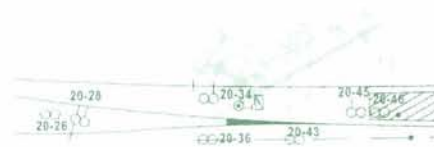


Simuleringsrapport

Banestrømforsyningen på Dovrebanen

Jernbaneverket Region Nord og Region Øst



Eks.1

Dovrebanen

621.332.3

Prosjektnr.: **199292**
Saksref.: **00/114 JI 760**
Prosjektnavn: **Hovedplan for Banestrømforsyningen på Dovrebanen,
Simuleringsrapport**
Oppdragsgiver: **Jernbaneverket Region Nord og Region Øst**
Rapport nr.: **1**

Sammendrag

Tidligere Hovedplan fra 1994 "Forsterkning av banestrømforsyningen på Dovrebanen" anbefaler nye statiske omformere på 2 x 6,0MVA på Rudshøgda, Otta, Hjerkin, Garli og Stavne.

I 1996 ble "Hovedplan for banestrømforsyningen på Dovrebanen, gjenværende strekninger" utgitt. Den omhandler strekningene Dombås – Lundamo og konkluderer med at midlertidig kompaktomformer på 2 x 2,0MVA installeres på Garli. Senere bygges det nytt kl-anlegg med forsterkningsledning mellom Oppdal og Lundamo. For strekningen Dombås - Oppdal er det anbefalt at det bygges en midlertidig kompaktomformer på Hjerkin med ytelse 2 x 2,0MVA. I 2007 bygges det et nytt KL-anlegg med forsterkningsledning mellom Dombås og Oppdal. Dette koordineres med fornying av KL-anlegget.

"Landsdekkende kraftsystemplan" fra 1999 anbefaler nye undersøkelser før disse omformerstasjonene eller andre forsterkningstiltak iverksettes. Grunnen til dette er endrede ruteplaner og nytt traksjonsmateriell med bedre "elektriske" egenskaper. Denne simuleringsrapporten danner grunnlag for ny Hovedplan for Dovrebanen på bakgrunn av "Landsdekkende kraftsystemplan"

I utredningene angående fremtidig trafikk på Dovrebanen er det fra NSB Gods uttrykt ønske om å kjøre med store godstog med en lastvekt på 1250 tonn. For disse togene forutsettes det multiple E16 lokomotiver. Simuleringene er utført i Simtrac på bakgrunn av ruteplan R149.1 gjeldene fra 11. juni 2000 med innføring av de tunge godstogene som eneste endring. Også simuleringer med kapasitetsoptimal ruteplan utarbeidet av Hovedkontoret er utført. De simulerte ruteplanene er tatt frem i samråd med, og godkjent til formålet av Jernbaneverket Hovedkontoret.

Simulering i Simtrac uten forsterkningstiltak i banestrømforsyningen, viser at trafikk med denne typen godstog gir stor belastning av strømforsyningen. Lave spenninger oppstår på kontaktledningen på hele banestrekningen, unntatt delstrekningene Lillestrøm – Tangen og Lundamo - Trondheim. Flere omformerstasjoner blir mye overbelastet, spesielt Rudshøgda, Otta og til dels Dombås. Disse stasjonene er så mye overbelastet at det forårsaker lave spenninger på kontaktledningen. Tabellen nedenfor oppsummerer dette. Det bemerkes at også persontogene får lave spenninger.

Laveste spenning for person- og godstog. Dag – og nattsimulering med dagens anlegg og godstog med doble E16 lokomotiver. Dagens banestrømforsyning uten forsterkninger

Strekning	Tog nummer og type	Laveste spenning [kV]	Sted fra Oslo [km]	Klokken
Tangen – Rudshøgda - Fåberg	Passasjertog 335	12,2	132	23:28
	Godstog 5791	11,5	142	12:11
Fåberg - Fron	Nattog 405	12,3	218	02:10
	Godstog 5714	11,7	215	13:18
Fron – Otta – Dombås	Nattog 406	12,3	285	02:57
	Godstog 5715	11,9	309	01:12
Dombås – Oppdal	Nattog 405	12,4	381	04:39
	Godstog 5715	11,7	378	02:44
Oppdal – Lundamo	Krengetog 47	12,5	480	21:50
	Godstog 5793	11,7	493	03:37

Flere simuleringer med ulike tiltak er utført. Simulering med forsterkningsledning fra Oppdal til Lundamo og simulering med kompaktomformer på Garli, i henhold til tiltak i hovedplan av 1996, viste seg å ikke gi noen vesentlig forbedring med hensyn på lave spenninger.

