulering 5a AT-system med 381 mm² tverrsnitt for NL og PL og godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan med ekstratog.

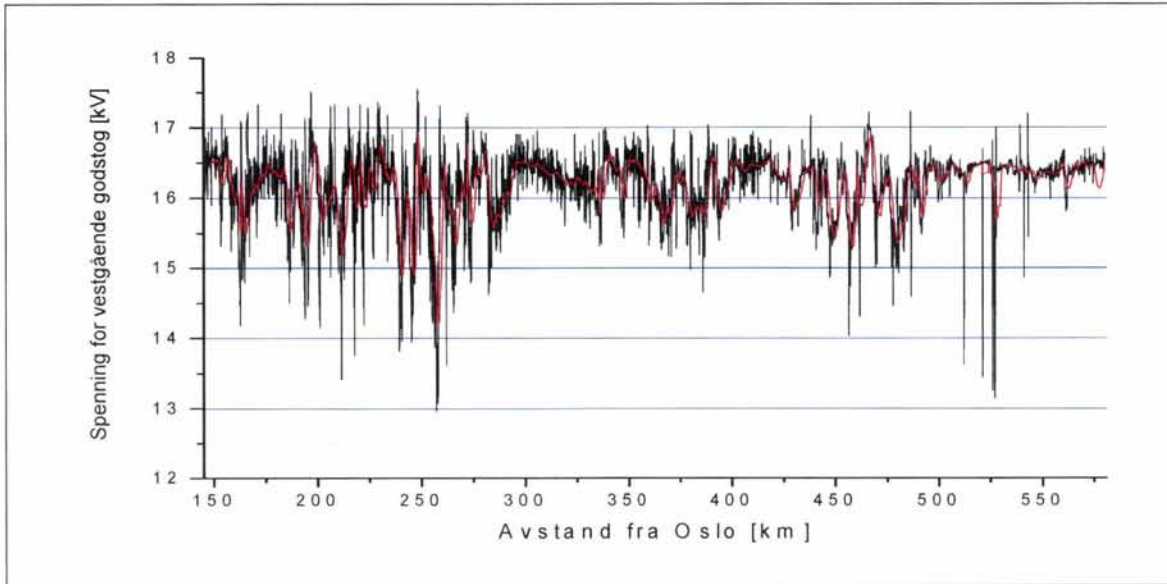
NL og PL avgang ved omformer	Strøm [kA]					
	1 sek	10 sek	1 min	6 min	10 min	1 time
Nordagutu vest	0,934	0,896	0,762	0,509	0,451	0,313
Neslandsvatn øst	0,910	0,900	0,645	0,366	0,304	0,224
Neslandsvatn vest	1,243	1,113	0,922	0,692	0,652	0,424
Herefoss øst	1,705	1,665	1,448	0,831	0,745	0,565
Herefoss vest	1,814	1,796	1,489	0,851	0,761	0,571
Leivoll øst	1,705	1,596	1,354	0,928	0,843	0,639
Leivoll vest	2,169	1,979	1,645	0,992	0,812	0,570
Kjelland øst	1,673	1,612	1,353	1,021	0,989	0,695
Kjelland vest	1,125	0,991	0,783	0,508	0,432	0,350
Ganddal øst	1,546	1,480	1,120	0,643	0,559	0,466

4.6.4 Spenningen for togene

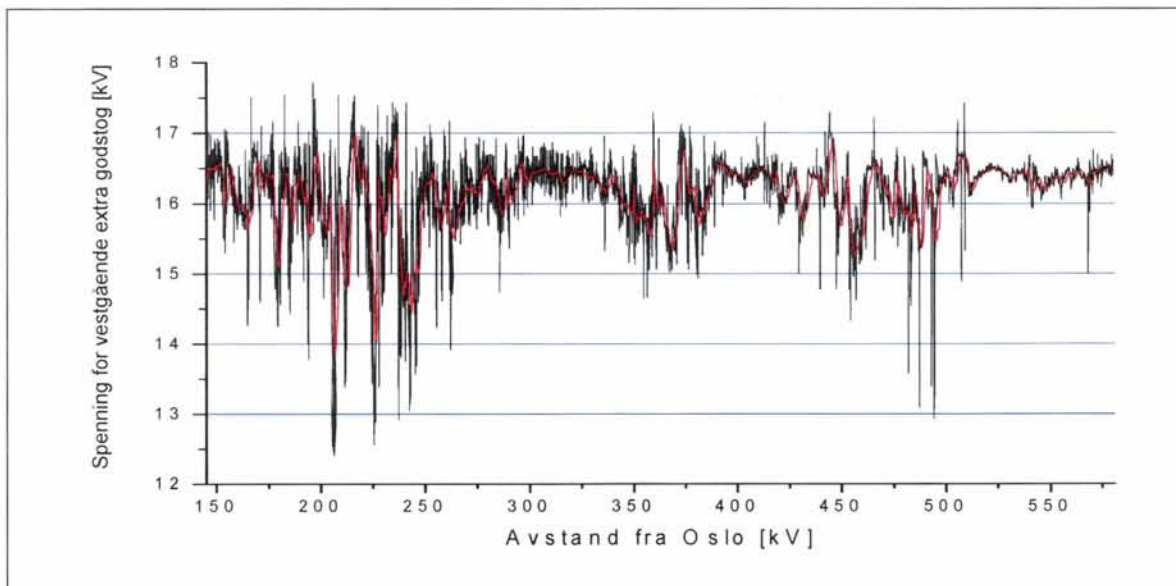
Spenningen for togene i simulering 5a er vist i Figur 4-27 til Figur 4-30 og en ser at selv om spenningen fremdeles er meget god over lange avstander oppstår det lave spenninger på noen bestemte steder. Som vanlig er det lave spenninger rundt Neslandsvatn, men denne ganger er det også lav spenning for alle togene i området mellom Sira (ved km 468) og Kjelland (ved km 520). Med usikkerhetsmarginen på 0 – 700 V tillagt kan spenningen her komme ned mot 12,0 kV eller under. Imidlertid er simuleringene med ekstratog ment å vise marginene for systemet om togtrafikken i fremtiden skulle øke mye mer enn dimensjonerende ruteplan legger opp til. Kravet for eksisterende anlegg gjelder og da skal en se til at spenningen kortvarig *skal* komme over 12,0 kV, men *bør* komme over 12,5 kV. Spenningen *bør* dessuten for langvarige perioder (over 2 minutter) komme over 13,5 kV.

Figur 4-31 til Figur 4-34 viser spenningen for togene i simulering 5ak med 240 mm² tverrsnitt for NL og PL og som en kan forvente er spenningen her enda lavere. Med tillagt usikkerhetsmargin på 0 -700 V står en i fare for å få spenninger under 12,0 kV på enda flere steder enn i simuleringen med det større tverrsnittet. Figur 4-35 og Figur 4-36 viser tidsvektet varighetskurve for de to simuleringene med skal og bør kravene markert.

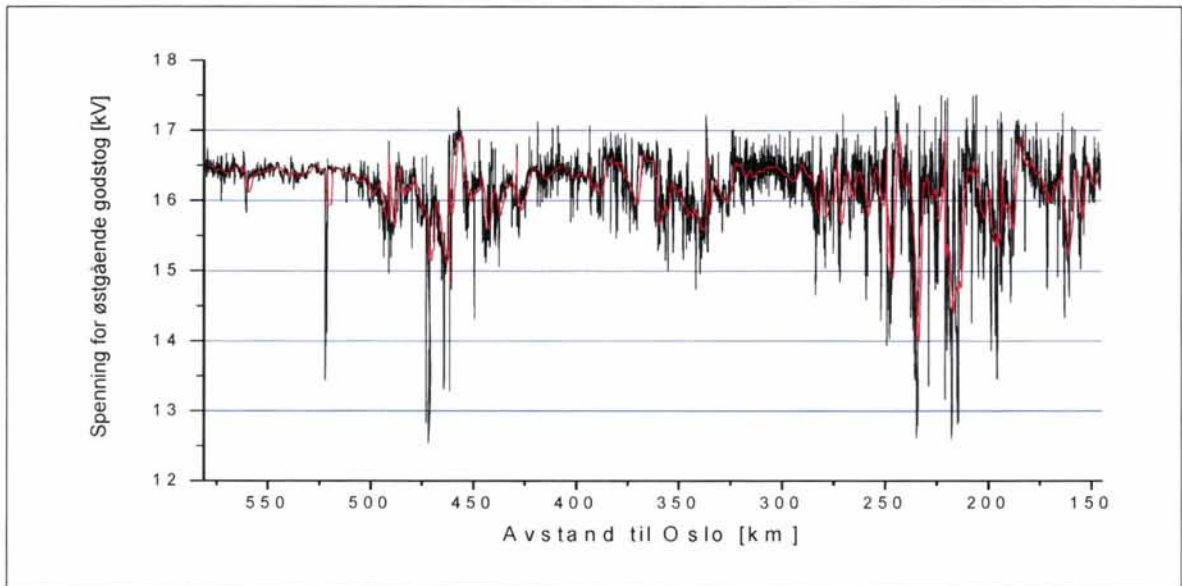
Selv om spenningen for togene blir for lav i henhold til kravet for eksisterende anlegg viser simuleringene at en har stor margin for trafikkøkninger. Ekstratogene som er satt inn kommer for tett i forhold til krysningssmuligheter og er ikke realistisk å få til i virkeligheten, det vil måtte være noe større følgetid mellom togene. I praksis vil vise forskyvninger av krysningstider sannsynligvis også føre til at spenningen forbedres. Derfor er det nok mulig at togtrafikken kan økes en hel del i forhold til dimensjonerende ruteplan uten at spenningen blir for lav, om ikke fullt like mye som den fordoblingen det er lagt opp til i disse simuleringene.



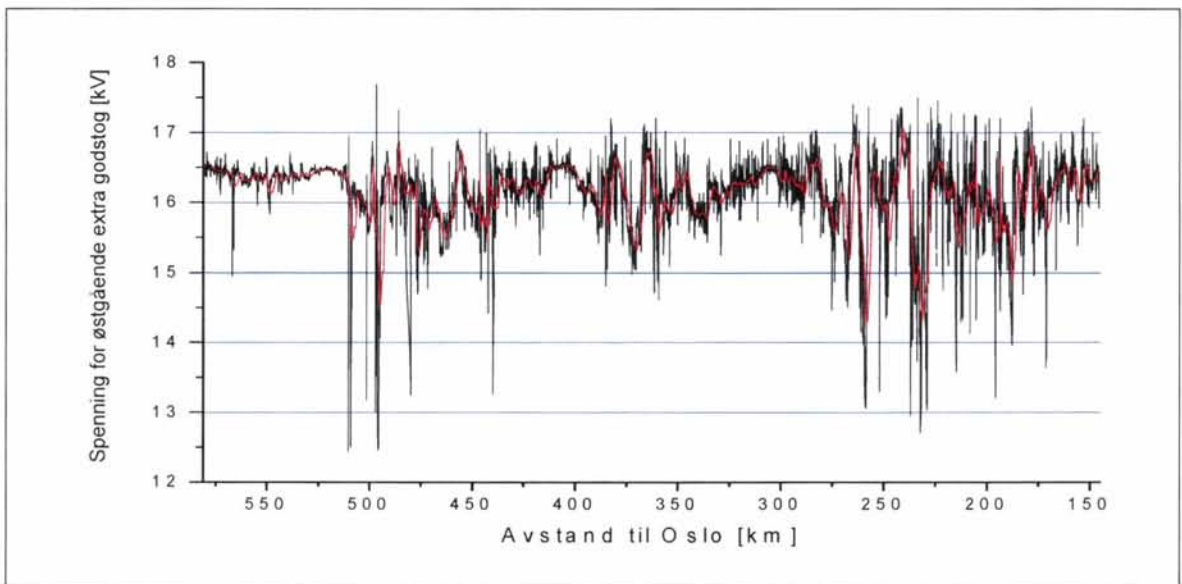
Figur 4-27 Spenning for vestgående godstog fra Nordagutu til Ganddal. Simulering 5a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal og ekstra godstog innsatt. Ny omformerstasjon på Herefoss. RMS verdier for spenningen er vist, og svart strek viser momentanverdi og rød viser 2 minutters verdi.



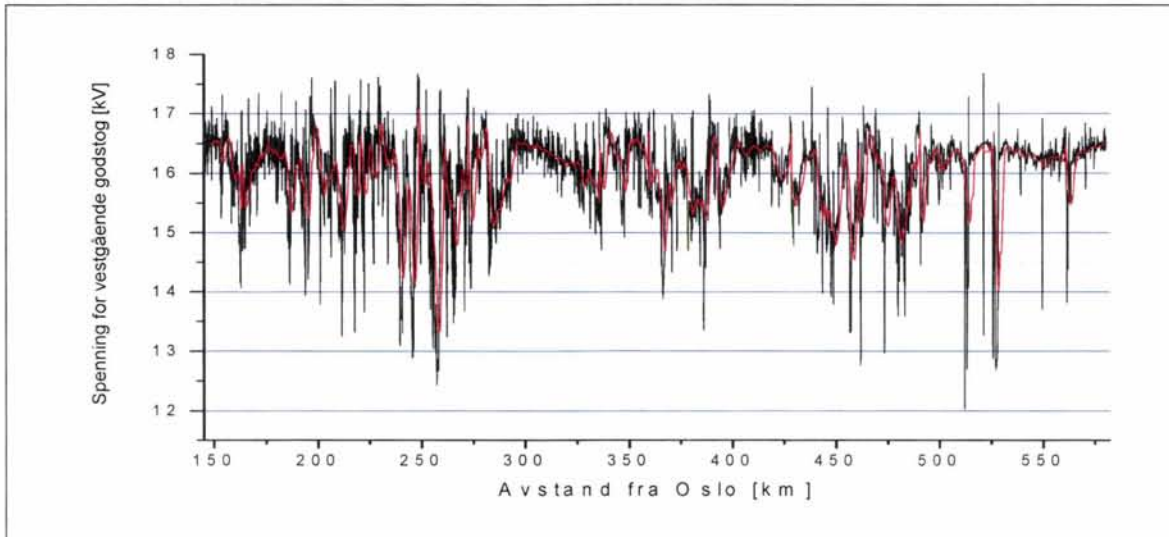
Figur 4-28 Spenning for vestgående ekstragodstog fra Nordagutu til Ganddal. Simulering 5a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal og ekstra godstog innsatt. Ny omformerstasjon på Herefoss. RMS verdier for spenningen er vist, og svart strek viser momentanverdi og rød viser 2 minutters verdi.



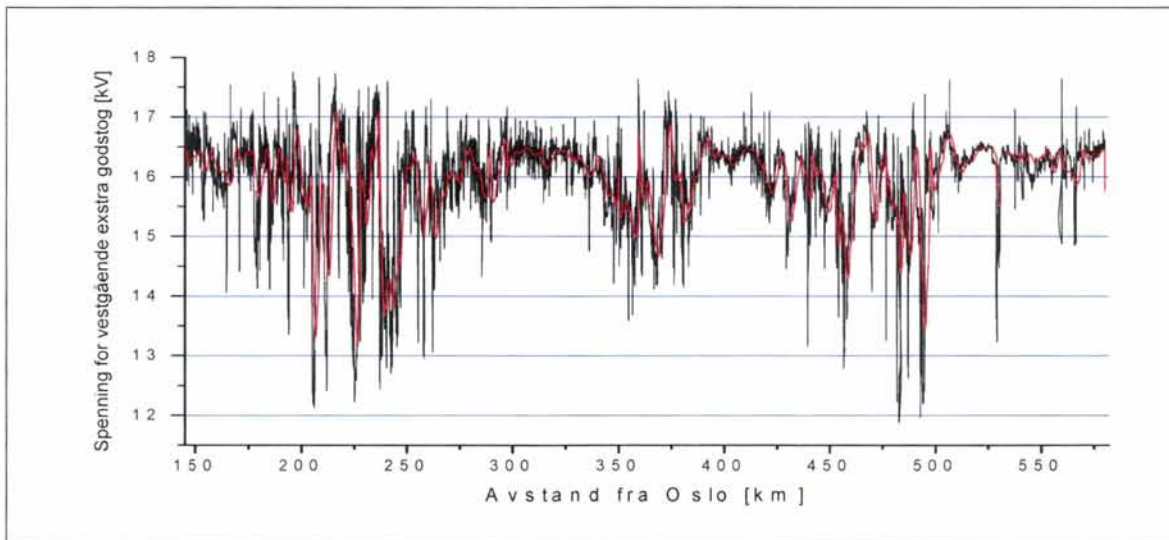
Figur 4-29 Spenning for østgående godstog fra Ganddal til Nordagutu. Simulering 5a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal og ekstra godstog innsatt. Ny omformerstasjon på Herefoss. RMS verdier for spenningen er vist, og svart strek viser momentanverdi og rød viser 2 minutters verdi.



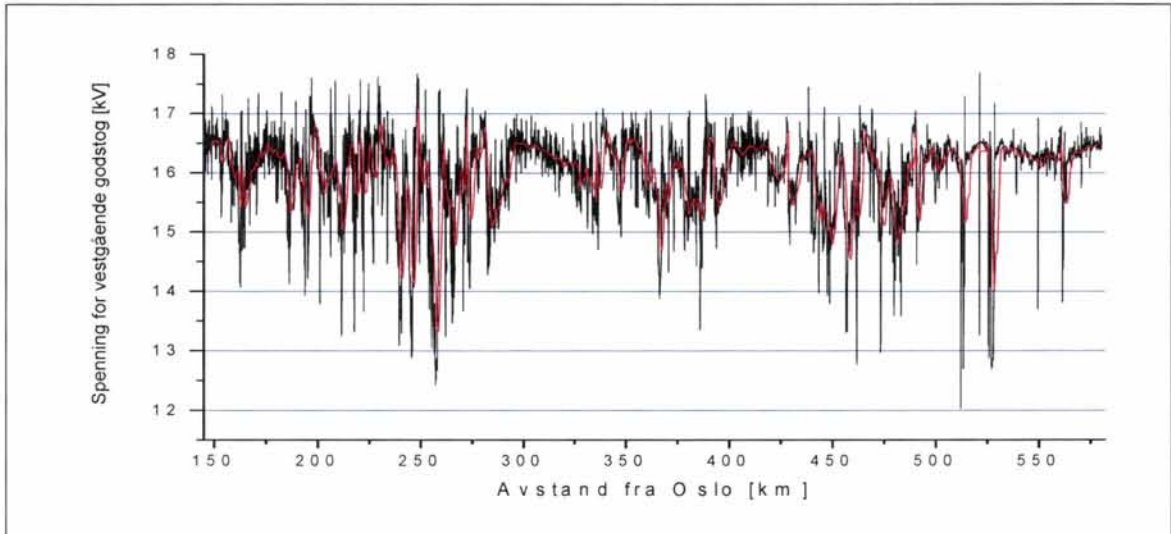
Figur 4-30 Spenning for østgående ekstra godstog fra Ganddal til Nordagutu. Simulering 5a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal og ekstra godstog innsatt. Ny omformerstasjon på Herefoss. RMS verdier for spenningen er vist, og svart strek viser momentanverdi og rød viser 2 minutters verdi.



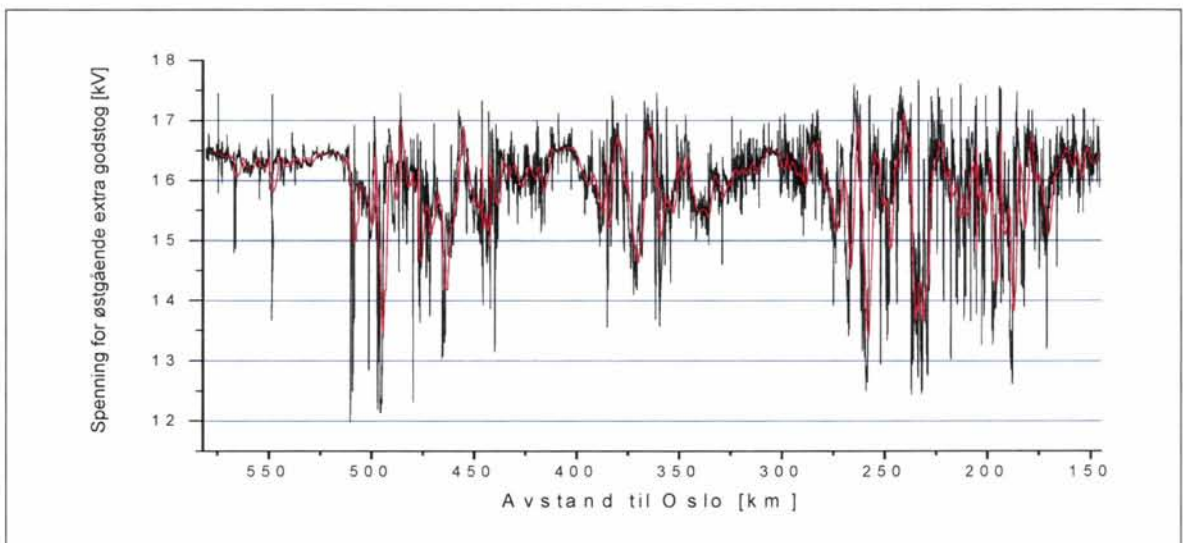
Figur 4-31 Spenning for vestgående godstog fra Nordagutu til Ganddal. Simulering 5ak med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal med 240 mm² tverrsnitt for NL og PL og ekstra godstog innsatt. Ny omformerstasjon på Herefoss. RMS verdier for spenningen er vist, og svart strek viser momentanverdi og rød viser 2 minutters verdi.



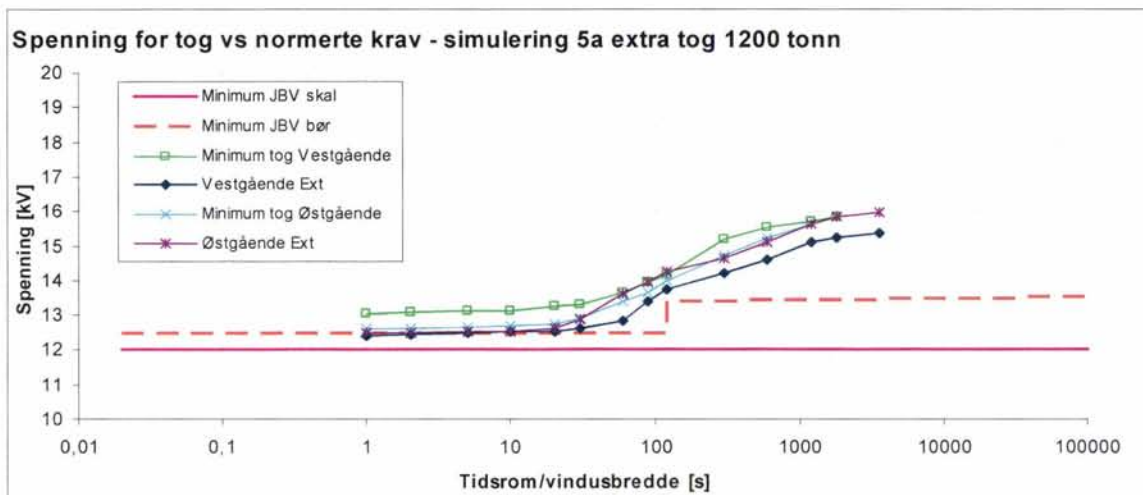
Figur 4-32 Spenning for vestgående ekstra godstog fra Nordagutu til Ganddal. Simulering 5ak med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal med 240 mm² tverrsnitt for NL og PL og ekstra godstog innsatt. Ny omformerstasjon på Herefoss. RMS verdier for spenningen er vist, og svart strek viser momentanverdi og rød viser 2 minutters verdi.



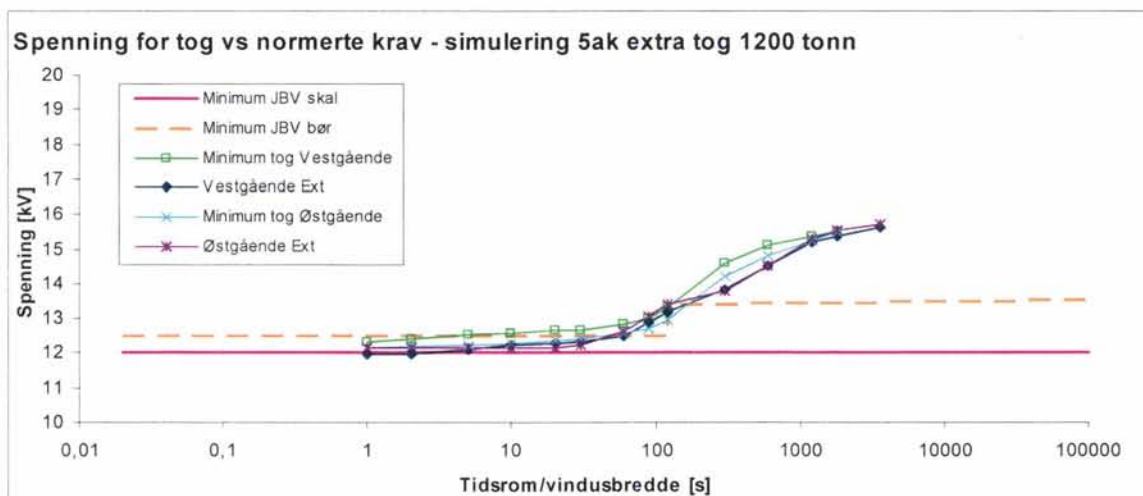
Figur 4-33 Spenning for østgående godstog fra Ganddal til Nordagutu. Simulering 5ak med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal med 240 mm² tverrsnitt for NL og PL og ekstra godstog innsatt. Ny omformerstasjon på Herefoss. RMS verdier for spenningen er vist, og svart strek viser momentanverdi og rød viser 2 minutters verdi.



Figur 4-34 Spenning for østgående ekstra godstog fra Ganddal til Nordagutu. Simulering 5ak med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal med 240 mm² tverrsnitt for NL og PL og ekstra godstog innsatt. Ny omformerstasjon på Herefoss. RMS verdier for spenningen er vist, og svart strek viser momentanverdi og rød viser 2 minutters verdi.



Figur 4-35 Minimumsverdier for tidsvektet varighetskurve for RMS verdien av spenningen for vest- og østgående godstog på hele strekningen fra Nordagutu til Ganddal. Simulering 5a med ekstratog innsatt i kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal og ekstra godstog innsatt. Ny omformerstasjon på Herefoss.



Figur 4-36 Minimumsverdier for tidsvektet varighetskurve for RMS verdien av spenningen for vest- og østgående godstog på hele strekningen fra Nordagutu til Ganddal. Simulering 5ak med ekstratog innsatt i kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal med 240 mm² tverrsnitt for NL og PL og ekstra godstog innsatt. Ny omformerstasjon på Herefoss.

4.7 Simulering 5a med kapasitetsoptimal ruteplan og lastvekt 1600 tonn for godstogene

For å undersøke betydningen av økt lastvekt settes det inn tog med lastvekt 1600 tonn istedenfor 1200. Simuleringene skal danne grunnlaget for å dimensjonere banestrømforsyningen for minst 1200 tonn, men helst også mer. Det er derfor rimelig å undersøke om en økning av lastvekten i denne størrelsesorden gir spenningsforhold som for den opprinnelige vekten. Omformerplassering som for alternativ 3 og kapasitetsoptimal ruteplan.

4.7.1 Belastning av omformere og transformatorstasjoner

Nedenfor viser Tabell 4-29 og Tabell 4-30 henholdsvis belastningen av omformerstasjonene og transformatorene med øket lastvekt. Sammenlignes dette resultatet med belastningen av omformerstasjonene for simulering 5a med 1200 tonn lastvekt, se Tabell 4-19, finner en at belastningen nå er øket en del for alle omformere, men at det fremdeles er god margin mot overlast.

Tabell 4-29 Belastning av omformerstasjoner. Simulering 5a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1600 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss. Høyeste tall for MEAN verdien for henholdsvis 2 sekunder, 6 minutter og 1 time. Prosentvis belastning av totalt innsatt ytelse.

Simulering 5a AT-system med 381 mm ² tverrsnitt for NL og PL godstog med 1600 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan							
Omformer	Innsatt ytelse [MVA]	Effekt					
		2 sek		6 min		1 time	
		[MVA]	[%]	[MVA]	[%]	[MVA]	[%]
Nordagutu	3 x 5,8	27,482	89	16,939	71	9,800	56
Herefoss	3 x 5,8	29,289	95	14,517	60	8,789	51
Leivoll	3 x 5,8	22,232	72	12,146	51	8,627	50
Kjelland	3 x 7,5	20,869	93	11,836	53	6,879	31
Ganddal	3 x 5,8	13,257	43	7,304	30	5,158	30

Tabell 4-30 Belastning av transformatorstasjoner Simulering 5a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1600 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss. Høyeste tall for MEAN verdien av henholdsvis 2 sekunder, 6 minutter og 1 time. Prosentvis belastning av innsatt ytelse.

Simulering 5a AT-system med 381 mm ² tverrsnitt for NL og PL godstog med 1600 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan				
Transformator	Innsatt ytelse [MVA]	Effekt [MVA]		
		2 sek	6 min	1 time
		Nordagutu	1 x 8,0	13,591
Tyri	1 x 8,0	8,479	4,564	3,080
Neslandsvatn	1 x 8,0	11,049	8,181	4,832

4.7.2 Opptatt effekt og energi fra trefasenettet

Tabell 4-31 viser opptatt effekt fra overliggende nett. Sammenlignes dette med simulering 5a med 1200 tonn lastvekt, se Tabell 4-21, ser en at energiforbruket er økt fra ca 33 til 39 MWt. Dette er en økning på ca 18 %.

Tabell 4-31 Opptatt effekt fra overliggende kraftnett Simulering 5a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1600 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss. Maksimal tosekunders verdi og middelvei for en time er vist. Også energiforbruket og tilbakelevert energi i løpet av en time er vist.

Simulering 5a AT-system med 381 mm² tverrsnitt for NL og PL godstog med 1600 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan			
Omformer	Effekt [MW]		Energi inn/ut/sum [MWt]
	Maks	Middel	Time
Nordagutu	28,295	9,345	9,089 / -1,183 / 7,906
Herefoss	30,525	8,964	8,725 / -0,061 / 8,664
Leivoll	23,394	8,640	8,520 / -0,047 / 8,473
Kjelland	22,120	7,228	7,121 / 0 / 7,121
Ganddal	14,381	5,417	5,287 / -0,005 / 5,282
Sum energi			38,742 / 1,296 / 37,446

4.7.3 Belastning av negativ- og positivleder

Tabell 4-32 viser belastning av avgangene til NL og PL på 15 kV nivå og belastningene noe større enn i simuleringen med 1200 tonn lastvekt, men selv for liner og kabler med tverrsnitt 240 mm² ser ut til at "bør" verdier for både kortvarig (1030 A) og langvarige (650 A) verdier kan tilfredsstilles med god margin.

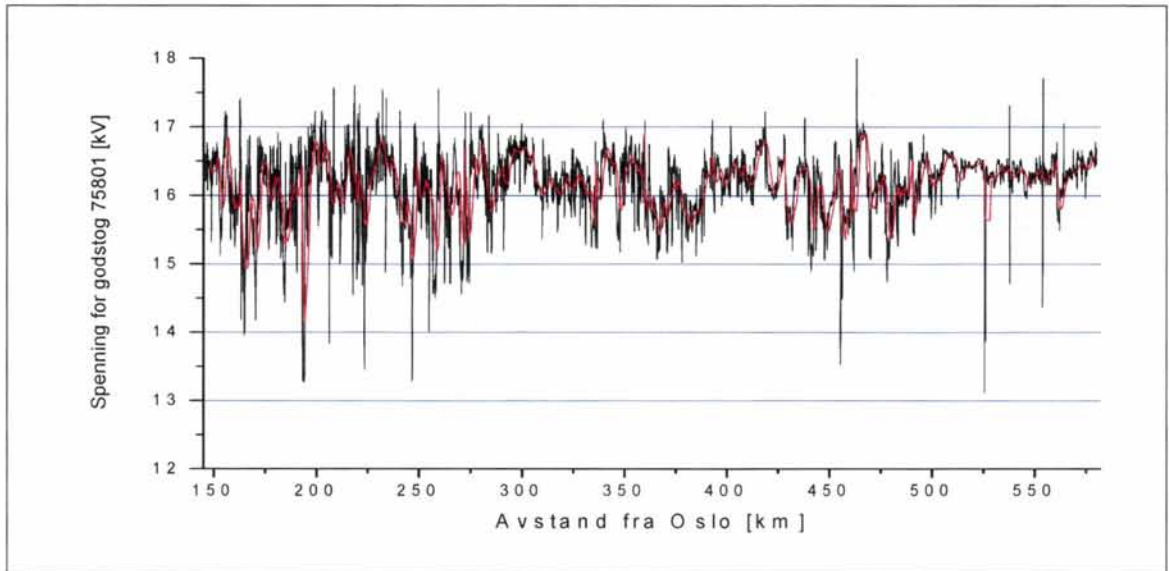
Tabell 4-32 Belastning av ledere ut fra omformerstasjonene. Det er vist belastning ut fra dagens 15,0 kV enfasetransformatorer og for å finne strømbelastningen på 30 kV nivå på utgående NL og PL må tallene divideres på to. Simulering 5a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss. Maksimal RMS verdi for en del tidsavsnitt.

Simulering 5a AT-system med 381 mm² tverrsnitt for NL og PL og godstog med 1600 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan						
NL og PL avgang ved omformer	Strøm [kA]					
	1 sek	10 sek	1 min	6 min	10 min	1 time
Nordagutu vest	0,933	0,905	0,751	0,506	0,456	0,259
Neslandsvatn øst	0,645	0,629	0,494	0,318	0,299	0,185
Neslandsvatn vest	1,001	0,983	0,740	0,503	0,472	0,366
Herefoss øst	1,628	1,565	1,086	0,706	0,647	0,478
Herefoss vest	1,080	1,067	0,966	0,561	0,520	0,406
Leivoll øst	1,243	1,104	0,991	0,708	0,634	0,465
Leivoll vest	1,309	1,291	1,071	0,634	0,590	0,432
Kjelland øst	1,528	1,399	1,213	0,798	0,725	0,543
Kjelland vest	0,902	0,825	0,657	0,440	0,394	0,278
Ganddal øst	0,785	0,706	0,598	0,462	0,430	0,337

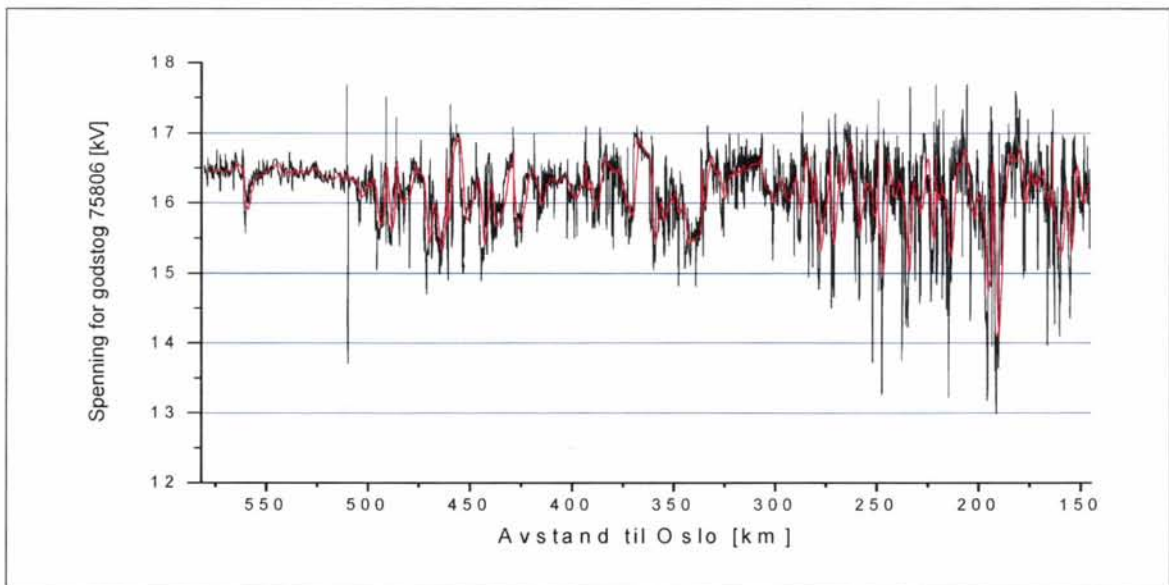
4.7.4 Spenningen for togene

Figur 4-37 og Figur 4-38 viser spenningen for henholdsvis vest og østgående godstog. Om en holder seg til kravene for prosjektering av nye anlegg ser en at kravene ikke kan oppfylles med marginen på 0 – 700 V tillagt, kan spenningen noen få steder komme kortvarig under

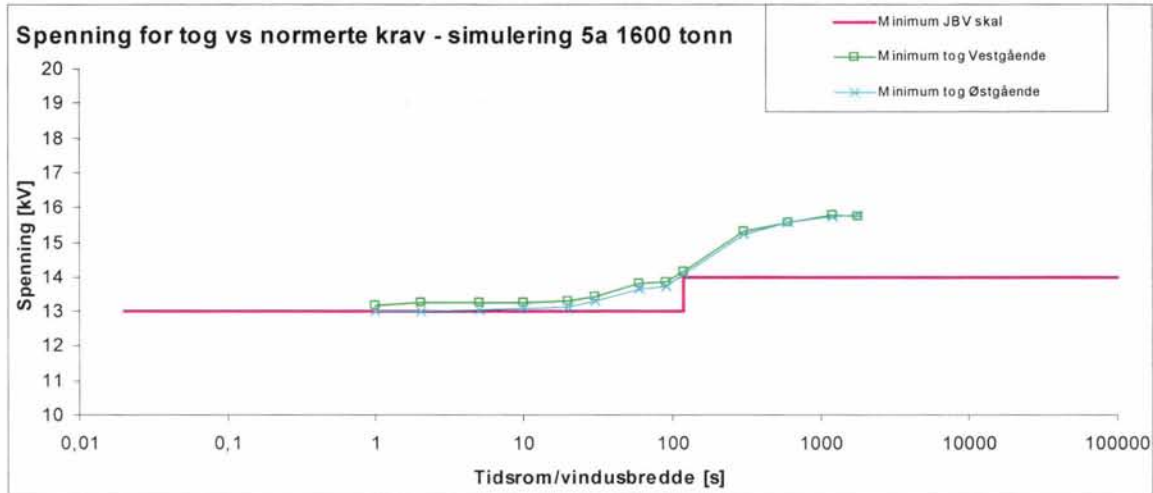
13,0 kV. Figur 4-39 viser tidsvektet varighetskurve for spenningen for de to togene, og en ser at spenningen bare så vidt blir akseptabel og innenfor kravene uten sikkerhetsmarginen tillagt.



Figur 4-37 Spenning for vestgående godstog fra Nordagutu til Leivoll. Simulering 5a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1600 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss. RMS verdier for spenningen er vist, og svart strek viser momentanverdi og rød viser 2 minutters verdi.



Figur 4-38 Spenning for østgående godstog fra Leivoll til Nordagutu. Simulering 5a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1600 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss. RMS verdier for spenningen er vist, og svart strek viser momentanverdi og rød viser 2 minutters verdi.



Figur 4-39 Minimumsverdier for tidsvektet varighetskurve for RMS verdien av spenningen for vest- og østgående godstog på hele strekningen fra Nordagutu til Ganddal. Simulering 5a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1600 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss.

4.8 Simulering 5aa med kapasitetsoptimal ruteplan og alternativ A3 med større ledertverrsnitt på fjernledningen

Simuleringen utføres med at dagens 50 mm^2 Cu line for fjernledningen mellom Nordagutu og Neslandsvatn erstattes med liner på 95 mm^2 FeAl med 3 m avstand mellom faseledningene. Dette gir en reduksjon av impedansen fra $45,82 + j17,24 \text{ Ohm}$ til $24,07 + j16,14 \text{ Ohm}$. Neslandsvatn får en transformator med åtte trinn og Tyri en med fire.

4.8.1 Belastning av omformere og transformatorstasjoner

Tabell 4-33 og Tabell 4-34 viser belastningen for henholdsvis omformer og transformatorstasjoner, og en ser at belastningen er økt noe på Tyri og Neslandsvatn etter at fjernledningen har fått et noe større tverrsnitt sammenlignet med simulering 5a, se Tabell 4-20. Dette tyder på økt overføringskapasitet med større tverrsnitt.

Tabell 4-33 Belastning av omformerstasjoner. Simulering 5aa med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss og forsterkning av fjernledningen. Høyeste tall for MEAN verdien for henholdsvis 2 sekunder, 6 minutter og 1 time. Prosentvis belastning av totalt innsatt ytelse.

Simulering 5aa med 95 mm ² FeAl tverrsnitt for fjernledningen og godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan							
Omformer	Innsatt ytelse [MVA]	Effekt					
		2 sek		6 min		1 time	
		[MVA]	[%]	[MVA]	[%]	[MVA]	[%]
Nordagutu	3 x 5,8	24,055	78	13,636	57	7,903	45
Herefoss	3 x 5,8	20,699	67	11,926	50	7,707	44

Tabell 4-34 Belastning av transformatorstasjoner. Simulering 5aa med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss og forsterkning av fjernledningen. Høyeste tall for MEAN verdien av henholdsvis 2 sekunder, 6 minutter og 1 time. Prosentvis belastning av innsatt ytelse.

Simulering 5aa med 95 mm ² FeAl tverrsnitt for fjernledningen og godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan				
Transformator	Innsatt ytelse [MVA]	Effekt [MVA]		
		2 sek	6 min	1 time
		Nordagutu	1 x 8,0	16,349
Tyri	1 x 8,0	9,052	4,332	2,684
Neslandsvatn	1 x 8,0	12,882	9,036	4,853

4.8.2 Belastning av fjernledningen

Tabell 4-35 nedenfor viser strømbelastningen på den nye linen.

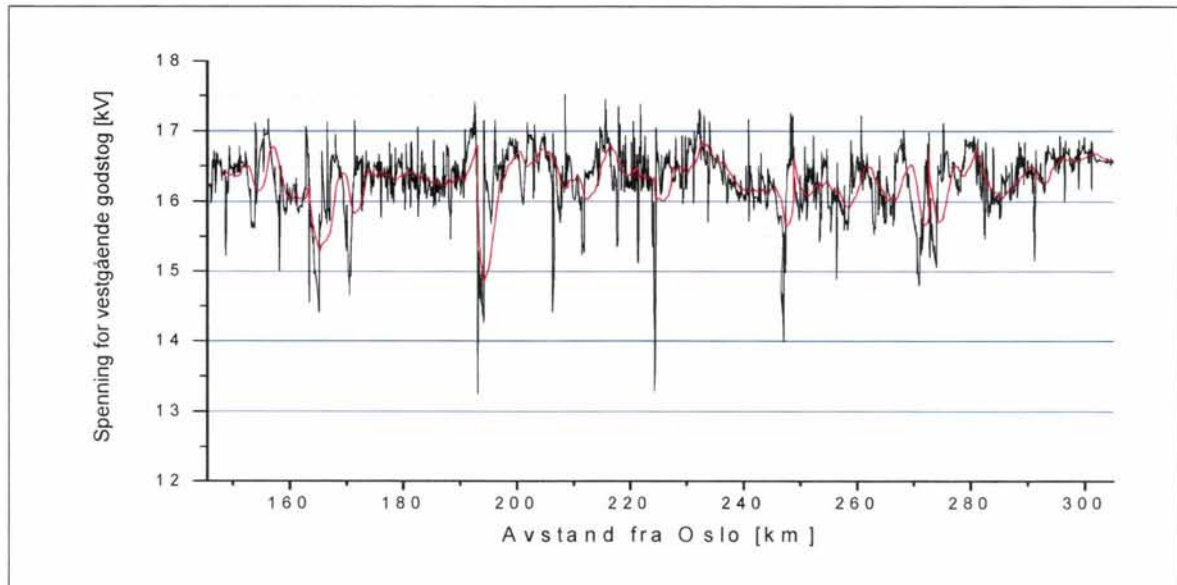
Tabell 4-35 Belasting av fjernledningen ut fra Nordagutu transformatorstasjon. Simulering 5aa med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal og større tverrsnitt for fjernledningens ledere. Ny omformerstasjon på Herefoss. Maksimal RMS verdi for en del tidsavsnitt.

Simulering 5aa med 95 mm ² FeAl tverrsnitt for fjernledningen og godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan						
Ledere for 55 kV fjernledning	Strøm [kA]					
	1 sek	10 sek	1 min	6 min	10 min	1 time
Nordagutu vest	0,393	0,366	0,298	0,221	0,196	0,154

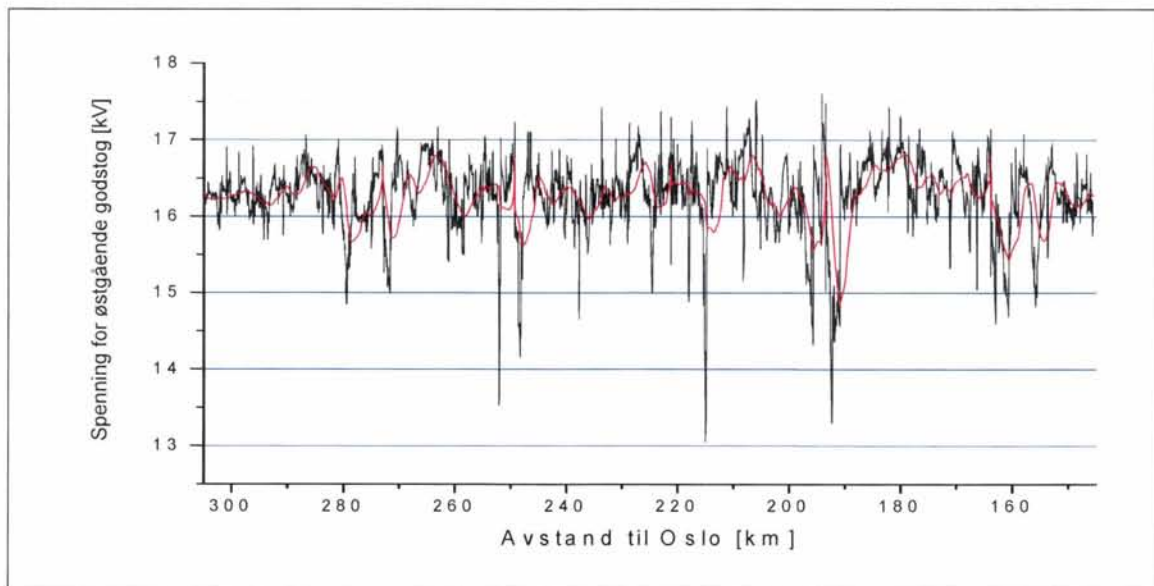
4.8.3 Spenningen for togene

Figur 4-40 og Figur 4-41 viser at spenningen for togene mellom Nordagutu og ny omformer på Herefoss. Som en ser blir spenningen nå akkurat forbedret så mye at den for kortvarige perioder kommer over kravet på 13,0 kV. Imidlertid ville en nok ha ønsket noe større

marginer enn dette, men da må en nok innføre enda mer omfattende tiltak enn forsterkning lederne.



Figur 4-40 Spenning for vestgående godstog fra Nordagutu til Herefoss for simulering 5aa med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss og forsterkning av fjernledningen. RMS verdier for spenningen er vist, og svart strek viser momentanverdi og rød viser 2 minutters verdi.



Figur 4-41 Spenning for østgående godstog fra Herefoss til Nordagutu for simulering 5aa med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss og forsterkning av fjernledningen. RMS verdier for spenningen er vist, og svart strek viser momentanverdi og rød viser 2 minutters verdi.

4.9 Simulering 5aa med kapasitetsoptimal ruteplan og alternativ A3 med utfall av Kjelland omformerstasjon

Ved utfall av hele Kjelland omformerstasjon blir det økt belastning på nabostasjonene og redusert spenning for togene når den totale matestrekningen blir så mye som 173 km. Simuleringen gjøres spesielt for å se om omformerstasjonene på Ganddal, Kjelland og Leivoll kan ha mindre ytelse enn det som er forutsatt tidligere.

4.9.1 Belastning av omformere

Nedenfor viser Tabell 4-36 belastningen for Leivoll og Ganddal omformerstasjoner når Kjelland er utkoblet. Som en ser øker belastningen en del fra simulering 5a med normal drift, se Tabell 4-19, men nabostasjonene er allikevel langt fra overbelastet. Dette kan tyde på at en kan vurdere mindre innsatt ytelse i Leivoll og Ganddal omformerstasjoner. For eksempel kunne en kanskje hatt bare to aggregater på 5,8 MVA i Ganddal, beholdt de eksisterende to aggregatene på 7,5 MVA i Kjelland og satt inn to aggregater på 7 MVA i Leivoll.

Tabell 4-36 Belastning av omformerstasjoner. Simulering 5aa med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Utfall av Kjelland omformerstasjon. Høyeste tall for MEAN verdien for henholdsvis 2 sekunder, 6 minutter og 1 time. Prosentvis belastning av totalt innsatt ytelse.

Omformer		Innsatt ytelse [MVA]		Effekt					
				2 sek		6 min		1 time	
				[MVA]	[%]	[MVA]	[%]	[MVA]	[%]
Leivoll	3 x 5,8	25,741	83	12,629	53	8,860	51		
Kjelland	3 x 7,5	-	-	-	-	-	-		
Ganddal	3 x 5,8	22,424	72	10,625	44	7,141	41		

4.9.2 Belastning av negativ- og positivleder

Når utfallet av Kjelland inntreffer blir økningen av belastningsstrømmen fra nabostasjonene nokså stor, se Tabell 4-37 og sammenlign med strømmen i Tabell 4-23 ut fra de samme omformerne i simulering 5a. Belastningsstrømmen er innenfor høyeste kontinuerlig "bør" verdi av belastningsstrømmen på 710 A for 381 mm² og 520 A for 240 mm² linetverrsnitt. For kortvarig "bør" verdi for 240 mm² er verdiene 990 A og dette er også tilfredsstilt. For kabler er "bør" verdiene av kontinuerlig belastning for kabeltverrsnitt på 240 mm² er 380 A, noe som også er langt innenfor grensen, mens overbelastbarheten for "bør" verdi for 10 minutter er 630 A noe som også skulle være tilfredsstilt her.