Alternativet med reduksjon av maksimalt pådrag i multiple lokomotiver peker seg ut som det enkleste tiltaket for å forhindre lav spenning. Simulering med pådragsbegrensning og dagens banestrømforsyning viste at ved å redusere maksimalt tillatte effekt til 70% oppstår det lave spenninger, men ikke under 12,0kV.

Simuleringer med redusert pådrag på doble EI16 lokomotiver og øket ytelse i omformerstasjonene er utført. Med redusert pådrag på de multiple EI16 lokomotivene blir belastningen av omformerne mindre. Simuleringer er utført med øket ytelse i omformerstasjonene, tabellen nedenfor viser resultatene fra simulering med pådragsbegrensning for doble EI16 lokomotiver. En ny omformer er etablert på Hjerkin på grunn av høye strømmer fra Dombås og nordover. Oppdal omformer får en belastning som tilsier at aggregater på 2 x 7,0MVA er nødvendig.

Belastning av omformere med forsterkning av Rudshøgda, Otta, Dombås og Oppdal. Ny omformer på Hjerkin. Ordinær ruteplan og pådragsbegrensning på de doble EI16 lokomotivene

Omformer	Innsatt ytelse Effekt	Simulering 10a								
		Effekt						Strøm [kA]		
		1 time			6 minutter			2 sekunder		
		[MVA]	[MVA]	[%]	[kl]	[MVA]	[%]	[kl]	[kA]	[%]
Tangen	2 x 7,0	5,44	39	22:12	9,17	41	22:12	1,33	80	04:00
Rudshøgda	2 x 5,8	5,04	43	00:12	10,0	62	03:14	1,49	119	03:12
Fåberg	2 x 5,8	5,11	44	00:50	7,39	46	20:57	1,32	106	02:29
Fron	2 x 5,8	6,40	55	01:30	8,34	52	01:51	1,47	118	02:04
Otta	2 x 5,8	6,41	55	01:35	9,32	58	01:32	1,15	92	03:17
Dombås	2 x 7,0	7,25	52	02:44	15,76	72	01:50	1,32	80	00:09
Hjerkin	2 x 5,8	4,63	40	01:58	8,11	51	04:07	0,88	70	04:06
Oppdal	2 x 7,0	5,22	37	23:07	9,81	46	22:50	1,15	70	01:18
Garli	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lundamo	2 x 7,0	5,35	38	22:22	9,24	42	22:14	1,10	67	05:39
Stavne	2 x 7,5	2,99	20	22:17	7,06	-	23:45	0,65	71	23:41

Pådragsbegrensningen er et tiltak som forhindrer lave spenninger og gir mindre belastning av omformerne. Større omformere ved Rudshøgda, Otta, Dombås og Oppdal er nødvendig for å begrense overbelastning i normal drift, ved avvikssituasjoner og ved utfall av omformeraggregater. Med større omformere vil laveste simulerte spenning på kontaktledningen øke til verdier over 12,2 kV. Men selv på strekningen Tangen – Rudshøgda – Fåberg der det kun blir ca 40km mellom omformerne kommer spenningen under 13,0kV.