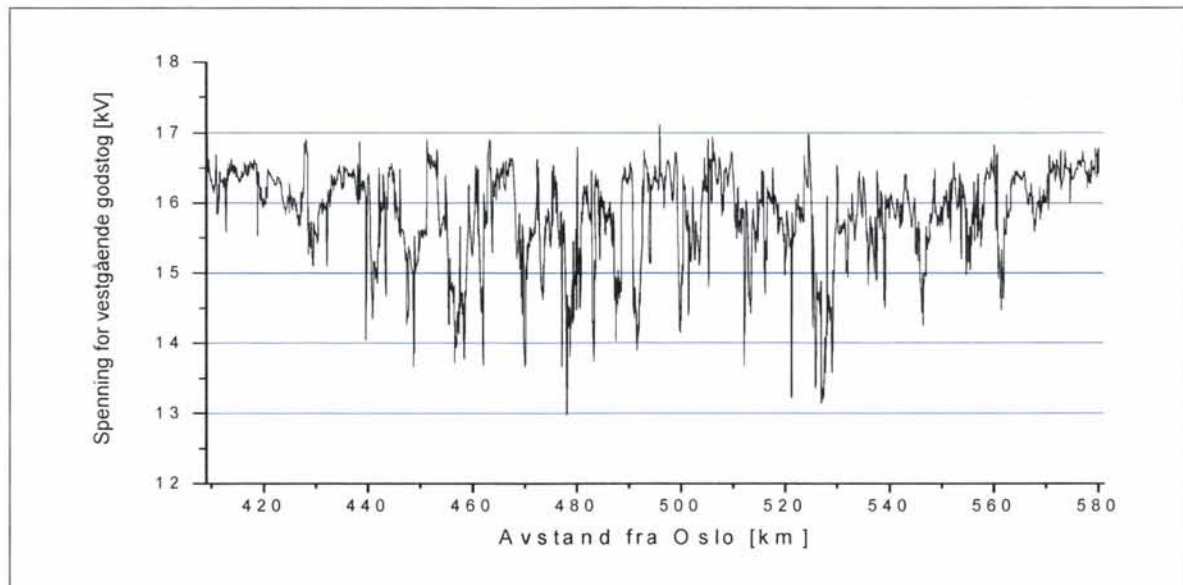
Tabell 4-37 Belasting av ledere ut fra omformerstasjonene. Det er vist belasting ut fra dagens 15,0 kV enfasetransformatorer og for å finne strømbelastningen på 30 kV nivå på utgående NL og PL må tallene divideres på to. Simulering 5aa med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal og tfall av Kjelland omformerstasjon. Maksimal RMS verdi for en del tidsavsnitt.

Simulering 5aa AT-system med 381 mm² tverrsnitt for NL og PL og godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan

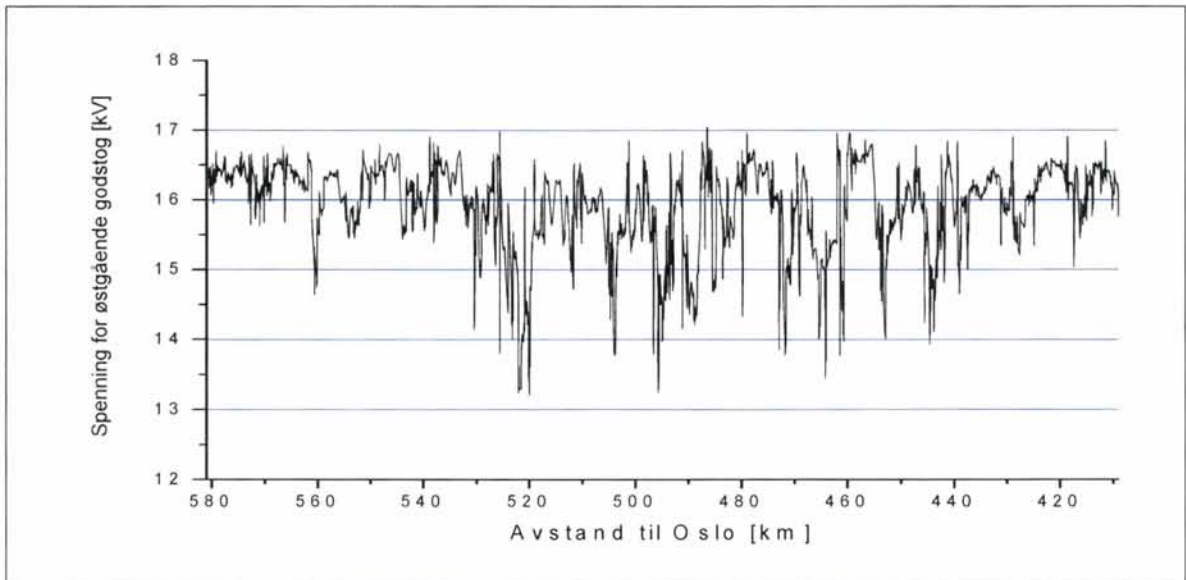
NL og PL avgang ved omformer	Strøm [kA]					
	1 sek	10 sek	1 min	6 min	10 min	1 time
Leivoll vest	1,532	1,488	1,233	0,717	0,640	0,512
Ganddal øst	1,262	1,199	0,976	0,672	0,604	0,482

4.9.3 Spenningen for togene

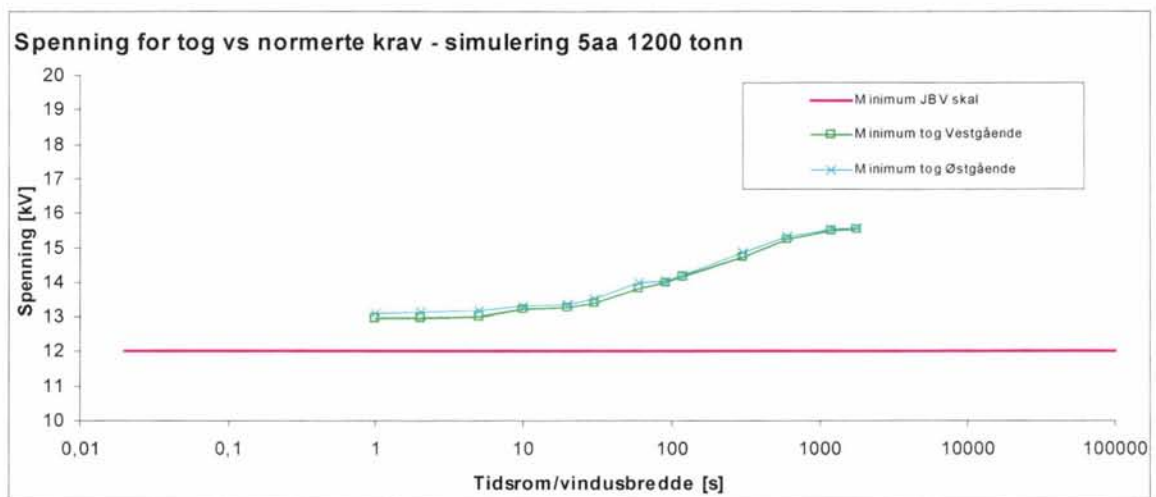
Nedenfor viser Figur 4-42 og Figur 4-43 spenningen for togene mellom Leivoll og Ganddal etter at Kjelland omformerstasjon har falt ut. I et slikt feiltilfelle gjelder kravet om at spenningen skal være bedre enn 12,0 kV, noe som en ser er oppfylt også med usikkerhetsmarginen på 0 -700 V tillagt. Imidlertid var en opptatt av belastningen på omformerne i denne simuleringen og flere eller færre roterende aggregater i Leivoll og Ganddal ville ikke hatt betydning for spenningen. Impedansen mellom omformerne er avgjørende i så måte.



Figur 4-42 Spennning for vestgående godstog fra Leivoll til Ganddal for simulering 5aa med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal og utfall av Kjelland omformerstasjon. RMS verdier for spenningen er vist.



Figur 4-43 Spenning for østgående godstog fra Leivoll til Ganddal for simulering 5aa med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal og utfall av Kjelland omformerstasjon. RMS verdier for spenningen er vist.



Figur 4-44 Minimumsverdier for tidsvektet varighetskurve for RMS verdien av spenningen for vest- og østgående godstog på hele strekningen fra Nordagutu til Ganddal. Simulering 5aa med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal og utfall av Kjelland omformerstasjon og ny forsterket fjernledning. Ny omformerstasjon på Herefoss.

4.10 Simulering 5aaa med kapasitetsoptimal ruteplan og alternativ A3 med utfall av en omformerenhet i Ganddal og Kjelland

Simulering 5aaa er gjort for å se om det er nødvendig med to eller tre aggregater på 5,8 MVA i Ganddal og om en kan beholde den opprinnelige bestykningen med to aggregater på 7,5 MVA i Kjelland. I scenariet faller et aggregat på Ganddal ut samtidig med et i Kjelland, dette er verst tenkelig tilfelle, men dagens drifterfaring viser noe lav tilgjengelighet og lang utetid for enhetene i denne omformerstasjonen. Et alternativt scenario er at det i utgangspunktet er bare to aggregater i Ganddal og at et av to aggregater i Kjelland omformerstasjon faller ut. I

Leivoll omformerstasjon er det satt inn to aggregater på 7 MVA for å få bekreftet at det er tilstrekkelig.

4.10.1 Belastning av omformere og transformatorstasjoner

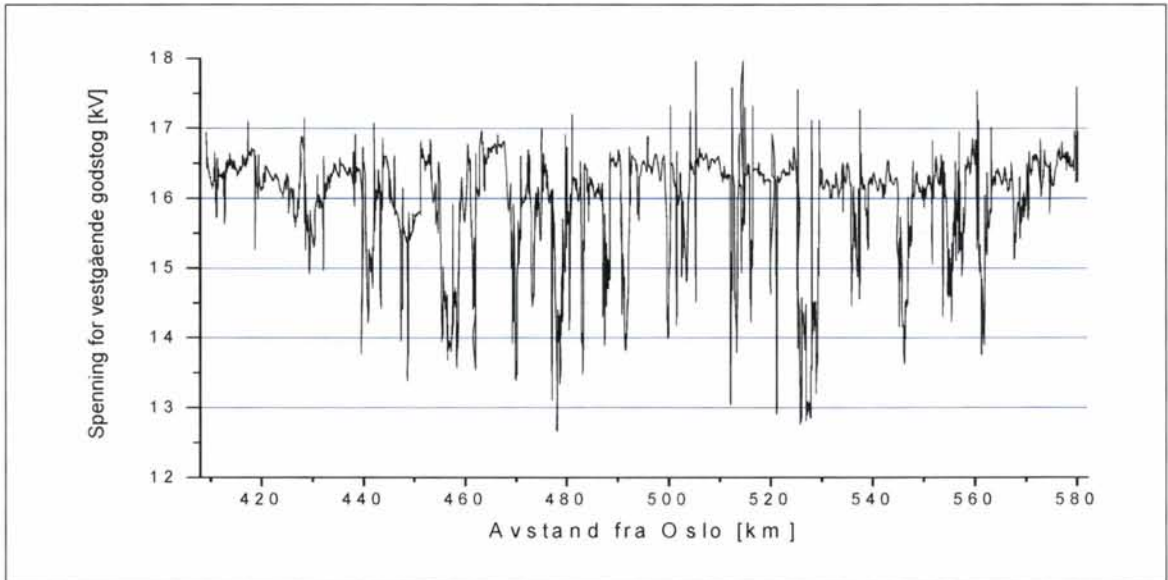
Nedenfor viser Tabell 4-38 belastningen på gjenværende omformeraggregater i stasjonene ved samtidig utfall av aggregat i Kjelland og Ganddal. Belastningen på aggregatene i Ganddal er nå såpas høy at om det opprinnelig bare var to aggregater her og et falt ut ville det sannsynligvis blitt overbelastet. To aggregater i Kjelland og utfall av et ser ut til å gå greit og den valgte bestykning i Leivoll ser også ut til å være tilfredsstillende. Ut fra dette kan det se ut som om Ganddal omformerstasjon må være bestykket med tre aggregater på 5,8 MVA, Kjelland kan ha dagens to aggregater på 7,5 MVA og Leivoll kan ha to på 7 MVA. Imidlertid kan rushtrafikken mot Stavanger ha betydning på bestykningen i Ganddal omformerstasjon som det ikke er sett på her.

Tabell 4-38 Belastning for omformerstasjonene i simulering 5aaa med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal og utfall av mateenhet samtidig i Kjelland og Ganddal. RMS verdier for spenningen er vist.

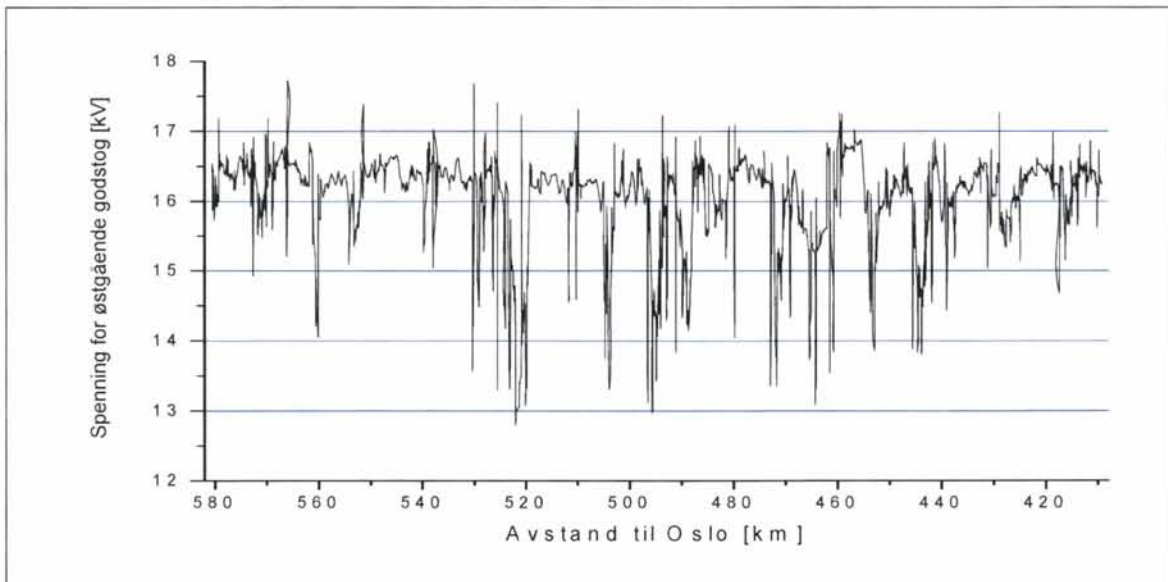
Simulering 5aaa AT-system med 381 mm ² tverrsnitt for NL og PL godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan							
Omformer	Innsatt ytelse [MVA]	Effekt					
		2 sek		6 min		1 time	
		[MVA]	[%]	[MVA]	[%]	[MVA]	[%]
Leivoll	2 x 7	25,891	95	11,231	51	7,492	54
Kjelland	1 x 7,5	8,162	109	4,408	59	3,460	46
Ganddal	2 x 5,8	18,972	92	9,345	81	5,545	48

4.10.2 Spenningen for togene

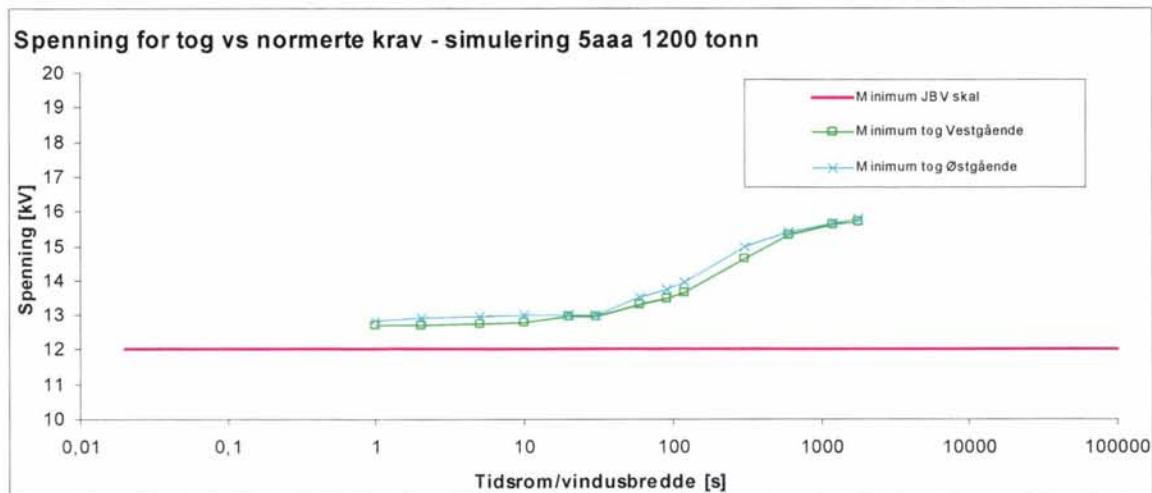
I Figur 4-45 og Figur 4-46 ser en at spenningen for togene under dette feilsenarioet blir noe lav. Stasjoner med roterende omformere vil opprettholde spenningen selv om et aggregat faller ut, bare når belastningen blir så stor at gjenværende aggregat kobles ut vil spenningen bli lav. Dette er annerledes med statiske omformere som kan mate ut strøm helt til den når sin strømgrense og deretter forsyner togene med effekt, men da med en lavere spenning. For denne avvikssituasjonen skal spenningen ikke komme under 12,0 kV og skal dette oppfylles her trenges tydeligvis to gjenværende omformere i Kjelland. Dette er muligens strengt å kreve da spenningen bare meget kortvarig er under 13,0 kV. Figur 4-47 viser tidsvektet varighetskurve for hele strekningen fra Nordagutu til Ganddal.



Figur 4-45 Spenning for vestgående godstog fra Leivoll til Ganddal for simulering 5aaa med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal og utfall av mateenhet samtidig i Kjelland og Ganddal. RMS verdier for spenningen er vist.



Figur 4-46 Spenning for vestgående godstog fra Ganddal til Leivoll for simulering 5aaa med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal og utfall av mateenhet samtidig i Kjelland og Ganddal. RMS verdier for spenningen er vist.



Figur 4-47 Minimumsverdier for tidsvektet varighetskurve for RMS verdien av spenningen for vest- og østgående godstog på hele strekningen fra Nordagutu til Ganddal. Simulering 5aaa med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss.

4.11 Simulering 5aaaa med kapasitetsoptimal ruteplan og alternativ A3 med utfall av Leivoll omformerstasjon og simulering 5aaaak med tverrsnitt 240 mm² for NL og PL

Simulering 5aaaa utføres med at hele Leivoll omformerstasjon faller ut. Simuleringen skal vise spenningen for togene for det verste feiltilfellet som kan forventes å skje, ved at matestrekningen ved utfall av Leivoll omformerstasjon blir spesielt lang, hele 216 km. Denne simuleringen er spesielt viktig for å se på betydningen av de to aktuelle tverrsnittene 240 eller 381 mm² for NL og PL.

4.11.1 Belastning av omformere

Tabell 4-39 viser belastningen for nabostasjonene når Leivoll faller ut. Belastningen er stor, men ikke større enn at denne avvikssituasjonen skulle kunne takles tilfredsstillende. En ting som en også kan legge merke til her er at belastningen for Herefoss omformer ikke er større enn at det også kunne vært mulig med 2 x 7 MVA aggregater her.

Tabell 4-39 Belastning for omformerstasjonene i simulering 5aaaak med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal og utfall av Leivoll omformerstasjon. MEAN verdier for effekten.

Simulering 5aaaak AT-system med 240 mm² tverrsnitt for NL og PL godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan

Omformer	Innsatt ytelse [MVA]	Effekt [MVA]					
		2 sek		6 min		1 time	
		[MVA]	[%]	[MVA]	[%]	[MVA]	[%]
Herefoss	3 x 5,8	29,198	94	18,079	75	11,520	66
Leivoll	2 x 7	-	-	-	-	-	-
Kjelland	2 x 7,5	14,527	97	10,672	71	7,953	53

4.11.2 Belastning av negativ- og positivleder

I Tabell 4-40 er belastningen for avgangene mot Leivoll omformer vist. Ser en på maksimal kortvarig "bør" verdi av strømbelastning for liner (990A) og kabler (630 A for 10 minutter) på 240 mm² ser en at belastningen også her innenfor det akseptable.

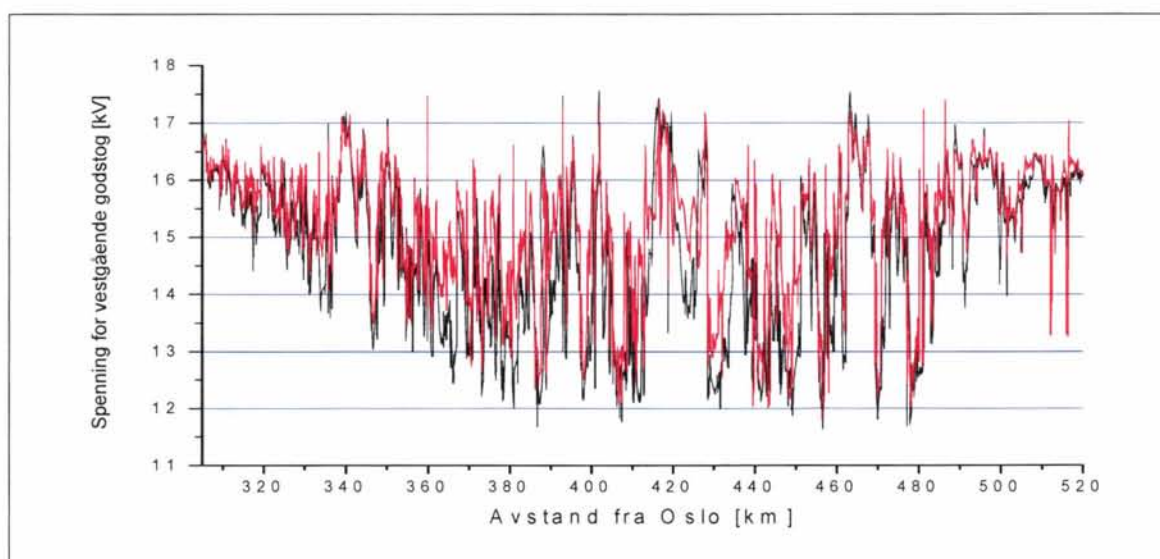
Tabell 4-40 Belastning av ledere ut fra omformerstasjonene. Det er vist belastning ut fra dagens 15,0 kV enfasetransformatorer og for å finne strømbelastningen på 30 kV nivå på utgående NL og PL må tallene divideres på to. Simulering 5aaaak med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal og utfall av Leivoll omformerstasjon. Maksimal RMS verdi for en del tidsavsnitt.

Simulering 5aaaak AT-system med 240 mm² tverrsnitt for NL og PL og godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan

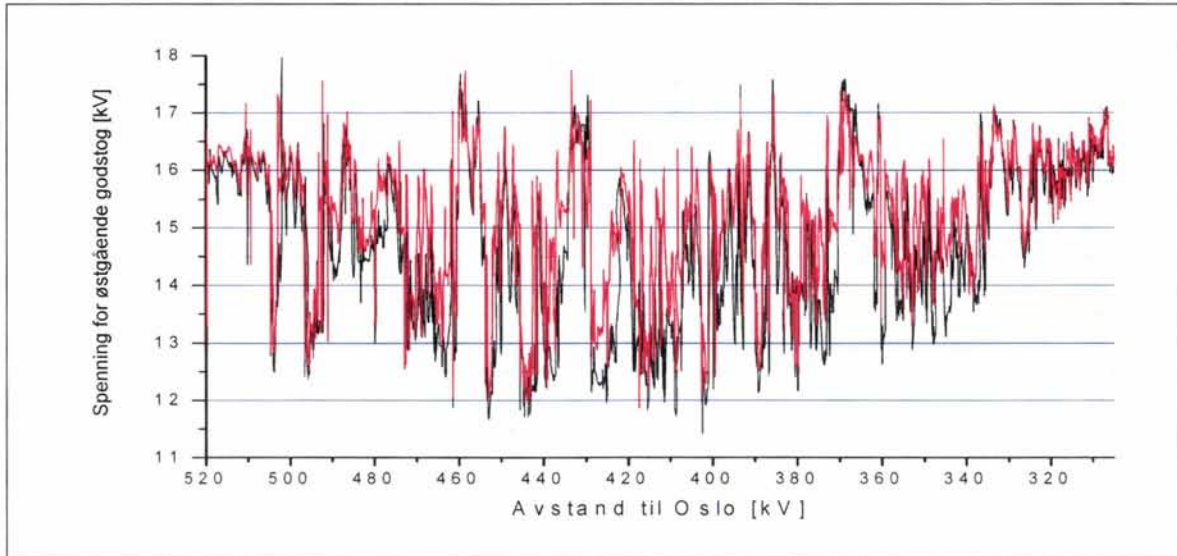
NL og PL avgang ved omformer	Strøm [kA]					
	1 sek	10 sek	1 min	6 min	10 min	1 time
Herefoss vest	1,140	1,092	0,877	0,490	0,464	0,375
Kjelland øst	0,742	0,721	0,637	0,501	0,446	0,342

4.11.3 Spenningen for togene

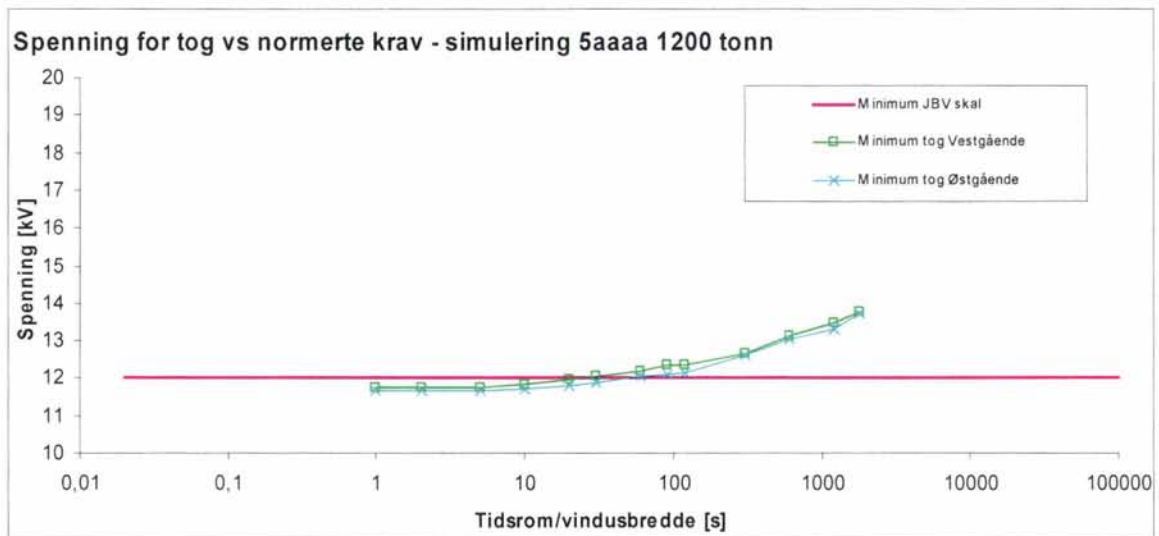
Figur 4-48 og Figur 4-49 viser spenningen for togene mellom Herefoss og Ganddal når Leivoll omformerstasjon er utkoblet. Som en ser blir laveste spenning for togene 12,0 kV og med tillagt usikkerhetsmargin på 0 -700 V står en i fare for å få spenninger helt ned mot 11,0 kV flere steder. Spesielt legger en merke til at spenningen er omentrent like lav for tverrsnitt på 240 mm² (rød strek) og 381 mm² (svart strek). Det er påfallende at spenningen skulle bli så lav når den for tidligere simulering 5aa med utfall av Kjelland omformer ble såpass mye bedre. Forskjellen på lengden av matestrekningen i de to tilfellene er 42 km og de kan synes merkelig med så stor forskjell, derfor er spenningen på samleskinnen i Kjelland omformerstasjon undersøkt spesielt, se avsnitt 4.11.5.



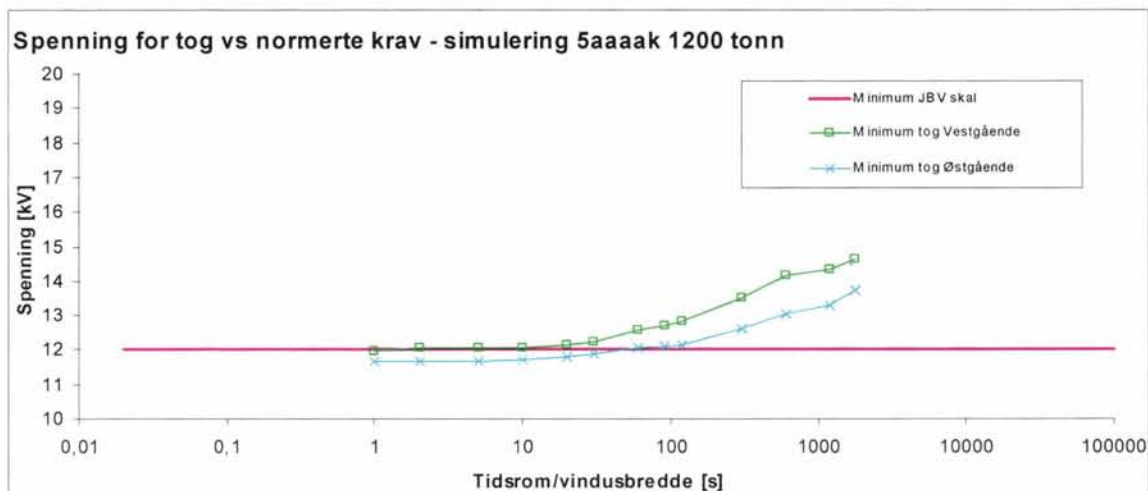
Figur 4-48 Spenning for vestgående godstog fra Leivoll til Ganddal for simulering 5aaa og 5aaaak med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal og utfall av Leivoll omformerstasjon. RMS verdier for spenningen er vist. Svart strek for 381 mm² og rød for 240 mm².



Figur 4-49 Spenning for østgående godstog fra Leivoll til Ganddal for simulering 5aaaa og 5aaaak med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal og utfall av Leivoll omformerstasjon. RMS verdier for spenningen er vist. Svart strek for 381 mm² og rød for 240 mm².



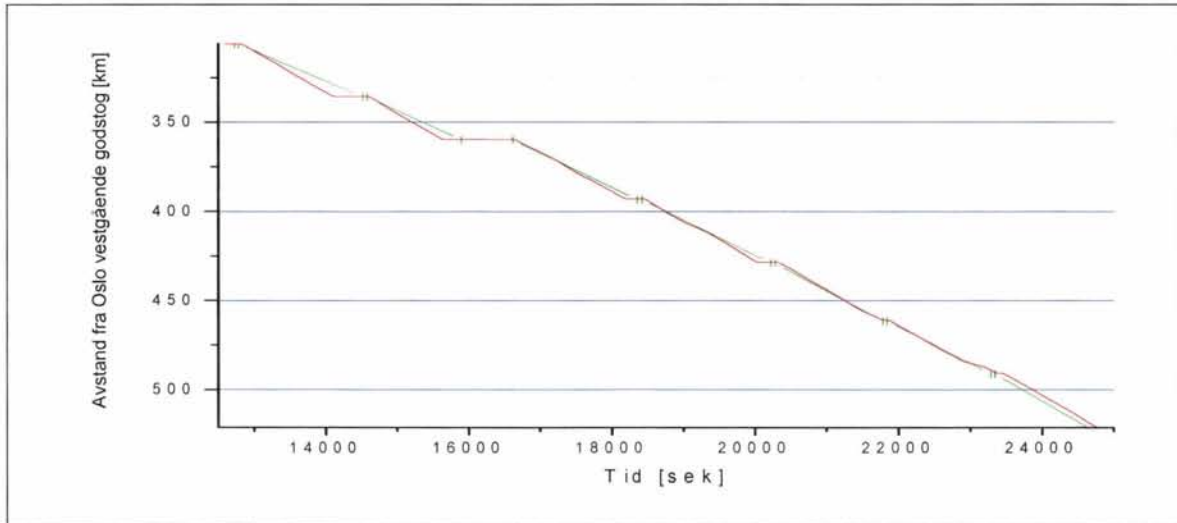
Figur 4-50 Minimumsverdier for tidsvektet varighetskurve for RMS verdien av spenningen for vest- og østgående godstog på hele strekningen fra Nordagutu til Ganddal. simulering 5aaaa med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal og utfall av Leivoll omformerstasjon.



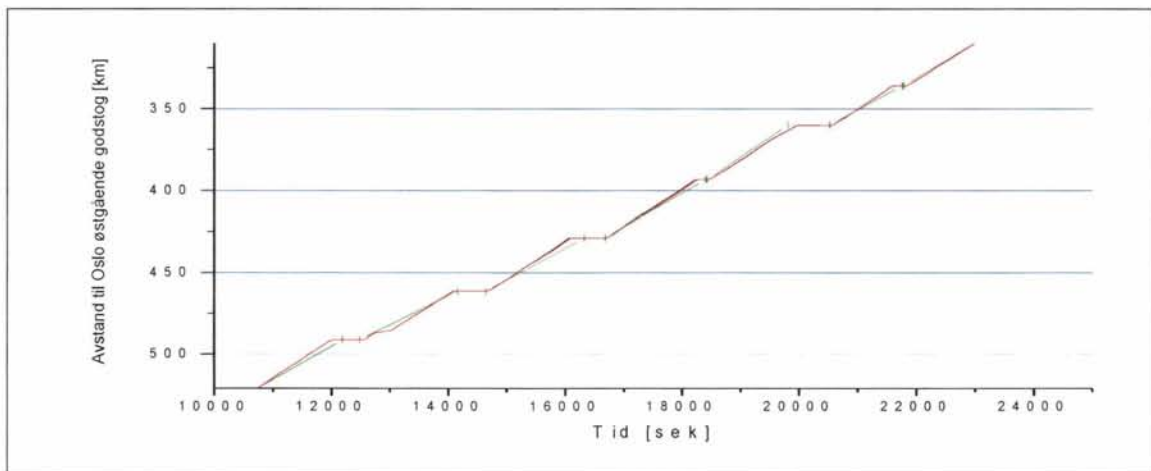
Figur 4-51 Minimumsverdier for tidsvektet varighetskurve for RMS verdien av spenningen for vest- og østgående godstog på hele strekningen fra Nordagutu til Ganddal. simulering 5aaaak med 240 mm² tverrsnitt for NL og PL, kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal og utfall av Leivoll omformerstasjon.

4.11.4 Kjøretime for togene

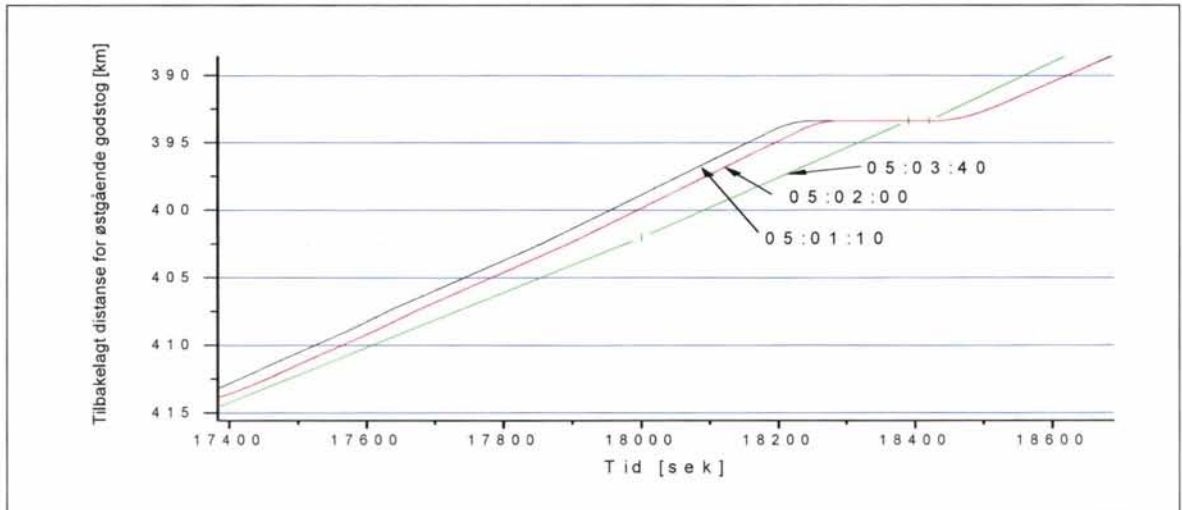
For denne simuleringen som gir de laveste spenningene for togene for de tilfellene som er undersøkt blir kjøretiden undersøkt i Figur 4-52 og Figur 4-53. Det er benyttet rød strek for simuleringen med 240 mm² tverrsnitt på NL og PL og svart strek for 381 mm², men som en ser er det bare noen få steder en kan se noen forskjell. For å få inntrykk av forskjellen i kjøretid for de to tilfellene er det i Figur 4-54 sett på kjøretiden noen kilometer ved Høye (ved km 393,36) og en ser at ved samme punkt er det 50 sekunder differanse i kjøretid for de to tverrsnittene. I begge tilfellene kommer østgående godstog inn til stasjonen i god tid før oppsatt ankomst, men ved avgang kommer toget etter ruten. Imidlertid taes dette inn igjen og toget kommer mer og mer foran ruten når det nærmer seg Herefoss omformerstasjon. For det vestgående godstoget sees den samme tendensen med at toget kommer noe etter ruten, men at dette kjøres mer og mer inn mot Kjelland omformerstasjon.



Figur 4-52 Tilbakelagt distanse for vestgående godstog fra Leivoll til Ganddal for simulering 5aaaa og 5aaaak med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal og utfall av Leivoll omformerstasjon. Rød strek viser ruten, svart strek for 381 mm² og rød for 240 mm² ledertverrsnitt.



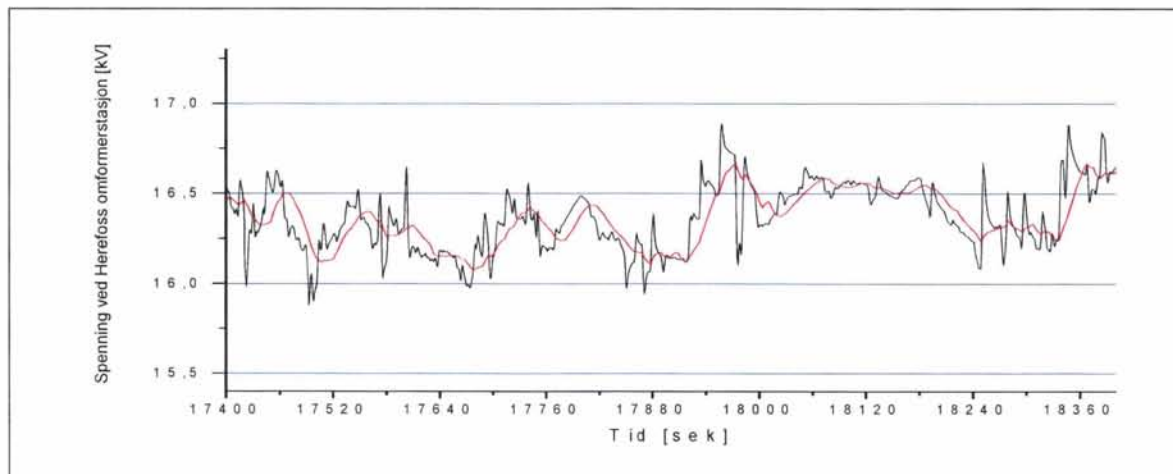
Figur 4-53 Tilbakelagt distanse for østgående godstog fra Ganddal til Leivoll for simulering 5aaaa og 5aaaak med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal og utfall av Leivoll omformerstasjon. Rød strek viser ruten, svart strek for 381 mm² og rød for 240 mm² ledertverrsnitt.



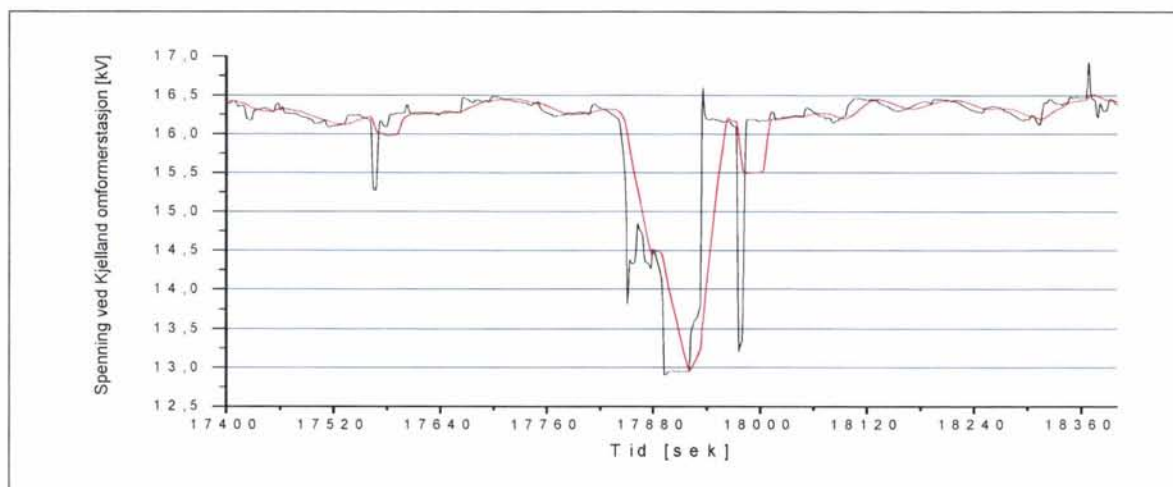
Figur 4-54 Forstørret utsnitt av figur for tilbakelagt distanse for østgående godstog fra Ganddal til Leivoll for simulering 5aaaa og 5aaaak med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal og utfall av Leivoll omformerstasjon. Grønn strek viser ruten, svart strek for 381 mm² og rød for 240 mm² ledertverrsnitt.

4.11.5 Undersøkelse av spenningen ved Kjelland og Herefoss omformerstasjoner

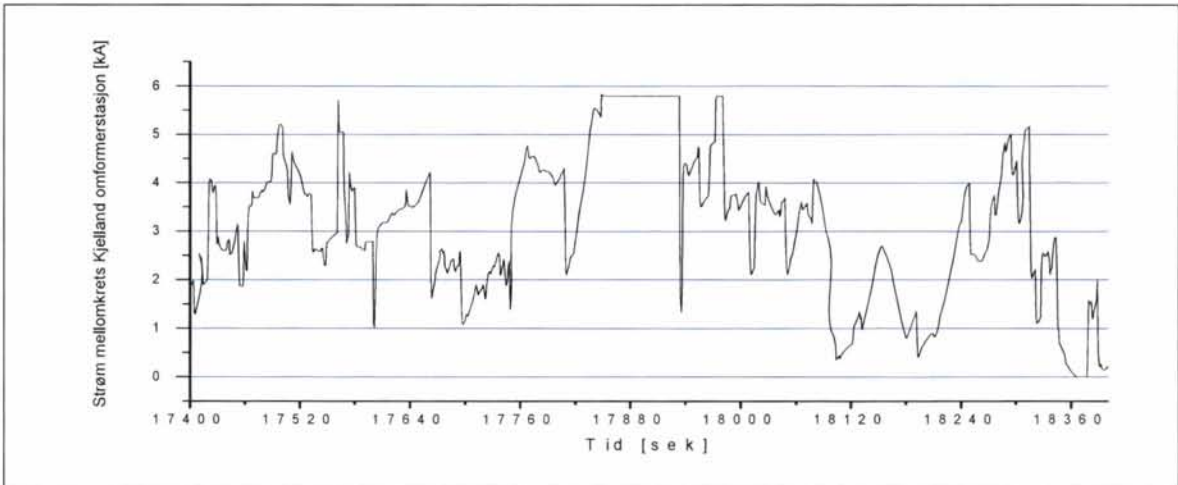
For simulering 5aaaa er forholdene ved Herefoss og Kjelland omformerstasjon undersøkt spesielt og nedenfor viser Figur 4-55 til Figur 4-58 henholdsvis spenningen ved Herefoss og videre spenning, DC-strøm og levert effekt ut fra Kjelland omformerstasjon. Som en ser er det betydelig forskjell på spenningen ved de to omformerstasjonene, og når Herefoss har sin laveste spenning er DC-strømmen konstant på sin maksimalverdi. En ser også av Figur 4-58 at Kjelland leverer ut så mye effekt (MVA) som dens installerte ytelse tilsier i denne tiden (maks ca 15 MVA). En statisk omformer reduserer leverer ikke ut mer strøm enn hva kraftelektronikk komponentene kan tåle og økes effektbehovet ytterligere reduserer den spenningen. Av dette ser en at Kjelland ikke greier å holde spenningen oppe på ønsket verdi under denne unormale driftsituasjonen, og det er nok bare økt ytelse som kan bedre på forholdene.



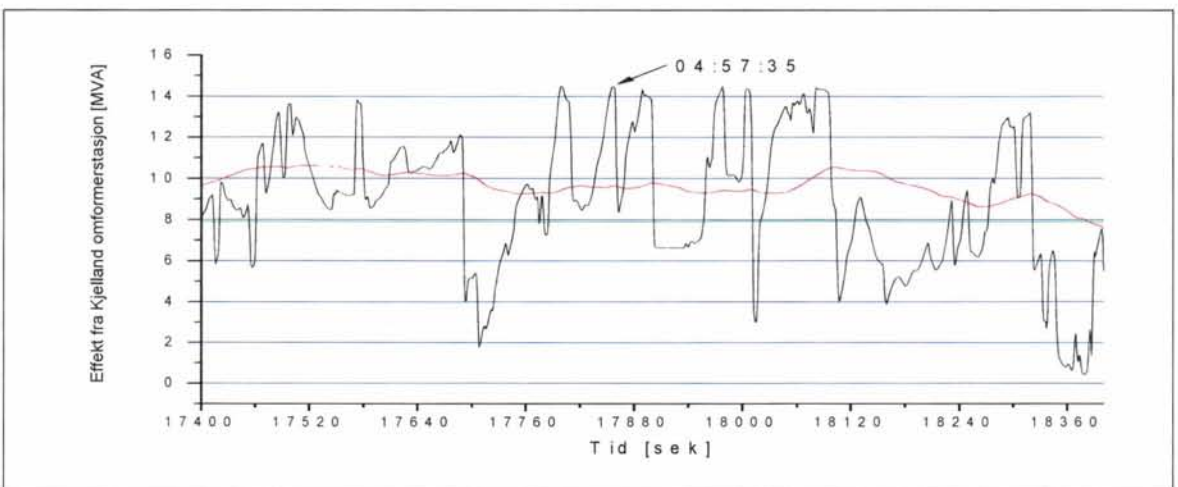
Figur 4-55 Spennning for Herefoss omformerstasjon for simulering 5aaa med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal og utfall av Leivoll omformerstasjon. Momentan (svart) og 2 minutters RMS verdi (rød) er vist.



Figur 4-56 Spennning for Kjelland omformerstasjon for simulering 5aaa med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal og utfall av Leivoll omformerstasjon. Momentan (svart) og 2 minutters RMS verdi (rød) er vist.



Figur 4-57 DC-strøm i mellomkretsen for Kjelland omformerstasjon for simulering 5aaaa med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal og utfall av Leivoll omformerstasjon.



Figur 4-58 Aktiv effekt for Herefoss omformerstasjon for simulering 5aaaa med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal og utfall av Leivoll omformerstasjon. Momentan (svart), 6 minutters (rød) og timeverdi (grønn) for RMS verdi er vist.

4.12 Simulering 5aaaaak med kapasitetsoptimal ruteplan og alternativ A3 med utfall av Leivoll omformerstasjon og forøkning av ytelsen i Kjelland

I simulering 5aaaa og 5aaaaak ble det lav spenning for togene samtidig med at Kjelland omformerstasjon ble belastet til sin maksimalgrense og samleskinnespenningen ble lav. Dermed er det interessant å undersøke om lav spenning for togene skyldes at Kjelland omformerstasjon holder for lav spenning når det trenges mest. I denne simuleringen settes det inn et nytt aggregat i Kjelland slik at samlet ytelse blir 3 x 7,5 MVA, da skulle det ikke kunne oppstå for høy belastning.

4.12.1 Belastning av omformere

Nedenfor viser Tabell 4-41 belastningen av omformerne med økt ytelse i Kjelland omformerstasjon. Som en ser er Herefoss omformerstasjon belastet noe lavere enn i simulering 5aaaaak og Kjelland en del mer, se Tabell 4-39. ut fra dette kan det se ut som behovet i Kjelland omformerstasjon er større ytelse enn dagens for å takle dette feiltilfellet.

Tabell 4-41 Belastning for omformerstasjonene i simulering 5aaaaak med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal og utfall av Leivoll omformerstasjon. Det er innført tre omformerenheter i Kjelland omformerstasjon. MEAN verdier for effekten.

Simulering 5aaaaak AT-system med 240 mm ² tverrsnitt for NL og PL godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan							
Omformer	Innsatt ytelse [MVA]	Effekt					
		2 sek		6 min		1 time	
		[MVA]	[%]	[MVA]	[%]	[MVA]	[%]
Herefoss	3 x 5,8	29,166	94	17,834	74	11,187	64
Leivoll	2 x 7	-		-		-	
Kjelland	3 x 7,5	22,037	98	14,246	63	9,504	42

4.12.2 Belastning av negativ- og positivleder

Tabell 4-42 viser belastningen av ledere ut fra omformerstasjoner nærmest Leivoll når denne faller ut. Som en ser blir strømmen denne gangen en hel del større når Kjelland omformerstasjon er utvidet med et aggregat, sammenlign med resultatene i Tabell 4-40. Dette har nok sammenheng med at togene trekker større effekt når Kjelland omformerstasjon ikke går i strømgrense og kan holde stiv spenning. Ser en igjen på maksimal kortvarig "bør" verdi av strømbelastning for liner (990A) og kabler (630 A for 10 minutter) på 240 mm² ser en at belastningen også her innenfor det akseptable.

Tabell 4-42 Belastning av ledere ut fra omformerstasjonene. Det er vist belastning ut fra dagens 15,0 kV enfasetransformatorer og for å finne strømbelastningen på 30 kV nivå på utgående NL og PL må tallene divideres på to. Simulering 5aaaaak med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal og utfall av Leivoll omformerstasjon. Det er innført tre omformerenheter i Kjelland omformerstasjon. Maksimal RMS verdi for en del tidsavsnitt er vist.

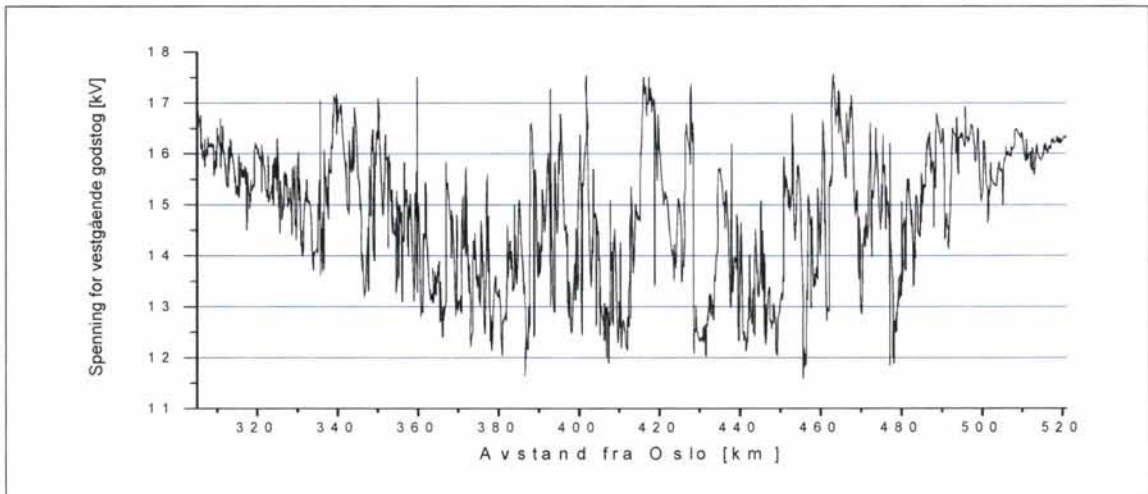
Simulering 5aaaaak AT-system med 240 mm ² tverrsnitt for NL og PL og godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan						
NL og PL avgang ved omformer	Strøm [kA]					
	1 sek	10 sek	1 min	6 min	10 min	1 time
Herefoss vest	1,370	1,334	1,155	0,848	0,806	0,612
Kjelland øst	1,587	1,456	1,174	0,943	0,921	0,691

4.12.3 Spenningen for togene

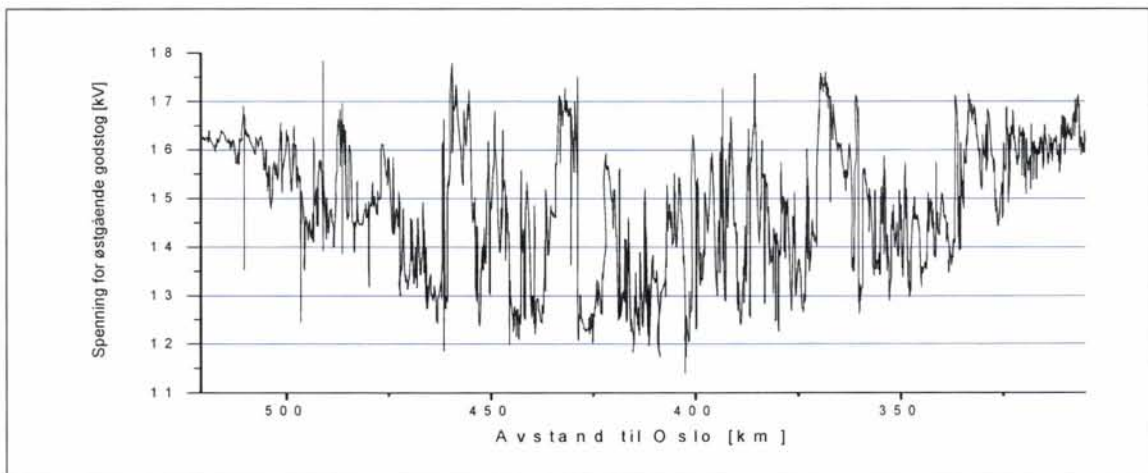
Nedenfor viser Figur 4-59 og Figur 4-60 spenningen for vest og østgående tog etter at Kjelland omformerstasjon er forsterket med et nytt aggregat. Sammenlignet med simulering 5aaaa, se Figur 4-48 og Figur 4-49, ser det ut til at spenningen nå knapt er endret. Tidsvektet varighetskurve viser også små endringer, se Figur 4-61. Av dette kan det se ut til at større

ytelse i omformerstasjonene ikke har særlig innvirkning på togenes spenning, men av effektforbruket fra omformerne ser det allikevel ut til at togene trekker større effekt. Med den tillagte usikkerhetsmarginen på 0 – 700 V er det sannsynlig at spenningene i verste fall kommer helt ned til 11,0 kV.

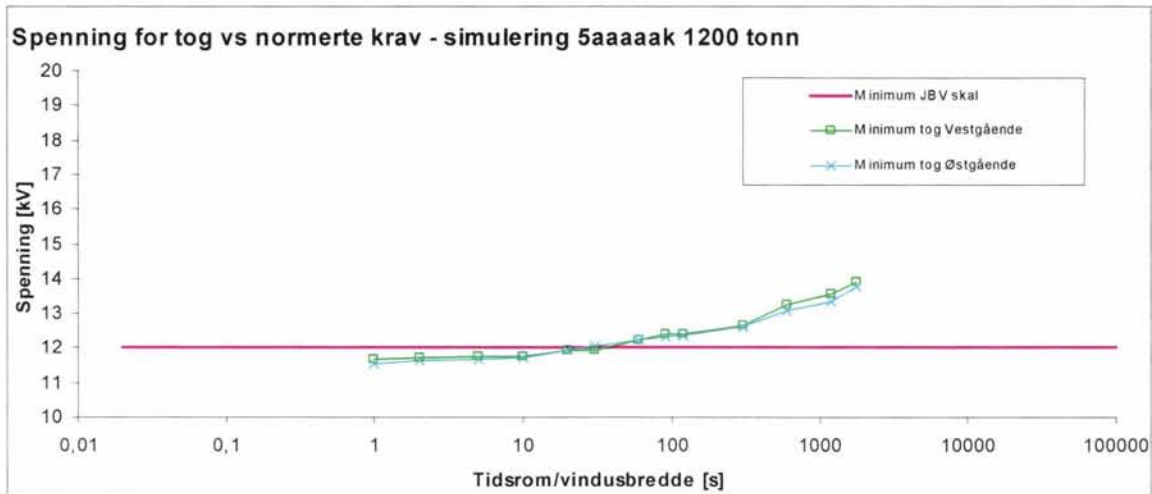
Det kan se ut som om spenningen kommer ned til rundt 12,0 kV for så stor matestrekning som det her er snakk om, og sannsynligvis vil laveste spenningen for togene komme så langt ned også for større tverrsnitt. Derfor er det ikke gjort en egen simulering for 381 mm² tverrsnitt. Dette har nok å gjøre med effektbegrenseren for lav spenning som alle togene i simuleringen er utstyrt med. En egen undersøkelse rundt dette er gjort i avsnitt 4.15.4.



Figur 4-59 Spenning for vestgående godstog fra Leivoll til Ganddal for simulering 5aaaaak med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal og utfall av Leivoll omformerstasjon. Ledertverrsnitt er 240 mm² for PL og NL og Kjelland omformerstasjon er utrustet med 3 omformerenheter. RMS verdier for spenningen er vist.



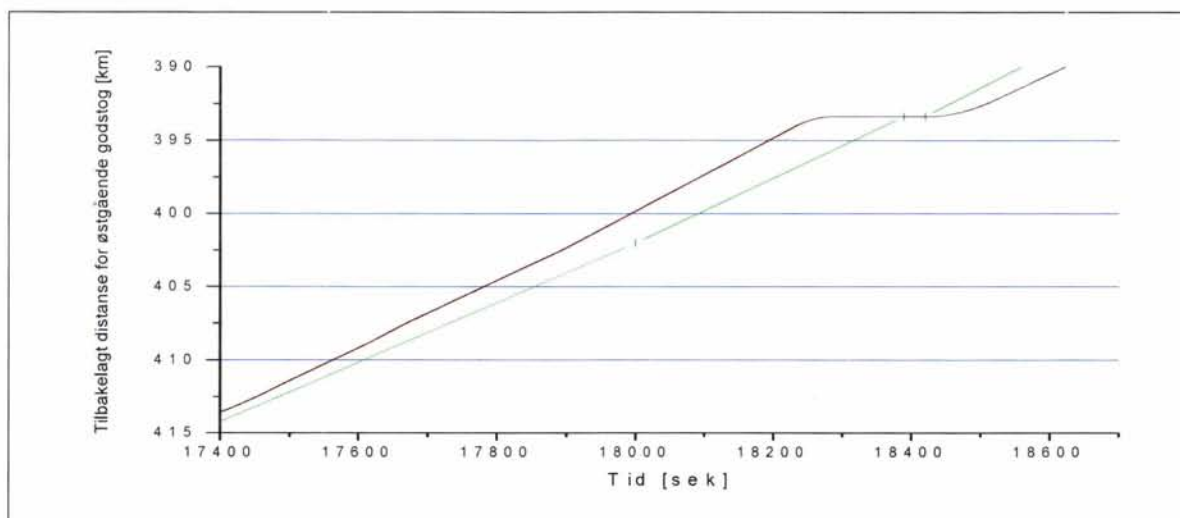
Figur 4-60 Spenning for østgående godstog fra Ganddal til Leivoll for simulering 5aaaaak med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal og utfall av Leivoll omformerstasjon. Ledertverrsnitt er 240 mm² for PL og NL og Kjelland omformerstasjon er utrustet med 3 omformerenheter. RMS verdier for spenningen er vist.



Figur 4-61 Minimumsverdier for tidsvektet varighetskurve for RMS verdien av spenningen for vest- og østgående godstog på hele strekningen fra Nordagutu til Ganddal. Simulering 5aaaaak med 240 mm² tverrsnitt for NL og PL, kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal og Kjelland omformerstasjon er utrustet med 3 omformerenheter. RMS verdier for spenningen er vist.

4.12.4 Kjøretid for togene

Nedenfor viser Figur 4-62 tilbakelagt distanse for østgående godstog (svart strek) sammenlignet med togruten (grønn strek) og sammenlignet med tidligere simulering 5aaaaak (rødt strek) med to aggregater i Kjelland omformerstasjon. Som en ser er det svært små (eller knapt noen) endringer som oppstår og en skulle forventet at den større effekten ut fra omformerne resulterer i større trekkraft for togene og dermed at de kjører noe raskere. Imidlertid er toget foran ruten ved ankomst til stasjonen. En egen undersøkelse mellom kjøretid, opptatt effekt til tog og spenning er undersøkt i simulering 5bb, avsnitt 4.15.4.



Figur 4-62 Tilbakelagt distanse for østgående godstog fra Ganddal til Leivoll for simulering 5aaaaak (svart strek) med 3 x 7,5 MVA omformere i Kjelland og 5aaaaak (rødt strek) med 2 x 7,5 MVA omformere, kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal og utfall av Leivoll omformerstasjon. 240 mm² ledertverrsnitt. Grønn strek viser ruten.

4.13 Simulering 5aaaaaa med kapasitetsoptimal ruteplan og alternativ A3 med utfall av fjernledningen mellom Nordagutu og Skollenborg

Simulering 5aaaaaa er utført med utfall av fjernledningen mellom Nordagutu og Skollenborg for å se hvor stor belastningen blir på Nordagutu omformerstasjon når denne skal forsyne transformatorstasjonene på Tyri og Neslandsvatn uten denne forbindelsen. Kontaktledningen mellom Nordagutu - Skolleborg og Nordagutu – Larvik ligger inne, men effektoverføringsevnen på disse linjene er betydelig mindre. Dette regnes som den verste feilsituasjonene (enkelthendelse) som kan ramme forsyningsområdet til Nordagutu omformerstasjon og vil vise største belastning på omformerer. Det er satt inn omformeraggregater på 7,0 MVA i Nordagutu istedenfor 3 x 5,8 MVA som er benyttet i de tidligere simuleringene.

4.13.1 Belastning av omformere og transformatorstasjoner

Nedenfor viser Tabell 4-43 og Tabell 4-44 belastningen på henholdsvis de berørte omformerstasjoner og transformatorstasjoner. Nordagutu omformerstasjon er belastet omentrent like mye som i simulering 5a med normal driftsituasjon, se avsnitt 4.5.2. To aggregater på 7,0 MVA ser ut til å være tilstrekkelig, i alle fall når en ikke regner med at omformeraggregater skal kunne falle ut samtidig med utfall av fjernledningen (n-1 kriterium).

Dette kan synes paradoksalt, en skulle forvente en betydelig større belastning av omformerne i Nordagutu når fjernledningen mot Skollenborg faller ut. For å undersøke dette er det sett på levert effekt fra omformerne i Nordagutu med og uten fjernledningen mot Skollenborg innkoblet, se Figur 4-63. Den svarte streken viser belastningen med fjernledningen inne (simulering 5a) og en ser at effekten, 6 minutters MEAN verdi av MVA, varierer mye og i perioder er nokså liten. Rød strek viser effekten når fjernledningen til Skollenborg kobles ut, og en ser at effekten nå øker bare i visse perioder, mens den i store deler av tiden er omentrent like stor eller endog mindre. Maksimal 6 minutters verdien derimot, som er den verdien som er satt inn i de forskjellige tabellene, er omentrent like stor. Det kan være flere forhold som spille inn for å forklare disse forskjellene, men dette er ikke undersøkt vider her. Riktignok er det store effektmengder som utveksles over fjernledningen mellom Nordagutu og Skollenborg, men det ser ut til at omformerer i Nordagutu fint greier å forsyne matestrekingen alene. En kan riktignok også få inntrykk av at Nordagutu nå leverer noe høyere og jevnere effekt, det kan en også se ved at den nå har en times effekt ca 1 MVA høyere.

Tabell 4-43 Belastning for omformerstasjonene i simulering 5aaaaaa med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal og utfall av fjernledningen mellom Nordagutu og Skollenborg. MEAN verdier for effekten.

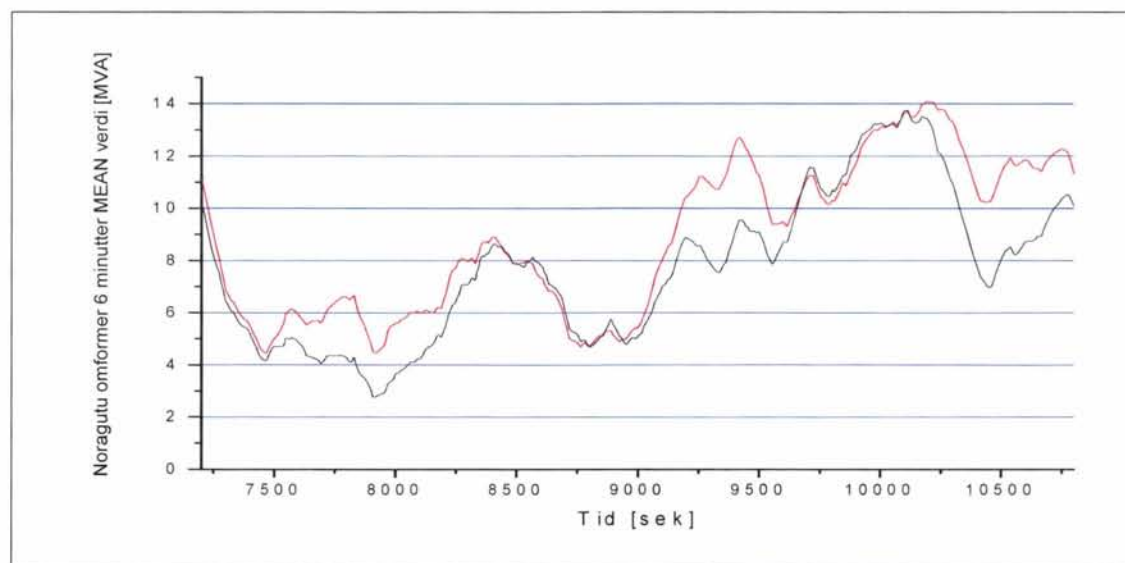
Simulering 5aaaaaa AT-system med 381 mm² tverrsnitt for NL og PL godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan

Omformer	Innsatt ytelse [MVA]	Effekt					
		2 sek		6 min		1 time	
		[MVA]	[%]	[MVA]	[%]	[MVA]	[%]
Nordagutu	2 x 7,0	24,294	89	14,331	65	9,131	65
Herefoss	3 x 5,8	22,208	72	11,459	48	7,411	43

Tabell 4-44 Belastning av transformatorstasjoner. Simulering 5aaaaaa med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss og utfall av fjernledningen mellom Nordagutu og Skoppum. Høyeste tall for MEAN verdien av henholdsvis 2 sekunder, 6 minutter og 1 time. Prosentvis belastning av innsatt ytelse.

Simulering 5aaaaaa AT-system med 381 mm² tverrsnitt for NL og PL godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan

Transformator	Innsatt ytelse [MVA]	Effekt [MVA]		
		2 sek	6 min	1 time
		Nordagutu	1 x 8,0	16,617
Tyri	1 x 8,0	8,632	3,754	2,546
Neslandsvatn	1 x 8,0	10,336	7,453	3,985



Figur 4-63 Belastning for Nordagutu omformerstasjonen i simulering 5a (svart) med fjernledningen inne og simulering 5aaaaaa med utfall av fjernledningen mellom Nordagutu og Skollenborg. Belastningen over en time er vist. Begge simuleringene med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal og MEAN verdier for effekten. Simulering 5a med 3 x 5,8 MVA aggregater og simulering 5aaaaaa med 2 x 7 MVA.

4.13.2 Belastning av kontaktledningsavgangene

Tabell 2-1 nedenfor viser strømbelastningen på de tre kontaktledningsavgangene fra Nordagutu omformerstasjon. Strømmen er godt innenfor akseptabel grenser.

Tabell 4-45 Belastning av kontaktledningen ut fra Nordagutu. Simulering 5aaaaaa med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal og utfall av fjernledningen mellom Nordagutu og Skollenborg. Maksimal RMS verdi for en del tidsavsnitt.

Simulering 5aaaaaa AT-system med 381 mm² tverrsnitt for NL og PL og godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan						
NL og PL avgang ved omformer	Strøm [kA]					
	1 sek	10 sek	1 min	6 min	10 min	1 time
Nordagutu øst	0,851	0,823	0,710	0,417	0,401	0,319
Nordagutu sør	0,300	0,273	0,252	0,187	0,186	0,130
Nordagutu vest	0,873	0,731	0,589	0,421	0,383	0,228

4.14 Simulering 5b og 5bk med ruteplan R152.2 og alternativ A3

Det er utført to simuleringer med ordinær ruteplan R152.2 fra 2003 og AT-system med de to aktuelle tverrsnittene. I denne ruteplanen går alle togene med dagens materiell unntagen godstogene som alle er oppsatt med multiple BR189 lokomotiver. Denne ruteplanen er interessant å studere virkningen av siden den viser et ruteopplegg som forventes å belaste et avsnitt av banen hardere og andre deler mindre, enn kapasitetsoptimale ruteplanen som belaster hele banen meget intensivt. Ruteplan R152,2 belaster området fra Nordagutu omformerstasjon og vestover mot Kristiansand hardt ved at krysningsbeltet ligger her (møte mellom vest og østgående godstog) om natten fra ca klokken 23 til 03. Togfølgetiden blir noe kortere her, ned mot 40 minutter, mens kapasitetsoptimal ruteplan har 60 minutter. Imidlertid er nok ikke togtrafikken her så intens at en kan si på forhånd at trafikken med rute R152.2 er mer energiintensiv enn med kapasitetsoptimal rute. Mens noen områder belastes hardt med ordinær rute kan andre områder bli belastet lite, enten visse perioder eller hele døgnet. Det er for å få et inntrykk av disse forholdene at enn tar med simulering med ordinær ruteplan, selv om denne egentlig ikke er ment å være dimensjonerende ruteplan.

En annen interessant forhold med ordinær ruteplan er rushtrafikken ved Stavanger sin innvirkning. Men siden det planlagte dobbeltsporet Stavanger – Sandnes og den planlagte økte trafikken ikke er med og heller ikke den nye godsterminalen som skal komme på Ganddal vil disse resultatene ikke være sikre nok.

4.14.1 Belastning av omformere og transformatorstasjoner

Nedenfor viser henholdsvis Tabell 4-50 og Tabell 4-47 belastningen av omformerstasjonene og transformatorene. Her er det ikke gjort undersøkelser for belastning av omformere med de to aktuelle tverrsnittene, men forskjellene kommer fram i neste avsnitt om optatt effekt fra overliggende nett. Sammenlignes disse tallene med simulering 5a der eneste forskjell er at det er benyttet kapasitetsoptimal ruteplan, se Tabell 4-19, ser en at effektopptaket nå er betydelig lavere. Dette gjelder ikke for Ganddal omformer som blir noe mer belastet nå, dette skyldes lokaltrafikken som gir stort effektopptak. I simuleringer med kapasitetsoptimal ruteplan undersøkte en effektopptaket før lokaltrafikken startet om morgenen. Den prosentvis maksimale belastningen er såpass lav at det faktisk kan se ut som om omformerstasjoner med

bare 2 aggregater på 5,8 MVA kunne vært benyttet. Da ville stasjonene blitt belastet ca 50 % og utfall av et aggregat i en stasjon ville gått greit. Imidlertid kan ikke denne enkel tommelfingerregelen si noe om sikkert om hvorledes belastningen blir med utfall av en hel stasjon eller ensidig mating på en lengre del av matestrekningen.

Tabell 4-46 Belastning av omformerstasjoner. Simulering 5b med ordinær ruteplan R152.2, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss. Høyeste tall for MEAN verdien for henholdsvis 2 sekunder, 6 minutter og 1 time. Prosentvis belastning av totalt innsatt ytelse.

Simulering 5b AT-system med 381 mm ² tverrsnitt for NL og PL godstog med 1200 tonn lastvekt. Ruteplan R152.2							
Omformer	Innsatt ytelse [MVA]	Effekt					
		2 sek		6 min		1 time	
		[MVA]	[%]	[MVA]	[%]	[MVA]	[%]
Nordagutu	3 x 5,8	16,481	53	8,081	34	5,007	28
Herefoss	3 x 5,8	15,498	50	8,403	35	4,791	28
Leivoll	3 x 5,8	13,610	44	9,088	38	4,640	27
Kjelland	3 x 7,5	11,861	53	6,876	31	4,967	22
Ganddal	3 x 5,8	16,336	52	7,174	30	4,649	27

Tabell 4-47 Belastning av transformatorstasjoner. Simulering 5b med ordinær ruteplan R152.2, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss. Høyeste tall for MEAN verdien av henholdsvis 2 sekunder, 6 minutter og 1 time. Prosentvis belastning av innsatt ytelse.

Simulering 5b AT-system med 381 mm ² tverrsnitt for NL og PL godstog med 1200 tonn lastvekt. Ruteplan R152.2				
Transformator	Innsatt ytelse [MVA]	Effekt [MVA]		
		2 sek	6 min	1 time
		Nordagutu	1 x 8,0	9,945
Tyri	1 x 8,0	9,992	5,185	2,413
Neslandsvatn	1 x 8,0	9,575	6,723	4,436

4.14.2 Opptatt effekt og energi fra trefasenettet

Nedenfor viser Tabell 4-48 og Tabell 4-49 effektopptaket og forbrukt energi for å få frem togene med ruteplan R152.2 med AT-system med henholdsvis 381 og 240 mm² ledertverrsnitt for NL og PL. Energi og effekt for hver omformerstasjon fra Nordagutu og vestover er vist. Nordagutu omformerstasjon ligger på randsonene mellom den delen som skal underøke og området utenfor og derfor er energi levert utenfor randsonen, altså til Vestfoldbanen og Drammensbanen, trukket fra. Imidlertid er effekten trukket fra trefasenettet for Nordagutu vist uten å ta hensyn til effektflyt ut og inn av randsonen.

Som en kan forvente er energiforbruket for et helt døgn ganske så forskjellig for de to simuleringene og antar en at omformertapene ikke er særlig forskjellige i de to tilfellene, skriver det meste av forskjellen seg fra større tap i overføringene med det lavere tverrsnittet. Forskjellen for sum opptatt energi er ca 7 MWh, eller 2,4 % mer opptatt energi for simulering 5bk. Appendix A viser opptatt energi fra trefasenettet for hver omformer time for time.

Tabell 4-48 Opptatt effekt fra overliggende kraftnett. Simulering 5b med ordinær ruteplan R152.2, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss. Maksimal tosekunders verdi og middelvei for en time er vist, samt energiforbruket og tilbakelevert energi i løpet av et døgn.

Simulering 5b AT-system med 381 mm² tverrsnitt for NL og PL godstog med 1200 tonn lastvekt. Ruteplan R152.2

Omformer	Effekt [MW]		Energi inn/ut/sum [MWt]
	Maks	(Middel) høyeste time	24 timer
Nordagutu	16,130	4,312	93,169 / -8,916 / 84,253
Herefoss	15,135	4,669	51,878 / -1,584 / 50,294
Leivoll	12,163	3,726	45,220 / -0,903 / 45,220
Kjelland	11,623	3,803	55,390 / 0 / 55,390
Ganddal	16,441	4,831	74,403 / -0,632 / 73,771
Sum energi 24 timer			320,964 / -12,036 / 308,928

Tabell 4-49 Opptatt effekt fra overliggende kraftnett. Simulering 5bk med ordinær ruteplan R152.2, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss. Maksimal tosekunders verdi og middelvei for en time er vist, samt energiforbruket og tilbakelevert energi i løpet av et døgn.

Simulering 5bk AT-system med 240 mm² tverrsnitt for NL og PL godstog med 1200 tonn lastvekt. Ruteplan R152.2

Omformer	Effekt [MW]		Energi inn/ut/sum [MWt]
	Maks	(Middel) høyeste time	24 timer
Nordagutu	17,031	4,475	90,658 / -8,199 / 82,459
Herefoss	16,625	4,992	52,056 / -1,655 / 50,401
Leivoll	13,886	4,212	48,410 / -0,893 / 47,525
Kjelland	13,376	4,159	57,250 / 0 / 57,250
Ganddal	17,869	5,051	76,250 / -0,633 / 75,617
Sum energi 24 timer			327,832 / -11,475 / 316,357

4.14.3 Belastning av negativ- og positivleder

Tabell 4-50 viser belastning av avgangene til NL og PL på 15 kV nivå og som en ser er belastningene er i samme størrelsesorden som tidligere simuleringer og god innenfor de "skal" og "bør" grensene som er satt for prosjektering av nye anlegg.

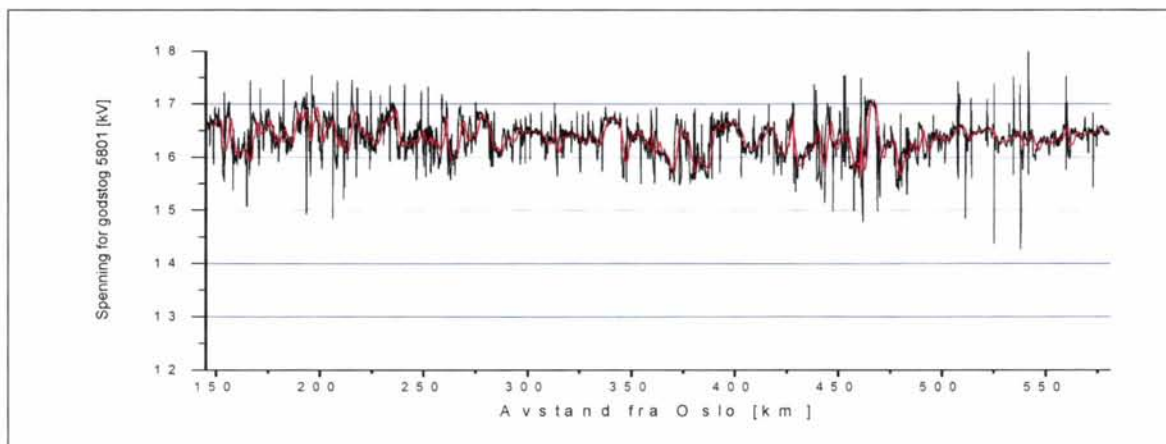
Tabell 4-50 Belasting av ledere ut fra omformerstasjonene. Det er vist belasting ut fra dagens 15,0 kV enfasetransformatorer og for å finne strømbelastningen på 30 kV nivå på utgående NL og PL må tallene divideres på to. Simulering 5b med ordinær ruteplan R152.2, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss. Maksimal RMS verdi for en del tidsavsnitt.

Simulering 5b AT-system med 381 mm² tverrsnitt for NL og PL og godstog med 1200 tonn lastvekt. Ruteplan R152.2

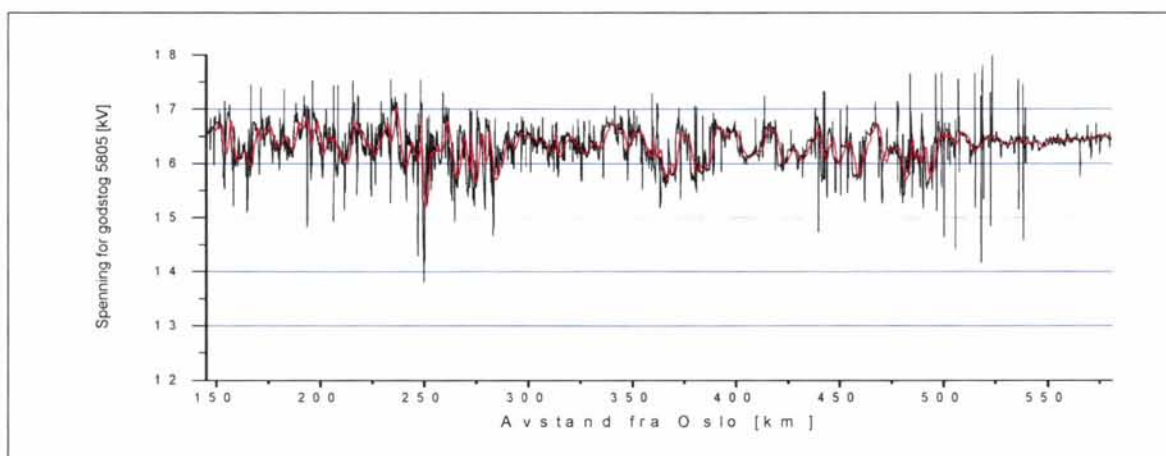
NL og PL avgang ved omformer	Strøm [kA]					
	1 sek	10 sek	1 min	6 min	10 min	1 time
Nordagutu vest	0,658	0,655	0,526	0,368	0,329	0,187
Tyri øst	0,955	0,916	0,701	0,381	0,303	0,153
Tyri vest	0,534	0,505	0,423	0,267	0,220	0,156
Neslandsvatn øst	0,709	0,637	0,469	0,350	0,303	0,162
Neslandsvatn vest	0,895	0,872	0,740	0,509	0,432	0,307
Herefoss øst	1,254	1,241	0,911	0,582	0,476	0,365
Herefoss vest	1,079	1,015	0,902	0,599	0,546	0,359
Leivoll øst	0,936	0,904	0,826	0,663	0,562	0,352
Leivoll vest	0,876	0,835	0,777	0,643	0,512	0,344
Kjelland øst	0,886	0,855	0,709	0,512	0,444	0,294
Kjelland vest	0,945	0,931	0,786	0,496	0,415	0,271
Ganddal øst	0,823	0,713	0,615	0,390	0,354	0,240

4.14.4 Spenningen for togene

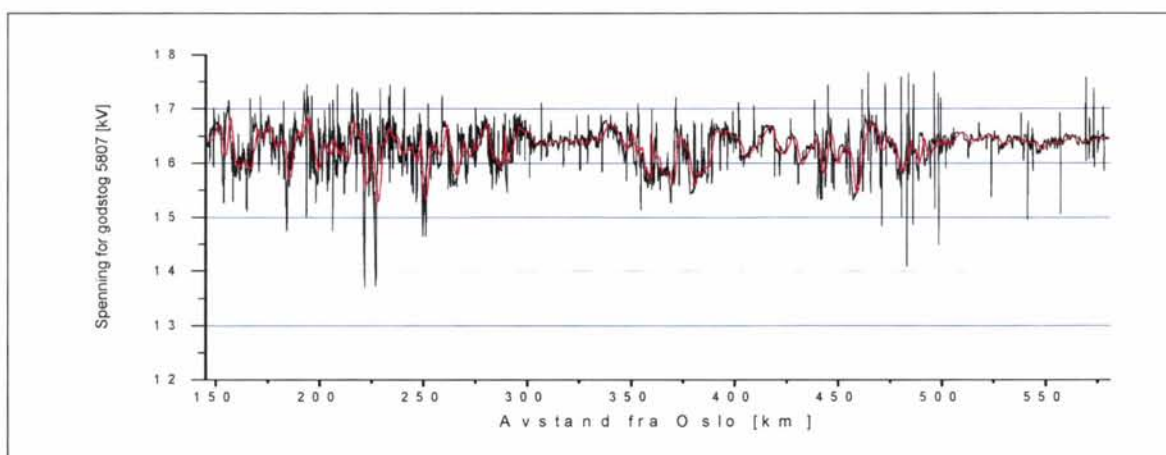
Nedenfor er det i Figur 4-64 og Figur 4-70 vist spenningen for noen utvalgte godstog, det er forsøkt sett på mange forskjellige tog og forsøkt tatt ut et representativt utvalg. Bare godstog er valgt ut, da det antas at de andre togene som har mindre ytelse får enda bedre spenninger. Som en ser er spenningen meget gode og den største forskjellen fra simulering 5a med kapasitetsoptimal ruteplan er at spenningsverdiene nå er bedre også ved Neslandsvatn (ved km 222). Årsaken til dette er nok færre antall tog på denne spesielle strekningen. Generelt ser det ut som at spenningen for resten av strekningen fra Neslandsvatn til Ganddal er likeså bra eller beder enn for simulering 5a med kapasitetsoptimal ruteplan, bortsett fra tog 5808 som ser ut til å få noe lave spenninger ved Kjelland, men dette er meget kortvarig. Tidsvektet varighetskurve for disse syv togene i simulering 5b er vist i Figur 4-71 og av den kan en se at i alle fall for tog 5806 er det fare for at spenningen kommer noe under akseptkriteriet om usikkerhetsmarginen på 700 V tas hensyn til. Når det gjelder simulering 5bk med tverrsnitt 240 mm² er bare to tog undersøkt, se Figur 4-72, og det ser ut til at spenningen kortvarig nå er enda mer sannsynlig å komme under grensen på 13,0 kV for tog 5806. Mulig at også andre tog kan få spenning på grensen av det akseptable for dette tverrsnittet.



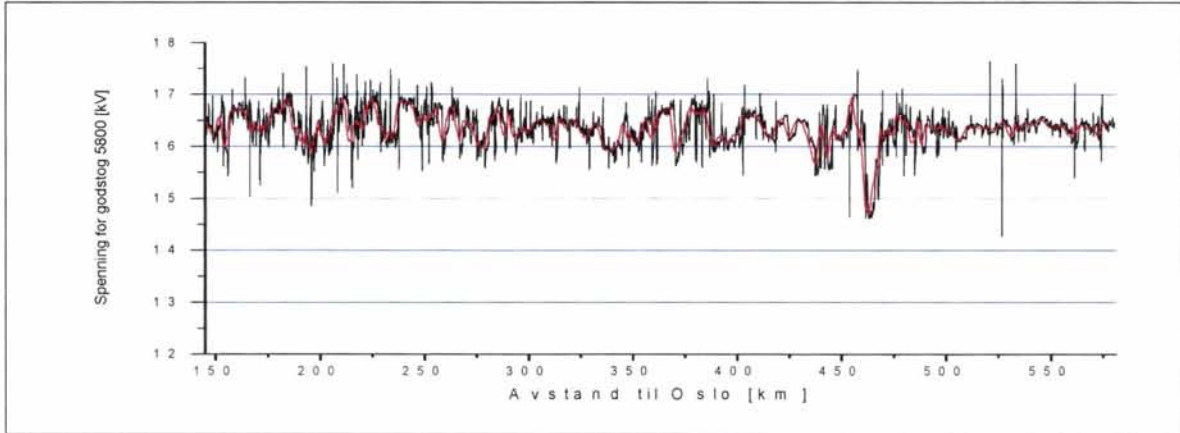
Figur 4-64 Spenning for godstog 5801 fra Nordagutu til Ganddal. Simulering 5b med ruteplan R152.2, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Svart viser RMS momentanverdi og rød viser 2 minutters verdi.



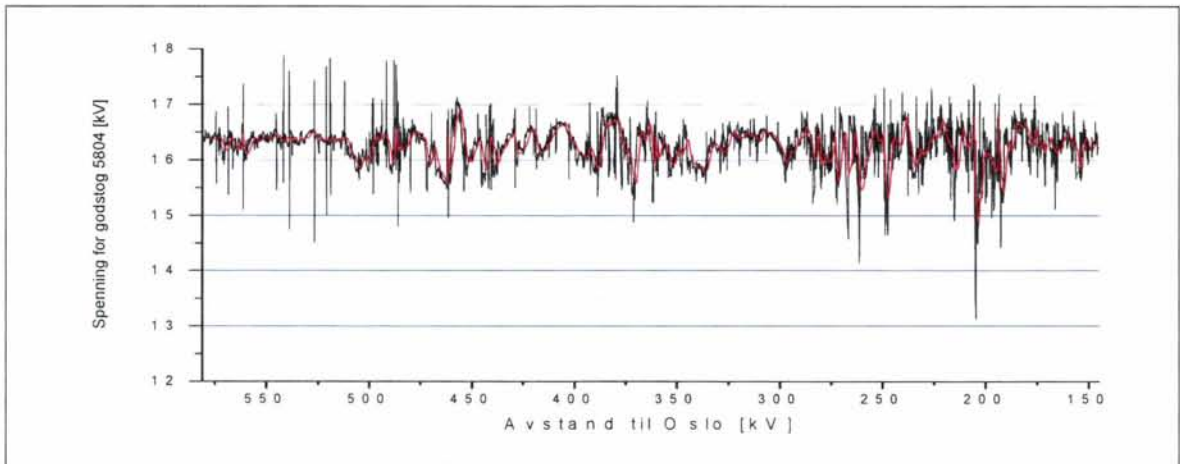
Figur 4-65 Spenning for godstog 5805 fra Nordagutu til Ganddal. Simulering 5b med ruteplan R152.2, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Svart viser RMS momentanverdi og rød viser 2 minutters verdi.



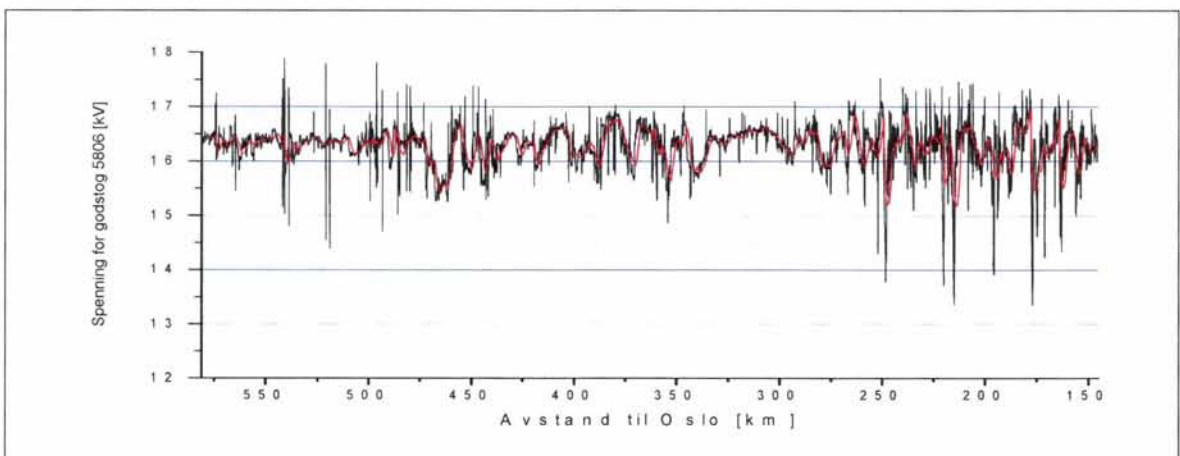
Figur 4-66 Spenning for godstog 5807 fra Nordagutu til Ganddal. Simulering 5b med ruteplan R152.2, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Svart viser RMS momentanverdi og rød viser 2 minutters verdi.



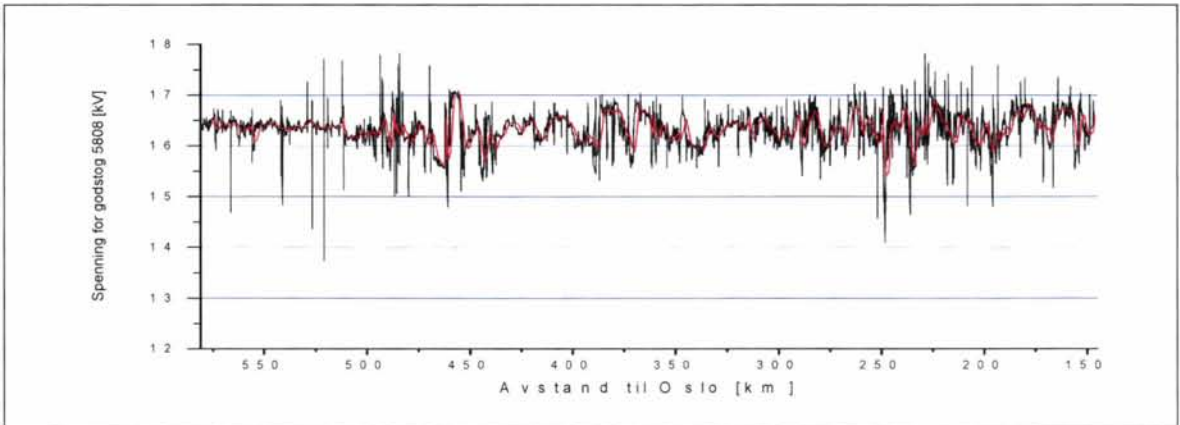
Figur 4-67 Spenning for godstog 5800 fra Nordagutu til Ganddal. Simulering 5b med ruteplan R152.2, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Svart viser RMS momentanverdi og rød viser 2 minutters verdi.



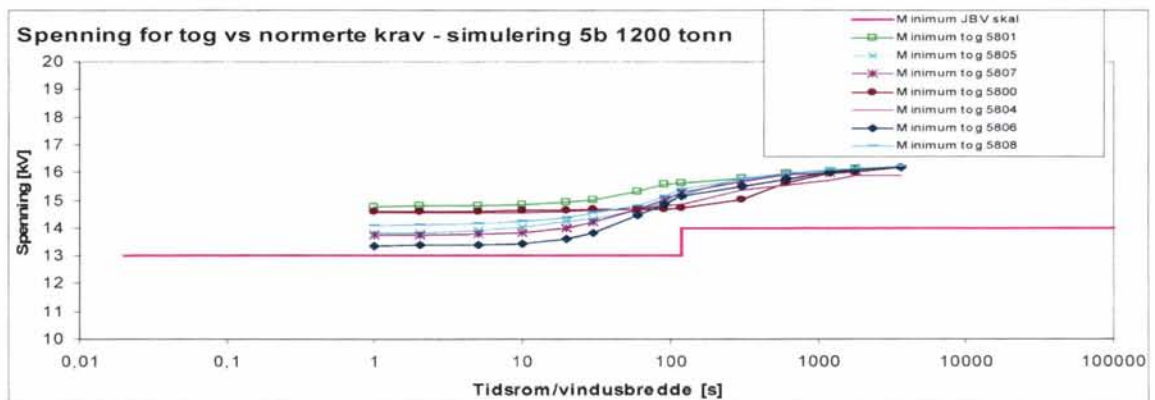
Figur 4-68 Spenning for godstog 5804 fra Nordagutu til Ganddal. Simulering 5b med ruteplan R152.2, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Svart viser RMS momentanverdi og rød viser 2 minutters verdi.



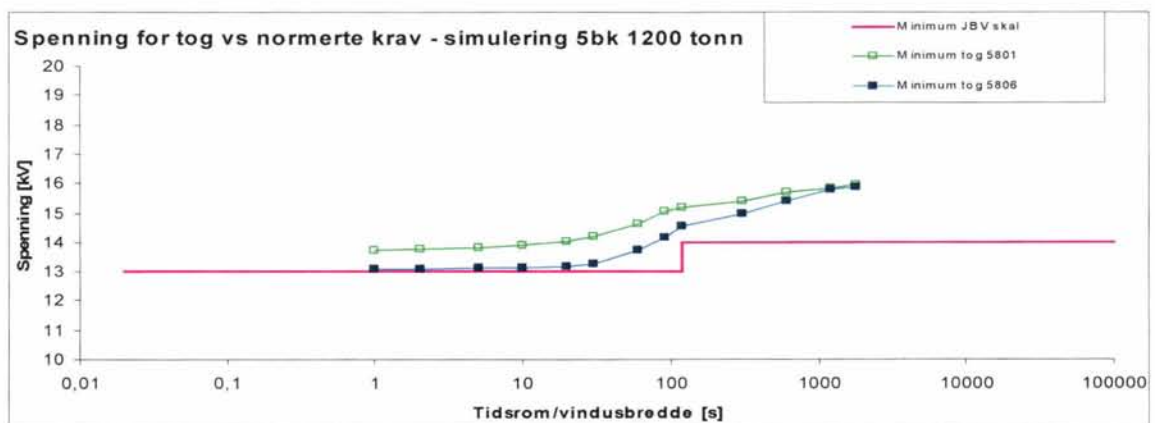
Figur 4-69 Spenning for godstog 5806 fra Nordagutu til Ganddal. Simulering 5b med ruteplan R152.2, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Svart viser RMS momentanverdi og rød viser 2 minutters verdi.



Figur 4-70 Spenning for godstog 5808 fra Nordagutu til Ganddal. Simulering 5b med ruteplan R152.2, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Svart viser RMS momentanverdi og rød viser 2 minutters verdi.



Figur 4-71 Minimumsverdier for tidsvektet varighetskurve for RMS verdien av spenningen for vest- og østgående godstog på hele strekningen fra Nordagutu til Ganddal. Simulering 5b med 381 mm² tverrsnitt for NL og PL, ruteplan R152.2, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal og Kjelland omformerstasjon er utrustet med 3 omformerenheter. RMS verdier for spenningen er vist.



Figur 4-72 Minimumsverdier for tidsvektet varighetskurve for RMS verdien av spenningen for vest- og østgående godstog på hele strekningen fra Nordagutu til Ganddal. Simulering 5bk med 240 mm² tverrsnitt for NL og PL, ruteplan R152.2, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal og Kjelland omformerstasjon er utrustet med 3 omformerenheter. RMS verdier for spenningen er vist.

4.15 Simulering 5bb og 5bbk med ruteplan R152.2 og alternativ A3 med utfall av Kjelland omformerstasjon og ensidig mating til Sira

Det er utført simuleringer for en unormal driftssituasjon med utfall av NL og PL vest for Sira. Samtidig er Kjelland omformerstasjon ute av drift, enten på grunn av utfall i overliggende nett eller feil i stasjonen. Utfallet skjer klokken 18:00 og først klokken 23:00 kobles linjen inn igjen. En feil av denne typen og som inntreffer i dette tidsrommet vil nok få størst innvirkning, fordi det er i denne perioden at godstogene til Oslo kjører ut fra Stavanger. Feilen kan skyldes et ras, trær på linjen, nedrivning av kl-anlegget med store følger, ødelagte isolatorer etc, og det forutsettes at togene ikke kan komme forbi feilstedet. I tidsrommet med feil går Ganddal omformer i øydrift og den skal forsyne hele strekningen frem til Sira. Godstog kjøres så nært til feilstedet som mulig og stoppes på stasjoner eller kryssningsspor, mens persontog (ekspresstog) kjøres til nærmeste stasjon med vegforbindelse for videre befordring av passasjerer med buss. Det må ikke kjøres inn flere tog på en stasjon enn antallet spor muliggjør.

Dette scenarioet har også relevans for alternativ A0 (se Figur 4-1) ved at det i det alternativet ikke er omformer på Kjelland og det er dermed større sannsynlighet for å få ensidig mating på hele strekningen Ganddal til Sira.

Om det for alternativ A3 ble simulert med utfall av NL og PL rett vest for Kjelland omformer ville forholdene bli gunstigere. Utfall av NL og PL rett vest for Leivoll ville gitt enda ugunstigere forhold for godstog og ekspresstog siden denne matestrekningen er lengs, men sannsynligvis ikke forverret forholdene for lokaltogene særlig mye.

4.15.1 Belastning av omformere og transformatorstasjoner

Tabell 4-51 nedenfor viser største belastning av Ganddal omformer når den skal forsyne hele Stavangerområdet og togtrafikken helt ut til Sira. Her ville også 3 aggregater kunne ha forsynt togtrafikken uten problemer.