Laveste spenning for person- og godstog. Nattsimulering med pådragsbegrensning for godstogene og forsterkning av omformere

Simulering 10a				
Strekning	Tog nummer og type	Laveste spenning [kV]	Sted fra Oslo [km]	Klokken
Tangen – Rudshøgda - Fåberg	Passasjertog 331	13,8	128	21:42
	Godstog 5716	12,9	127	03:41
Fåberg - Fron	Nattog 405	12,2	230	02:18
	Godstog 5254	12,3	233	02:18
Fron – Otta – Dombås	Nattog 406	13,5	285	02:57
	Godstog 5251/ 5792	13,1	223 / 321	23:20 / 02:50
Dombås – Oppdal	Nattog 406	14,0	403	00:58
	Godstog 5701	13,8	406	00:59
Oppdal – Lundamo	Krengetog 47	12,8	481	21:50
	Godstog 5716	12,5	477	21:50

For Dombås omformer er det utført en simulering med 2 x 7,0MVA og deretter utfall av det ene aggregatet. Da viste det seg at det gjenværende aggregatet ville bli overbelastet. Dette gjelder selv om doble EI16 lokomotiver har pådragsbegrensning. Det er derfor anbefalt 2 x10,0MVA som installert ytelse for å oppfylle kravet til redundans ved utkobling av ett aggregat. Imidlertid viste det seg å være kun en kort periode i døgnet det er fare for overbelastning

med bare ett aggregat på 7,0MVA innkoblet. Det er derfor meget mulig at om en vil lempe noe på Regelverkets krav til redundans kan aggregater på 2 x 7,0MVA være tilstrekkelig.

Hensikten med å etablere ny omformer på Hjerkin er å redusere strømmen på kontaktledningen nordover fra Dombås. Simuleringene viser at strømmen her kommer opp mot 810A i 6 minutter, dette er relativt mye når nominell strøm er 600A. Men det finnes ikke eksakte krav til maksimal strøm på kontaktledningen for kortere perioder.

Tabellen nedenfor viser anbefalt installert ytelse i omformerstasjonene med og uten pådragsbegrensning. Når det gjelder omformerytelse uten pådragsbegrensning er disse tallene ikke basert på simuleringer, men antagelser ut fra simuleringer med dagens omformerytelse.

Nødvendig ytelse for kort og mellomlang sikt. Med og uten pådragsbegrensning for doble EI16 lokomotiver

Omformer	Med pådragsbegrensning Omformer ytelse [MVA]	Uten pådragsbegrensning Omformer ytelse [MVA]
Tangen	2 x 7,0	2 x 7,0
Rudshøgda	2 x 5,8	2 x 7,0 / 2 x 7,5 ¹⁾
Fåberg	2 x 5,8	2 x 5,8
Fron	2 x 5,8	2 x 7,0
Otta	2 x 5,8	2 x 5,8
Dombås	2 x 10,0	2 x 10,0
Hjerkin	2 x 5,8	3 x 7,0 / 2 x 14,0 ¹⁾
Oppdal	2 x 7,0	2 x 10,0
Garli	-	2 x 7,5 ¹⁾
Lundamo	2 x 7,0	2 x 7,0
Stavne	2 x 7,5 ¹⁾	2 x 7,5 ¹⁾

1) Gjelder for statiske omformere

De mest hensiktsmessige tiltak på kort sikt kan oppsummeres slik:

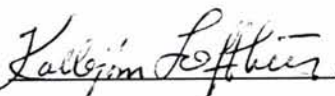
- Innføre pådragsbegrensning for godstog med doble EI16 lokomotiver
- Installerer større effekt i omformerne ved Rudshøgda, Otta, Dombås og Oppdal.
- Ny omformer på Hjerkin for å avlaste kontaktledningen nordover fra Dombås omformer og innføre overbelastningsvern på dagens linjeavganger.

Multiple EI16 lokomotiver og godstog med en totalvekt på 1435 tonn er en mye større belastning for banestrømforsyningen på Dovrebanen enn det dagens anlegg er dimensjonert for. Alle simuleringer viser store verdier av den såkalte 2 sekunders verdien av strømmen for omformerne. Dette gjelder både med og uten pådragsbegrensninger. SIMTRAC sin representasjon av lokomotivføreren forutsetter at maksimalt tilgjengelig pådrag gies hver gang toget skal øke hastigheten. Dette er nok mer "brutalt" enn hva en lokomotivfører normalt vil gjøre. Det er sannsynlig at med så tunge tog og kraftige lokomotiver må lokomotivførerne være forsiktige med pådraget og følge en del med på spenningen på strømvaktakeren.