Tabell 4-51 Belastning av omformerstasjoner. Simulering 5bb med ruteplan R152.2, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Utfall av Kjelland omformerstasjon og ensidig mating til Sira. Høyeste tall for MEAN verdien for henholdsvis 2 sekunder, 6 minutter og 1 time. Prosentvis belastning av totalt innsatt ytelse.

Simulering 5bb AT-system med 381 mm ² tverrsnitt for NL og PL godstog med 1200 tonn lastvekt. Ruteplan R152.2.							
Omformer	Innsatt ytelse [MVA]	Effekt					
		2 sek		6 min		1 time	
		[MVA]	[%]	[MVA]	[%]	[MVA]	[%]
Kjelland	-	-	-	-	-	-	-
Ganddal	4 x 5,8	28,641	76	14,862	46	9,210	40

4.15.2 Belastning av negativ- og positivleder

Nedenfor viser Tabell 4-52 strømbelastningen ut fra Ganddal omformer i østlig retning. Ser en igjen på maksimal kortvarig "bør" verdi av strømbelastning for liner (990A) og kabler (630 A for 10 minutter) på 240 mm² ser en at belastningen også her innenfor det akseptable.

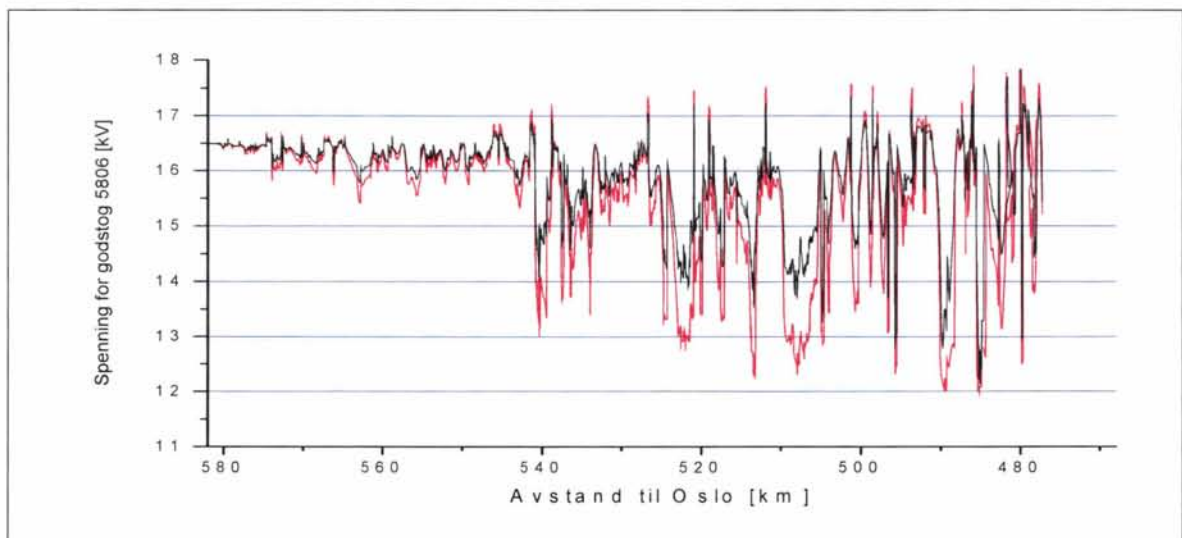
Tabell 4-52 Belastning av ledere ut fra omformerstasjonene. Det er vist belastning ut fra dagens 15,0 kV enfasetransformatorer og for å finne strømbelastningen på 30 kV nivå på utgående NL og PL må tallene divideres på to. Simulering 5bb med ruteplan R152.2, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Maksimal RMS verdi for en del tidsavsnitt.

Simulering 5bbk AT-system med 240 mm² tverrsnitt for NL og PL og godstog med 1200 tonn lastvekt. Ruteplan R152.2

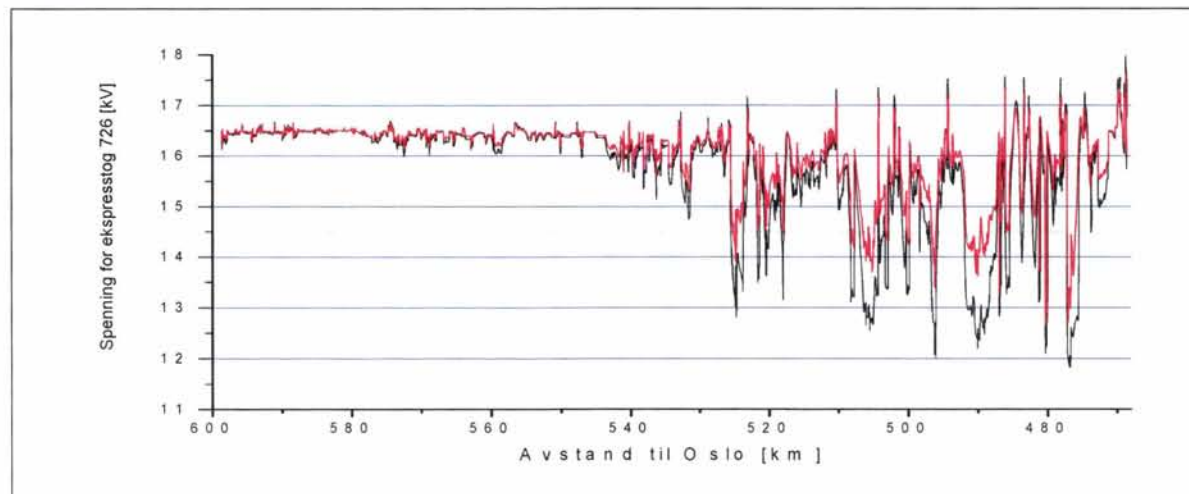
NL og PL avgang ved omformer	Strøm [kA]					
	1 sek	10 sek	1 min	6 min	10 min	1 time
Ganddal øst	1,555	1,542	1,359	0,856	0,745	0,593

4.15.3 Spenningen for togene

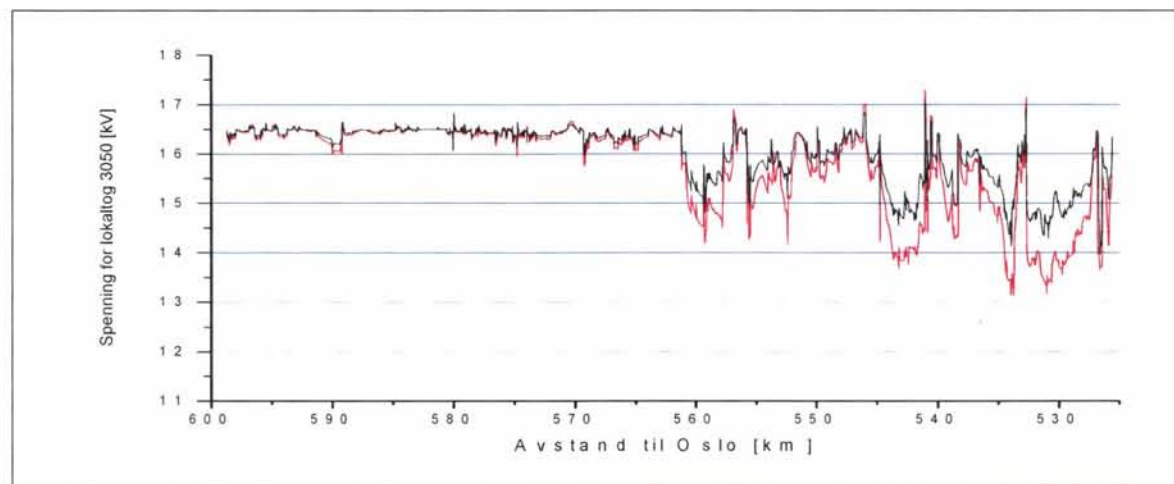
Nedenfor viser Figur 4-73 til Figur 4-77 spenningen for noen utvalgte tog som antas å få lavest spenning når togtrafikken er størst. Det er simulert med tverrsnittene 240 og 381 mm² og en ser at det er en viss forskjell på spenningene for de to tverrsnittene, men at spenningen blir akseptabel. Bare for godstog 5806 og ekspressstog 726 som kjører lengst på den ensidig matede strekningen blir spenningen noe i laveste laget, og for de aller laveste verdiene av spenningen gjelder dette nesten uavhengig av ledertverrsnittet. Imidlertid ser en at lokaltogene får helt utmerket gode spenninger til tross for en så alvorlig feil, også for det laveste tverrsnittet på 240 mm².



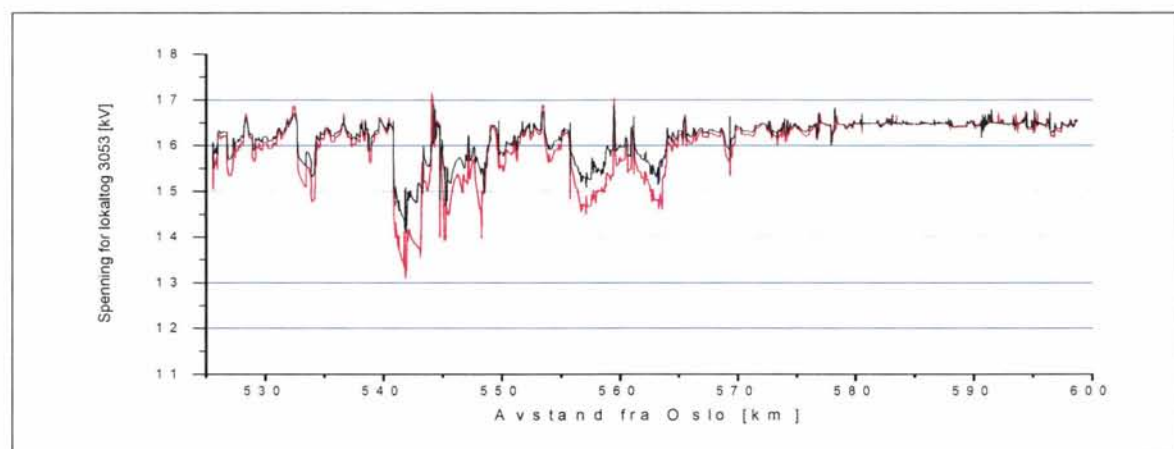
Figur 4-73 Spenningen for østgående godstog 5806 mellom Ganddal og Sira med avgang klokken 17:44 fra Ganddal. Toget stoppes på Moi. Simulering 5bbs med 240 mm² ledere for NL og PL (rød kurve) og simulering 5aas 381 mm² ledere (svart kurve). Ensidig mating fra Ganddal til Sira.



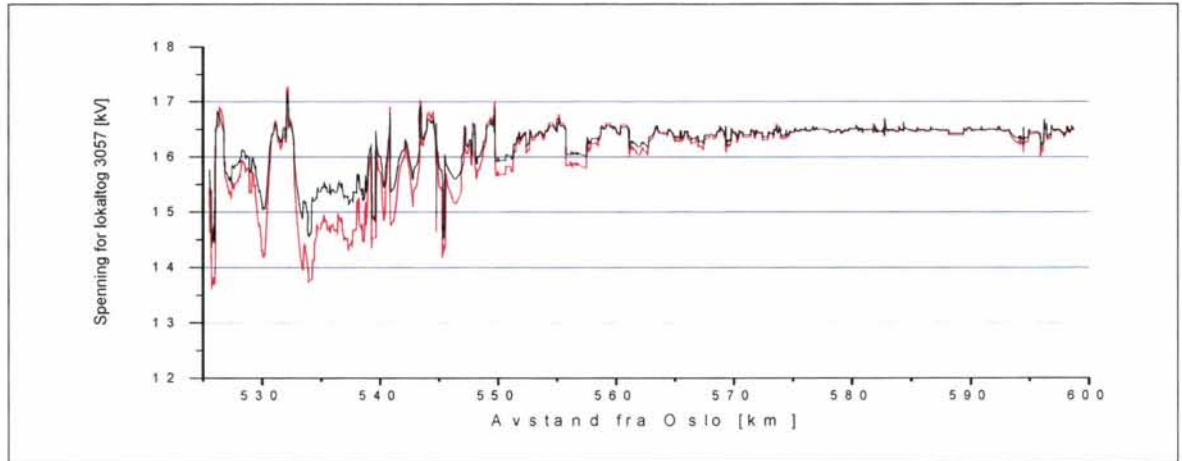
Figur 4-74 Spenningen for østgående ekspressstog 726 mellom Stavanger og Sira med avgang klokken 17:52 fra Stavanger. Simulering 5bbs med 240 mm² ledere for NL og PL (rød kurve) og simulering 5aas 381 mm² ledere (svart kurve). Ensidig mating fra Ganddal til Sira.



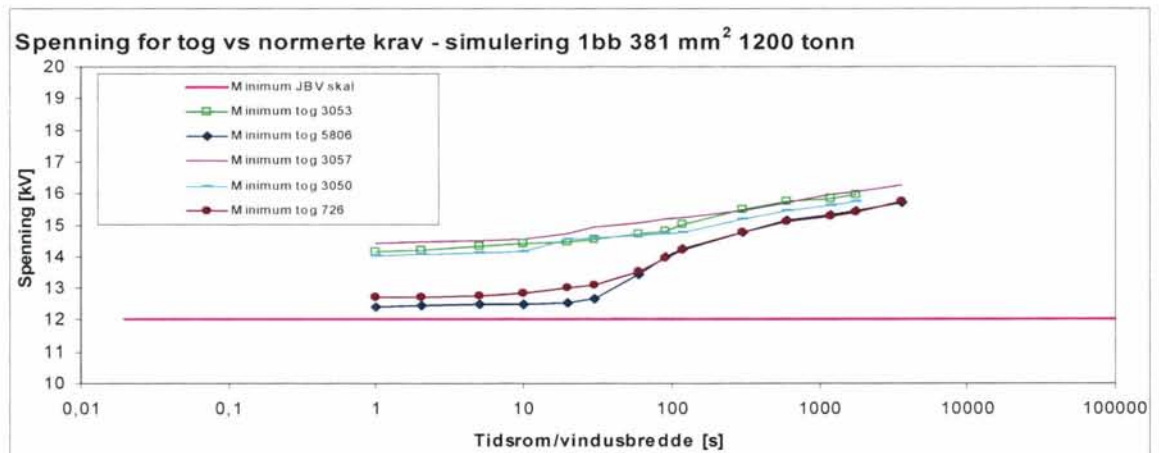
Figur 4-75 Spenningen for østgående lokaltog 3050 mellom Stavanger og Egersund med avgang klokken 18:17 fra Stavanger. Simulering 5bbs med 240 mm² ledere for NL og PL (rød kurve) og simulering 5aas 381 mm² ledere (svart kurve). Ensidig mating fra Ganddal til Sira.



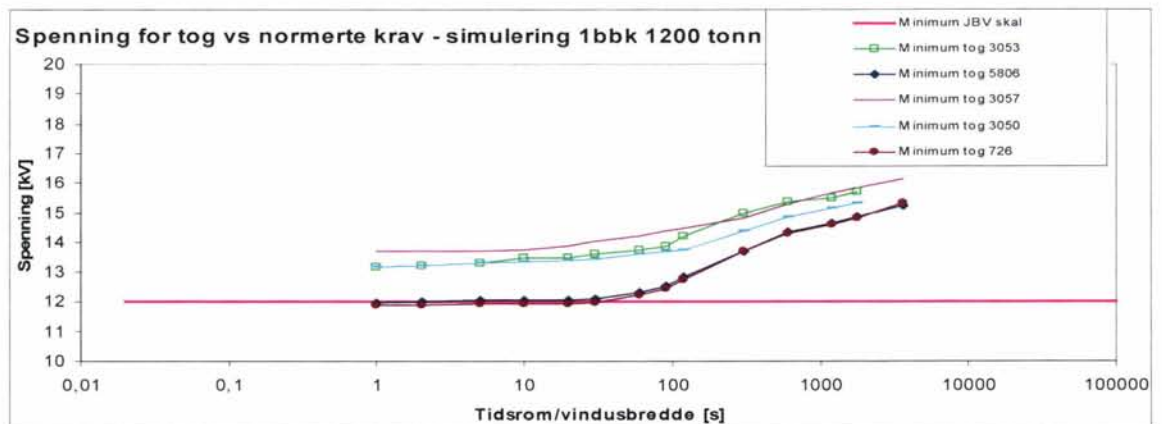
Figur 4-76 Spenningen for vestgående lokaltog 3053 mellom Egersund og Stavanger med ankomst klokken 19:38 til Stavanger. Simulering 5bbs med 240 mm² ledere for NL og PL (rød kurve) og simulering 5aas 381 mm² ledere (svart kurve). Ensidig mating fra Ganddal til Sira.



Figur 4-77 Spenningen for vestgående lokaltog 3057 mellom Egersund og Stavanger med ankomst klokken 20:40 til Stavanger. Simulering 5bbs med 240 mm² ledere for NL og PL (rød kurve) og simulering 5aas 381 mm² ledere (svart kurve). Ensidig mating fra Ganddal til Sira.



Figur 4-78 Minimumsverdier for tidsvektet varighetskurve for RMS verdien av spenningen for utvalgte på strekningen fra Stavanger til Sira. Simulering 5bbk med ruteplan R152.2, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal.



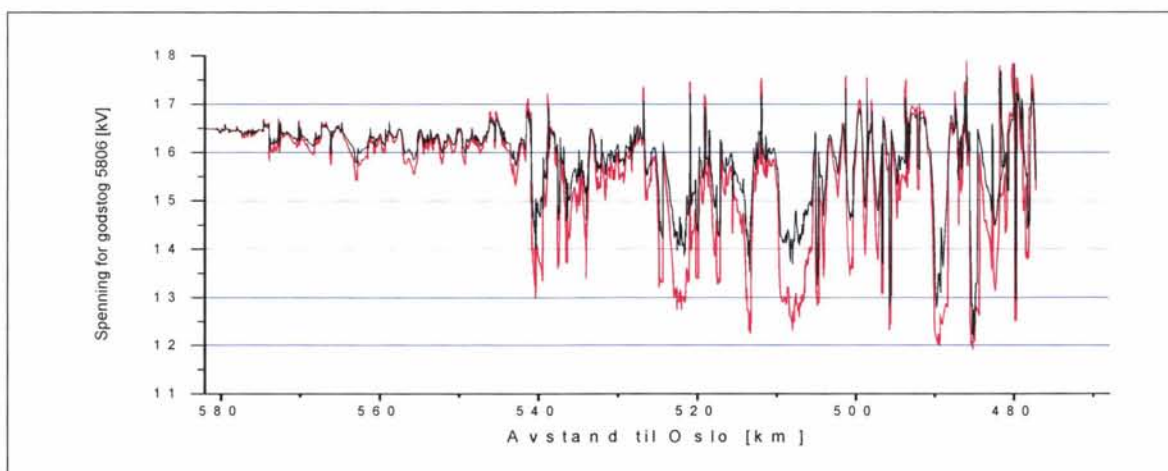
Figur 4-79 Minimumsverdier for tidsvektet varighetskurve for RMS verdien av spenningen for utvalgte på strekningen fra Stavanger til Sira. Simulering 5bbk med 240 mm² tverrsnitt for NL og PL, ruteplan R152.2, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal.

4.15.4 Undersøkelse tilsynelatende manglende innvirkning mellom tverrsnittet på spenningen for togene

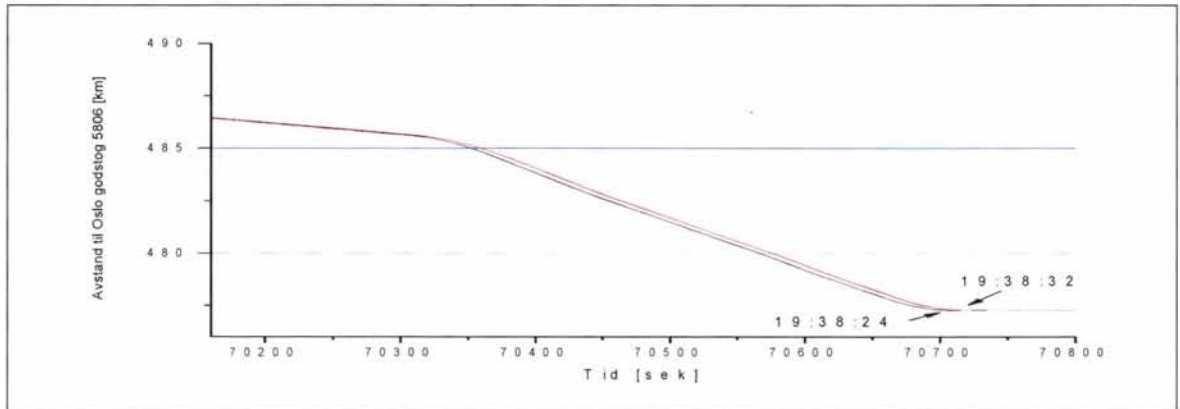
I simuleringene med normal driftsituasjon og forskjellige tverrsnitt viste det seg å bli ganske stor forskjell på laveste og høyeste spenning for togene, opptil 0,5 kV for enkelte tog. Men i simulering 5bb og 5bbk med ensidig mating fra Ganddal til Leivoll er spenningsforskjellene nokså små, i alle fall der spenningen blir veldig lav. Det samme så en i simulering 5aaaa og 5aaaak med utfall av Leivoll omformerstasjon. Dette virker paradoksalt, også nå skulle en tro at høyere tverrsnitt og lavere impedans forbedrer spenningen. Derfor er det i dette avsnittet sett nærmere på hva dette kan skyldes, og det er sett spesielt på forholdene for østgående godstog 5806, se Figur 4-80 til Figur 4-83. Figurene for spenning er for enkelhets skyld gjengitt på nytt i dette avsnittet.

Det antas at ved den lave spenningen som begge simuleringstilfellene med ensidig mating gir, resulterer i store begrensninger for effektopptaket til togene. Spesielt der togene holder stor hastighet i oppoverbakker eller ved akselrasjon er det nødvendig med stort effektuttak for å få ut ønsket trekraft. Disse begrensningene vil på grunn av den dynamiske oppførselen mellom spenning på kontaktledning og togenes automatiske effektbegrensning ved lav spenning, føre til at effekten i begge tilfellene reguleres kraftig ned, men ulikt, på den måten at punktet der stor effektbegrensning ved lav spenning gjør seg gjeldende tidligere for det minste tverrsnittet. Av dette kan en nok forvente at med høyere impedans og dermed tendens til lav spenning vil effektuttaket bli mindre, men toget skulle kunne kompensere dette med å trekke så stor effekt som det kan tillates over lengre tid. Slik blir spenningen for de forskjellige tverrsnittene mer eller mindre lik, i alle fall minimumsverdiene, men størrelsen og lengden av effektopptaket blir forskjellig.

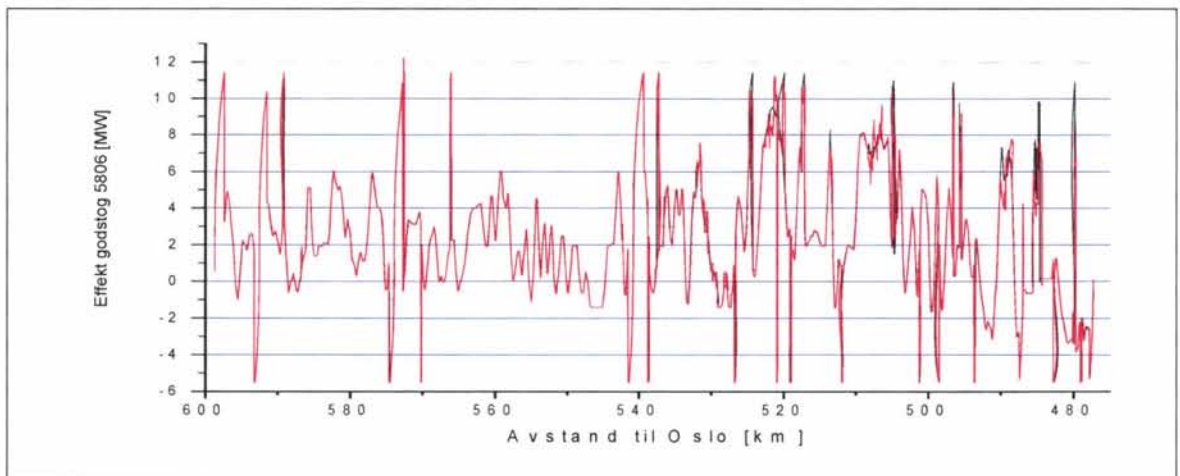
En kan se en tendens til dette i Figur 4-82 og Figur 4-83 der en ser at for 381 mm² tverrsnittet (svart kurve) er de plutselige og kortvarige effektoppene noe større, mens de for 240 mm² er noe lengre, men mindre. Imidlertid ser det ikke ut til at denne effektbegrensning fører til særlig endringer i kjøretiden, se Figur 4-81, som viser en svært liten forskjell. Det har nok å gjøre med veldig korte perioder med begrenset trekraft og at togene tross alt har en meget stor bevegelsesmengde.



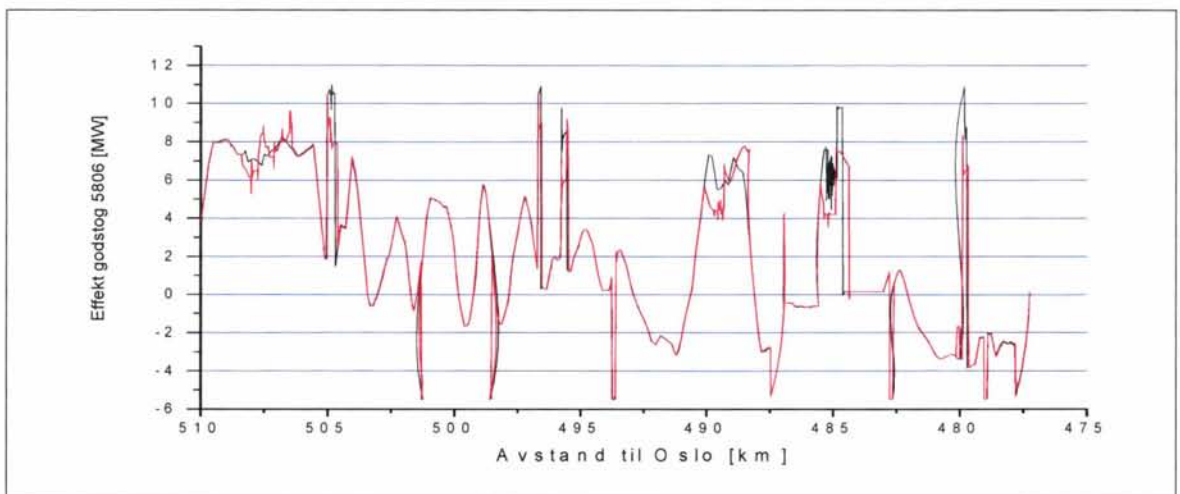
Figur 4-80 Spenningen for østgående godstog 5806 mellom Sira og Ganddal. Toget stoppes på Moi. Simulering 1aa med 240 mm² lederer for NL og PL i rødt og svart viser simulering med 381 mm². Ensidig mating fra Ganddal omformer til Sira.



Figur 4-81 Tilbakelagt distanse for østgående godstog 5806 mellom Sira og Ganddal. Simulering 1aa med 240 mm² lederer for NL og PL i rødt og svart viser simulering med 381 mm². Toget blir ca 30 sekunder senere i tilfellet med 240 mm² lederer for NL og PL.



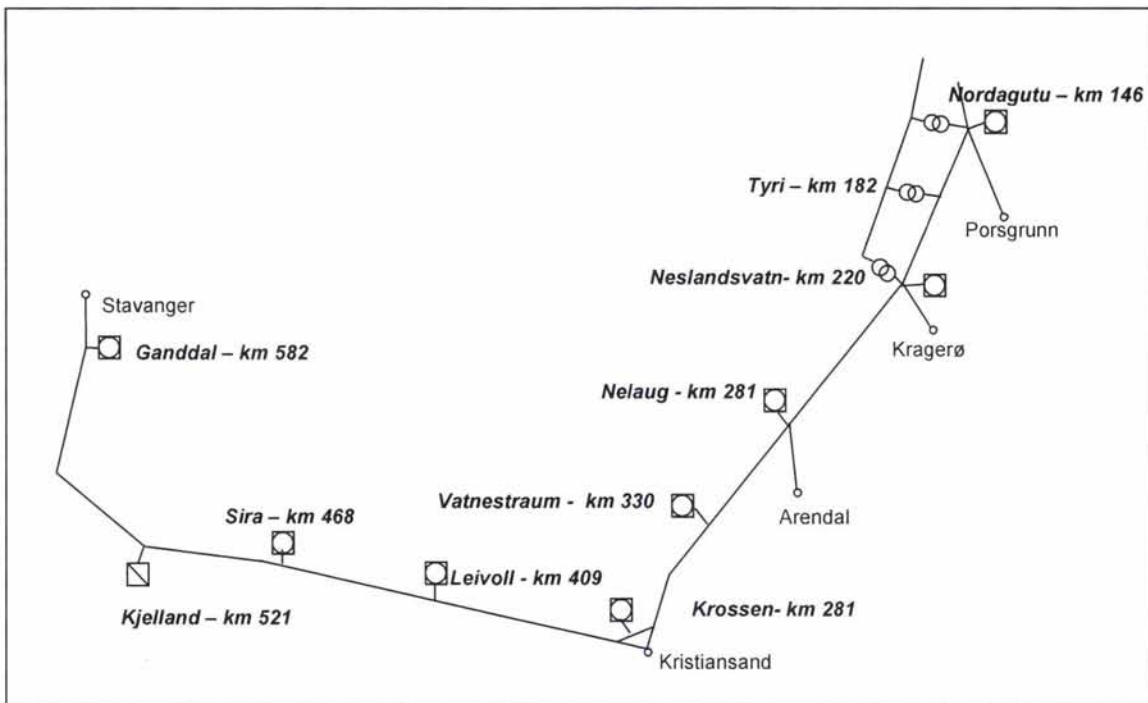
Figur 4-82 Opptatt effekt for østgående godstog 5806 mellom Sira og Ganddal. Simulering 1aa med 240 mm² lederer for NL og PL i rødt og svart viser simulering med 381 mm².



Figur 4-83 Mindre utsnitt av samme figur som ovenfor. En ser en tendens til høyere effektopptak i simuleringen med 381 mm² ledere (sort kurve) dess nærmere Sira toget kommer (mot høyre på grafen).

4.16 Simulering 6b med ruteplan R152.2 og alternativ A4 med konvensjonelt kontaktledningsanlegg og nye omformere på Neslandsvatn og Vatnestraum

Simulering 6b er kun utført for å finne energimengden nødvendig for å utføre transportarbeidet med ruteplan R152.2 om det istedenfor AT-system bygger konvensjonelt kontaktledningssystem på hele Sørlandsbanen. Kun energibehovet er undersøkt og omformerbelastning er undersøkt.



Figur 4-84 Omformerplassering med alternativ A4 med konvensjonelt kontaktledningsanlegg fra Nordagutu til Ganddal. Ny omformerstasjon etablert på Neslandsvatn og Vatnestraum. Transformatorstasjonene på Tyri og Neslandsvatn uten automatisk trinnkobler. Alle omformerstasjoner unntatt Kjelland har roterende aggregater.

4.16.1 Belasting av omformere

Nedenfor Tabell 4-53 viser belastningen av omformerne med den ordinære ruteplanen og de valgte omformerne. Som en ser blir belastningen meget moderat for alle omformerne og en kunne hatt mindre omformere i alle stasjonene, unntatt Sira som har hensiktsmessig ytelse i forhold til maksimallasten. For de andre omformerstasjonene ser det ut for at alle med 2 x 7,0 MVA isteden skulle hatt 2 x 5,8 MVA, og de med 3 x 5,8 MVA kunne vært på 2 x 5,8 MVA. Selv om de stasjonene som har 2 x 5,8 MVA kunne vært mindre, men noe realistisk mindre antall eller ytelse er det ikke mulig å finne.

Tabell 4-53 Belastning av omformerstasjoner. Simulering 6b med ruteplan R152.2, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn og konvensjonelt kontaktledningssystem fra Nordagutu til Stavanger. Høyeste tall for MEAN verdien for henholdsvis 2 sekunder, 6 minutter og 1 time. Prosentvis belastning av totalt innsatt ytelse.

Simulering 6b AT-system med 381 mm² tverrsnitt for NL og PL, konvensjonelt kl-anlegg mellom Krossen – Leivoll - Sira og godstog med 1200 tonn lastvekt.

Kapasitetsoptimal ruteplan

Omformer	Innsatt ytelse [MVA]	Effekt MEAN					
		2 sek		6 min		1 time	
		[MVA]	[%]	[MVA]	[%]	[MVA]	[%]
Nordagutu	3 x 5,8	11,596	37	5,282	22	2,542	15
Neslandsvatn	2 x 5,8	10,535	51	4,705	29	2,374	20
Nelaug	2 x 5,8	14,274	69	5,944	37	3,364	29
Vatnestraum	2 x 7,0	10,208	37	4,507	20	2,495	18
Krossen	2 x 5,8	11,457	56	6,348	40	2,682	23
Leivoll	2 x 7,0	13,437	49	7,719	35	3,498	25
Sira	2 x 5,8	13,982	68	9,597	60	3,087	27
Kjelland	2 x 7,5	11,799	79	5,626	38	3,779	25
Ganddal	3 x 5,8	19,765	64	8,281	26	4,984	29

4.16.2 Opptatt effekt og energi fra trefasenettet

Opptatt effekt og energi er gjengitt i Tabell 4-54 og som en ser er opptatt effekt til hver av omformerne meget moderat med middel (timeverdier) på godt under merkeeffekt for et aggregat. Interessant er det å legge merke til at samlet opptatt energi til omformerne er neste 23 MWh større enn i simulering 5b med samme ruteplan og AT-system på hele strekningen.

I denne simuleringen viste det seg at omformerstasjonen innsatt på Neslandsvatn i perioder med liten trafikk tar imot mye effekt fra kontaktledningen som leveres ut til overliggende nett. Dette har nok sammenheng med overskuddseffekt fra Hakavik kraftstasjon. Det kan tenkes at trinningen av transformatorene til fjernledningen er ugunstig når det etableres ny omformerstasjon på Neslandsvatn og at også fasevinkler i overliggende nett spiller inn. Mulig at med trinning av transformatorene kunne denne effekten i større grad vært transportert over til Asker der behovet for effekt nok er større det meste av døgnet.

Tabell 4-54 Opptatt effekt fra overliggende kraftnett Simulering 6b med ruteplan 152.2, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, konvensjonelt kontaktledningsanlegg på strekningen fra Nelaug til Ganddal. Nye omformerstasjoner på Neslandsvaten og Vatnestraum . Maksimal tosekunders verdi og middelvei for en time er vist, samt energiforbruket og tilbakelevert energi i løpet av en.

Simulering 6b AT-system med 381 mm² tverrsnitt for NL og PL godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan			
Omformer	Effekt [MW]		Energi inn/ut/sum [MWt]
	Maks	Middel	Time
Nordagutu	11,596	2,542	56,676 / 1,194 / 57,870
Neslandsvatn	10,535	2,374	14,556 / -6,868 / 7,668
Nelaug	14,274	3,364	23,723 / -0,876 / 22,848
Vatnestraum	10,208	2,495	20,013 / -0,587 / 19,426
Krossen	11,457	2,682	23,634 / -1,992 / 21,642
Leivoll	13,437	3,498	36,544 / -1,166 / 35,378
Sira	13,982	3,087	38,206 / -0,877 / 37,329
Kjelland	11,799	3,779	45,766 / 0 / 45,766
Ganddal	19,765	4,984	66,411 / -0,896 / 65,516
Sum energi			342,859 / -12,07 / -313,46

5 OPPSUMMERING OG DISKUSJON

5.1 Spenningen ved normal drift og dimensjonerende ruteplan (kapasitetsoptimal) med 1200 tonn lastvekt

I Tabell 5-1 er det summert opp spenningen for alle simuleringsalternativene for normal drift og dimensjonerende ruteplan (kapasitetsoptimal) og 1200 tonn lastvekt. Forholdene rundt fjernledningen fra Nordagutu til Neslandsvatn blir undersøkt med og uten tiltak i de forskjellige simuleringene, derfor sees denne strekningen på spesielt og spenningene i tabellen gjelder fra Neslandsvatn til Ganddal. Tidsvektet varighetskurve gjelder imidlertid for hele strekningen.

Usikkerheten på grunn av modellvalg i SIMPOW for AT-system er et ytterligere spenningsfall anslått til 0 – 700 V og tallene i kursiv viser spenningen med denne usikkerheten tillagt. Simuleringene med AT-system hele strekningen fra Neslandsvatn til Ganddal viser tilfredsstillende resultater også med denne marginen tillagt, imidlertid er det noe usikkert med simulering 5a med 240 mm² der spenningen kortvarig kan bli så lav som 12,4 kV (kravet er over 13,0 kV). Hvor mye vekt dette skal tillegges er vanskelig å si, sannsynligheten for at spenningen skal bli fullt så lav er nok ikke stor.

Simuleringene 3a og 4a med alternativer med konvensjonelt kl-anlegg på deler av strekningen viser kortvarig noe lave spenninger på disse strekningene, men allikevel innenfor akseptkravet som gjelder for eksisterende anlegg (kortvarig aksepteres ≥ 12 kV). Det synets mest rimelig å benytte disse reduserte kravene for strekningene med konvensjonelt kontaktledningsanlegg da disse har eksistert en stund og heller ikke er dimensjonert for så stor trafikk som den dimensjonerende ruteplane her legger opp til. Spenningene er generelt gode og det er bare for kortvarige perioder at spenningen er lav.

De forskjellige alternativene med AT-system på hele strekningen står nokså likt når det gjelder spenning. Imidlertid kan alternativet med omformer på Kjelland være å foretrekke fremfor Sira på grunn av redundans og viktigheten av lokaltrafikken rundt Stavanger. Om en skal ha en ny omformerstasjon på Herefoss eller Nelaug er heller ikke helt selvsagt, med omformerstasjon på Herefoss forbedres spenningen ved at avstanden til Leivoll blir mindre, med omformerstasjon på Nelaug kommer en nærmere Neslandsvatn og forholdene rundt fjernledningen forbedres.

Simuleringer med forsterkninger av fjernledningen har vist forbedringer, men ikke gode nok resultater. Uten noen tiltak som i simulering 3a kommer spenningen akkurat over kravene som gjelder for eksisterende anlegg. Det er aktuelt å skifte ut dagens kobberline og da kan større tverrsnitt være aktuelt og dette sammen med ny transformatorstasjon på Tyri (med fire trinn og transformator med åtte trinn på Neslandsvatn) gjør at spenningen akkurat kommer innenfor kravet, se simulering 5a. Simulering 5a viser for øvrig aller best spenning for hele strekningen fra Nordagutu til Ganddal, se kurver i Tabell 5-1.

Tabell 5-1 Oppsummering av spenningen for togene med simulering av kapasitetsoptimal ruteplan. Laveste momentane og 2 minutters spenning gjelder for strekingen fra Neslandsvatn til Ganddal, mens tidsvektet varighetskurve tar med hele strekingen fra Nordagutu til Neslandsvatn der fjernledningen mater banen. Tall i kursiv er laveste verdi med usikkerhetsmargin. Alle simuleringene gjelder for 1200 tonn lastvekt.

Simulering	Laveste spenning	Laveste 2 minutters spenning	Tidsvektet varighetskurve (Hele strekingen). Uten usikkerhetsmargin tillagt
Simulering 1a AT-system fra Neslandsvatn til Ganddal. Omformere ved Nelaug, Krossen, Sira og Ganddal Ny transformatorstasjon på Tyri	13,7 <i>13,0</i>	15,4 <i>14,7</i>	
Simulering 2a AT-system fra Neslandsvatn til Ganddal. Omformere ved Nelaug, Leivoll, Kjelland og Ganddal Ny transformatorstasjon på Tyri	14,5 <i>13,8</i>	15,3 <i>14,6</i>	
Simulering 3a AT-system fra Nelaug til Krossen og Sira til Ganddal. Konvensjonelt system fra Krossen til Sira. Omformere ved Nelaug, Krossen, Leivoll, Sira og Ganddal. Ikke transformatorstasjon på Tyri	KL – 12,9 AT – 14,3 <i>13,6</i>	KL – 13,5 AT – 15,0 <i>14,3</i>	
Simulering 4a AT-system fra Nelaug til Leivoll og Sira til Ganddal. Konvensjonelt system fra Leivoll til Sira. Omformere ved Nelaug, Krossen, Leivoll, Sira og Ganddal. Ny transformatorstasjon på Tyri	KL – 13,0 AT – 14,3 <i>13,6</i>	KL – 13,5 AT – 15,3 <i>14,6</i>	
Simulering 5a AT-system fra Neslandsvatn til Ganddal. Omformere ved Herefoss, Leivoll, Kjelland og Ganddal Tyri transformatorstasjon med fire trinn og Neslandsvatn med åtte	14,9 <i>14,2</i>	15,4 <i>14,7</i>	
Simulering 5ak AT-system fra Neslandsvatn til Ganddal. Omformere ved Herefoss, Leivoll og Kjelland og Ganddal. 240 mm ² tverrsnitt for PL og NL Tyri transformatorstasjon med fire trinn og Neslandsvatn med åtte	13,1 <i>12,4</i>	15,3 <i>14,6</i>	

5.2 Spenning for togene med ordinær ruteplan

I Tabell 5-2 er spenningene for en del tog vist for simuleringene 5b og 5bk med ruteplan R152.2 og lastvekt 1200 tonn. Det er bare et tilfeldig utvalg av godstog som er vist, men såpass mange er undersøkt at en skulle ikke tro at det skulle være noen som får betydelig lavere spenning enn dette. For simulering 5bk er bare to tog med lav spenning valgt ut, men det skal etter dimensjoneringsreglene være kritisk nok for spenningsforholdene om det bare er et tog som har for lav spenning. Og for simuleringen med 240 mm² tverrsnitt ser en at tog 5806 får en spenning som er i fare for å bli for lav.

Tabell 5-2 Oppsummering av spenningen for togene med simulering av ordinær ruteplan R152.2, doble fireakslede lokomotiver (BR189) og lastvekt 1200 tonn. Laveste momentane og 2 minutters spenning gjelder for strekingen fra Neslandsvatn til Ganddal, mens tidsvektet varighetskurve tar med hele strekingen fra Nordagutu til Neslandsvatn der fjernledningen mater banen. Tall i kursiv er laveste verdi med usikkerhetsmargin.

Simulering	Laveste spenning	Laveste 2 minutters spenning	Tidsvektet varighetskurve
Simulering 5b AT-system fra Neslandsvatn til Ganddal. 381 mm ² ledertverrsnitt. Omformere ved Herefoss, , Leivoll, Kjelland og Ganddal. Ny transformatorstasjon på Tyri	13,7 <i>13,0</i>	15,4 <i>14,7</i>	
Simulering 5bk AT-system fra Neslandsvatn til Ganddal. 240 mm ² ledertverrsnitt. Omformere ved Herefoss, , Leivoll, Kjelland og Ganddal. Ny transformatorstasjon på Tyri	13,0 <i>12,7</i>	14,7 <i>14,0</i>	

5.2.1 Energiforbruk og tap

For simulering 5a og 5ak med kapasitetsoptimal ruteplan er tapene for en time funnet, se Tabell 5-3. Tapene er altså nesten 11 % større med 240 mm² tverrsnitt for NL og PL enn med 381 mm². I disse tapene er også omformertap inkludert, samt tomgangstap i omformere og autotransformatorer. Siden ruteplanen og lastvekt er identisk i de to simuleringene er det nærliggende å tro at det meste av denne forskjellen for tapene skyldes overføringen fra omformerstasjon til tog (ikke tap i omformerne).

For simuleringene med ordinær ruteplan R 152.2 er det totale energiforbruket funnet for et helt døgn med trafikk. Energien er summert time for time for linjene inn til omformerne og appendiks A viser opptatt effekt for hver omformerstasjon. Dermed inngår både omformer- og overføringstap, og beregnet energiforbruk hadde blitt mindre om en hadde koblet ut omformeraggregater i lavlastperiodene siden tomgangstapene erfaringsmessig utgjør en ganske stor del av de samlede tapene. Tabell 5-4 nedenfor viser tapene og det er muligens tallet for energiforbruk "inn" som er interessant, siden energi levert tilbake til trefasenettet ikke blir avregnet. Dermed er tallene merket "ut" og "sum" av mindre betydning. I alle fall ser en at det er en viss forskjell for det samlede energioptaket, men differansen mellom tapene er ikke større enn rundt 2 prosentpoeng for de to tverrsnittene for simulering 5b og 5bk. Legg for

øvrig merke til at energiforbruket for simulering 6a med konvensjonelt kontaktledningsnett er ca 7 % større enn 5b.

Tabell 5-3 Samlede tap for en time togtrafikk for simulering 5a og 5ak med kapasitetsoptimal ruteplan. Både omformer- og overføringstap er inkludert, samt tomgangstap.

Simulering	Tap [%]
Simulering 5a	14,0
Simulering 5ak	15,5

Tabell 5-4 Samlet energiforbruk for et døgn togtrafikk for simulering 5b og 5bk med ordinær ruteplan R152.2. Både omformer- og overføringstap er inkludert, samt tomgangstap.

Simulering	Energiforbruk [MWh] inn / ut / sum
Simulering 5b	320,964 / -12,036 / 308,928
Simulering 5bk	327,832 / -11,475 / 316,357
Simulering 6a	<u>342,859 / -12,07 / -313,46</u>

Etter at simuleringene er ferdig og resultatbehandlet viste det seg å være en feil i modellen for tap for autotransformatorene. Tomgangstapene er satt inn som en belastning ved hver omformeravgang som representerer tapene for alle autotransformatorer på hver matestrekning. Tomgangstapene skal være 2,6 kW pr enhet, men ved en feil er disse blitt til 26 kW. For alle autotransformatorer utgjør dette tap på ca 1,1 MW, men som altså skulle vært ti ganger mindre. For alle simuleringene skulle det altså vært ca 1 MW mindre opptatt effekt og 1 MWh mindre samlet energiforbruk for trafikk i en time med kapasitetsoptimal ruteplan. Når samlet energiforbruket for togene er i størrelsesorden 30 MWh for en time med kapasitetsoptimalruteplan utgjør denne feilen i størrelsesorden ca 1 %. I forhold til andre feilkilder i en trafikksimulering kan ikke en prosent feil sies å være mye og en må uansett regne med at feilprosenten utgjør en del mer enn dette.

5.3 Spenningen ved trafikk ut over dimensjonerende ruteplan

Nedenfor viser Tabell 5-5 resultatene oppsummert for simuleringene der en undersøker marginene for økt trafikkarbeid. Alternativ 3 med AT-system fra Neslandsvatn til Ganddal og omformerstasjoner ved Herefoss, Leivoll, Kielland og Ganddal er benyttet for alle simuleringene. Grunnen til at bare dette alternativet er undersøkt ved forskjellige driftsavvik er som forklart tidligere at dette alternativet best tilfredsstillende krav til redundans og minst mulig konsekvenser ved feil, Simulering 5a i første kolonne er den samme som vist i avsnitt 5.1 og er tatt med for sammenligningens skyld.

Simulering 5a med 1600 tonn lastvekt må nok kunne sies å vise grensen for hva AT-system med 120 km mellom omformerne og 381 mm² tverrsnitt for NL og PL, kan tåle. Dimensjonerende ruteplan er bestemt til å være kapasitetsoptimal ruteplan og lastvekt 1200 – 1600 tonn og med akseptkriterium for spenningen for prosjektering av nye anlegg ser en at en står i fare for å kunne få for lav spenning, altså under 13,0 kV kortvarig. Simulering 5ak med 1600 tonn er ikke utført da det allerede med 1200 tonn lastvekt vise seg å bli lave spenninger (kortvarig).

Simuleringene 5a og 5ak med ekstratog innsatt er en meget stor økning av transportarbeidet i forhold til dimensjonerende ruteplan og det er naturlig å bedømme spenningen for togene ut

fra akseptkriteriet for vedlikehold. Simulering 5a med 381 mm² tverrsnitt er den som nesten kan oppfylle kravet til spenning, mens det for 240 mm² ledere blir en del lavere (og under kravet) spenning. Disse to simuleringene kan ikke betraktes for å være relevante for dimensjonering av banestrømforsyningen ut fra teknisk regelverk (JD 546), da trafikken er mye større enn hva banen egentlig har fysisk kapasitet for (kryssningssporlengder, signalsystem, skiltet hastighet etc.).

Tabell 5-5 Oppsummering av spenningen for togene med simulering av kapasitetsoptimal ruteplan og økning av antall tog og lastvekt. Laveste momentane og 2 minutters spenning gjelder for strekingen fra Neslandsvatn til Ganddal, mens tidsvektet varighetskurve tar med hele strekingen fra Nordagutu til Neslandsvatn der fjernledningen mater banen. Tall i kursiv er laveste verdi med usikkerhetsmargin.