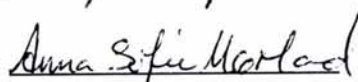
Dette er den redigerte utgaven av "Simuleringsrapport – Banestrømforsyningen på Dovrebanen" etter høring i Region Nord og Region Øst. Utgitt dato: 01. november 2001.

Forsidefoto: Rune Fossum; Signaturtog ved Dombås st. I bakgrunnen et EI16 lokomotiv tilhørende NSB Gods.


For BanePartner
Prosjektansvarlig (PA):

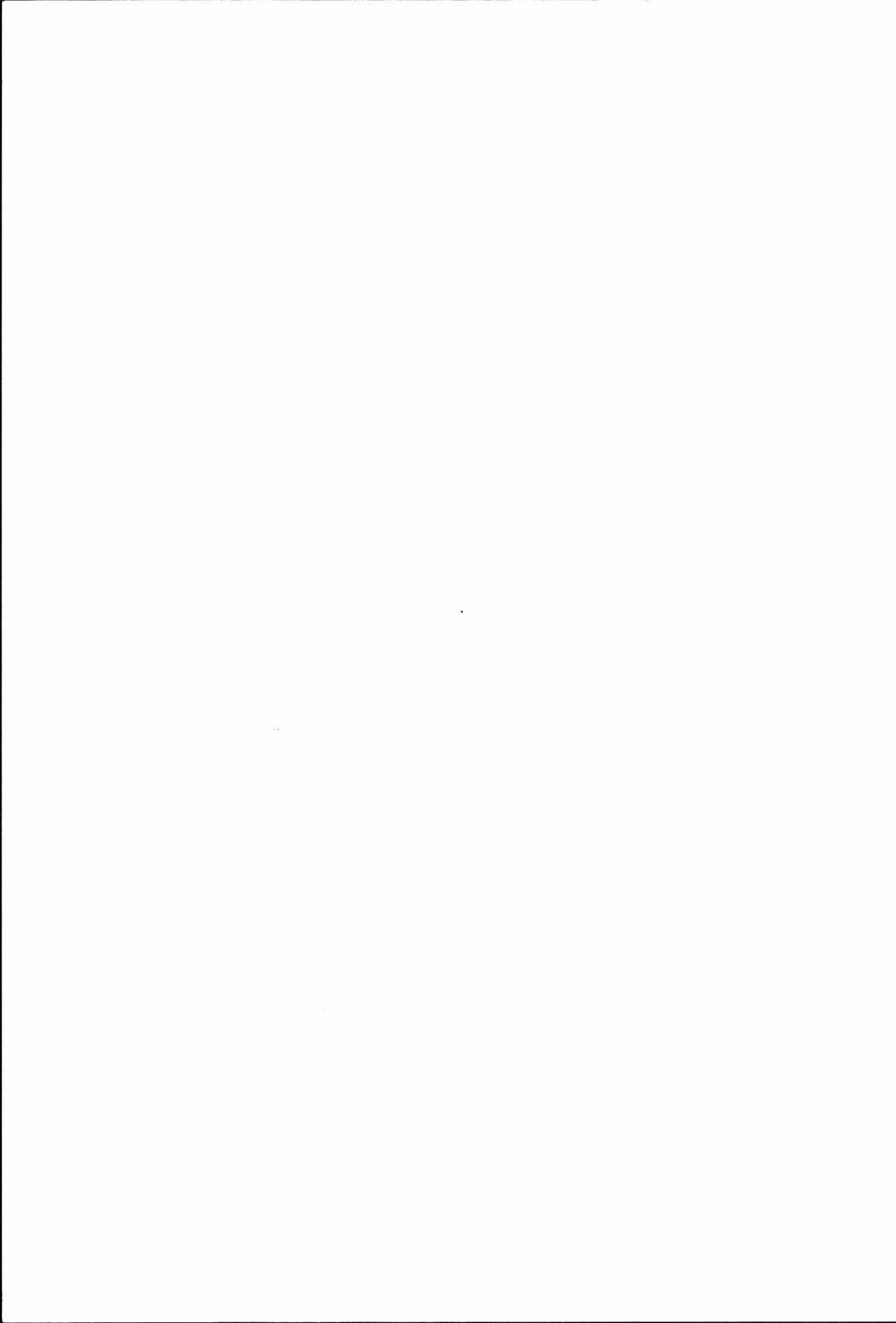
Signatur: 