Simulering	Laveste spenning	Laveste 2 minutters spenning	Tidsvektet varighetskurve
Simulering 5a med 1200 tonn lastvekt AT-system fra Neslandsvatn til Ganddal. Omformere ved Herefoss, Leivoll, Kjelland og Ganddal	14,9 <i>14,2</i>	15,4 <i>14,7</i>	
Simulering 5a med 1600 tonn lastvekt AT-system fra Neslandsvatn til Ganddal. Omformere ved Herefoss, Leivoll, Kjelland og Ganddal	13,2 <i>12,5</i>	15,0 <i>14,3</i>	
Simulering 5ak med 1600 tonn lastvekt og 240 mm² ledertverrsnitt for NL og PL AT-system fra Neslandsvatn til Ganddal. Omformere ved Herefoss, Leivoll, Kjelland og Ganddal	-	-	Ikke simulert. Men sannsynligvis kommer spenningene mye under kravene både for prosjektering og vedlikehold
Simulering 5a med ekstratog innsatt AT-system fra Neslandsvatn til Ganddal. Omformere ved Herefoss, Leivoll, Kjelland og Ganddal	12,4 <i>11,7</i>	14,0 <i>13,3</i>	
Simulering 5ak med ekstratog innsatt og 240 mm² ledertverrsnitt for NL og PL AT-system fra Neslandsvatn til Ganddal. Omformere ved Herefoss, Leivoll, Kjelland og Ganddal	11,9 <i>11,2</i>	13,3 <i>12,6</i>	

5.4 Spenningen ved unormal drift

For teknisk regelverks (JD 546) krav til spenningen i "normale driftsituasjoner med endringer som ofte kan forventes" (2.3 a 3) og "avvikssituasjoner" (2.3 b 3 og 4) forventes det ikke at spenningene kommer under de krav som settes. Disse situasjonene forutsettes å være enkle å

tilfredsstillende og de er derfor ikke simulert. Kun de mer omfattende tilfellene under ”*unormale driftsituasjoner*” (2.3 c 3) forutsettes å være vanskelige å tilfredsstillende og omfattende simuleringer og undersøkelser er gjort.

I Tabell 5-6 er resultatene fra alle simuleringene med unormal driftsituasjon oppsummert. Som en ser er det akseptabel spenning for simuleringene 5aa og 5aaa med henholdsvis utfall av hele Kjelland omformerstasjon og samtidig utfall av et aggregat i både Kjelland og Ganddal. Derimot blir spenningene under akseptable nivåer for simulering 5aaaa der hele Leivoll omformerstasjon faller ut. Herefoss og Kjelland omformerstasjoner står igjen og skal forsyne strekningen og undersøkelser viser at spenningen blir mye lavere ut fra Kjelland enn ved Herefoss. Dette kan tyde på at større aggregater ved Kjelland omformer ville ha økt spenningen ved togene. Derfor ble simulering 5aaaaa med enda et aggregat i Kjelland omformerstasjon utført, men denne simuleringen viser allikevel ingen særlig forbedring av spenningen. Dermed antas det at de laveste spenningsverdiene heller ikke vil forbedres med både større ledertverrsnitt og økt ytelse i Kjelland omformerstasjon. Dette fordi noe mindre overføringsimpedans allikevel ikke forbedrer spenningen godt nok når togenes effektbehov i korte øyeblikk er så stort. Imidlertid er ikke mulighetene til å trekke stor effekt tilstede når effektbegrensningen i lokomotivene ved lave spenninger er såpass restriktiv. Se avsnitt 4.15.4 der dette er undersøkt spesielt.

Ut fra simuleringene med feil er det ikke lett å si at det ene eller andre tverrsnittet for NL og PL skal velges. Minimumsverdiene av spenningen blir omtrent de samme og kommer rett på eller under akseptgrensen på 12,0 kV. Det største tverrsnittet gir imidlertid best spenningsforhold for mer moderate spenningsdipp, altså for spenningsfall av litt lengre varighet enn noen få sekunder. Dette kan bety en del for forbedret trekraft og kjøretid, og det største tverrsnittet vil være å foretrekke. Lokomotivførerens personlige kjørestil kan påvirke dette (SIMTRAC sin oppførsel er å gi svært hardt pådrag selv ved små hastighetsavvik) i større eller mindre grad. Regelverket tillater både at spenningene blir lave og at begrensninger i trafikken inntreffer (i praksis saktekjøringer og holde tilbake noen tog), men at dette skal begrenses. Disse forholdene er vanskelige å ta med i simuleringene, men en kan nok anta at de lave spenningene i de tilfellene som er simulert kan unngås med disse tiltakene og at togene får noe lengre kjøretid. Sannsynligvis kan feiltilfeller håndteres uten store forsinkelser. En har grunn til å tro dette, fordi at til tross for lave spenninger tyder ikke simuleringene på at togene kommer nevneverdig etter oppsatt rute. Tendensen er at togene er noe etter ruten ut fra stasjonene, men at denne lille forsinkelsen tas inn ved ankomst til stasjonene. En viss forskjell i kjøretiden for togene med de to tverrsnittene er det imidlertid, selv om dette ikke er underøkt systematisk.

Spenningen for togene med lastvekt på 1600 tonn og feiltilfeller er ikke simulert. Sannsynligvis vil det føre til lavere spenninger over lengre tid, men sannsynligvis ikke særlig lavere minimumsspenninger enn det som er funnet for 1200 tonn.

Tabell 5-6 Oppsummering av spenningen for togene med simulering av kapasitetsoptimal ruteplan, 1200 tonn lastvekt og forskjellige feiltilfeller. Laveste momentane og 2 minutters spenning gjelder for strekingen fra Neslandsvatn til Ganddal, mens tidsvektet varighetskurve tar med hele strekingen fra Nordagutu til Neslandsvatn der fjernledningen mater banen. Tall i kursiv er laveste verdi med usikkerhetsmargin. Laveste tillatte spenning for kort og lengre periode er 12,0 kV.

Simulering	Laveste spenning	Laveste 2 minutters spenning	Tidsvektet varighetskurve
<p>Simulering 5aa</p> <p>AT-system fra Neslandsvatn til Ganddal. Omformere ved Herefoss, Leivoll, Kjelland og Ganddal.</p> <p>Utfall av Kjelland omformerstasjon</p>	<p>13,0</p> <p><i>12,3</i></p>	<p>14,2</p> <p><i>13,5</i></p>	
<p>Simulering 5aak</p> <p>AT-system fra Neslandsvatn til Ganddal. Omformere ved Herefoss, Leivoll, Kjelland og Ganddal.</p> <p>Utfall av Kjelland omformerstasjon</p>			<p>Ikke simulert, men sannsynligvis omentrent samme resultat som for simulering 5aa.</p>
<p>Simulering 5aaa</p> <p>AT-system fra Neslandsvatn til Ganddal. Omformere ved Herefoss, Leivoll, Kjelland og Ganddal.</p> <p>Utfall av et av to 7,5 MVA aggregater i Kjelland omformerstasjon og et av tre 5,8 MVA i Ganddal.</p>	<p>12,7</p> <p><i>12,0</i></p>	<p>13,6</p> <p><i>12,9</i></p>	
<p>Simulering 5aaak</p> <p>AT-system fra Neslandsvatn til Ganddal. Omformere ved Herefoss, Leivoll, Kjelland og Ganddal.</p> <p>Utfall av et av to 7,5 MVA aggregater i Kjelland omformerstasjon og et av tre 5,8 MVA i Ganddal.</p>			<p>Ikke simulert, men sannsynligvis omentrent samme resultat som for simulering 5aaa.</p>
<p>Simulering 5aaaa</p> <p>AT-system fra Neslandsvatn til Ganddal. Omformere ved Herefoss, Leivoll, Kjelland og Ganddal.</p> <p>Utfall av Leivoll omformerstasjon.</p>	<p>11,8</p> <p><i>11,1</i></p>	<p>12,0</p> <p><i>11,3</i></p>	
<p>Simulering 5aaaak</p> <p>AT-system fra Neslandsvatn til Ganddal. Omformere ved Herefoss, Leivoll, Kjelland og Ganddal. 240 mm2 tverrsnitt for NL og PL</p> <p>Utfall av Leivoll omformerstasjon</p>	<p>11,7</p> <p><i>11,0</i></p>	<p>12,0</p> <p><i>11,3</i></p>	

Simulering	Laveste spenning	Laveste 2 minutters spenning	Tidsvektet varighetskurve
Simulering 5aaaaak AT-system fra Neslandsvatn til Ganddal. Omformere ved Herefoss, Leivoll, Kjelland og Ganddal. 240 mm ² tverrsnitt for NL og PL Utfall av Leivoll omformerstasjon og økning av ytelsen i Kjelland.	11,6	12,4	

5.5 Belastning for NL og PL

Alle simuleringene, både med kapasitetsoptimal- og ordinær rute tyder på at belastningen for NL og PL kommer godt innenfor akseptable grenser for prosjektering med marginer tillagt både 240 og 381 mm² tverrsnitt. Bare simuleringene 5a og 5ak med ekstratog innsatt viser at disse "bør" verdiene overskrides for tverrsnitt på 240 mm², men så blir jo heller ikke banestrømforsyningen dimensjonert for en slik formidabel trafikkøkning, det er bare potensialet for fremtidig trafikk som skal vises med disse simuleringene.

I simulering 5a og 5ak med 1600 tonn lastvekt for godstogene kom belastningen godt innenfor grensene for "skal" og "bør" marginer. Det samme kan imidlertid ikke sies om simuleringene med ekstratog og tverrsnittet på 240 mm², men her kan en ikke bruke disse skal og bør verdiene som for dimensjonerende ruteplan i og med at simuleringene skal vise en stor belastningsøkning langt frem i tid .

For simuleringene med unormal driftsituasjon (utfall av omformerstasjon eller ensidig mating) viste det seg at belastningen kom innenfor marginene for "skal" og "bør" verdier også for det minste tverrsnittet.

5.6 Belastning av omformerne

I normal drift og for å tilfredsstille trafikken for dimensjonerende ruteplan (kapasitetsoptimal) ser det ut til at roterende aggregater på 3 x 5,8 MVA er tilstrekkelig i alle omformerstasjoner når det er AT-system for hele banestrekningene. Også 2 x 7,0 MVA aggregater i hver stasjon skulle kunne vært mulig. Kjelland omformerstasjon ser ut til å være tilstrekkelig utrustet med sine eksisterende 2 x 7,5 MVA aggregater.

Denne bestykningen av aggregater (3 x 5,8 eller 2 x 7,0 MVA) ser derimot ut til å være i meste laget for simuleringene med ruteplan R152.2, ved at belastningen på omformerstasjonene er såpass lav at 2 x 5,8 MVA aggregater ville vært tilstrekkelig for å oppfylle tommelfingerregelen om rundt 50 % belastning i normalsituasjon for å tillate utfall av et aggregat. Selv om det ikke er undersøkt spesielt, er det også mulig at de fleste avvikssituasjoner kan gå greit med denne bestykningen, selv en så alvorlig hendelse som utfall av en hel omformerstasjon.

I simulering 5a og 5ak med ekstratog innsatt i kapasitetsoptimal ruteplan blir belastningen såpass stor at 3 x 5,8 MVA omformere i hver stasjon blir for lite, fire roterende omformere i hver stasjon blir nødvendig både for å takle normal drift (og ved utfall av et aggregat).

Derimot blir forholdene med økt lastvekt fra 1200 tonn til 1600 tonn akseptable med 3 x 5,8 MVA aggregater.

Simuleringer med utfall av hele Leivoll og Kjelland omformerstasjon bekrefter at 3 x 5,8 MVA aggregater er nødvendig i alle omformerstasjonene med kapasitetsoptimal ruteplan. De simuleringene som er gjort med utfall av en hel omformerstasjon viser også at 2 x 7 MVA roterende aggregater i Leivoll er tilstrekkelig, og dette kan nok gjelde for de øvrige stasjonene også. (Simulering 5aa og 5aaa). Det er også undersøkt om to aggregater på 5,8 MVA er tilstrekkelig i Ganddal omformerstasjon, noe det ikke ser ut til å være (simulering 5aaa).

Når det gjelder Kjelland omformerstasjon ser det ut til at dagens to aggregater på 7,5 MVA er tilstrekkelig. Selv for en så alvorlig feiltilstand som undersøkt i simulering 5aaa med utfall av et aggregat her og i Ganddal omformer blir spenningene for togene akseptable uten at aggregater overbelastes. Bare når det gjelder opprettholdelse av spenningen i en så alvorlig feiltilstand som utfall av en hel omformerstasjon (simulering 5aaaa, 5aaaak og 5aaaaaa) ser det ut til at 2 x 7,5 MVA aggregater er lite i Kjelland. Imidlertid blir spenningen for togene lav selv når Kjelland forsterkes med et aggregat til. En fordel med statiske omformere er at ved stor belastning faller aggregatene ikke ut, men styrer spenningen ned, dermed kan for liten ytelse under slike hendelser tillates.

5.7 Vurderinger vedrørende simuleringene

5.7.1 Spenning omformerplassering og tverrsnitt i normal drift

I Tabell 5-7 er resultater for simuleringene, samt vurderinger for en rekke andre tilfeller som ikke er simulert utført. Alle tilfellene gjelder for normal driftsituasjon med forskjellige omformerplasseringer og de to aktuelle ledertverrsnittene for NL og PL. Forskjellig lastvekt og de to ruteoppleggene er også viktige deler av vurderingene. Laveste spenninger for hele strekningen fra Neslandsvatn til Ganddal er satt inn og ved fastsettelse av om spenningen kan aksepteres eller ikke er kravet som gjelder for prosjektering av nye anlegg benyttet for strekninger med AT-system og der det er eksisterende konvensjonelt kl-anlegg er vedlikeholdskravet benyttet. For strekningen Nordagutu til Neslandsvatn kan spenningen bli noe lav, men egne vurderinger vedrørende oppgradering av fjernledningen må gjøres her. Vurderingene er gjort med streng tolkning av prosjekteringsregelverkets krav til spenningen. Når spenningen kommer klart innenfor eller utenfor kravet markeres dette med henholdsvis "JA" eller "NEI", når spenningen kommer bare så vidt utenfor slik at bare det ekstra spenningsfallet (usikkerheten) på 0 - 700 V avgjør, settes det "Kanskje". Kravet for nye anlegg er at spenningen ikke skal komme under 14,0 kV, men for tidsperioder under 2 minutter sammenhengende tillates det spenninger ned mot 13,0 kV.

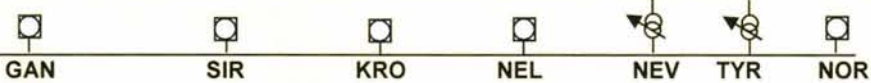




For tilfellet med 381 mm² tverrsnitt ser en at spenningen blir akseptabel for alle tilfellene uansett valg av omformerstasjonenes plassering, forutsatt 1200 tonn lastvekt og kapasitetsoptimal eller ordinær ruteplan. Aller best blir spenningen for simulering 5a med alternativ 3. Imidlertid er forskjellen mellom alternativene så liten at den knapt kan tillegges vekt. Dermed kan alternativ 2 der Nelaug opprettholdes som omformerstasjon bli et alternativ til ny stasjon på Herefoss om etableringskostnadene for denne skulle bli for store. For tverrsnittet på 240 mm² er det bare gjort en simulering for normal driftsituasjon, nemlig for alternativ 3, og denne viser at spenningen blir akseptabel bare om en ikke trekker fra det ekstra spenningsfallet på 0 - 700 V. Her er det vurdert at laveste spenning er avhengig av tilfeldigheter som likeså vel kan gi spenning innenfor kravet, dermed markeres det med

”Kanskje”. For de andre tilfellene er det vurdert at med 240 mm^2 og omformerplassering som alternativ 1b og 2 vil spenningen ikke bli god nok, dette fordi avstanden mellom omformerstasjonene på Leivoll og Nelaug er stor. For alternativ 0 er avstanden mellom stasjonene minst og spenningen blir sannsynligvis tilfredsstillende også med 240 mm^2 tverrsnitt.

For kapasitetsoptimal ruteplan og lastvekt på 1600 tonn kommer spenningen kanskje innenfor spenningskravet med alternativ 3 i simulering 5a og enda mer sannsynlig innenfor kravet for alternativ 0 med simulering 1a, på grunn av tettere omformerplassering. For tilfellene med konvensjonelt kl-anlegg på deler av strekningen vil spenningen høyst sannsynlig bli for lav med så tunge tog. Med ordinær ruteplan blir spenningen for de togene med lavest spenning nokså lik den som for kapasitetsoptimal rute, derfor er samme antagelser gjort for disse tilfellene.

Ut fra dette ser en at i normal driftstilstand vil en få tilfredsstillende spenninger med 380 mm^2 tverrsnitt uansett omformerplassering, mens det lavere tverrsnittet sannsynligvis gir tilfredsstillende spenning bare med den omformerplasseringen med lavest avstand mellom dem (alternativ 0). Selv om kapasitetsoptimal ruteplan belaster omformerne betydelig mer enn den ordinære, har en sett at spenningen for togene allikevel får minimumsverdier i samme størrelsesorden som med den kapasitetsoptimale. Dermed har begge ruteplanene relevans med hensyn på dimensjonering for å få tilfredsstillende spenning.

Tabell 5-7 Vurdering av minste spenning for togene for simuleringene med normaldriftsituasjon og forskjellige tverrsnitt, lastvekter og omformerplasseringer. Flere av tilfellene er antagelser. Laveste spenning er minste 2 sekunders spenning med ekstra (700 V) spenningsfall tillagt og høyeste verdi er laveste 2 minutters verdi uten ekstra spenningsfall.

Simulering	Tverrsnitt	Lastvekt	Ruteplan	Spenning	Aksept
Alternativ 0					
Simulering 1a	381	1200	Kap Op	13,0 / 15,4	JA
Antatt	240	1200	Kap Op		Kanskje
Antatt	381	1600	Kap Op		JA
Antatt	240	1600	Kap Op		NEI
Antatt	381	1200	R 152.2		JA
Antatt	240	1200	R 152.2		JA
Alternativ 1					
Simulering 3a	381	1200	Kap Op	12,9 / 13,5	JA
Antatt	240	1200	Kap Op		Kanskje
Antatt	381	1600	Kap Op		NEI
Antatt	240	1600	Kap Op		NEI
Antatt	381	1200	R 152.2		JA
Antatt	240	1200	R 152.2		JA
Alternativ 1b					
Simulering 4a	381	1200	Kap Op	13,0 / 13,3	JA
Antatt	240	1200	Kap Op		NEI
Antatt	381	1600	Kap Op		JA
Antatt	240	1600	Kap Op		NEI
Antatt	381	1200	R 152.2		JA
Antatt	240	1200	R 152.2		NEI
Alternativ 2					
Simulering 2a	381	1200	Kap Op	13,8 / 15,3	JA
Antatt	240	1200	Kap Op		NEI
Antatt	381	1600	Kap Op		NEI
Antatt	240	1600	Kap Op		NEI
Antatt	381	1200	R 152.2		JA
Antatt	240	1200	R 152.2		NEI
Alternativ 3					
Simulering 5a	381	1200	Kap Op	14,2 / 15,4	JA
Simulering 5ak	240	1200	Kap Op	12,4 / 15,3	Kanskje
Simulering 5a	381	1600	Kap Op	12,5 / 15,0	Kanskje
Antatt	240	1600	Kap Op		NEI
Simulering 5b	381	1200	R 152.2	13,0 / 15,4	JA
Simulering 5bk	240	1200	R 152.2	12,7 / 14,7	Kanskje

5.7.2 Spenning, omformerplassering og tverrsnitt i unormal drift

For feiltilstander er resultater og antagelser oppstilt i Tabell 5-8 nedenfor. Kun feilsituasjoner etter teknisk regelverk (JD 546) avsnitt 2.3 c 3 er vurdert og det forutsettes at andre avvikstilstander beskrevet i regelverket er mulig å tilfredsstille uten problemer. Her gjelder kravet om at spenningen ikke tillates å komme under 12,0 kV. Men samtidig tilsier praktisk togdrift at ved unormale driftsituasjoner vil forskjellige måter å begrense effektuttaket på den berørte matestrekningen fører til at spenningen holdes på et akseptabelt nivå samtidig som den kan trafikkeres. Dette kan skje ved at bare et begrenset antall tog gis tillatelse til å kjøre samtidig, tog med stor lastvekt og lav prioritet holdes tilbake, samt at lokomotivførere gis beskjed om å kjøre med forsiktig pådrag slik at spenningen ikke dras langt ned. Dette resulterer i saktekjøring og forsinkelser for alle eller mange tog. Om ikke slike påbud overholdes eller en ikke greier å begrense effektuttaket for togene tilstrekkelig står en i fare for at underspenningsvern kobler ut effektbryter i toget eller at gjenværende omformerkapasitet kobles ut for overlast.

Teknisk regelverk tillater altså at slike forsinkelser og begrensninger kan skje, men at de skal begrenses (kapittel 2.3 c). En skulle kunne tro at slike begrensninger i prinsippet kan skje helt automatisk ved at effektbegrensning ved lave spenninger setter sterke begrensninger for effektuttak i hvert enkelt tog (som EN 50388). Samtidig må det forutsettes at alle tog, i alle fall godstog og tynge passasjertog, har denne funksjonen, se avsnitt 3.11. Imidlertid kan det da tenkes at et tungt godstog får så sterkt begrenset trekkraft at det stopper helt i en stigning og dermed sperrer banen fysisk for de andre togene. I tillegg har en funksjonen at spenningen (som i simuleringene som er utført for driftsavvik) blir så lav at en står i fare for at underspenningsvern kobler ut effektbryteren.

Dermed vil dette være et samspill mellom tekniske funksjoner i lokomotiver og banestrømforsyning og mellom elkraftsentral, togledere og lokomotivførere om å avvikle situasjonene best mulig og med minst mulig konsekvenser. Samtidig er det også et samspill mellom teknologi (dimensjonering, systemløsning etc) og personalet, der de opprinnelige systemvalgene determinerer fremtidige muligheter. En må satse på dyktigheten og årvåkenhet til disse for å få trafikkavviklingen i slike tilfeller til å gå smidig, men samtidig må selvfølgelig også premissene lagt ved dimensjoneringen av banestrømforsyningen ikke gjøre forutsetningene umulige.

I simuleringene er ikke slik "menneskelige" faktorer inkludert og spenningen for togene blir sannsynligvis til tider lavere enn hva påpasselighet fra lokomotivførere vil gi. Dette kan altså i praksis unngås, men med det resultat at kjøretiden forlenges. Simuleringene derimot viser knapt noe lengre kjøretider, men i mer realistiske scenarier der alle togene mer eller mindre må redusere pådraget er det sannsynlig at vil skje.

Det er i alle tilfellene sett på utfall av omformerstasjonen nærmest Ganddal, altså enten Sira eller Kjelland. Dette får sannsynligvis mest å si for lokaltrafikken til Stavanger. Tilfelle med "elektrisk øy" ved Stavanger forutsettes også å være spesielt ugunstig for lokaltrafikken. Videre er det sett på tilfelle med utfall av en omformerstasjon som ikke har betydning for lokaltrafikken, men som får stor betydning for øvrig trafikk ved at utfall fører til størst mulig elektrisk avstand mellom gjenværende omformerstasjoner.

Tilfelle med samtidig utfall av et aggregat i to omformerstasjoner gjelder spesielt for Kjelland og nabostasjonene ved at denne har statiske omformere som med dagens to aggregater og normal drift ikke har mye reserve ved utfall. Ved utfall av roterende omformere vil det ha

liten betydning for spenningen så lenge det andre (de andre) aggregatet(ene) ikke faller ut. Derfor er dette ikke vurdert i tilfellene med bare roterende omformerstasjoner.

En spesiell simulering er gjort med utfall av fjernledingen mellom Nordagutu og Skollenborg for å se om aggregater på 2 x 7 MVA i Nordagutu omformer vil bli overbelastet. Resultatet ble at denne unormale driftsituasjonene var uproblematisk i og med at det ikke oppstår særlig større belastning for Nordagutu. Dette feiltilfellet forutsettes å ha liten eller ingen påvirkning på togenes spenning.

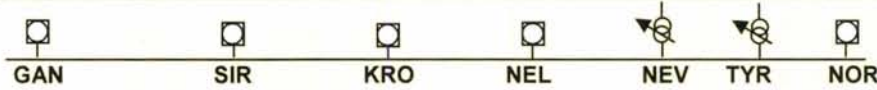
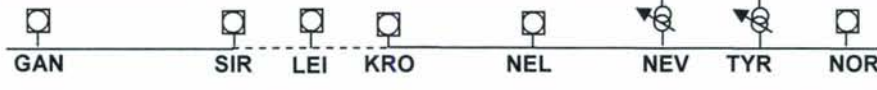

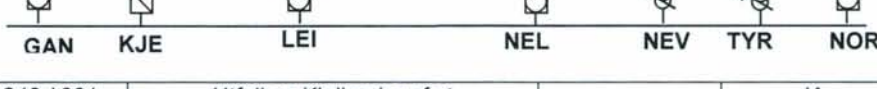

Feiltilfellene og de forskjellige tverrsnittene er ikke vurdert hver for seg, dette fordi en ser at spenningen ble såpass lik i de feiltilfellene der en simulerte med begge alternativene. Imidlertid kan det være at med noe gunstigere elektrisk avstand der spenningen uansett kommer noe over 12,0 kV, blir det større forskjell mellom de to tverrsnittene. Dette så ut til å skje i simuleringen med elektrisk øy, der en så mer tydelige forskjeller mellom de to tverrsnittene, derfor er denne behandlet slik at en gjør forskjell på de to tverrsnittene og resultatet. Imidlertid vil en nok se større forskjell for spenningen med de to tverrsnittene om en hadde undersøkt spenninger for lengre varigheter enn 2 minutter.

Av tabellen ser en at det er alternativ 2 og 3 som sannsynligvis gir akseptabel spenning ved utfall av den omformerstasjonen som er nærmest Ganddal. Men ved utfall av Sira omformerstasjon for alternativ 0, 1 og 1b vil spenningen høyst sannsynlig bli for lav. Alternativ 1 og 1b peker seg ut som de tilfellene som minst tåler de alvorlige feiltilfellene som her er vurdert, ved at spenningen i disse tilfellene ikke blir akseptabel for noe tilfelle.

Alternativ 0 gir best forhold for langdistansetraffikken ved feil, men vurderes til å gi for lav spenning for lokaltogene ved feil. Mens alternativ 2 muligens er det som gir dårligst forhold for langdistansetraffikken ved utfall av Leivoll, og det samme gjelder for utfall av Nelaug. Dermed tyder disse vurderingene på at alternativ 3 er det beste, fordi lokaltraffikken lettest kan komme til å bli mye forsinket ved feil. Her er det mange tog som krysser og små forsinkelser for noen tog fører lett til at flere og flere blir forsinket.

Når det gjelder lastvekt for togene på 1600 tonn og driftsavvik kan en ikke regne med at spenningen blir akseptabel i noen av tilfellene om det ble utført simuleringer. På den annen side er som sagt spørsmålet om betydningen av redusert pådrag, bedre spenningsforhold, men lengre kjøretid, ikke mulig å besvare med simuleringer. En kan bare anta at forholdene blir enda en del vanskeligere å takle, men det kan også hende at med forsiktig kjøring og god trafikkstyring kan de praktiske konsekvensene aksepteres i henhold til regelverket.

Tabell 5-8 Oppsummering av spenning for togene for simuleringene med unormal normaldriftsituasjon og forskjellige tverrsnitt og omformerplasseringer. Flere av tilfellene er antagelser. Laveste spenning er minste 2 sekunders spenning med ekstra (700 V) spenningsfall tillagt og høyeste verdi er laveste 2 minutters verdi uten ekstra spenningsfall. For alle tilfellene som er vurdert er det doble fireakslede lokomotiver og 1200 tonn lastvekt.

Simulering	Tverrsnitt	Feiltilfelle	Spenning	Aksept
Alternativ 0				
Antatt	240 / 381	Utfall av Sira omf.st	-	NEI
Antatt	240 / 381	Utfall av Krossen omf.st	-	JA
Antatt	240 / 381	Utfall av fje.led. Norda. - Skollenborg	-	JA
Antatt	381	Ord. rute og elektrisk øy	11,3 / 14,3	Kanskje
Antatt	240	Ord. rute og elektrisk øy	11,0 / 13,0	NEI
Alternativ 1				
Antatt	240 / 381	Utfall av Sira omf.st	-	NEI
Antatt	240 / 381	Utfall av Leivoll omf.st	-	NEI
Antatt	240 / 381	Utfall av fje.led. Norda. - Skollenborg	-	JA
Antatt	381	Ord. rute og elektrisk øy	-	Kanskje
Antatt	240	Ord. rute og elektrisk øy	-	NEI
Alternativ 1b				
Antatt	240 / 381	Utfall av Sira omf.st	-	NEI
Antatt	240 / 381	Utfall av Leivoll omf.st	-	NEI
Antatt	240 / 381	Utfall av fje.led. Norda. - Skollenborg	-	JA
Antatt	381	Ord. rute og elektrisk øy	-	Kanskje
Antatt	240	Ord. rute og elektrisk øy	-	Nei
Alternativ 2				
Antatt	240 / 381	Utfall av Kjelland omf.st	-	JA
Antatt	240 / 381	Utfall av et aggregat i to omf.st	-	JA
Antatt	240 / 381	Utfall av Leivoll omf.st	-	NEI
Antatt	240 / 381	Utfall av fje.led. Norda. - Skollenborg	-	JA
Antatt	381	Ord. rute og elektrisk øy	-	Kanskje
Antatt	240	Ord. rute og elektrisk øy	-	Nei
Alternativ 3				
Simulering 5aa /k	240 / 381	Utfall av Kjelland omf.st	12,3 / 14,2	JA
Simulering 5aaa /k	240 / 381	Utfall av et aggregat i to omf.st	12,0 / 13,6	JA
Simulering 5aaaa /k	240 / 381	Utfall av Leivoll omf.st	11,1 / 12,0	NEI
Simulering 5aaaaaa /k	240 / 381	Utfall av fje.led. Norda. - Skollenborg	-	JA
Simulering 5bb	381	Ord. rute og elektrisk øy	11,3 / 14,3	Kanskje
Simulering 5bbk	240	Ord. rute og elektrisk øy	11,0 / 13,0	NEI

I tabellen er bare forhold rundt spenningen satt opp som akseptkriterium, selv om en vet at andre "menneskelige" faktorer har betydning. Som det er undersøkt en del spiller tverrsnittet på lederne for NL og PL inn, og en har sett noe bedre forhold ved 381 mm² tverrsnitt. I regelverket står det at "Forsinkelser og begrensninger i togtrafikken skal begrenses/redueres

ved vurderinger i forhold til prosjekteringsregelverket". Det vil i denne sammenheng kunne tolkes til å bety akseptabel spenning uten å måtte redusere pådraget for mye/minst mulig, mulighet til å kjøre flest mulig/alle tog som oppsatt i ruten, og minst mulig økning av kjøretiden. I Tabell 5-8 betyr "JA" at en både unngår lave spenninger og forsinkelser, "NEI" betyr at en får lave spenninger uten å innføre noen omfattende pådragsbegrensinger, men i praktisk togdrift kan en altså unngå dette. "Kanskje" betyr at en kan unngå lave spenninger og heller ikke får forsinkelser.

En har sett at det største tverrsnittet i flere tilfeller gir noe bedre kjøretid, men paradoksalt nok kommer likevel togene i flere tilfeller foran ruten med begge tverrsnittene. Dette gjør vurderingene vanskelige, men ut fra vurderingene i tabellen ser det ut til at tverrsnittet på 381 mm² og alternativ 3 gir størst sikkerhet for å kunne håndtere unormale driftsituasjoner, i alle fall om lokaltrafikken ved Stavanger tillegges størst vekt. Det understrekes samtidig at de fleste tilfeller som er definert som "*endringer som ofte kan forventes å forekomme*" og "*avvikstilstander*" (JD546 2.3 a.3 og b.3) med stor sannsynlighet kommer til å gå helt problemfritt.

5.7.3 Foretrukket omformerplassering

Foregående avsnitt har drøftet resultatet av spenninger for de forskjellige alternativene for omformerplasseringer og diverse feiltilfeller. Ut fra følgende forutsetninger om lengden av matestreknings og ledertverrsnitt/spenningsnivåer som har lagt til grunn gjennom hele simuleringsarbeidet og rapporten:

- Utnytte den fordel som AT-systemet har med lav overføringsimpedans til å få færrest mulig omformerstasjoner.
- 120 km er funnet til å være passende standard omformeravstand.
- Dagens nye omformerstasjoner på Leivoll og Kielland skal helst ikke legges ned.
- Takle vanskelige avvikssituasjoner som ensidig mating og utfall av en hel omformerstasjon.
- Få plassert en omformerstasjon på enden av banen for å få sikrest mulig banestrømforsyning for lokaltrafikken i Stavanger.

Ut fra simuleringer og vurderinger fremkommer alternativ 0 som det eneste som muligens kan gi akseptabel spenning i normal driftstilstand og tillate det lavere ledertverrsnitt for NL og PL på 240 mm². Imidlertid er dette alternativet nokså usikkert fordi utfall av Ganddal eller Sira omformerstasjon nok gir for store konsekvenser for lokaltrafikken. Det samme med ensidig mating mellom disse stasjonene.

Dermed står en igjen med alternativet med omformerstasjoner på Herefoss, Leivoll, Kjelland og Ganddal som det alternativet som gir størst sikkerhet for akseptabel trafikkavvikling ved unormale driftssituasjoner. Om kostnadene for nyetablering av omformerstasjon på Herefoss blir uforholdsmessig store i forhold til oppgradering av Nelaug, er dette alternativet også mulig. Imidlertid ser en at verken alternativ 2 eller 3 kommer til å kunne tilfredsstillende forholdene verken under normal drift eller avvik med tverrsnitt på 240 mm² for NL og PL.

Det er mulig at det på sikt blir aktuelt å vurdere flytting av Ganddal omformerstasjon og selv om ikke simuleringer er utført her for å se på dette, er det mest sannsynlig at en flytting av denne, for eksempel inn mot Stavanger, ikke vil få noen praktisk betydning for spenningen for togene. Grunnen er at avstanden mot Kjelland omformerstasjon uansett er kort.

5.7.4 Tilfredsstillende forhold med konvensjonelt kontaktledningsanlegg og AT-system

Alternativ 1 med konvensjonelt kl-anlegg mellom Krossen og Sira og omformere på Krossen, Leivoll og Sira, og alternativ 1b med konvensjonelt kl-anlegg mellom Leivoll og Sira og omformere på disse stedene, ble i vurderingene i avsnitt 5.7.1 ikke funnet til å gi tilfredsstillende forhold. I normal driftstilstand blir riktignok spenningen tilfredsstillende for strekningen med konvensjonelt kl-anlegg om en bruker kravene for eksisterende anlegg. Men om samme krav som benyttes der det settes inn AT-system (prosjektering av nye anlegg) blir ikke spenningen god nok. Heller ikke avvikstilstand med elektrisk øy ved Stavanger (ensidig mating fra Ganddal til Sira) vurderes til å kunne avvikles tilfredsstillende med alternativ 1 og 1b.

Men om en beholder det konvensjonelle kl-anlegget på denne strekningen, og Kjelland omformer også beholdes, kan det mest sannsynlig gå bra. Imidlertid har en da ikke oppnådd å redusere antallet omformerstasjoner. En mulighet kan derfor være at en for alternativ 1 beholder Leivoll og Kjelland omformerstasjoner, men legger ned Sira. For alternativ 1b innebærer forslaget å legge ned Krossen omformerstasjon i utgangspunktet, og da har en samme antallet omformerstasjoner som i alternativ 3. Om dette går bra i normal- og unormal driftstilstand bør simuleres og vurderes spesielt om det blir aktuelt.

5.7.5 Kapasitetsoptimal- og ordinær ruteplan

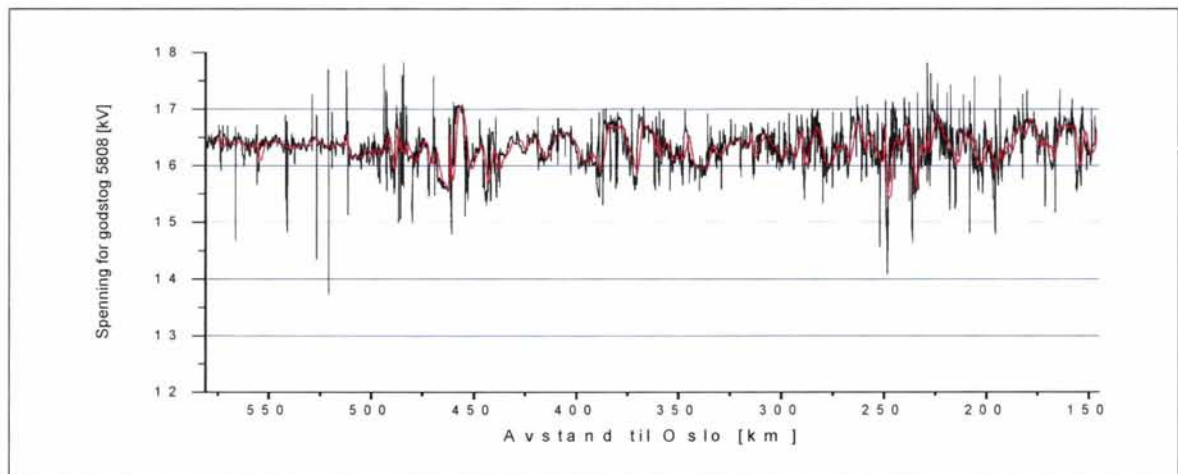
Resultatene fra simuleringer med kapasitetsoptimal (dimensjonerende) og ordinær ruteplan R152.2 viser at spenningen for de undersøkte togene jevnt over er noe bedre for den ordinære ruten. Men for noen få tog i den ordinære ruten har det vist seg å være kortvarige spenninger ned mot minimumsverdier på 13,0 kV. Trafikksituasjonene og andre tog spiller inn. Belastningen for omformerne viser seg å være en hel del større for den kapasitetsoptimale ruteplanen, det er i underkant av 50 % belastning for 6 minuttersverdien for den kapasitetsoptimale og rundt 35 % for den ordinære. En kan spørre seg om den kapasitetsoptimale ruteplanen viser altfor stor belastning og er urealistisk i forhold til den trafikken en har med dagens ruteopplegg og som en kanskje antar vil være typisk i overskuelig fremtid.

Hensikten med den kapasitetsoptimale ruteplanen er å benytte en intensiv trafikk for hele banestrekningen for å finne svake deler av banestrømforsyningen som ellers ikke ville kommet frem om en bare simulerer med en ordinær ruteplan. En typisk ordinær ruteplan har en intens trafikkperiode og strekning der godstogene i forskjellig retning møtes om natten (det såkalte krysningsbeltet). Ved simuleringer fremkommer dette området som et sted med lave spenninger og forsterkninger anbefales her, men områder som normalt belastes lett ikke blir ofret samme oppmerksomhet. Dette kan være en svakhet ved dimensjonering av anlegg med meget lang levetid, fordi området der krysningsbeltet havner kan forskyves geografisk ved endrede ruteopplegg eller forsinkelser i toggangen som forårsaker krysninger på andre områder. Rushtrafikk sammen med godstrafikk (som ved Stavanger) kan på den andre siden være årsak til større belastning enn kapasitetsoptimal ruteplan gir.

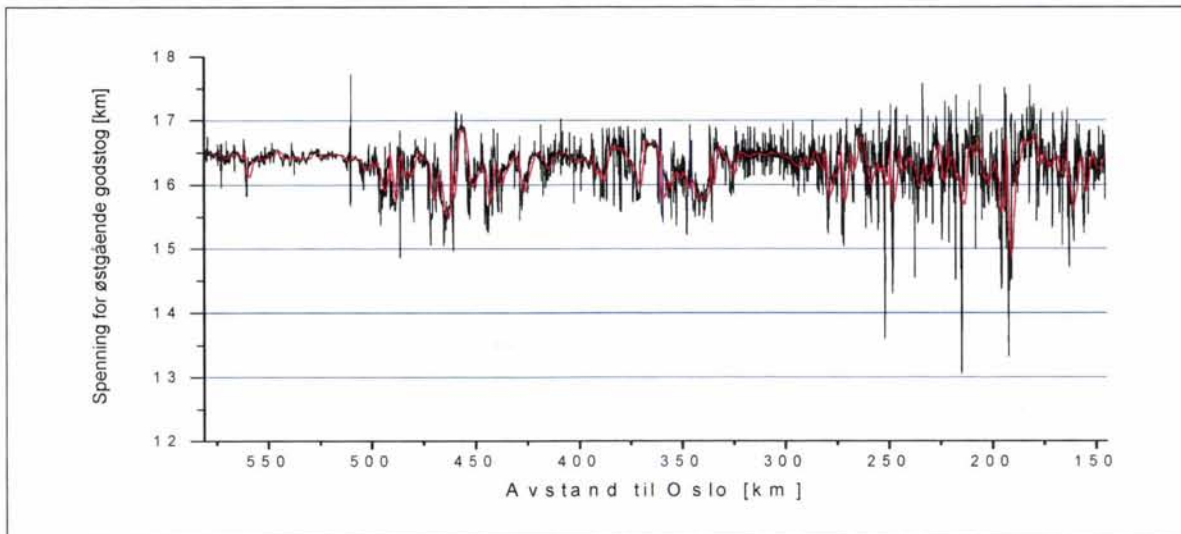
Ser en på den ordinære ruteplanen R152.2 i området ved Neslandsvatn og videre vestover mellom klokken 00:00 og 03:00 og kan en få inntrykk av at trafikken her er enda mer intensiv enn i kapasitetsoptimal ruteplan, og togfølgetiden er i alle fall enda mindre enn i den kapasitetsoptimale ruteplanen. Mens andre områder med dagens ruteopplegg nok belastes mindre ved at det er lange perioder med liten trafikk, men noen få tog med mindre togfølgetid

enn 1 time som i den kapasitetsoptimale ruten. Dermed kan en anta at noen få tog får likeså lave spenninger i den ordinære ruteplanen som i den kapasitetsoptimale. Belastningen for omformerne blir derimot jevnere og større for kapasitetsoptimal ruteplan, forutsatt alle andre forhold like. Nedenfor er dette forsøkt illustrert ved at spenningen for godstog 5808 fra simulering 5b og østgående fra simulering 5a med kapasitetsoptimal rute er vist, se henholdsvis Figur 5-1 og Figur 5-2. En kan legge merke til at kurvene, i alle fall i deler av strekningen, er forbausende like spesielt om en ser på 2 minuttersverdiene (rød strek). Spesielt kan en legge merke til at tog 5808 får noen kortvarige lave spenninger ved km 550 til 500 som ikke forekommer for det andre toget. En ser også at toget fra kapasitetsoptimal rute får lavest spenning ved km 200.

Sammenlignes ordinær rute med kapasitetsoptimal kan det se ut som om de begge gir nokså entydige resultater med hensyn på spenningene og dermed hensiktsmessig valg av omformeravstand og ledertverrsnitt for NL og PL. Det som er mest forskjellig er omformerbelastning, og som en har kommentert tidligere kan en få inntrykk av at 2 x 5,8 MVA aggregater er tilfredsstillende for ordinær ruteplan, mens det for kapasitetsoptimal er nødvendig med 3 x 5,8 MVA. En står da igjen med usikkerheten om framtidsprognosen er riktig med hensyn på lokomotivtype, lastvekt, blanding av togtyper og lastvekt etc. Med 3 x 5,8 MVA vil en ha sikker redundans ved avvik fra ruteplanen, for eksempel forsinkelser der krysningsbeltet forskyves til en annen matestrekning. Imidlertid er det resurskrevende at en skal gå inn for å sette inn en tredje omformerenhet i alle stasjoner bare for å sikre redundans ved avvikende driftssituasjoner. Det beste er nok å la utviklingen og trafikkveksten over tid vise behovet for antall roterende omformere. Og om det bygges nye statiske omformere som ikke er mobile får en på den andre siden legge inn stor ekstra margin for trafikkvekst og avvik.



Figur 5-1 Spenningen for østgående godstog 5808 fra ordinær ruteplan R152.2, simulering 5b.



Figur 5-2 Spenningen for østgående godstog fra kapasitetsoptimal ruteplan, simulering 5a med 1200 tonn lastvekt.

5.7.6 Fjernledningen

Simulering 3a ble gjort uten noen forsterkningstiltak for fjernledningen for å undersøke forholdene slik som dagens anlegg er. Det ble som ventet noe lave spenninger for togene, men allikevel rett over det som er tillatelig for eksisterende anlegg. Hvem av disse anleggsdelene som er eksisterende anlegg når det bygges AT-system fra Neslandsvatn og vestover, og hvilken spenning som skal tillates er imidlertid en litt søkt problemstilling. Dagens situasjon er uansett at kobberlinene for fjernledningen er gammel og erodert, det er aktuelt å skifte denne ut i nær fremtid.

I simulering 5a er dagens line for fjernledningen beholdt, men transformatoren på Neslandsvatn får åtte trinn og den nye på Tyri fire trinn, dette gir også akkurat tilfredsstillende spenning. I denne simuleringen er det satt inn en omformerstasjon på Herefoss og Nelaug er fjernet. Dette gjør at det fra Neslandsvatn til nærmeste omformer i vest er ca 23 km lengre avstand og spenningen blir altså allikevel akkurat tilfredsstillende. I simulering 5aa er forholdene ved Neslandsvatn ytterligere undersøkt ved at dagens kobberline for fjernledningen erstattet med en stål-aluminiumsline type 95 mm² FeAl med 3 m avstand mellom faseledningene. Denne linen antas å være den tyngste som kan settes opp på dagens eksisterende master. Nye transformatorer med flere trinn på Neslandsvatn og Tyri er også inkludert, men også denne simuleringen viste resultater akkurat innenfor kravet.

Om ny transformatorstasjon på Tyri strengt tatt er nødvendig om dette større tverrsnittet benyttes er ikke undersøkt. For ytterligere forsterkning kan høyere spenningsnivå eventuelt vurderes, men dette vil uansett være et mer omfattende tiltak.

5.7.7 Mulighet for trafikkøkning

Når det gjelder muligheten for trafikkøkninger viser de forskjellige alternativene med tverrsnitt for NL og PL store forskjeller for fremtidige muligheter. Ledertverrsnitt på 240 mm² ser ut til å være akkurat på grensen for å gi tilfredsstillende spenning for dimensjonerende ruteplan i normal driftsituasjon. Dette ser ut til å gjelde ikke bare for kapasitetsoptimal, men også for ordinær rute R152.2 og de aktuelle godstogene. Tverrsnittet på 381 mm² gir

muligheter for trafikkøkning ut over 1200 tonn lastvekt, men ikke lengre enn opp til 1600 tonn som er simulert. Øvrige momenter som kan komme inn i vurderingene for fremtidig prognosering av togtrafikken og dimensjonering er:

- Lokomotiver med seks akslinger (som danske EG3100) vil sannsynligvis forbedre forholdene fordi disse nok kan dra tog med lastvekt på 1200 tonn alene. Med enkle lokomotiver av denne typen trekker mindre effekt enn med doble BR189.
- Selv om en prognoserer en dimensjonerende ruteplan og dertil hørende lastvekt, tilsier praktisk togdrift at bare enkelte tog har denne lastvekten. Det vil alltid være en blanding av lasttyper på godstogene, dermed vil bare noen godstog ha en tyngde på 1200 tonn. Men på sikt kan dette også gå andre vegen ved at noen er enda tyngre.
- Personlig kjørestill til lokomotivføreren, tilfeldigheter med hensyn på konstellasjon med andre tog, varierende lastvekt, forskjellige vogner og åpne plasser i toget avgjør effektuttaket og dermed spenningen.
- Andre lokomotiver for godstogene kan dra spenningen yterligere ned. Hvis for eksempel multiple lokomotiver av type E116 eller svenske Rc kommer til å trafikere strekningen i fremtiden trekker disse stor reaktiv effekt og har omentrent like stor installert ytelse som et BR189 lokomotiv.
- Med nasjonale programmer for flere krysningssteder, økt krysningssporlengde (med mulighet for tog lengder på 600 m) og tillat aksellast på 22,5 tonn kan trafikkapasiteten og maksimal lastvekt for togene teoretisk bli meget store. Dermed åpnes det for, i alle fall fysisk, at godstog kan bli betydelig tyngre enn 1200 tonn og da er det bare markedets behov for transport som setter kravene. Da kan det bli et misforhold mellom fysisk kapasitet, transportbehov og banestrømforsyningens kapasitet.
- En har drøftet at lave spenninger ved unormale driftssituasjoner til en stor grad kan avverges ved forsiktig kjøring og samordning av trafikken. På den annen side kan det tenkes at for fremtiden med en mye sterkere banestrømforsyning enn dagens, mer automatiske funksjoner i togene og at dermed lokomotivførere, togledere og annet driftspersonell ikke blir så godt trent med slike avvikssituasjoner. Dermed kan lave spenninger få større og mer uheldige konsekvenser enn vurderingene her ut fra dagens håndtering av slike situasjoner.
- Jernbaneverktes stamnettutredning setter et mål ut fra antatt markedsbehov om at det på jernbanens hovedstrekninger frem mot 2040 skal kunne avvikles et godstrafikkvolum på hele 300 % større enn dagens, se [11]. Om en da fremdeles vil ha hovedtyngden av godstrafikken om natten vil dette kreve en meget godt utbygget banestrømforsyning.

Disse momentene drar i forskjellig retning, men mest sannsynlig er det at forhold som øker transportarbeidet og øker effektbehovet vil virke over tid.

5.7.8 Utbyggingstakt og gradvis økning av trafikkapasiteten

Nytt kontaktledningsanlegg er bygget fra Kristiansand til Sira og mellom Nordagutu og Neslandsvatn, de øvrige strekningene har anlegg i varierende stand på grunn av høy alder. En total utskifting av anleggene har stor prioritet, og et helhetlig anlegg helt fra Neslandsvatn til Ganddal (eventuelt til Stavanger) hadde vært gunstigst. Men siden det er en anselig alder på store deler av kl-anleggene i det norske jernbanenettet er det kanskje tvilsomt om en kan prioritere ombygging av de deler av Sørlandsbanen som har nytt anlegg, fremfor å skifte gamle anlegg andre steder. Dermed kan en regne med at en i første omgang får nytt AT-system fra Neslandsvatn til Krossen, konvensjonelt kl-anlegg fra Krossen til Sira og AT-

system igjen fra Sira til Ganddal. En må da ha omformerstasjoner på Nelaug (eller Herefoss), Krossen, Leivoll, Sira, Kjelland (kan egentlig vurderes stanset i en mellomperiode) og Ganddal. Simuleringene viser akseptabel spenning med denne løsningen.

Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan og ordinær rute R152.2 viser tydelig forskjell i effektopptak for de to tilfellene, men relativt like spenninger for de togene i rute R152.2 med lav spenning. Med dimensjonerende ruteplan (kapasitetsoptimal) fremkommer tre roterende aggregater på 5,8 MVA som nødvendig bestykning i omformerstasjonene, mens ordinær ruteplan R152.2 ser ut til å kunne tilfredsstilles med to aggregater. Dermed kan en utvide omformerstasjonene fra dagens to til fremtidens tre når behovet melder seg ved trafikkvekst. Om det foretaes revisjoner av de omformerstasjonene som skal beholdes for fremtiden bør en nok gjøre de grep som er nødvendig for en fremtidig utvidelse. Problematiske avgjørelser får en imidlertid når det gjelder stasjoner som Sira og Krossen. I alternativ 3 (med AT-system fra Neslandsvatn til Ganddal og omformerstasjoner ved Herefoss, Leivoll, Kjelland og Ganddal) som anbefales, foreslås det å legge ned disse for å stå igjen med det nødvendige antall omformerstasjoner med passende avstand mellom. Men om utbyggingstakten gjør at disse må være i drift oppstår vanskelige avgjørelser fordi Krossen og Sira er gamle og omfattende renoveringer kan komme til å bli nødvendig i årene som kommer. Helst bør en holde disse i drift med god teknisk tilstand uten at en har store renoveringskostnader forbundet med dem.

En mulighet kan være at en så intensiv trafikk som det er simulert med her ikke etterspørres med det første; si at det kan holdes tilstrekkelig avstand mellom godstog og at bare noen få godstog vil få så stor lastvekt som 1200 tonn. Da kan det være aktuelt å vurdere å stanse Sira og Krossen omformere om AT-system er ferdig bygget inn til disse stedene. Med konvensjonelt kl-anlegg mellom disse stasjonene og Leivoll omformerstasjon i drift er det mulig at spenningen for togene på denne strekningen blir akseptabel. Om AT-system er bygget mellom Nelaug (eller Herefoss) til Krossen og mellom Sira og Kielland vil overføringen her få mye mindre impedans og disse omformerstasjonene kommer elektrisk "nærmere" Leivoll omformerstasjon. Imidlertid vil det nok ikke være strategisk å legge ned disse stasjonene, det må være mulig å starte dem igjen om trafikken øker eller bygge AT-system på strekningen Krossen – Leivoll – Sira.

Teknisk/økonomiske beregninger kan gjøres for å avgjøre om strekningen med nytt konvensjonelt kl-anlegg skal bygges om til AT-system og om gevinsten med færre omformere vil vise best lønnsomhet. En skulle tro at en mer helhetlig utbygging av AT-system og nedlegging av gamle omformerstasjoner skulle vise best resultater. Dette kan studeres både med og uten trafikkvekst ut over dagens trafikk. Simuleringene med dimensjonerende ruteplan viste lavere spenning på strekningen med konvensjonelt kl-anlegg og om det kan forventes at spenningen blir enda lavere med større trafikk (tettere togtrafikk enn kapasitetsoptimal rute, eller tyngre godstog), da må det i alle fall vurderes å bygge strekningen om til AT-system for å unngå at denne blir en flaskehals for trafikken.

5.7.9 Momenter for valg av tverrsnitt

For valg av tverrsnitt for Sørlandsbanen er det kun spenningen i normal og unormal driftsituasjon som blir dimensjonerende. Selv det minste tverrsnittet ser ut til å ha mer enn tilstrekkelig reserve med hensyn på termisk belastbarhet uansett omgivelsestemperatur og vær. Valget av tverrsnitt ville falt enklere om både krav til termisk dimensjonering og

spenning pekte i samme retning. Nedenfor er det listet opp flere momenter som taler for det ene eller andre av de to forskjellige alternativene:

- Med den dimensjonerende ruteplanen, lastvekten og togmateriellet som er simulert kommer spenningen med sikkerhet innenfor kravet bare med 381 mm² tverrsnitt.
- Selv om en prognoserer med en dimensjonerende ruteplan og dertil hørende lastvekt, tilsier praktisk togdrift at bare enkelte tog har denne lastvekten. Det vil alltid være en blanding av lasttyper på et godstog, dermed vil bare noen godstog ha en tyngde på 1200 tonn.
- Noe lav spenning (kortvarig ned mot 13,0 kV) får liten eller ingen praktisk betydning i normal driftstilstand, altså hva gjelder påvirkning av kjøretiden.
- Akseptkriteriet er ikke i utgangspunktet veldig strengt. Når anlegget har en nominell spenning på 15 kV hadde det heller ikke vært urimelig om en skulle ha forlangt at spenningen knapt skulle komme under dette nivået ved dimensjonering av nye anlegg.
- Personlig kjørestill til lokomotivføreren, tilfeldigheter med hensyn på konstellasjon med andre tog, varierende lastvekt, forskjellige vogner (antall akslinger), varierende traksjonsforhold og åpne plasser i togene, er tilfeldigheter som er med på å avgjøre effektuttaket og dermed spenningen.
- Andre lokomotiver for godstogene kan dra spenningen ytterligere ned. Hvis for eksempel multiple lokomotiver av type E116 eller svenske Rc kommer til å trafikkere strekningen i fremtiden trekker disse stor reaktiv effekt og har omentrent like stor installert ytelse som BR189.
- I unormale driftstilstander gir det største tverrsnittet best spenning for togene, selv om kortvarige spenningsfall blir omentrent like store. Denne overveiende bedre spenningen for togene med det største tverrsnittet gir minst risiko for forsinket kjøretid for togene i slike tilfeller.
- Det største tverrsnittet gir størst reserve for fremtidig trafikkvekst. Tidligere var maksimal lastvekt med godstog til Stavanger satt til 750 tonn, og en økning til 1200 tonn er en vekst på over 70 %. Imidlertid kjøres det i dag godstog med lastvekt opptil 900 tonn og en økning videre til 1200 tonn er dermed ikke veldig mye. Men som påpekt tidligere er togtetthet, enkle eller doble lokomotiver og type lokomotiver også av stor betydning. Dermed kan denne innebygde marginen som et tverrsnitt på 381 mm² gir, være god å ha for å unngå at spenningskravet ikke kan tilfredsstilles på grunn av trafikkvekst.
- Utredninger vedrørende utviklingen av fremtidig (lang sikt) godstrafikk på hovedstrekningene i Norge antyder til dels meget store kapasitetsøkninger.
- Tverrsnitt på 381 mm² gir størst fleksibilitet ved prosjektering fordi avstanden mellom autotransformatorene om nødvendig kan økes. Spenningsfallet på 0 - 700 V som kommer i tillegg til simuleringsresultatet og skyldes impedansen i kontaktledningen og er beregnet ut fra 12 km mellom autotransformatorene og oppheng 6c, se [5]. AT-stasjonene er ment å plasseres på stasjonene og om en finner det nødvendig å øke denne avstanden på steder der det er lengre mellom stasjonene, kan det ekstra spenningsfallet bli enda lavere enn de beregnede 700 V.
- Det største tverrsnittet gir minst energitap for fremføring av samme trafikk.

Når en ser alle disse oppsummerte punktene ser en at et valg av det minste tverrsnittet på 240 mm² gir visse usikkerheter for om anlegget vil være tilfredsstillende. For et anlegg med så lang teknisk levetid som det her er snakk om bør tilfredsstillende forhold i normal- og avvikende- driftssituasjon forventes, samt gode marginer for fremtiden, tillegges størst vekt.

Om forhold rundt mekanisk dimensjonering, komponentvalg, praktisk gjennomføring og arbeid, etc. tilsier at prisforskjellen pr kilometer er liten bør en velge det største tverrsnittet på 381 mm².

6 KONKLUSJON

6.1 Omformerstasjonenes plassering og bestykning

Flere mulige plasseringer av omformerstasjoner har vært sett på som alternativer for en banestrømforsyning med AT-system, dette gjelder Nelaug, Herefoss, Krossen, Leivoll, Sira, Kielland og Ganddal. Ved innføring av AT-system kan flere av disse eksisterende omformerstasjonene fjernes, og forutsetningene som ligger til grunn ved valg av alternativ er:

- Utnytte fordelene som AT-systemet har med lav overføringsimpedans til å få færrest mulig omformerstasjoner.
- Takle avvikssituasjoner som ensidig mating og utfall av en hel omformerstasjon.
- Få plassert en omformerstasjon på enden av banen (Ganddal) for å få sikrest mulig banestrømforsyning for lokaltrafikken i Stavanger.

Ut fra simuleringene og vurderingene anbefales bygging av AT-system fra Neslandsvatn til Ganddal. Omformerstasjoner plasseres på **Herefoss, Leivoll, Kjelland** og **Ganddal**, eller eventuelt at en oppgraderer Nelaug istedenfor å etablere ny stasjon på Herefoss om kostnadene eventuelt blir for store. Ingen av de andre alternativene kan anbefales.

Plasseringen av omformere og avstand mellom dem er et spørsmål om redundans og forsyningssikkerhet i tillegg til et spørsmål om dimensjonering for ønsket trafikkkapasitet og marginer. Det er ved avveining mellom punktene ovenfor at en har kommet frem til avstanden 120 km mellom omformerstasjoner og de nevnte omformerstasjonenes plassering.

For å få tilstrekkelig omformerkapasitet og redundans ved utfall er det funnet at tre roterende aggregater på 5,8 MVA i hver omformerstasjon er nødvendig om fremtidig trafikk blir som kapasitetsoptimal ruteplan med 1200 tonn lastvekt for godstogene. To aggregater på 7 MVA i hver stasjon som er vurdert spesielt for Leivoll og Nordagutu vil sannsynligvis gå bra (men er ikke simulert) også for de andre stasjonene og anbefales som et alternativ. Disse omformerytelsene tilfredsstillende dimensjonerende ruteplan både med 1200 og 1600 tonn lastvekt. Med en fremtidig belastning mer som dagens ruteopplegg og som er simulert med ordinær ruteplan R152.2, vil endog to roterende aggregater på 5,8 MVA kunne være tilstrekkelig. Så lenge de roterende omformerne, som er lette å flytte, er i bruk kan en utvide omformerkapasiteten i takt med trafikkøkningen.

6.2 Tverrsnitt for PL- og NL og spenning for togene

Med den dimensjonerende ruteplanen som er lagt til grunn (kapasitetsoptimal), lastvekt på minst 1200 tonn, multiple fireakslede lokomotiver, ca 120 km mellom omformerstasjonene og regelverket for prosjektering av banestrømforsyningen (JD546), gir bare 381 mm² Al som leder for NL og PL tilfredsstillende resultater. Det vil her si spenning innenfor akseptkravene for kortvarige og lengre perioder. Større lastvekt enn 1200 tonn har også blitt undersøkt og ved 1600 tonn viser simuleringene at med kapasitetsoptimal ruteplan og 381mm² vil spenningen kunne bli for lav, men dog meget kortvarig.

En har også sett på 240 mm² ledertverrsnitt som vil kunne gi en del fordeler som lettere montasje og noe lavere pris. Fra simuleringene ser det ut til at dette tverrsnittet ikke på langt nær gir de samme mulighetene for trafikkøkning, og en er heller ikke sikker på å komme innenfor akseptkravet for spenningen med dimensjonerende ruteplan, 1200 tonn lastvekt og

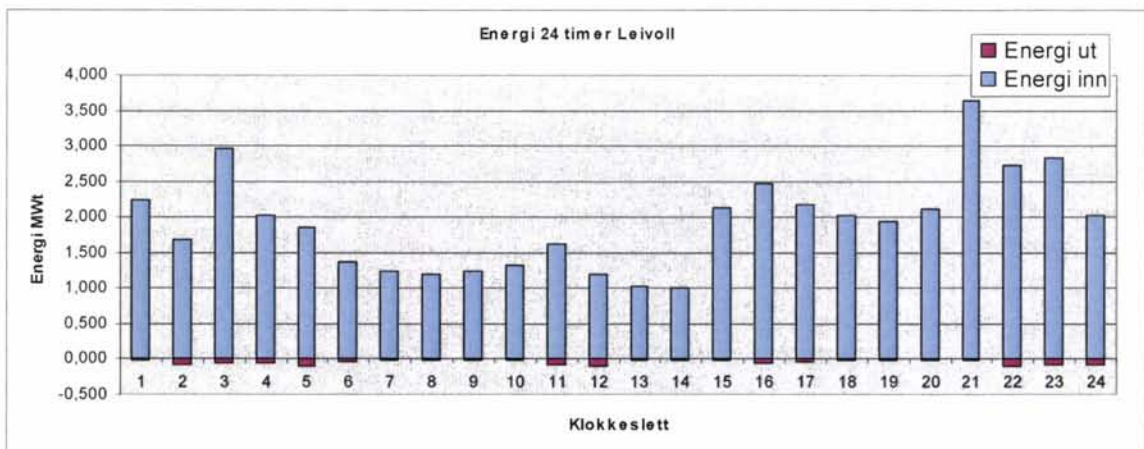
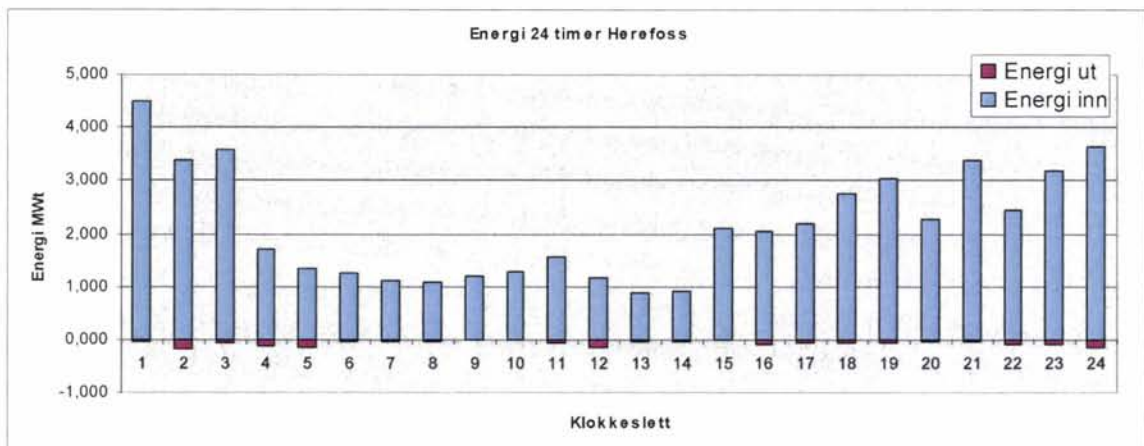
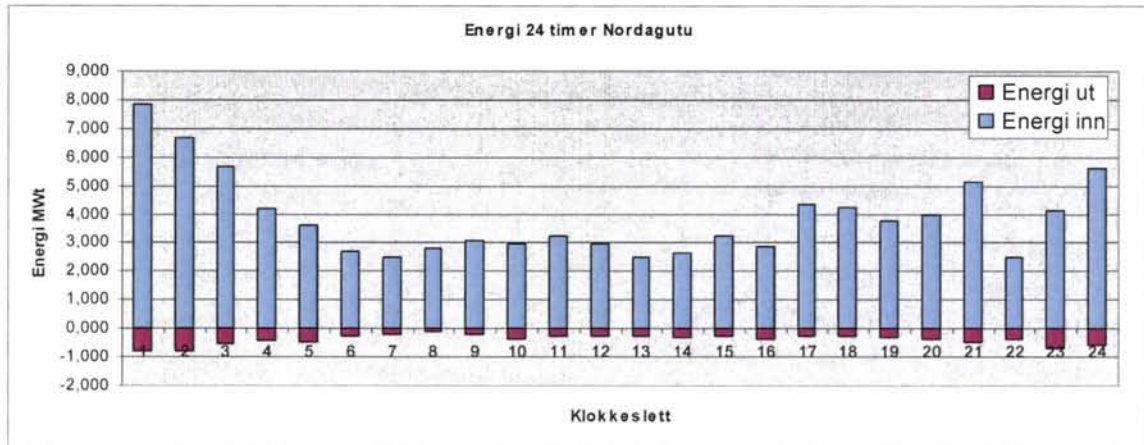
normal drift. Men en ser at dette kan være en vurderingssak når en kommer utenfor med så liten margin som det tross alt er snakk om. For avvikling av trafikken i unormale driftsituasjoner gir det største tverrsnittet minst problemer med korte og langvarig lav spenning for togene og redusert trekkraft og fare for forsinkelser. Begge de to alternativene tilfredsstillende krav til strømledningsevnen og maksimal ledertemperatur med gode marginer.

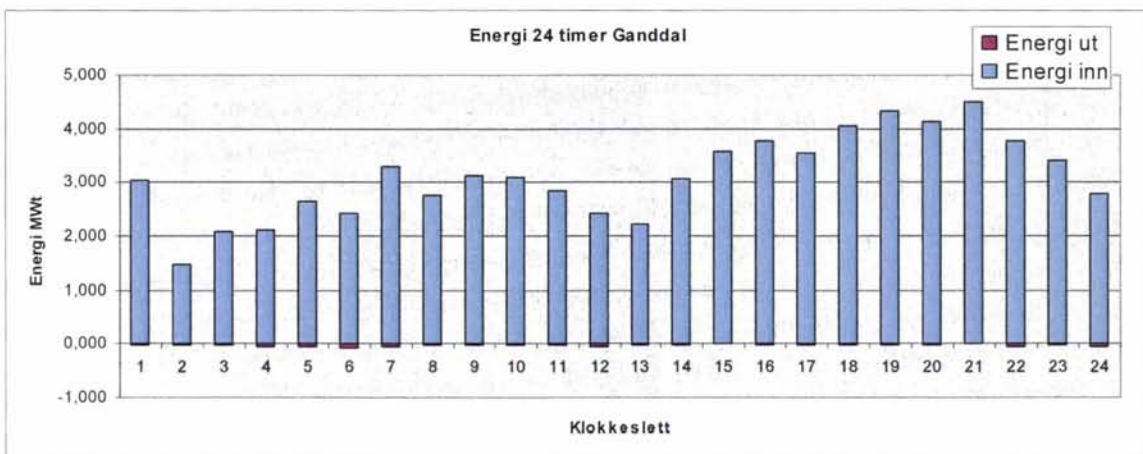
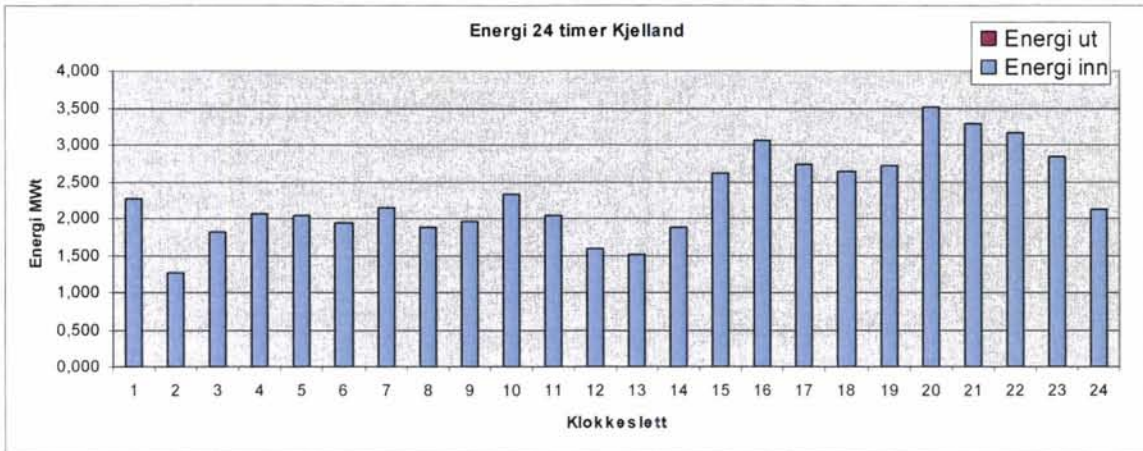
Det som mest taler for det største tverrsnittet på 381 mm^2 er bedre marginer for trafikkvekst med akseptabel spenning, noe bedre spenning og dermed mindre konsekvenser (forsinkelser) ved unormale driftsituasjoner, samt nokså store reduserte tap. For den dimensjonerende ruteplanene og med en lastvekt for godstogene på minst 1200 tonn anbefales det at 381 mm^2 velges for å gi akseptabel spenning i henhold til akseptkriterium og gjeldende regler for prosjektering.

7 APPENDIKS A

7.1 Opptatt energi for hver omformer for simulering 5b

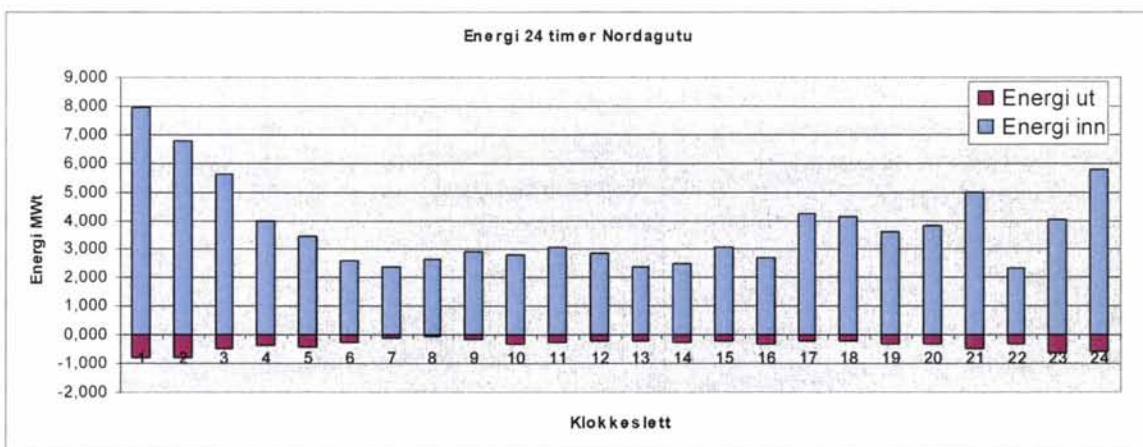
Nedenfor viser stolpediagrammene opptatt (blå) og avgitt energi til overliggende trefasenett for omformerstasjonene time for time.

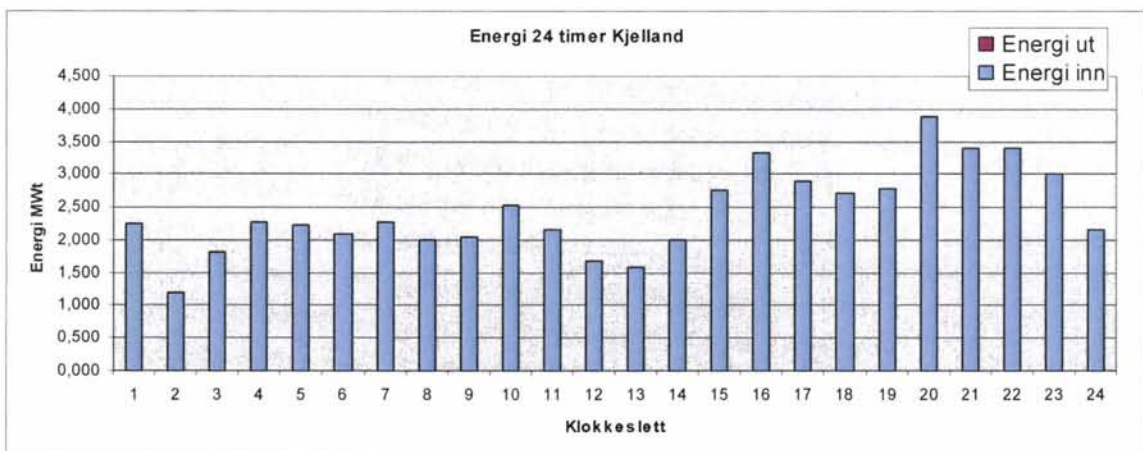
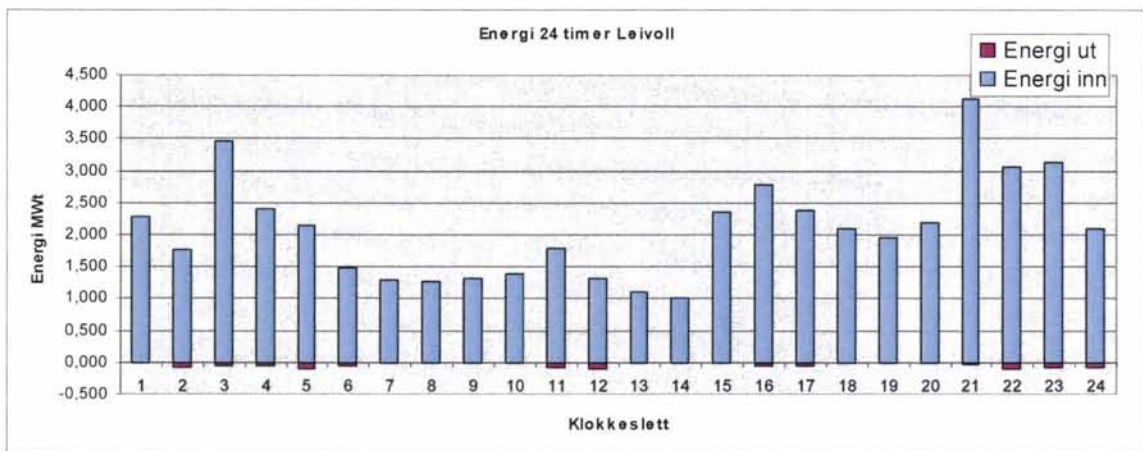
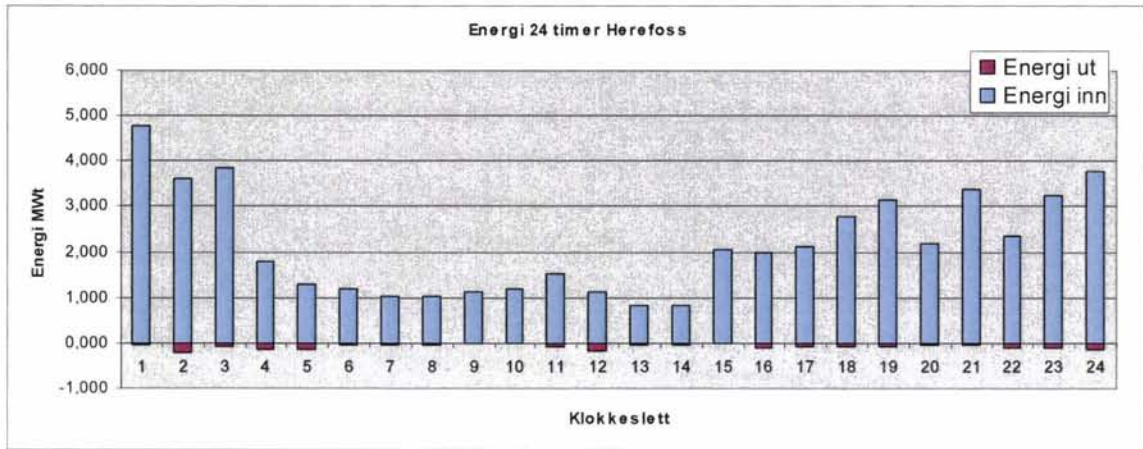


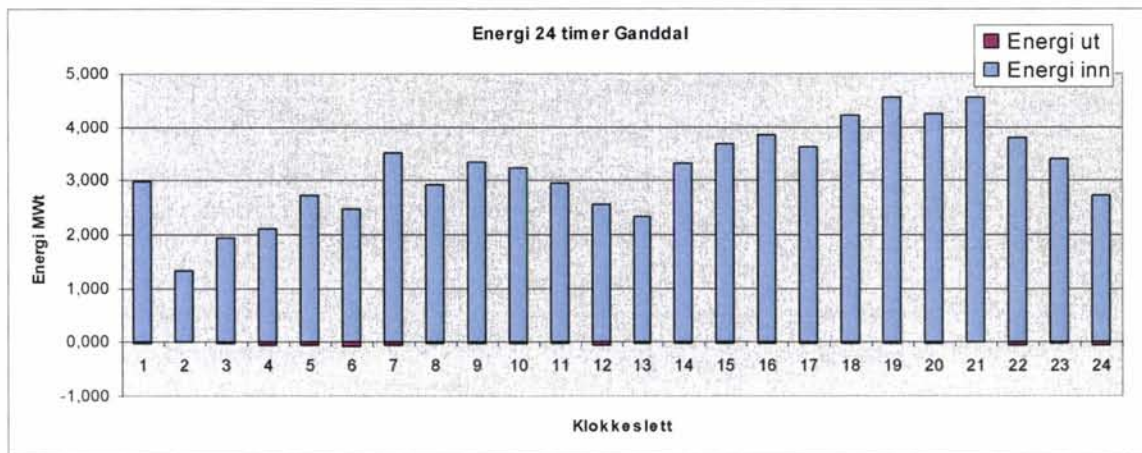


7.2 Opptatt energi for hver omformer for simulering 5bk

Nedenfor viser stolpediagrammene opptatt (blå) og avgitt energi til overliggende trefasenett for omformerstasjonene time for time.







8 APPENDIKS B - ANTATT TRAFIKKAPASITET FOR FORSKJELLIGE PARAMETERE FOR AT-SYSTEMET

Hvilke marginer en har for å øke lastvekten og frekvensen av godstog er med forskjellig type trekkraftmateriell og type banestrømforsyning er interessant, men det er ikke utført simuleringer for dette da simuleringsarbeidet naturlig nok vil bli meget stort. Det er gjort antagelser om hvilke muligheter en har på Sørlandsbanen med AT-system med de to alternativene for tverrsnitt.

Tabellen skal først og fremst ta hensyn til begrensninger som har å gjøre med banestrømforsyningen, det vil si spenning som oppfyller kravene og eventuelt termisk belastning av ledere. Over disse kravene kommer lokomotivenes maksimale trekkraft for den aktuelle lastvekten og dragbandets maksimale lastpåkjenning, samt kryssningssporenes avstand og trafikkapasitet. Således gjelder den for enkle lokomotiver (type E114, E116, eller BR189) en grense for lastvekten på 650/750 tonn. Dette er angitt lastvekt under normale traksjonsforhold, men i praksis fremføres det i dag godstog til Stavanger med en maksimal lastvekt på oppimot 900 tonn.

Det er gjort antagelse om at en maksimalt kan fremføre godstog med en følgetid på ca 16 minutter som gir 3,6 tog pr time. Dette er gjort ut fra at kapasitetsoptimal ruteplan med ekstra innsatte tog ikke er realistisk å få til i virkeligheten. Dessuten kan en se at avstanden mellom to tog (uansett kategori) i dagens ruteopplegg kan være omentrent så liten. Imidlertid kjører godstog i dagens ruteopplegg ikke særlig nærmere enn 33 minutter, som gir ca 1,8 tog pr time og tallet 2,5 godstog pr time er valgt som en mellomting. Med kapasitetsoptimal ruteplan er det 2 godstog pr time og med de fire kategoriene 1,8, 2,0 2,5 og 3,6 godstog pr time kan en ikke gjøre flere vurderinger uten at det bli veldig søkt.

I tillegg til godstogene kjører det også persontog på strekningen og det forutsettes at det ikke er nødvendig å ta stort hensyn til disse i denne sammenhengen. (Nærmere Stavanger er muligheten for totalt antall tog mye større en disse tallene som er ment å gjelde hele strekningen. Om det kommer persontog inn vil disse komme istedenfor godstogene, ikke i tillegg til dem i tabellen.)

Den første raden i tabellen for hver materiellkategori antar samme tall for frekvens, men lastvekten er estimert for de forskjellige anleggenes kapasitet. I den andre raden er lastvekten holdt på 1200 tonn (som er satt til fremtidig mål) mens frekvensen økes. Således er det bare for dagens E114 lokomotiver, 750 tonn og dagens banestrømforsyning (BT80/40) og for doble BR189 lokomotiver, 1200 tonn lastvekt og AT-system at en kjenner forholdene (disse tallene er uthevet). Ved antagelser er det gjort antagelser om at spenningen blir akseptabel for prosjektering av nytt anlegg (AT-system) eller er akseptabel for eksisterende anlegg (lavere krav for dagens anlegg).

Igjen påpekes det at forholdene rundt tabellen er høyst usikre og at den uansett bare er ment som en veiledning. Resultatene fra Tabell B-8-1 er stilt opp for å vise gradvis økning i lastvekt og overgang fra et system for banestrømforsyningen til et annet, se Tabell B-8-2. Ved overføring av tall til denne tabellen er lavere tall for brutto tonn kilometer tatt vekk, fordi overgang til et system til et annet motiveres av større kapasitet.

Tabell B-8-1 Antagelser om lastvekt, frekvens, materiell og alternativer for banestrømforsyningen. Uthevede tall for kjente trafikkapasiteter.

Materiell	BT 80/40	BT 80/40 AT 120 240 mm ²	AT 120 240 mm ²	AT 120 381 mm ²	AT 80 240 mm ²
Enkle lokomotiver EI14 / EI16 BR189	750 tonn 1,8 godstog/time	750 tonn 2,0 godstog/time	750 tonn 2,0 godstog/time	750 tonn 2,0 godstog/time	750 tonn 2,0 godstog/time
	-	-	-	-	-
Doble lokomotiver EI16	Ikke mulig	900 tonn 2,0 godstog/time	900 tonn 2,0 godstog/time	1100 tonn 2,0 godstog/time	1200 tonn 2,0 godstog/time
	-	-	-	-	1200 tonn 3,6 godstog/time
Doble lokomotiver BR189	Ikke mulig	1200 tonn 2,0 godstog/time	1200 tonn 2,0 godstog/time	1600 tonn 2,0 godstog/time	2600 tonn 2,0 godstog/time
	-	-	-	1200 tonn 2,5 godstog/time	1200 tonn 3,6 godstog/time
Enkle lokomotiver EG3100	1000 tonn 2,0 godstog/time	1200 tonn 2,0 godstog/time	1200 tonn 2,0 godstog/time	1600 tonn 2,0 godstog/time	1600 tonn 2,0 godstog/time
	-	-	-	1200 tonn 2,5 godstog/time	1200 tonn 3,6 godstog/time

Tabell B-8-2 Oppstilling av tallene fra Tabell B-8-1 i stigende rekkefølge.

BT 80/40		750 tonn 1,8 tog/time		1000 tonn 2,0 tog/time				
BT 80/40 AT 120 240 mm ²			900 tonn 2,0 tog/time			1200 tonn 2,0 tog/time		
AT 120 240 mm ²			900 tonn 2,0 tog/time			1200 tonn 2,0 tog/time		
AT 120 381 mm ²					1100 tonn 2,0 tog/time		1600 tonn 2,0 tog/time	
AT 80 240 mm ²							1600 tonn 2,0 tog/time	2600 tonn 2,0 tog/time
Brutto tonn pr time	1170	1350	1800	2000	2200	2400	3200	5200

9 APPENDIKS C – LASTFLYT I TOMGANG UNDER FORSKJELLIGE FORHOLD

For alternativ 3 med AT-system og omformere på Nordagutu, Herefoss, Leivoll, Kjelland og Ganddal er det utført noen lastflytberginger i tomgang. En slik lastflyt i tomgang kan gi indikasjon på om det utveksles unødvendig mye effekt mellom omformerne også når de belastes. Dette fører til tap i kontaktledningen, men kan også være en indikasjon på at enkelte omformere ikke vil levere særlig mye effekt ved trafikkbelastning. Denne utvekslingen av effekt har oftest å gjøre med fasevridning av spenningene i overliggende nett, andre årsaker kan være feil innstilling av spenningsregulatorer.

Det er sett på hva fallende eller flatt statikk for omformerstasjonenes spenningsregulator har å si. Et tilfelle der Hakavik kraftstasjon ikke injiserer effekt inn i systemet er undersøkt. Hakavik kraftstasjon mater nemlig nokså mye effekt inn systemet som ikke kommer til anvendelse uten trafikk, og uten dette bidraget er det lettere å se sammenhenger som har med spenningsvinkler å gjøre.

9.1.1 Lastflyt før trafikk med alternativ 3 med fallende statikk

Første vedlegg viser situasjonene som ligger til grunn for simulering 5a og b, med fallende statikk på 4 % for spennigen for alle omformerstasjonene. Som en ser at de to enlinjeskjemaene er det en del effektutveksling mellom omformerstasjonene, og størst aktiv effekt overføres mellom Neslandsvatn og Herefoss på 1,84 MW. Dette er å vente all den tid det er nesten 3 MW som overføres over fjernledningen til Nordagutu. Størst reaktiv effekt overføres mellom Herefoss og Neslandsvatn. Lenger vest i nettet er det betydelig mindre effekt som overføres, selv om en nok vil si at 930 kW overført fra Herefoss til Leivoll er nokså mye.

9.1.2 Lastflyt før trafikk med alternativ 3 med fallende statikk og uten Hakavik kraftstasjon

For å se hva som skyldes spenningsvinkler i overliggende nett og hva som skyldes bidraget fra Hakavik kraftstasjon kobles denne ut og lastflytberegningen utføres på nytt. Andre vedlegg viser at effektflyten mellom omformerstasjonene nå som forventet er betydelig redusert. Spesielt er det interessant å se at mellom Herefoss og Leivoll overføres det nå bare 200 kW (hvor en stor del skyldes tomgangstap i autotransformatorene), en skulle ikke forventet en så stor reduksjon fordi den innmatede effekten fra Hakavik kan sendes inn i trefasenettet ved både Nordagutu og Herefoss. Altså en skulle kanskje heller forvente at denne tidligere effektutvekslingen skyldtes ulike fasevinkler. Når det gjelder reaktiveffekt utveksling ser det ut til at reduksjonene av denne også er stor. Størst reaktiv effekt går mellom Herefoss og Neslandsvatn.

Med fallende statikk og uten den injiserte effekten fra Hakavik ser det ut til at den effekten som utveksles mellom omformerne er nokså liten, relativt til installert ytelse, og neppe kan ha noen betydning. Vest for Herefoss omformer er overført effekt under 100 kW og under 100 kVAr, mens det øst for Herefoss er snakk om noe større effektutveksling.

9.1.3 Lastflyt med alternativ 3 uten fallende statikk og uten Hakavik kraftstasjon

Lastflytberegning i tomgang uten fallende statikk for omformernes spenningsregulator er gjort for å se hvorledes dette vil påvirke tomgangslastflyt. En vil på forhånd forvente at uten den fallende statikken vil lastflyten i tomgang øke, imidlertid viser vedlegg tre at lastflyt bare blir noe mindre for noen avganger mens den for de vest for Herefoss er neste helt uendret.

10 APPENDIKS D - STATISK OMFORMER VED HEREFLOSS ISTEDENFOR ROTERENDE

10.1 Test av omformerens egenskaper ved økende last

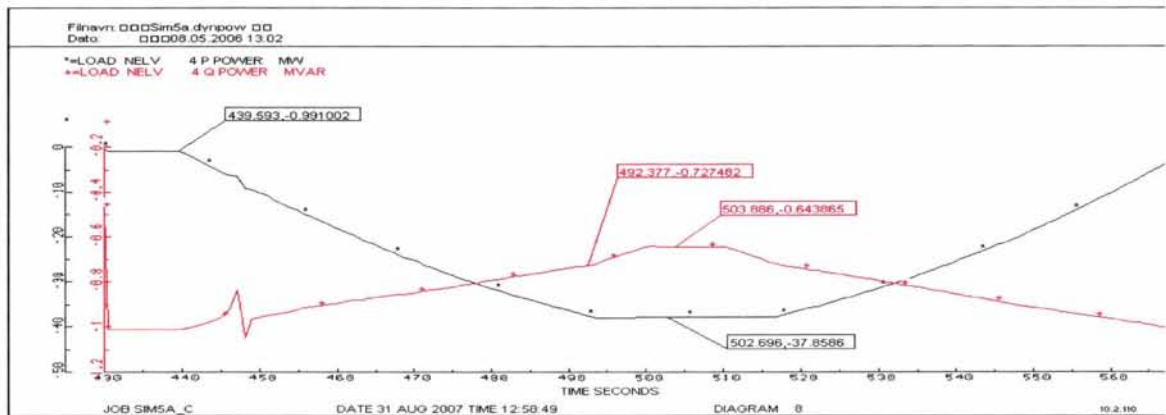
Ved en etablering av Herefoss omformerstasjon er det mer sannsynlig at statiske omformeraggregater blir satt inn enn roterende. Dermed skal det her gjøres en ekstra simulering der det for alternativ A3 satt inn aggregater med ytelse 2 x 15 MVA på Herefoss, alle andre forhold som før. En slik ytelse antas å være passende og det forutsettes at med begge aggregater i drift skal omformerene ikke gå i strømgrense ved dimensjonerende ruteplan. Ytelsen på 2 x 15 MVA er standardisert og det antas fra Bane Energi sin side å være en fremtidig standardstørrelse. Det er benyttet samme omformermodell som ved Smørbekk, der det i dag er omformere med ytelse 2 x 15,2 MVA.

En er interessert i undersøke omformermodellenes oppførsel ved stor maksimal belastning for å se om modellen oppfører seg slik som ønsket. Det vil si at den skal gå i strømgrense ved ca 18,6 A som er en av de nominelle verdiene for Smørbekk. Ved nodene for Nelaug i modellen settes det inn en meget stor belastning som ved en rampefunksjon øker lasten fra 1 MW til 60 MW i løpet av 1 minutt. Lasten har $\cos \phi = 0,7$ og spenningsavhengighetskvotienten for aktiv og reaktiv del settes til 2, som vi ser at den oppfører seg som en impedans. Dermed er det ikke sannsynlig at den vil trekke så stor effekt når spenningen på kontakteledningen synker.

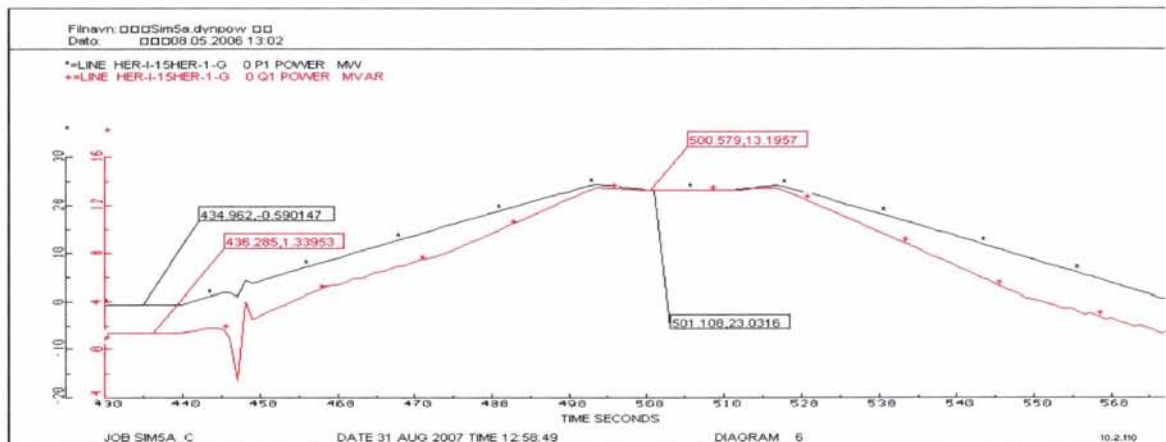
Nedenfor viser Figur 10-1 aktiv- og reaktiveffekt opptatt ved testlasten ved Nelaug. Som en ser er største effektopptak ca 38 MW og reaktiv effekt ca 0,6 MVAR. Det som nå er interessant er å se hvorledes Herefoss tar på seg last og hva som skjer ved nabostasjonene. I Figur 10-2 sees det hvorledes Herefoss leverer mer og mer effekt helt til den ved ca 495 sekunder begynner å begrense effekten og stabiliserer ved 500 sekunder, der testlasten ikke trekker mer effekt. Maksimal effekt levert fra Herefoss blir kun 26,5 MVA og altså en del mindre enn det som var tiltenkt maksimal effekt. Strømgrensen ser heller ikke ut til å være oppnådd, se Figur 10-3, der maksimal strøm ender på 1714 A.

Spenning og spenningsvinkel er også av betydning. Normalt skal en statisk omformer være styrt slik at den etterligner roterende omformere, det vil si at det oppstår en fasedreining mellom spenning ut på 15 kV samleskinne og referansen som er overliggende trefasenett. For en roterende omformer skyldes dette tverraksereaktansen X_q og polhjuls vinkel. I tillegg kan spennings absoluttverdi enten være stiv eller ha en synkende karakteristikk. Alle simuleringene her er utført med omformerstasjonene innstilt til å ha synkende spenning, og også den statiske omformerstasjonen på Herefoss er gitt en statikk slik at spenningen i tomgang er 16,5 og 15,85 kV ved fullast. Disse karakteristika er realisert i en statisk omformer ved software.

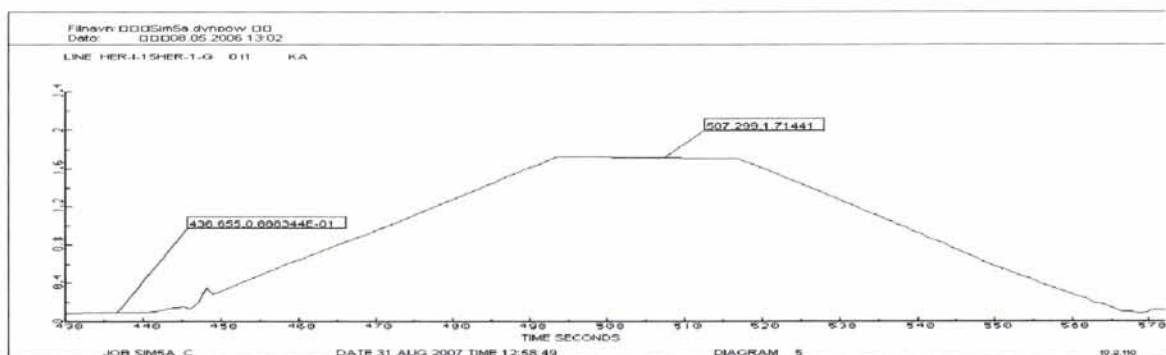
I Figur 10-3 er det vist hvorledes spenningen og fasevinkelen endres når omformeren leverer ut mer og mer effekt. Det kan være ønskelig at den statiske omformeren skal kunne vri fasevinkelen i enda større grad når den går i strømgrense, men det ser ikke ut til å være tilfelle her. Det er ikke undersøkt videre om modellen for statiske omformere kan parametriseres for å få en slik karakteristikk. Hvorledes spenning og fasevinkel endrer seg for nabostasjonene Nordagutu og Leivoll er vist i henholdsvis Figur 10-5 og Figur 10-6. Som en ser oppstår det store fasedreininger også ved disse omformerne selv om spenningen ikke synker særlig mye. Dette er også rimelig da disse bidrar til effektbehovet til testlasten, men i mindre grad enn Herefoss som er nærmest. Testlasten ved Nelaug får for øvrig en spenning ned mot 13,1 kV når lasten trekker maksimal effekt.



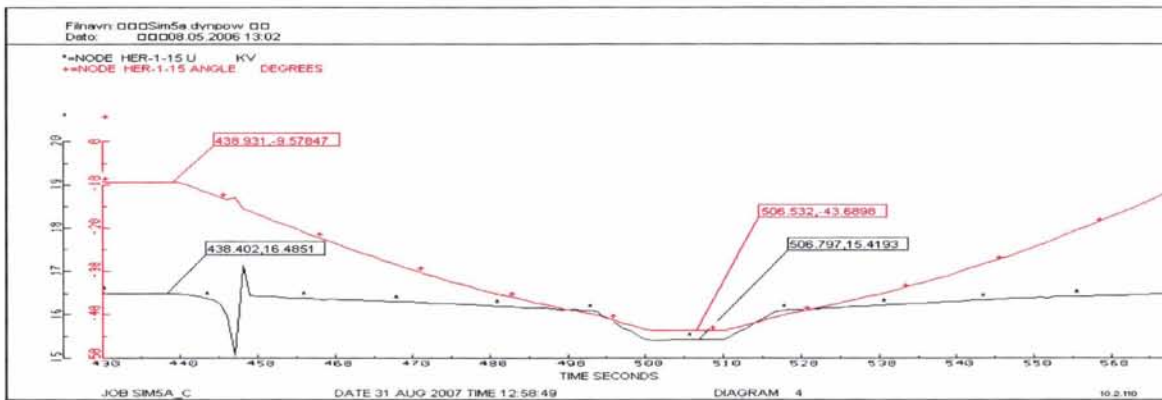
Figur 10-1 Aktiv- og reaktiveffekt opptatt av belastningen innsatt ved Nelaug. Effekttransienten ved tidspunkt $t = 440$ sek antes ha sin årsak i en ugunstig hendelse ved initialisering av spenningsregulatorerne og innkobling av kontaktledningene. Denne transienten er u fysisk og ikke av interesse i denne sammenheng.



Figur 10-2 Aktiv og reaktiv effekt levert fra Herefoss omformer med 2 x 15 MVA statiske mateenheter. Maksimal effekt oppnåes noe før tiden $t = 500$ sek der testlasten ved Nelaug ikke øker sin effekt mer.



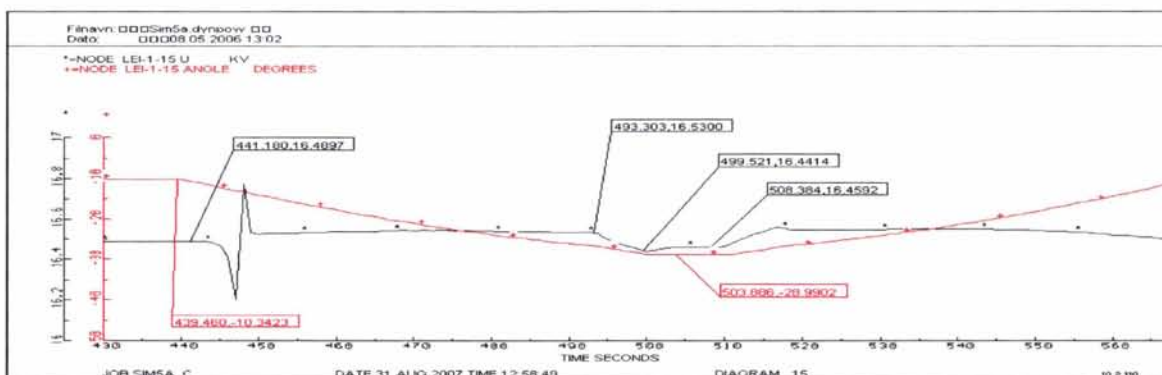
Figur 10-3 Avgitt strøm ved Herefoss. Strømmen når sin grense ved 1714 A, mens nominell strømgrense skulle ha vært 1860 A.



Figur 10-4 Spenning og fasevinkel ved 15 kV samleskinne ved Herefoss omformerstasjon. Ved tidspunktet $t = 495$ sek slutter Herefoss å levere ut mer strøm og spenningsfallet videre opp mot tiden $t = 500$ sek skyldes sannsynligvis at det nå er nabostasjonen ved Leivoll som må levere mer effekt. Når dette skjer synker spenningen ytterligere.



Figur 10-5 Spenning og fasevinkel ved 15 kV samleskinne ved Nordagutu omformerstasjon. De uvanlige spenningsdippene som oppstår ved tiden $t = 460$ til 470 sekunder og $t = 550$ til 570 sekunder kan tilskrives spenningsregulatoren og trinnkoblingene som skjer på Neslandsvatn transformatorstasjon.



Figur 10-6 Spenning og fasevinkel ved 15 kV samleskinne ved Leivoll omformerstasjon. Legg merke til at spenningen her øker noe som skyldes at omformerer leverer reaktiv effekt i motsetning til Herefoss og Nordagutu som mottar. Dette kan nok igjen tilskrives forskjellige fasevinkler i overliggende nett mellom omformerstasjonene.

10.2 Simulering 5as med kapasitetsoptimal ruteplan og statisk omformer ved Herefoss

Simuleringer med den statiske omformermodellen innsatt i Herefoss og trafikkbelastning undersøkes her. Spenningen for togene undersøkes ikke da det ikke skal kunne bli noen endring fra tidligere simulering (simulering 5a).

10.2.1 Belastning av omformere og transformatorstasjoner

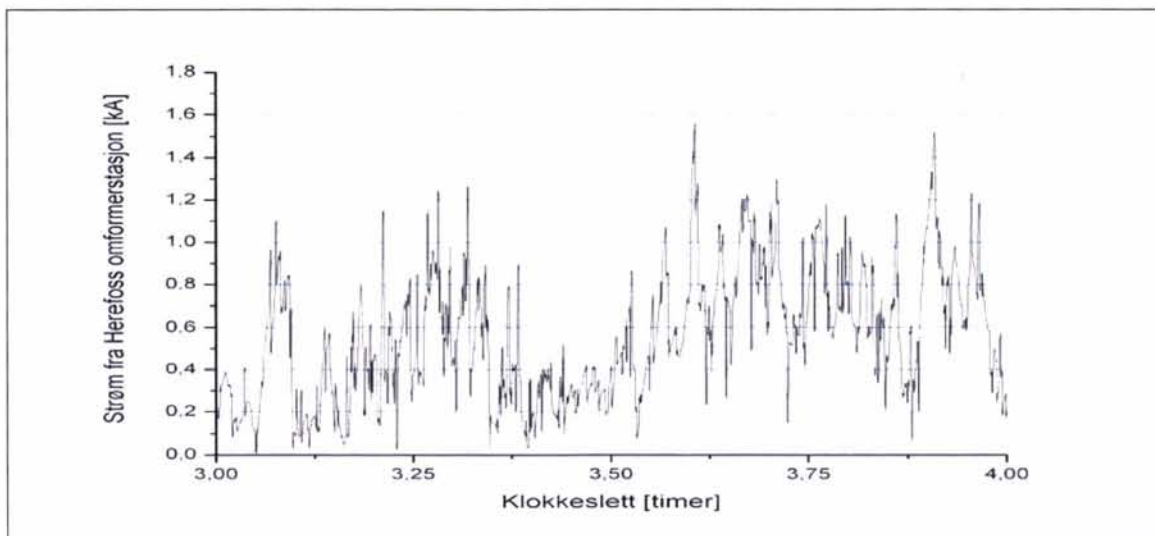
Nedenfor er det i Tabell 2-1 og Tabell 10-2 vist belastningen for henholdsvis omformere og transformatorstasjoner ved trafikk. Sammenlignes dette med tilsvarende resultater i simulering 5a med roterende omformere i Herefoss, sees det at Herefoss nå leverer noe mer effekt og de tilhørende nabostasjoner noe mindre. Det som er interessant for å avgjøre om omformerer har tilstrekkelig installert ytelse er å se om den går i strømgrense og Figur 10-7 viser momentanverdi for strømmen levert ut. Strømgrense ble for det aktuelle parametersettet for Herefoss funnet til 1714 A og en kan se at de høyeste strømverdien er mer enn 100 A mindre. At strømgrensen egentlig skulle vært på 1860 A gir ytterligere margin, dessuten viser kurven at disse kortvarige strømspissene oppstår sjeldent. I tillegg kan det velges å la omformerer ha innstilling slik at den vrir fasevinkelen enda mer når den belastes høyt og dermed overfører last til nabostasjonene. Det ser altså ut til at installert ytelse i Herefoss er tilstrekkelig med 2 x 15 MVA og normalt drifttilfelle.

Tabell 10-1 Belastning av omformerstasjoner. Simulering 5as med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss med statiske omformere. Høyeste tall for MEAN verdien for henholdsvis 2 sekunder, 6 minutter og 1 time. Prosentvis belastning av totalt innsatt ytelse.

Simulering 5a AT-system med 381 mm ² tverrsnitt for NL og PL godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan							
Omformer	Innsatt ytelse [MVA]	Effekt					
		2 sek		6 min		1 time	
		[MVA]	[%]	[MVA]	[%]	[MVA]	[%]
Nordagutu	3 x 5,8	23,265	75	12,774	53	7,344	42
Herefoss	2 x 15	26,305	88	14,968	50	9,823	33
Leivoll	3 x 5,8	18,881	61	9,651	40	6,580	38

Tabell 10-2 Belastning av transformatorstasjoner. Simulering 5a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss med statiske omformere. Høyeste tall for MEAN verdien av henholdsvis 2 sekunder, 6 minutter og 1 time. Prosentvis belastning av innsatt ytelse.

Simulering 5a AT-system med 381 mm ² tverrsnitt for NL og PL godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan				
Transformator	Innsatt ytelse [MVA]	Effekt [MVA]		
		2 sek	6 min	1 time
		Nordagutu	13,118	6,520
Tyri	8,984	4,142	2,205	
Neslandsvatn	9,510	6,861	3,987	



Figur 10-7 Strøm fra Herefoss omformerstasjon. Momentanverdi for strømmen mellom klokken 3:00 og 4:00. Simulering 5a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss med statiske omformere.

10.3 Simulering 5as med kapasitetsoptimal ruteplan og statisk omformer ved Herefoss når et aggregat faller ut

10.3.1 Belastning av omformere og transformatorstasjoner

Nedenfor viser Tabell 10-3 og Tabell 10-4 belastningen for henholdsvis omformere og transformatorstasjoner når et aggregat i Herefoss omformer faller ut. Som en ser leverer Herefoss ut mindre effekt når et av aggregatene faller ut og Leivoll omformerstasjon må for 2-sekundersverdien levere mer effekt enn hva den tåler. Figur 10-8 viser at strømmen fra stasjonen reduseres markant og betraktes strømgrensen en fant for det aktuelle parametersettet på halyparten av 1714 A som er 857 A, sees det at strømmen knapt blir så høy at klipping oppstår. Dette betyr nok at omformeren styrer fasevinkelen så mye ut at dette unngås. Men det er mulig at den dermed legger for mye av effektbehovet over til Leivoll og at noe mer effekt skulle ha kommet fra Neslandsvatn. Imidlertid vil nok optimalisering av dette være en vanskelig oppgave, spesielt fordi fasevinklene i overliggende kraftnett også spiller en rolle. Disse endrer seg som kjent flere ganger over måneden og året, eller endog over dagen.

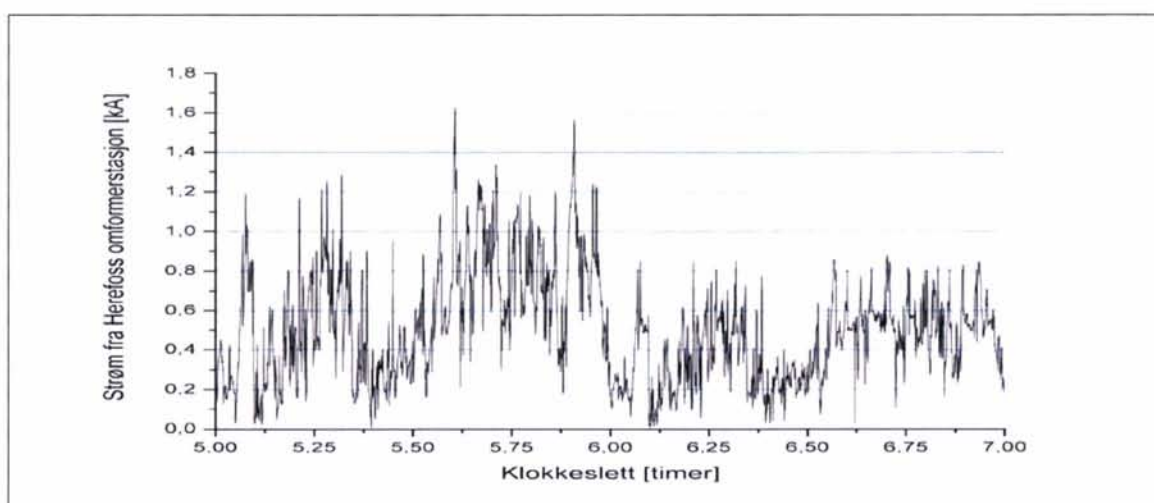
I Figur 10-9, Figur 10-10 og Figur 10-11 hvorledes effekten er fordelt mellom henholdsvis Herefoss, Nordagutu og Leivoll omformerstasjoner i timen før og etter utfallet av et aggregat i Herefoss klokken 06:00. Av disse kurvene kan en få inntrykk av at det ikke er store effektmengder som må hentes fra Nordagutu og Leivoll, i alle fall om en ser på "grunnlasten" om en sier at 1-timesverdien med rød kurve representerer den. Effekten som må hentes fra nabostasjonene er imidlertid kortvarig nokså store, se Figur 10-11 der høyeste effekttopp mellom klokken 5 og 6 er ca 18 MVA, mens i timen med utfall er den meget kortvarig så mye som ca 32 MVA. Den nest største effekttoppen er ca 26 MVA. Det ser heller ut til å være ugunstig sammenfall av kortvarige toppverdier som kan få Leivoll til å få den høye belastningen, fordi effekten levert fra Herefoss ser ut til å være moderat akkurat da. En får gå ut fra at dette beror på ugunstige tilfeldigheter og at en ytelse på 2 x 15 MVA er tilstrekkelig for Herefoss.

Tabell 10-3 Belastning av omformerstasjoner. Simulering 5as med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss med statiske omformere. Høyeste tall for MEAN verdien for henholdsvis 2 sekunder, 6 minutter og 1 time. Prosentvis belastning av totalt innsatt ytelse.

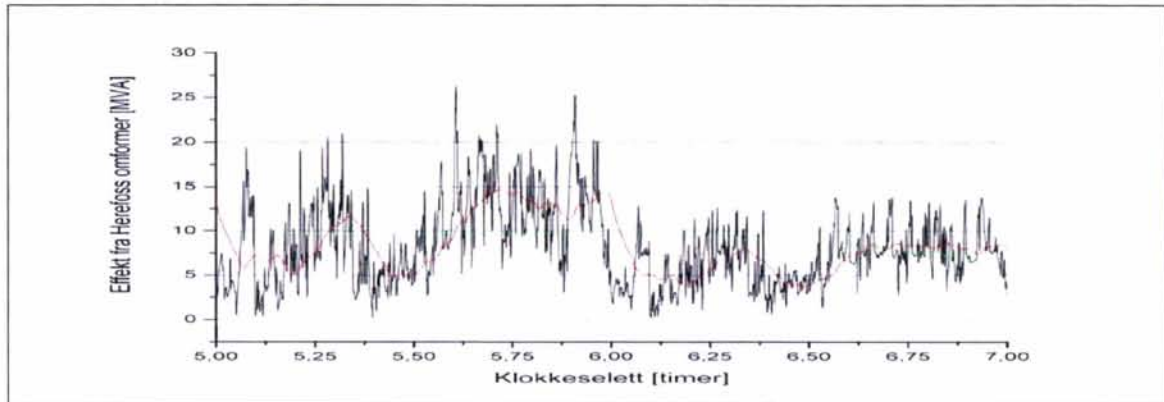
Simulering 5a AT-system med 381 mm ² tverrsnitt for NL og PL godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan							
Omformer	Innsatt ytelse [MVA]	Effekt					
		2 sek		6 min		1 time	
		[MVA]	[%]	[MVA]	[%]	[MVA]	[%]
Nordagutu	3 x 5,8	26,937	87	16,359	68	9,406	54
Herefoss	15	13,835	92	8,644	58	6,40	43
Leivoll	3 x 5,8	32,421	105	13,116	55	8,396	48

Tabell 10-4 Belastning av transformatorstasjoner. Simulering 5as med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss med statiske omformere. Høyeste tall for MEAN verdien av henholdsvis 2 sekunder, 6 minutter og 1 time. Prosentvis belastning av innsatt ytelse.

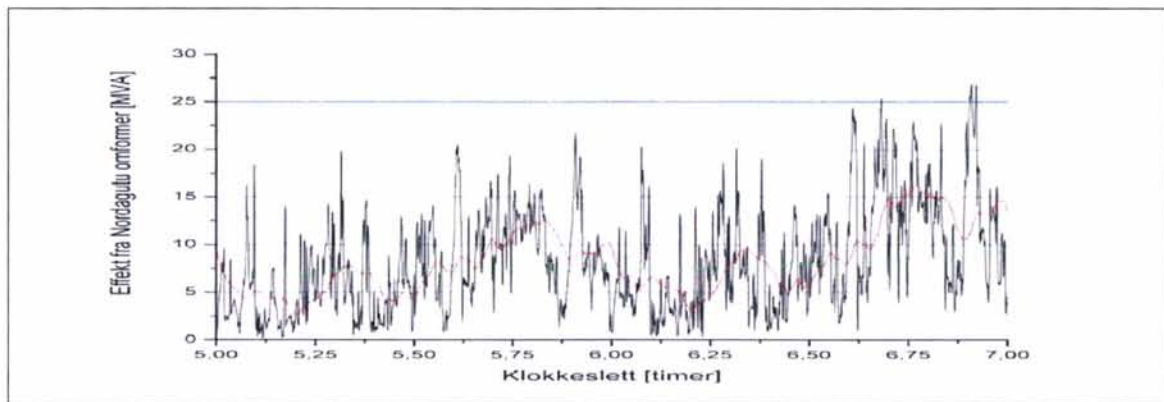
Simulering 5a AT-system med 381 mm ² tverrsnitt for NL og PL godstog med 1200 tonn lastvekt. Kapasitetsoptimal ruteplan				
Transformator	Innsatt ytelse [MVA]	Effekt [MVA]		
		2 sek	6 min	1 time
		Nordagutu	1 x 8,0	15,028
Tyri	1 x 8,0	8,984	4,142	2,218
Neslandsvatn	1 x 8,0	10,430	6,902	4,598



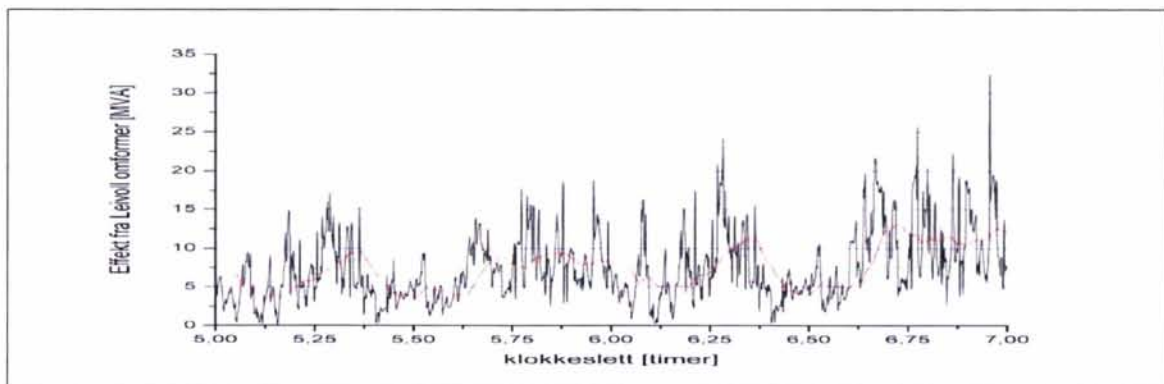
Figur 10-8 Strøm fra Herefoss omformerstasjon før og etter at et av aggregatene faller ut klokken 04:00. Simulering 5as med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss med statiske omformere.



Figur 10-9 Effekt fra Herefoss omformerstasjon før og etter at et av aggregatene faller ut klokken 04:00. MEAN verdier beregnet for 2 sekunder med svart strek, for 6 minutter med rødt strek og for 1 time med grønn strek. Simulering 5as med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss med statiske omformere.



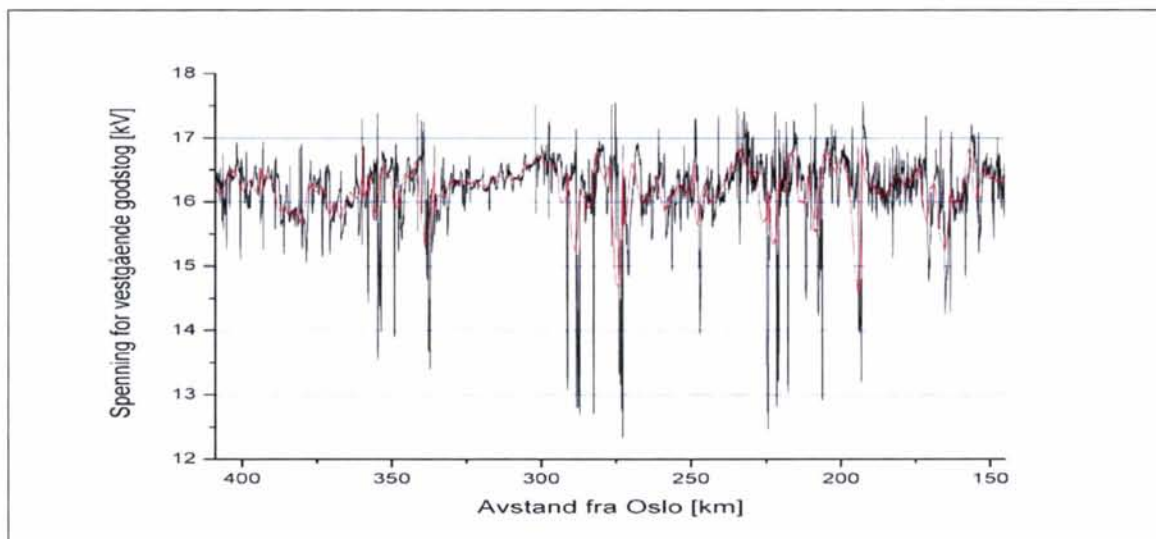
Figur 10-10 Effekt fra Nordagutu omformerstasjon før og etter at et av aggregatene faller ut klokken 04:00 i Herefoss. MEAN verdier beregnet for 2 sekunder med svart strek, for 6 minutter med rødt strek og for 1 time med grønn strek. Simulering 5as med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss med statiske omformere.



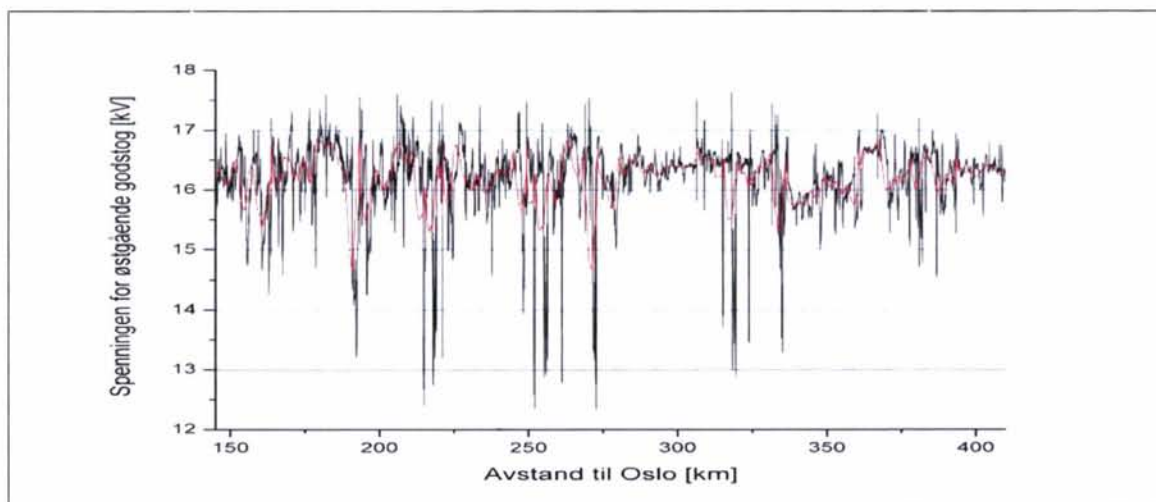
Figur 10-11 Effekt fra Leivoll omformerstasjon før og etter at et av aggregatene faller ut klokken 04:00 i Herefoss. MEAN verdier beregnet for 2 sekunder med svart strek, for 6 minutter med rødt strek og for 1 time med grønn strek. Simulering 5as med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss med statiske omformere.

10.3.2 Spenningen for togene

Spenningen for vest- og østgående godstog er vist nedenfor i Figur 10-12 og Figur 10-13. Som en ser kommer spenningen kortvarig ned mot 12 kV, men allikevel er den overveiende over 15,0 kV til tross for halv omformerkapasitet i Herefoss. Sammenlignes dette med simuleringene som er gjort med utfall av hele omformerstasjoner ser en at spenningen i dette tilfellet er betydelig bedre, i og med at spenningsfallene ned mot 12 kV er kortvarige og få, se simulering 5aa, 5aaa, 5aaaa og 5aaaak for å sammenligne. Ut fra spenningen som oppstår ved utfall av et aggregat i Herefoss ser det altså ut til at 2 x 15 MVA i Herefoss er passende ytelse.



Figur 10-12 Spenning for vestgående godstog fra Nordagutu til Ganddal. Simulering 5as med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss med statiske omformere. RMS verdier for spenningen er vist, og svart strek viser momentanverdi og rød viser 2 minutters verdi.



Figur 10-13 Spenning for østgående godstog fra Ganddal til Nordagutu. Simulering 5a med kapasitetsoptimal ruteplan, doble lokomotiver med lastvekt 1200 tonn, AT-system på strekningen mellom Neslandsvatn til Ganddal. Ny omformerstasjon på Herefoss med statiske omformere. RMS verdier for spenningen er vist, og svart strek viser momentanverdi og rød viser 2 minutters verdi.

11 REFERANSER

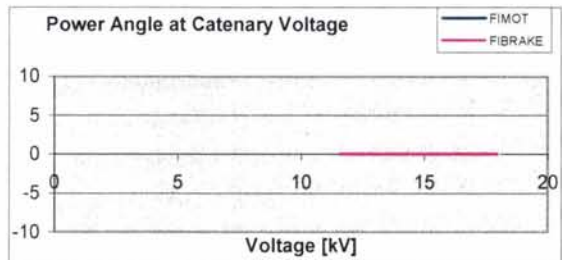
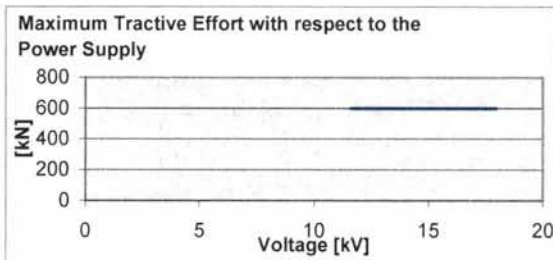
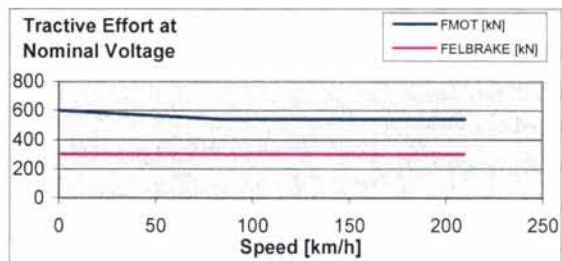
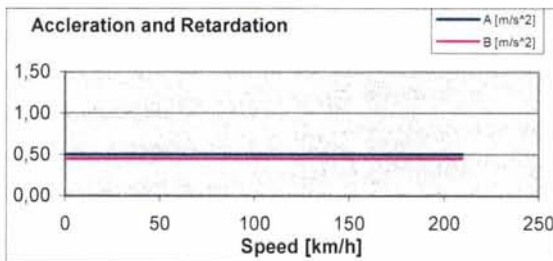
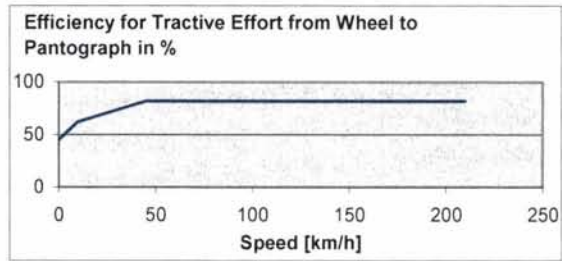
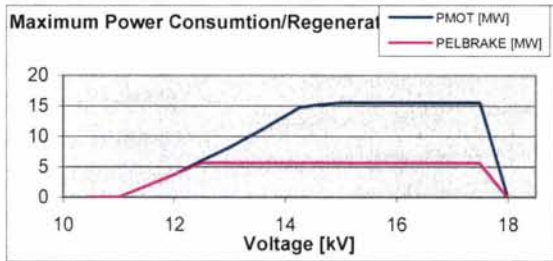
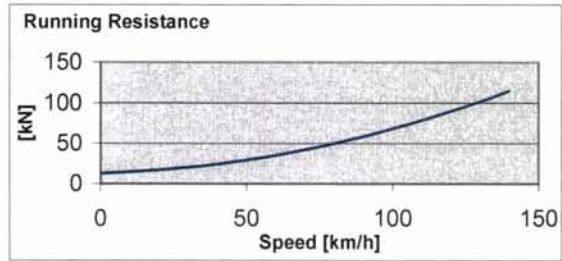
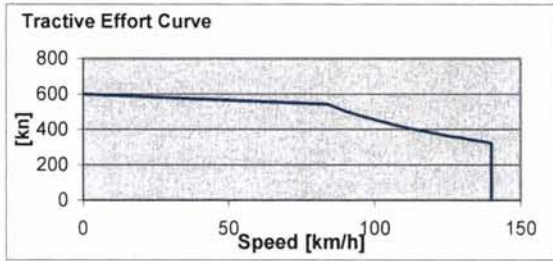
1. Rapport; "Fremtidig banestrømforsyning". Bane Energi, 30.09.2005
 2. Rapport; "Vurdering av tekniske løsninger for fremtidig banestrømforsyning". Jernbaneverket Utbygging Prosjektjenester, mars 2004.
 3. Utredning; "Vurdering av redundans- og dimensjoneringskriteriet for banestrømforsyningen". Jernbaneverket, ITPE, Steinar Danielsen, 6. desember 2005. Dokument nr 2004044562-17X
 4. Rapport; "Utredning av kontaktledningstap". Jernbaneverket Utbygging Prosjektjenester april 2004.
 5. Rapport; "Further investigation of AT-system for the Norwegian Railway, Part 2 – EMC study for ATPLNL system in Norway", György Varju, Budapest 2005.
 6. Rapport; "Tekniske vurderinger for Jernbaneverket – Faseavstander og belastningsstrømmer i nytt kontakt ledningsnett". Statnett, mai 2005.
 7. Rapport; "Beregning av termisk belastbarhet for høyspentkabler – AT-system i jernbanetunneler", Norconsult 02-05.2005.
 8. Notat; "Valg av tverrsnitt for NL og PL ledere i AT-system med seksjonert kontaktledning". Jernbaneverket, ITPE, 2006.
 9. Hovedrapport; "Utredning av kontaktledningstap". Jernbaneverket, Utbygging Prosjektjenester, 29.04.05.
 10. Rapport; "Systemstudie Kraftforsörjning Gällivare – Riksgrensen", Balfour Beatty Rail / Banverket, Preliminary 04-06-03.
 11. Utredning; "Mer på skinner fram mot 2040 - Jernbaneverkets stamnettutredning". Jernbaneverket, oktober 2006.
-

12 VEDLEGG 1

Nedenfor vises data for lokomotiver og godstog som det er simulert med.

Asynchronous train BR189			
Multiple lokomotiver og 1200 tonn lastvekt			
	Keyword	Value	Unit
Name of Train	ID	BR189	
Description of Train	Siemens		
Dynamic mass including load	DYNAMASS	1463	[metric tons]
Mass of train including load	MASS	1374	[metric tons]
Adhesion mass of train	ADHMASS	174	[metric tons]
Maximum speed	MAXSPEED	140	[km/h]
Speedmargin	SPEEDM	0	
Speedsort	SPEEDSORT	KM/H	
Signal length of train	SLENGHT	615	[m]
Distance between mass center and front of train	MCDIST	307,5	[m]
Curve resistance parameter 0	CR0	6,38	[kNm/tons]
Curve resistance parameter 1	CR1	55	[m]
Minimum allowed curve radius	CRMIN	56	[m]
Running resistance param. 1	RRA	13,36538	[kN]
Running resistance param. 2	RRB	9,64E-02	[kN/(km/h)]
Running resistance param. 3	RRC	4,50E-03	[kN/(km/h)^2]
Adhesion parameter 1	ADH1	7,5	[km/h]
Adhesion parameter 2	ADH2	44	[km/h]
Timeconstant for delay of pantograph current	TC	0,5	[s]
Nominal voltage at the patograph	UNOM	15	[kV]
Auxiliary Power taken from Converter Brigde	PAUXB	0,12	[MW]
Auxiliary Power factor at Converter Brigde	PFAUXB	0,8	[]
Auxiliary Power taken from Transformer	PAUXT	0	[MW]
Auxiliary Power factor at Transformer	PFAUXT	0,8	[]
Tractive Equipment No Load Losses	P0	0,014	[MW]
Maximum value of F*V from the Tractive Effort	TRAINLIMIT1	4,55E+04	[kN*km/h]
Tractive effort at MAXSPEED and UNOM	TRAINLIMIT2	324	[kN]

Characteristics for Asynchronous train BR189



13 VEDLEGG 2

Kapasitetsoptimal ruteplan.

14 VEDLEGG 3

Møtereferat fra møte angående valg av ruteplan for simuleringer av banestrømforsyningen avholdt den 2. september 2005.



Møtereferat:

Møte nr.:

24

Møte: Teknologisk strategi for banestrømforsyning og kl - dimensjonering av banestrømforsyningen

Saksref.: 04/00491 SJS 023

Sted: Oslo

Møtedato: 02.09.2005

Reførent: Frode Nilsen, Utredning, Plan og teknologi

Antall sider inkl. denne:

Deltakere: Per Pedersen/U/UP, Kjartan Kvernsveen/M/MK, Frank Tormod Martinsen/IT/ITPE, Steinar Danielsen/IT/ITPE

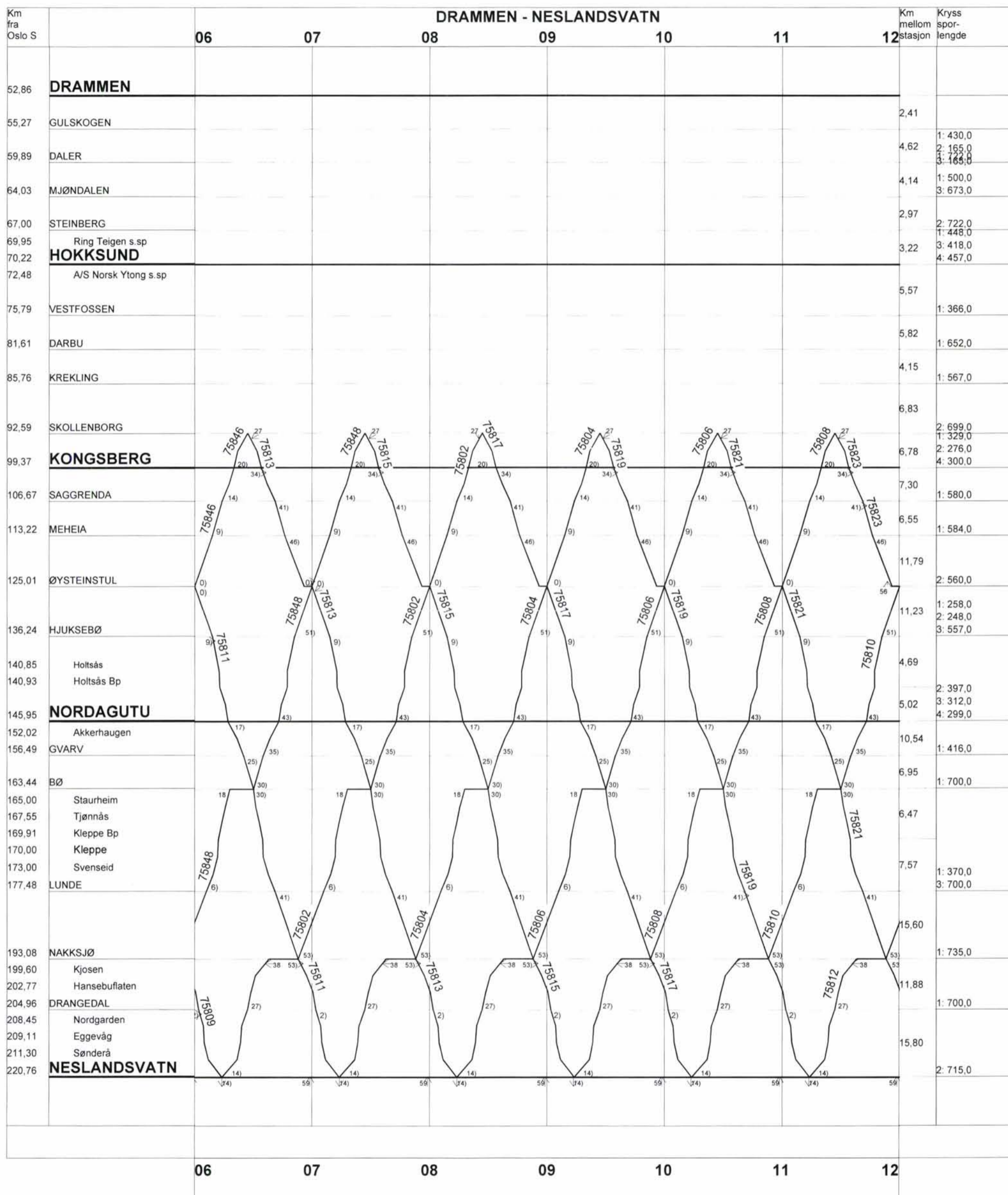
Fravær: Terje Eidsmoen/U/UP, Ivar Hagland/TB/TBE

Kopi til: Terje Eidsmoen/U/UP, Ivar Hagland/TB/TBE, Geir Hansen/U/UP, Paul Runnestø/U/UP

Sak nr.:	Saker til behandling	Ansvar	Frist
	<p>Møtet dreide seg i hovedsak om drøftelser vedrørende egnede dimensjonerende ruteplanmodeller for simulering av banestrømforsyningen, godstrafikk på dagtid, type godsvogner og aktuelle dimensjonerende lastvekter i godstog. Det ble gitt en presentasjon av prosjektet "strategiske ruteplaner".</p> <p>For simuleringer av banestrømforsyningen på Bergens- og Sørlandsbanen bør det benyttes kapasitetsoptimale rutemodeller som underlag.</p> <p>En økning av godstrafikken på dagtid legges til grunn.</p> <p>Det forventes økt bruk av 4-akslede godsvogner.</p> <p>For å bestemme valget av tverrsnitt i AT-anleggenes ledninger, bør det simuleres med økende lastvekter (for eksempel 1200, 1600, 2000 og 2500 tonn) for å fastlegge den lastvektgrense om krever økt tverrsnitt og eventuelt andre forsterkninger som mer robuste master, fundamenter og bardunering. Videre bør det foretas et kostnadsoverslag over merkostnader for slike forsterkningstiltak, samt en nytte/kostanalyse for ytterligere vurderinger.</p> <p>Det må også vurderes om anlegget på et senere tidspunkt kan forsterkes på en enkel og fleksibel måte, og om dette vil være en bedre løsning fremfor faren for overdimensjonering.</p>		

Sak nr.:	Saker til behandling	Ansvar	Frist
	Eventuelle kommentarer til møtereferat meldes til Frode Nilsen		

*Hilse
Frode Nilsen*



Tegnforklaring:

Togbetegnelser	Alle dager	Mandager - fredager unntatt helligdager	Andre kjøredagsmonster
Persontog	—————	-----	-----
Godstog	=====	-----	-----
Loslok, Tomtog	—————	-----	-----
Behovstog	-----	-----	-----

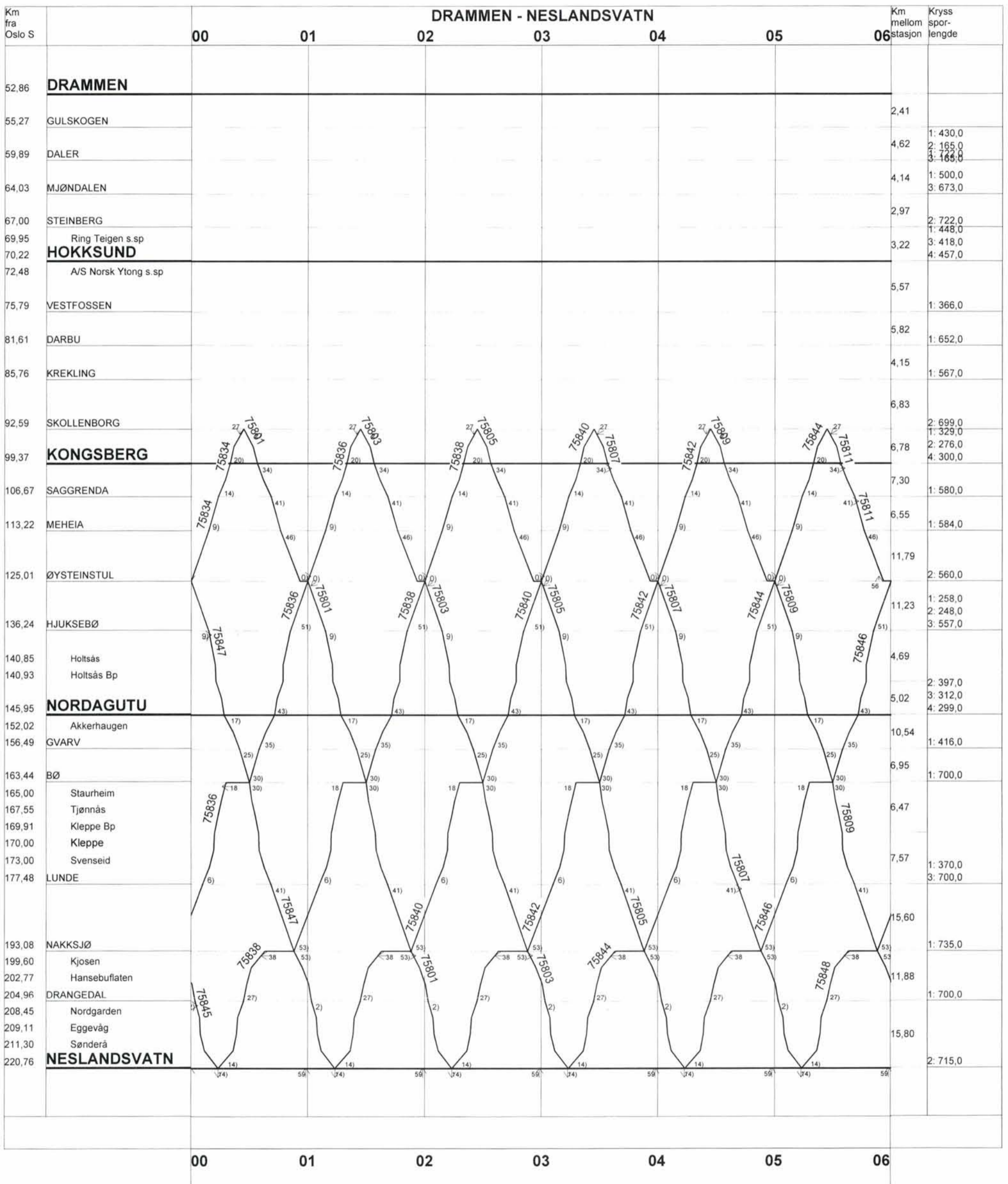
▲ - Ubetjent alle dager △ - Ubetjent helligdager ▼ - Ubetjent hverdager ▽ - Ubetjent lørdager ◇ - Ubetjent lørdager og helligdager ⊗ - Om betjening, se ruteboken
* - K j e d e b r u d d



Jernbaneverket

RUTEORD. NGJELDER FRA OG MED:
155.2 FORSLAG 2006

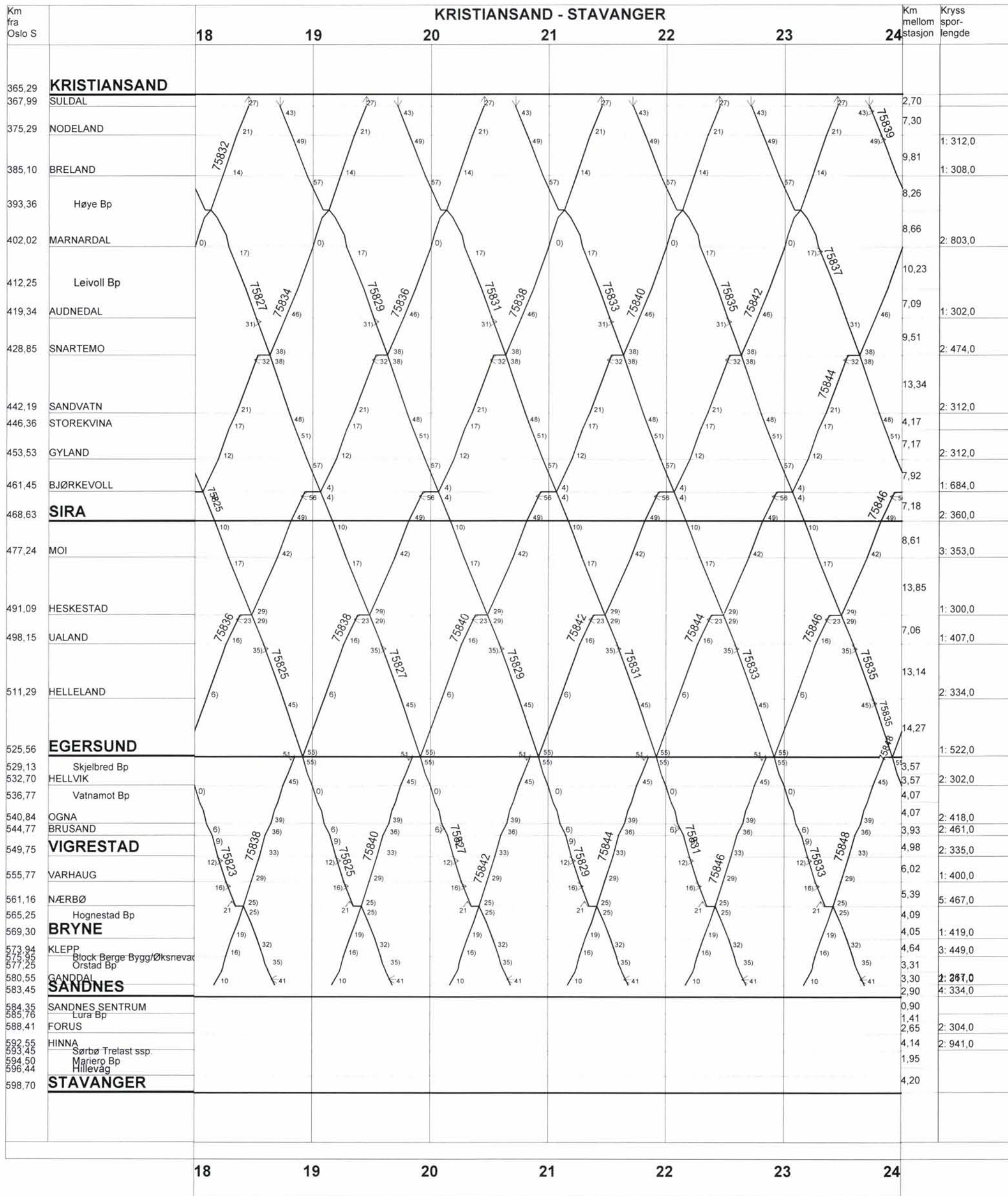
BLAD NR.
17



Tegnforklaring:

Togbetegnelser	Alle dager	Mandager - fredager unntatt helligdager	Andre kjoredagsmonster
Persontog	—————	-----	-----
Godstog	—————	-----	-----
Løstok, Tømtog	—————	-----	-----
Behøvstog	-----	-----	-----

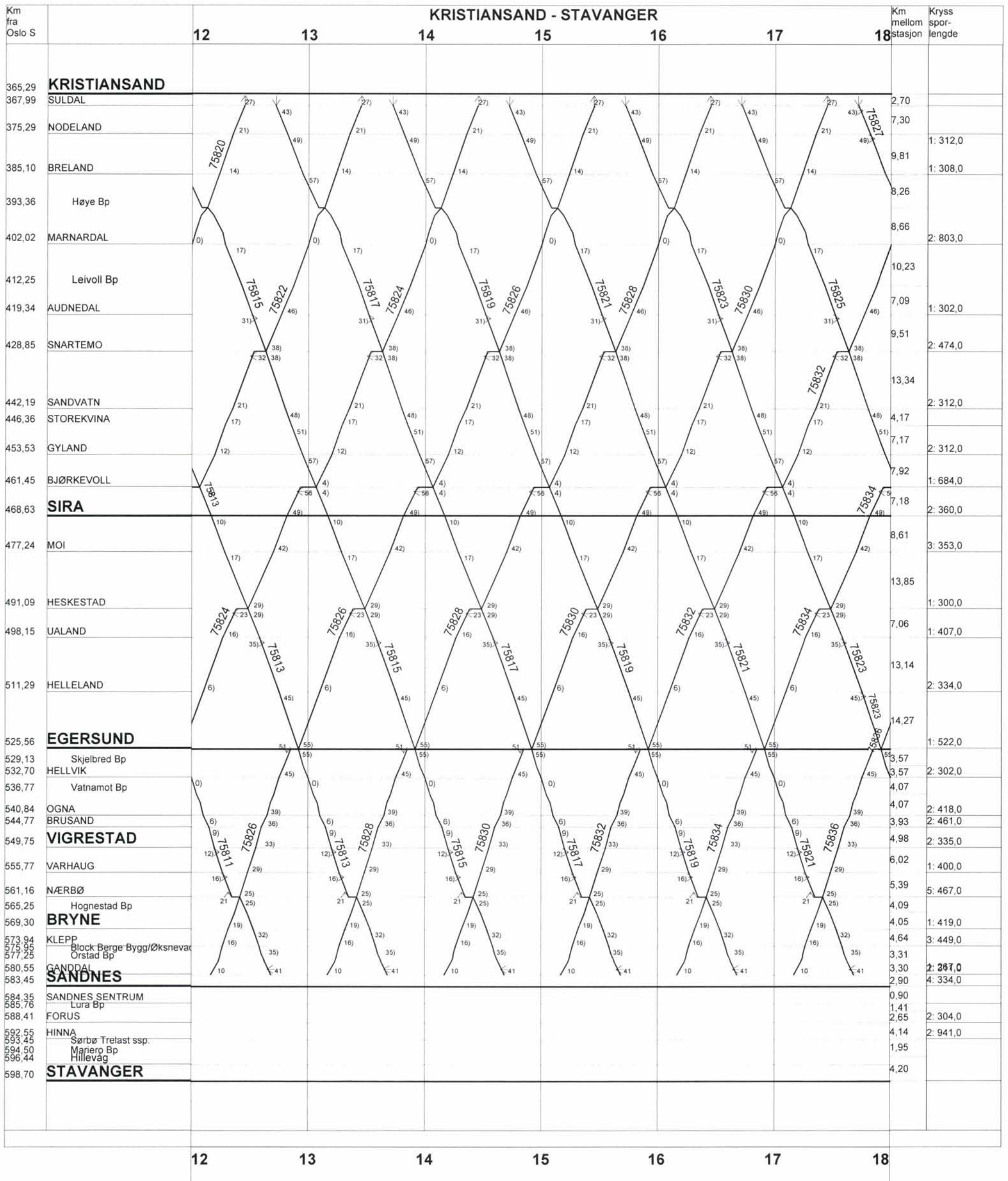
▲ - Ubetjent alle dager △ - Ubetjent helligdager ▼ - Ubetjent hverdager ▽ - Ubetjent lørdager ◆ - Ubetjent lørdager og helligdager ⊗ - Om betjening, se ruteboken
* - Kjedebrydd



Tegnforklaring:

Togbetegnelse	Alle dager	Mandager - fredager unntatt helligdager	Andre kjøredagsmonster
Persontog	—————	—————	-----
Godstog	—————	—————	-----
Loslok, Tomtog	—————	—————	-----
Behovstog	-----	-----	-----

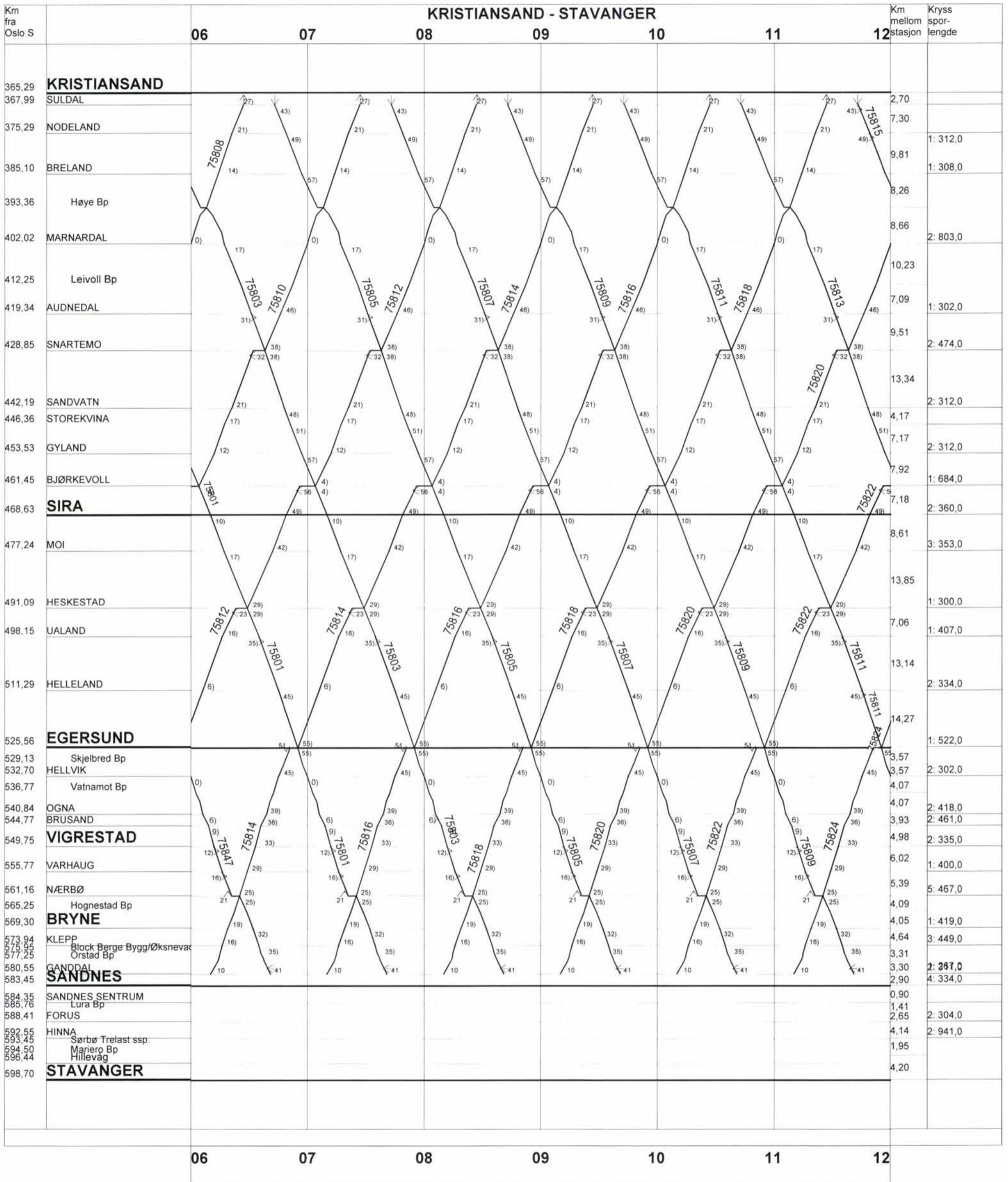
▲ - Ubetjent alle dager △ - Ubetjent helligdager ▼ - Ubetjent hverdager ▽ - Ubetjent lørdager ◇ - Ubetjent lørdager og helligdager ⊗ - Om betjening, se ruteboken
* - K j e d e b r u d d



Tegnforklaring:

Togbetegnelser	Alle dager	Mandager - fredager unntatt helligdager	Andre kjoredagsmonster
Persontog	—————	-----	-----
Godstog	—————	-----	-----
Loslok, Tomtog	—————	-----	-----
Behovstog	-----	-----	-----

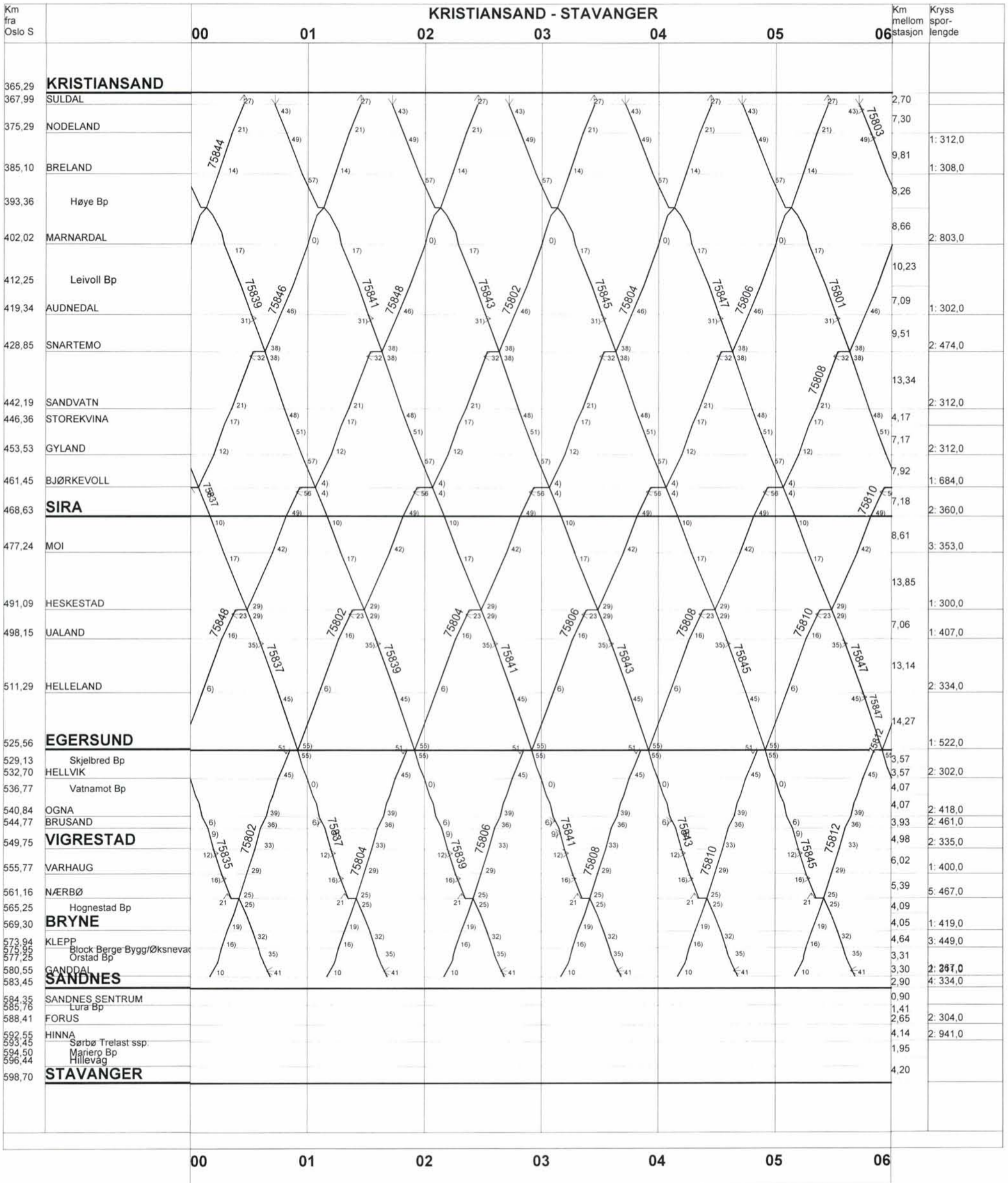
▲ - Ubetjent alle dager △ - Ubetjent helligdager ▼ - Ubetjent hverdager ▽ - Ubetjent lørdager ◆ - Ubetjent lørdager og helligdager ⊗ - Om betjening, se ruteboken
* - Kjedebredd



Tegnforklaring:

Togbetegnelser	Allre dager	Mandager - fredager unntatt helligdager	Andre kjøredagsmonster
Persontog	—————	—————	-----
Godstog	—————	—————	-----
Loslok, Tomtog	—————	—————	-----
Behovstog	-----	-----	-----

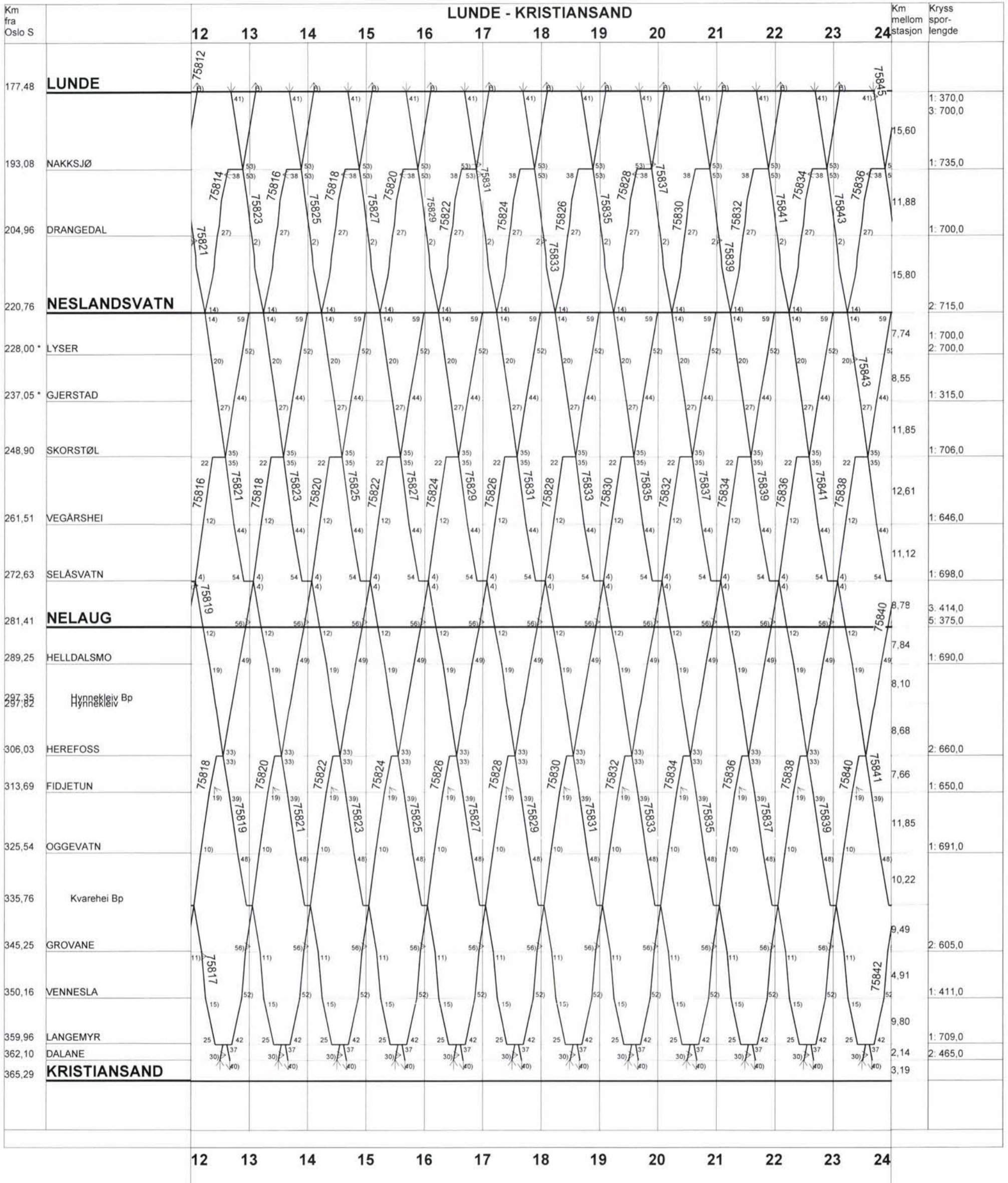
▲ - Ubetjent alle dager △ - Ubetjent helligdager ▼ - Ubetjent hverdager ▽ - Ubetjent lørdager ◆ - Ubetjent lørdager og helligdager ⊗ - Om betjening, se ruteboken
 * - Kjedebrydd



Tegnforklaring:

Togbetegnelser	Allre dager	Mandager - fredager unntatt helligdager	Andre kjoredagsmonster
Persontog	————	-----	-----
Godstog	————	-----	-----
Loslok, Tomtog	————	-----	-----
Behovstog	-----	-----	-----

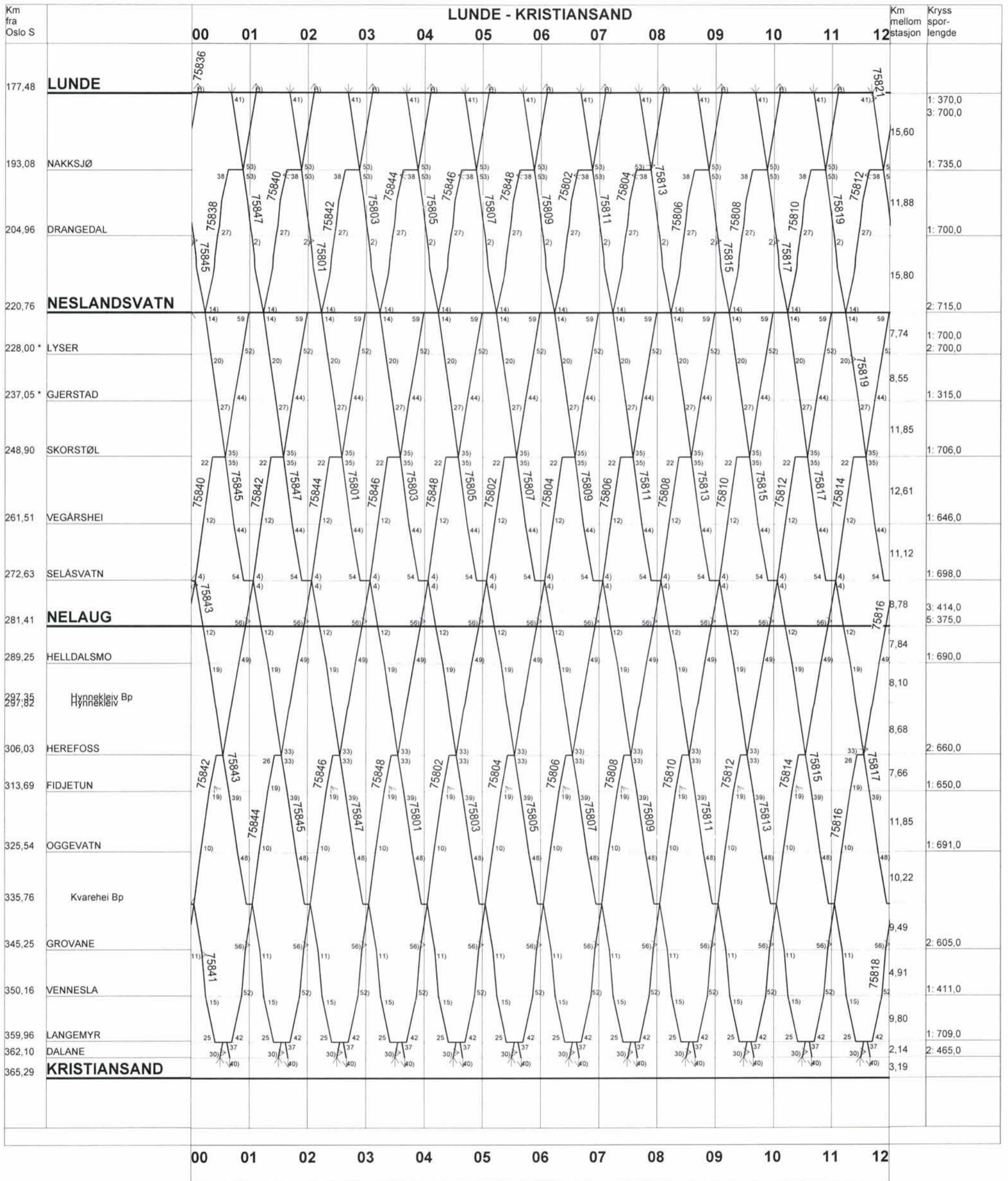
▲ - Ubetjent alle dager △ - Ubetjent helligdager ▼ - Ubetjent hverdager ▽ - Ubetjent lørdager ◆ - Ubetjent lørdager og helligdager ⊗ - Om betjening, se ruteboken
* - K j d e b r u d d



Tegnforklaring:

Togbetegnelser	Alle dager	Mandager - fredager unntatt helligdager	Andre kjøredagsmonster
Persontog	—————	—————	-----
Godstog	—————	—————	-----
Loslok, Tomtog	—————	—————	-----
Behovstog	-----	-----	-----

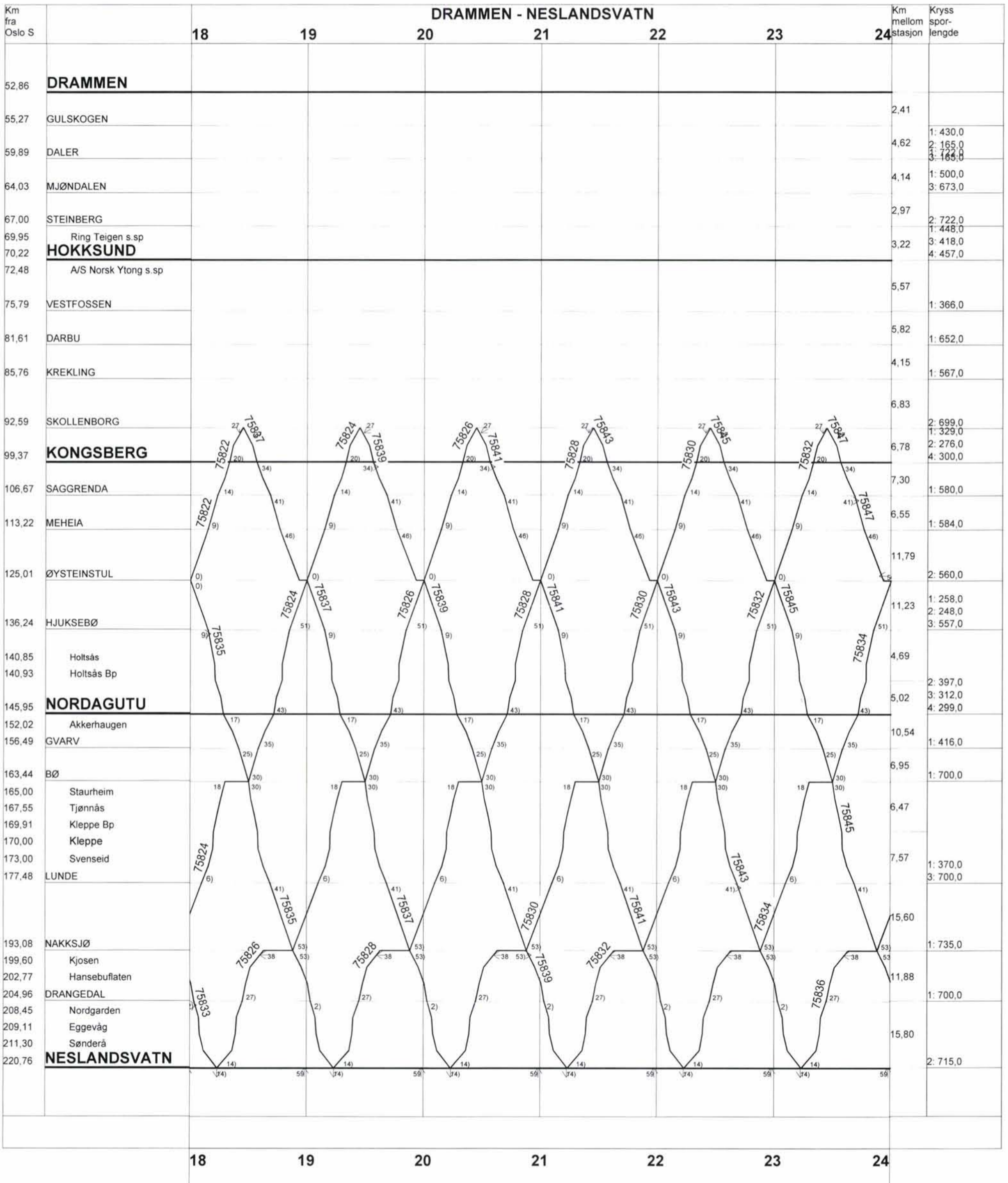
▲ - Ubetjent alle dager △ - Ubetjent helligdager ▼ - Ubetjent hverdager ▽ - Ubetjent lørdager ◇ - Ubetjent lørdager og helligdager ⊗ - Om betjening, se ruteboken
* - K j e d e b r u d d



Tegnforklaring:

Togbetegnelse	Alle dager	Mandager - fredager unntatt helligdager	Andre kjoredagsmonster
Persontog	—————	—————	-----
Godstog	—————	—————	-----
Loslok, Tomtog	—————	—————	-----
Behovstog	-----	-----	-----

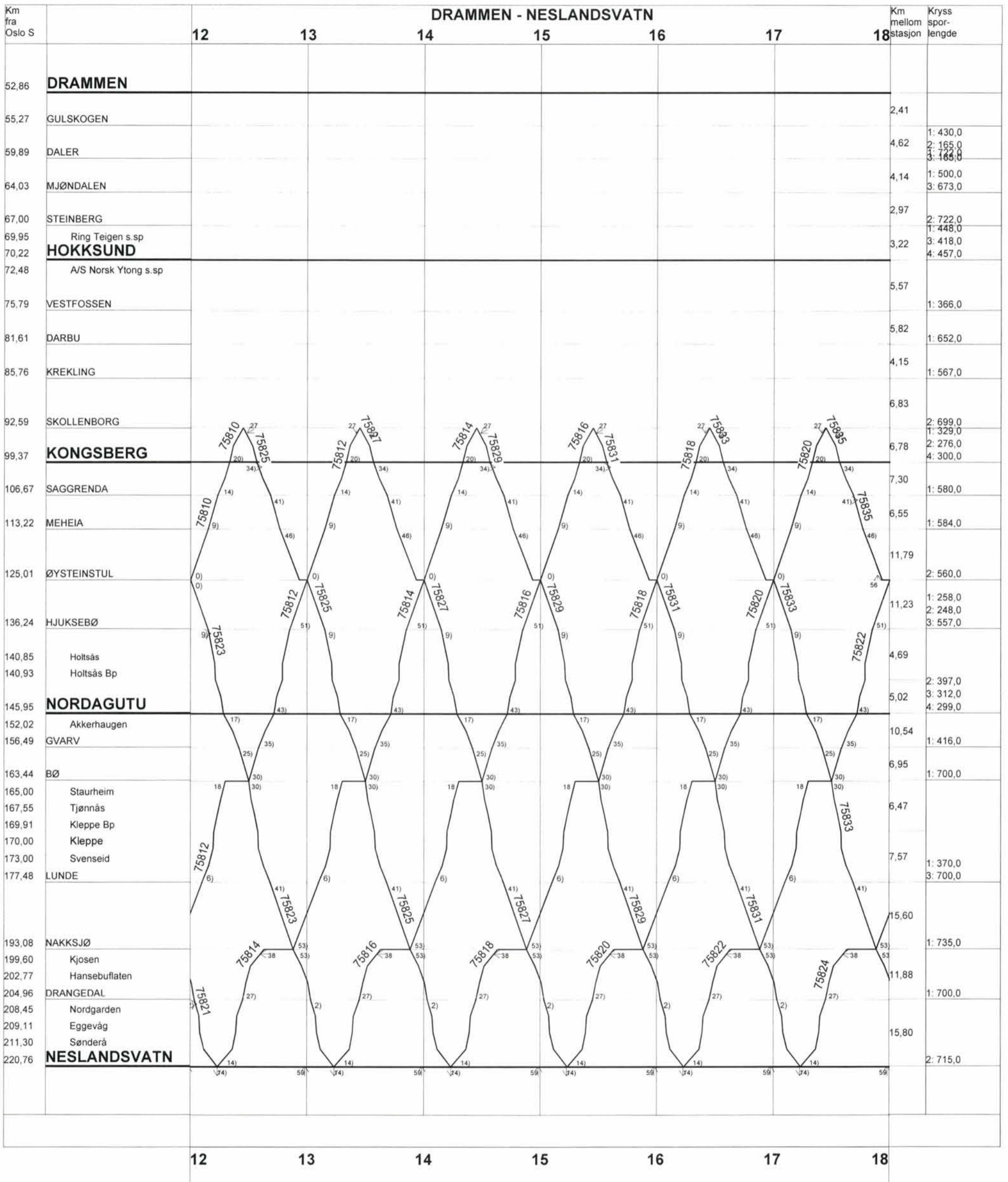
▲ - Ubetjent alle dager △ - Ubetjent helligdager ▼ - Ubetjent hverdager ▽ - Ubetjent lørdager ◇ - Ubetjent lørdager og helligdager ⊗ - Om betjening, se ruteboken
 * - Kjedebrydd



Tegnforklaring:

Togbetegnelse	Alle dager	Mandager - fredager unntatt helligdager	Andre kjøredagsmonster
Persontog	—————	-----	-----
Godstog	—————	-----	-----
Losøk, Tomtog	—————	-----	-----
Bchovstog	-----	-----	-----

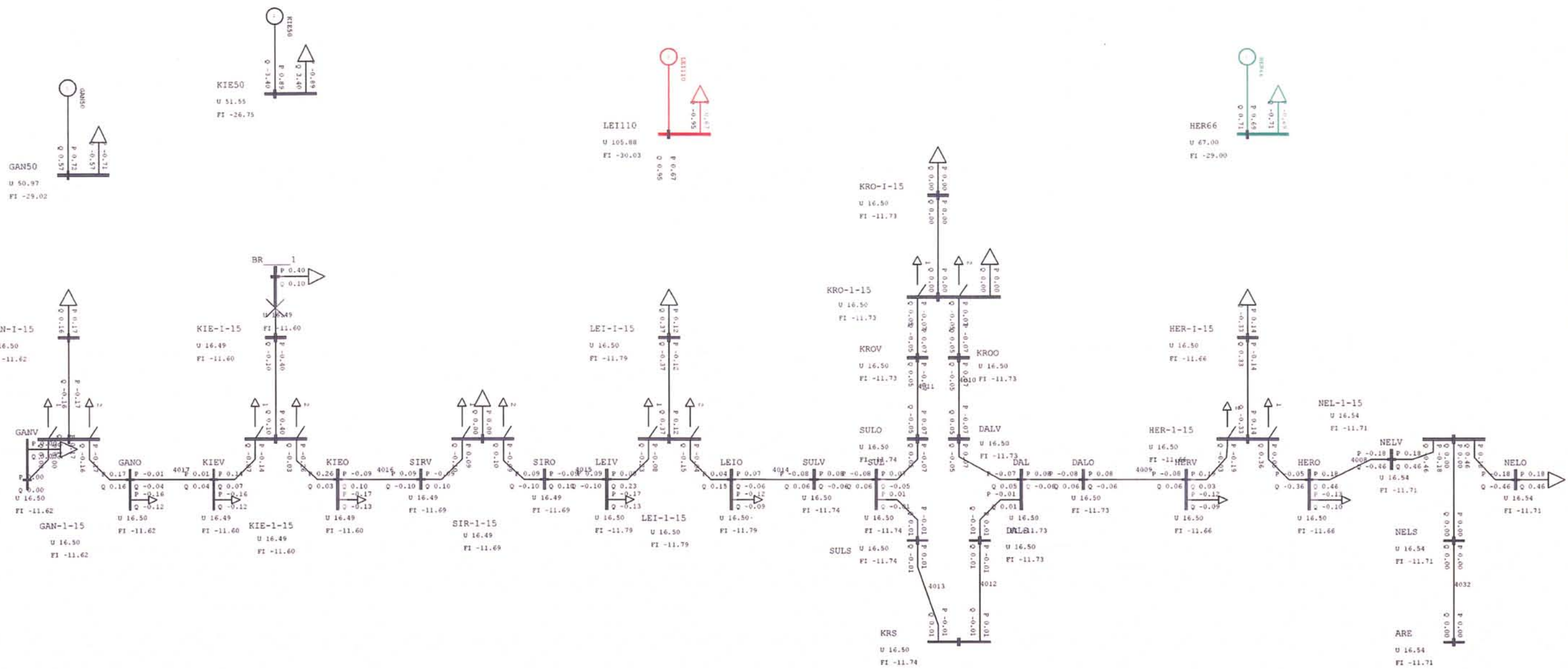
▲ - Ubetjent alle dager △ - Ubetjent helligdager ▼ - Ubetjent hverdager ▽ - Ubetjent lørdager ◇ - Ubetjent lørdager og helligdager ⊗ - Om betjening, se ruteboken
* - Kjødebrudd



Tegnforklaring:

Togbetegnelser	Alle dager	Mandager - fredager unntatt helligdager	Andre kjoredagsmonster
Persontog	—————	-----	-----
Godstog	—————	-----	-----
Loslok, Tomtog	—————	-----	-----
Behovstog	-----	-----	-----

▲ - Ubetjent alle dager △ - Ubetjent helligdager ▼ - Ubetjent hverdager ▽ - Ubetjent lørdager ◇ - Ubetjent lørdager og helligdager ⊗ - Om betjening, se ruteboken
 * - Kjedebrudd



Uten Haktank kraftbæsjen, uten stabilisator

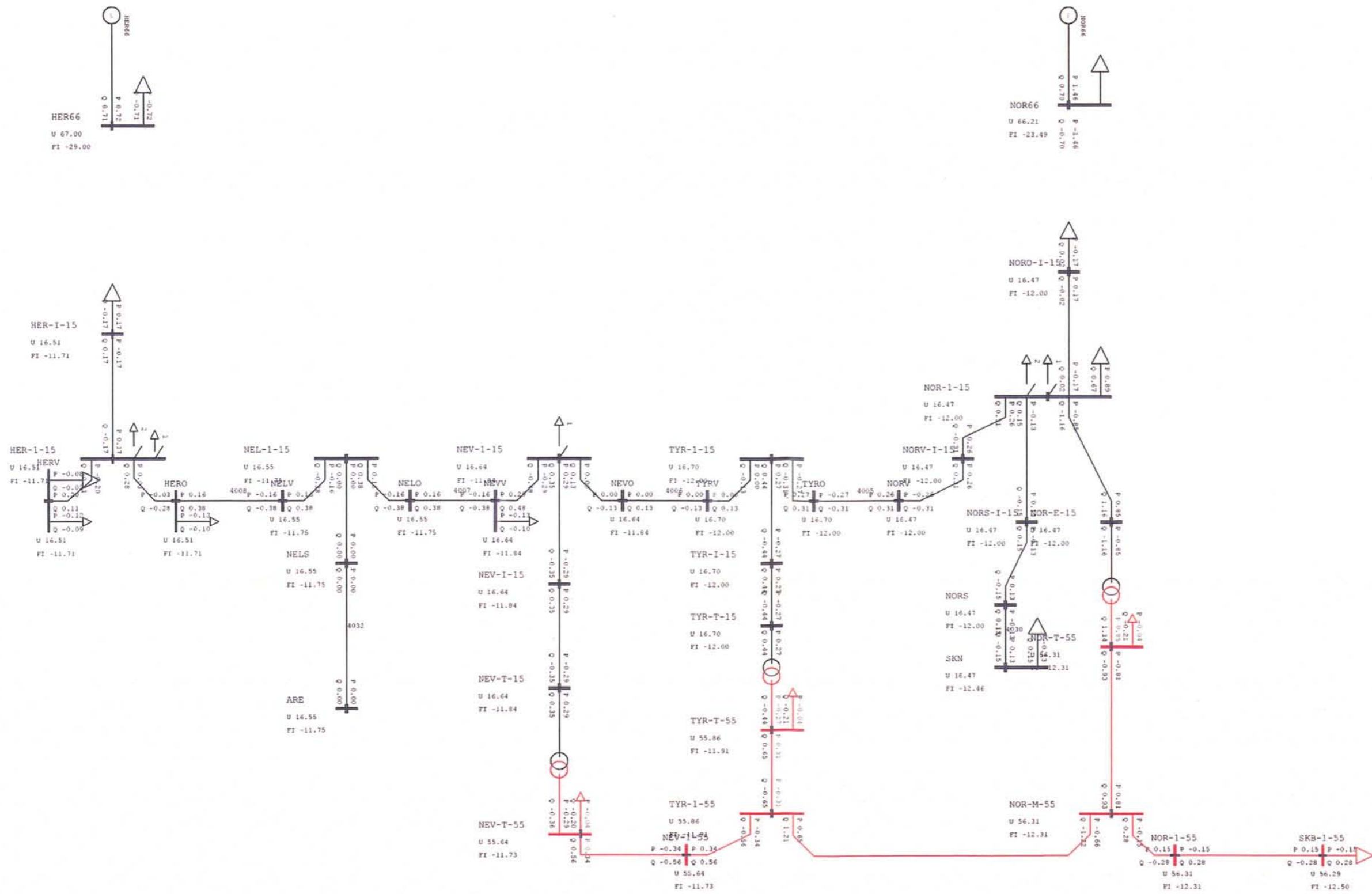
POSITIVE SEQUENCE QUANTITIES at time= 746.873
 ACTIVE/REACTIVE POWER IN MW AND MVar
 VOLTAGES MAGNITUDE AND ANGLE IN KV AND DEGREES (PHASE TO PHASE VOLTAGES)



JOB: SIMALT3 C
 GRF: SØRLANDSBANEN

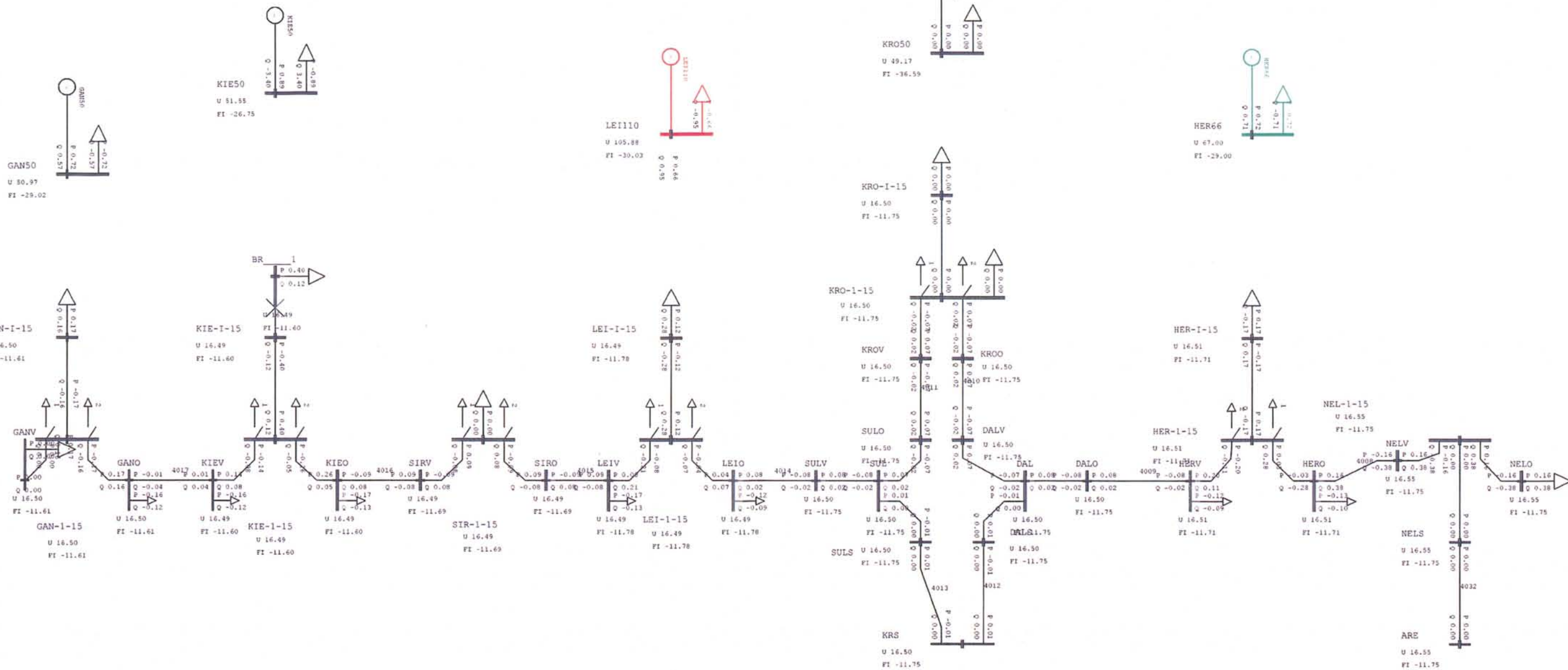
Filnavn: Sim5a.dynpow
 Dato: 08.05.2006 13:02

ZINBOM®



Uben Hakavik Kraftstasjon

POSITIVE SEQUENCE QUANTITIES at time= 710.000
 ACTIVE/REACTIVE POWER IN MW AND MVar
 VOLTAGES MAGNITUDE AND ANGLE IN KV AND DEGREES (PHASE TO PHASE VOLTAGES)



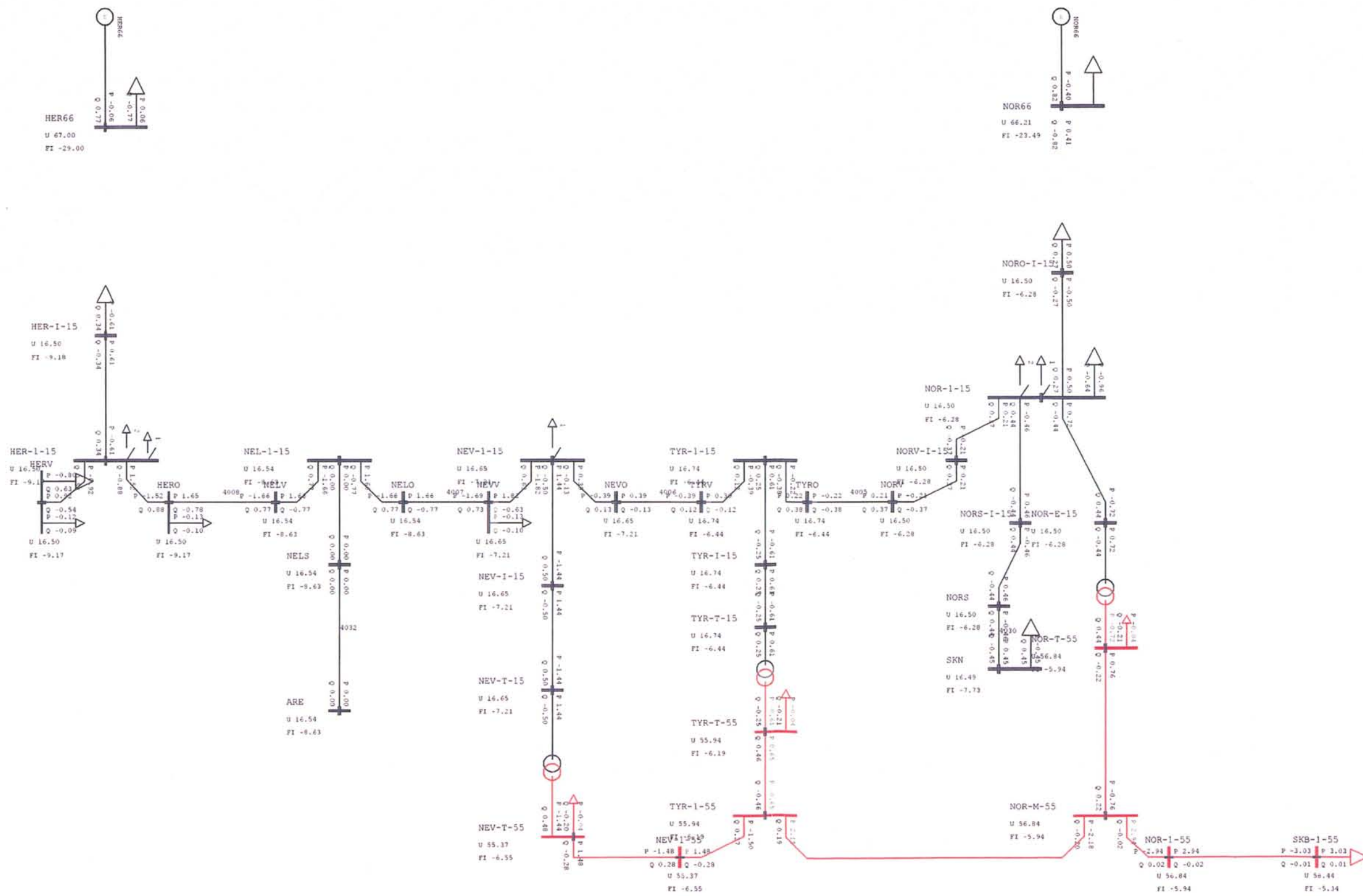
POSITIVE SEQUENCE QUANTITIES at time= 710.000
 ACTIVE/REACTIVE POWER IN MW AND MVar
 VOLTAGES MAGNITUDE AND ANGLE IN KV AND DEGREES (PHASE TO PHASE VOLTAGES)



JOB: SIMALT3 C
 GRF: SØRLANDSBANEN

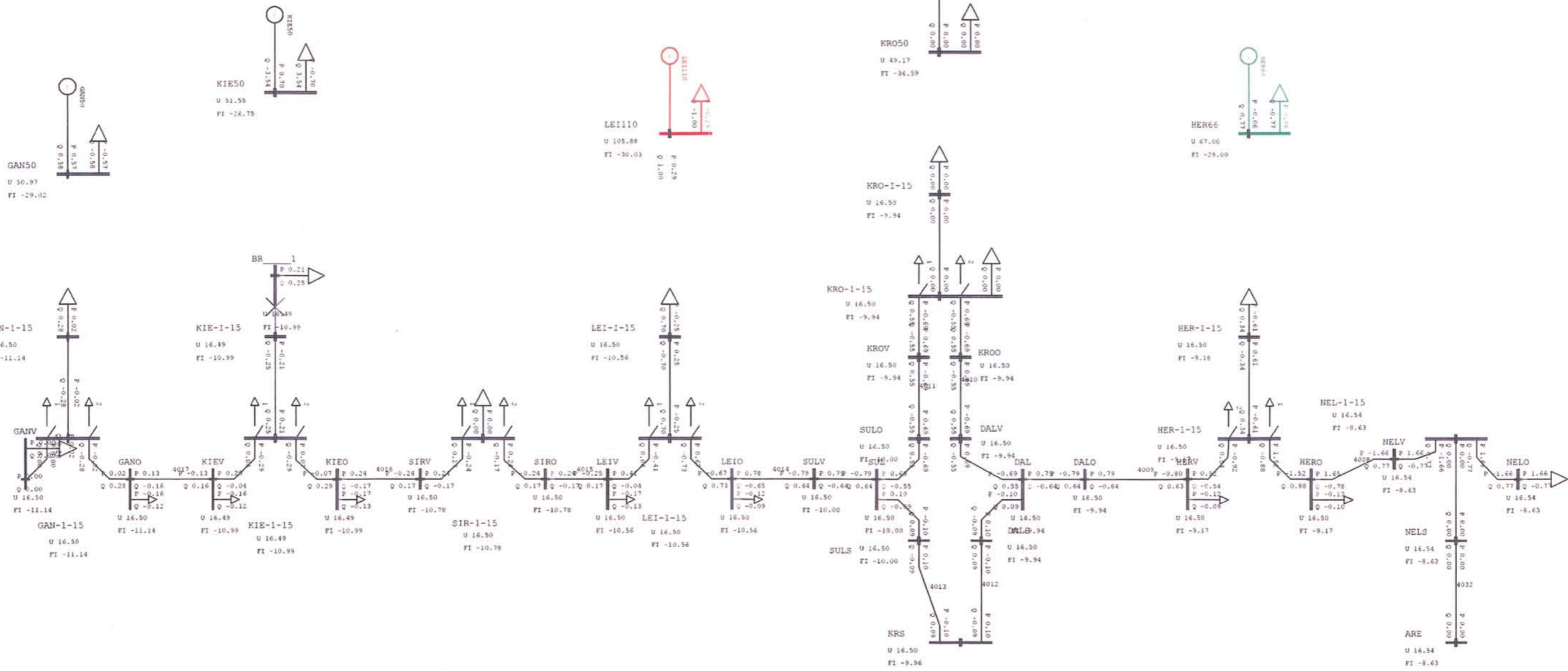
Filnavn: Sim5a.dynpow
 Dato: 08.05.2006 13:02

Uten Håkavik kraftstasjon
 SIMBOMB



POSITIVE SEQUENCE QUANTITIES at time= 710.000
ACTIVE/REACTIVE POWER IN MW AND MVar
VOLTAGES MAGNITUDE AND ANGLE IN KV AND DEGREES (PHASE TO PHASE VOLTAGES)

Tungang loslyst utan fallende statikk



POSITIVE SEQUENCE QUANTITIES at time= 710.000
 ACTIVE/REACTIVE POWER IN MW AND MVar
 VOLTAGES MAGNITUDE AND ANGLE IN KV AND DEGREES (PHASE TO PHASE VOLTAGES)

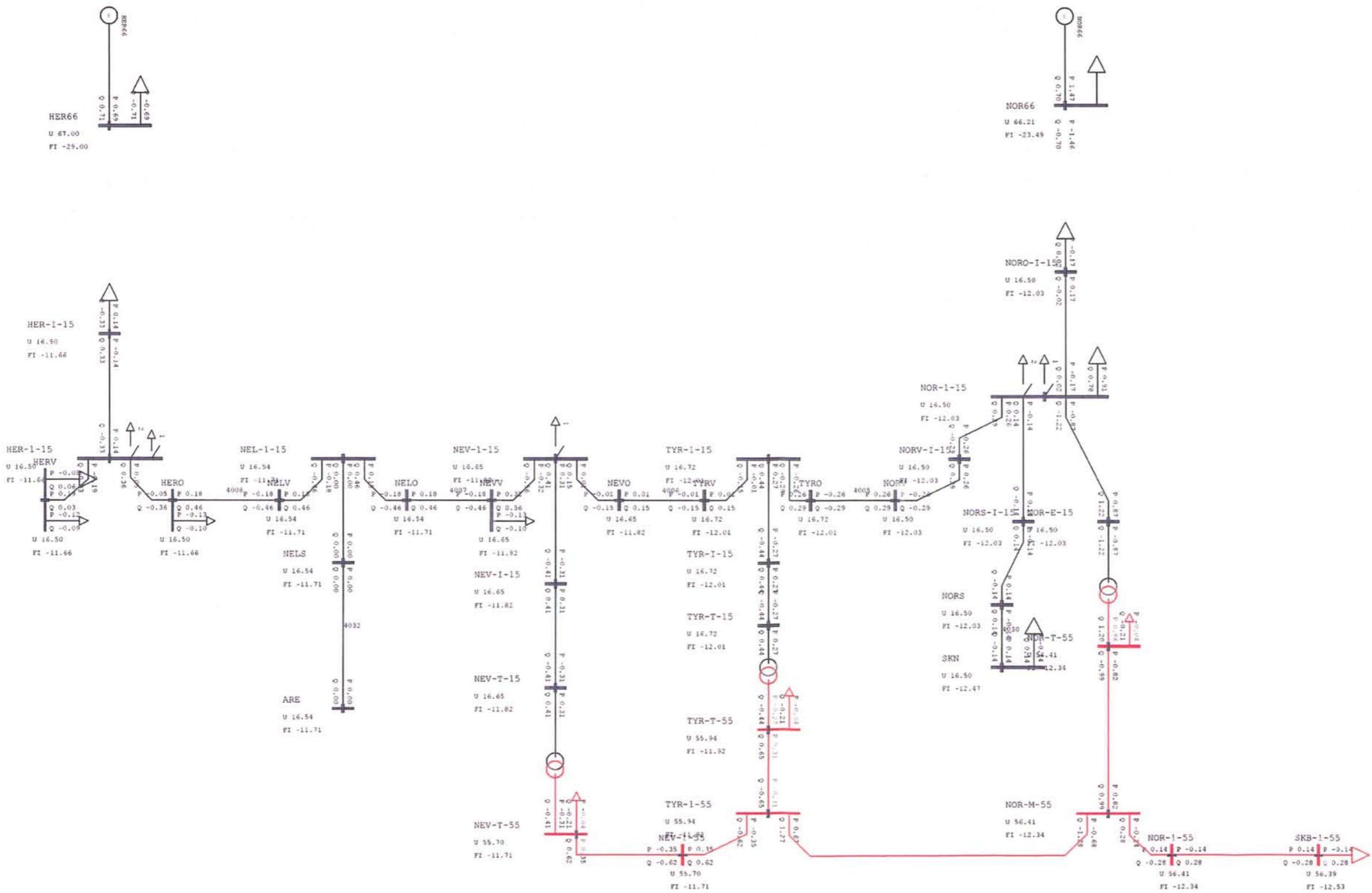
Tangang lastflyt uten statikk



JOB: SIMALT3 C
 GRF: SØRLANDSBANEN

Filnavn: Sim5a.dynpow
 Dato: 08.05.2006 13:02

SIMBOM®



POSITIVE SEQUENCE QUANTITIES at time= 746.873
 ACTIVE/REACTIVE POWER IN MW AND MVar
 VOLTAGES MAGNITUDE AND ANGLE IN KV AND DEGREES (PHASE TO PHASE VOLTAGES)



JOB: SIMALT3_C
 GRF: VESTSØR

Filnavn: Sim5a.dynpow
 Dato: 08.05.2006 13:02

uten Håkavik kraftstasjon uten statikk
 SIMBOM®