Prosjektleder (PL):

Signatur: 

Rapport utarbeidet av:

Signatur: 



Innholdsfortegnelse

1	INNLEDNING	4
2	KRAV TIL BANESTRØMFORSYNINGEN	5
2.1	Krav til spenning	5
2.2	Belastning av omformere	5
2.3	Kontaktledningens strømføringsevne.....	6
3	INNDATA FOR SIMULERINGENE	7
3.1	Avgrensning av simuleringsområde	7
3.2	Matende trefasenett.....	7
3.3	Omformerstasjoner	7
3.4	Spenningsregulering.....	8
3.5	Kontaktledningssystem	8
3.6	Lok og vognmateriell	8
3.7	Banedata.....	9
3.8	Gradienter og kurver (vertikal og horisontalkurvatur)	9
3.9	Ruteplan	9
3.10	Hastighetsprofil	9
4	SIMULERINGSRESULTATER	10
4.1	Resultater simulering med nåværende strømforsyning og togtrafikk om dagen	10
4.1.1	Spenning på kontaktledningen for passasjertog	10
4.1.2	Spenning på kontaktledningen for godstogene	12
4.1.3	Spenning på kontaktledning for tog Tangen - Rudshøgda - Fåberg.....	13
4.1.4	Spenning på kontaktledning for tog Fåberg - Fron	16
4.1.5	Spenning på kontaktledning for tog Fron – Otta - Dombås	18
4.1.6	Spenning på kontaktledning for tog Dombås - Oppdal	19
4.1.7	Spenning på kontaktledning for tog Oppdal - Lundamo.....	20
4.1.8	Belastning av omformere	23
4.2	Resultater simulering med nåværende strømforsyning og togtrafikk om natten	26
4.2.1	Spenning på kontaktledningen for passasjertog	26
4.2.2	Spenning på kontaktledning for tog Tangen – Rudshøgda - Fåberg.....	28
4.2.3	Spenning på kontaktledning for tog Fåberg - Fron	29
4.2.4	Spenning på kontaktledningen for tog Fron – Otta- Dombås.....	30
4.2.5	Spenning på kontaktledning for tog Dombås - Oppdal	32
4.2.6	Spenning på kontaktledning for tog Oppdal - Lundamo.....	34
4.2.7	Belastning av omformere	36
4.2.8	Belastning av kontaktledningen	41
4.3	Resultater med forsterkningsledning Oppdal - Lundamo og togtrafikk om dagen	42
4.3.1	Spenning på kontaktledningen for passasjertog	42
4.3.2	Belastning av omformere	44

4.4	Resultater simulering med forsterkningsledning Oppdal - Lundamo togtrafikk om natten	44
4.4.1	Spenning på kontaktledningen Oppdal - Lundamo	44
4.4.2	Belastning av omformere	47
4.5	Resultater simulering med kompaktomformer på Garli og togtrafikk om dagen.....	49
4.6	Resultater simulering med kompaktomformer på Garli og togtrafikk om natten	49
4.6.1	Spenning på kontaktledningen ved Oppdal - Lundamo.....	49
4.6.2	Belastning av omformere	52
4.7	Resultater simulering med togtrafikk om natten og godstog med pådragsbegrensning	55
4.7.1	Spenning på kontaktledning for tog Dombås - Oppdal	55
4.7.2	Spenning på kontaktledningen Oppdal - Lundamo	57
4.7.3	Belastning av omformere	61
4.7.4	Belastning av kontaktledningsnettet	61
4.8	Resultater simulering med kapasitetsoptimal ruteplan og godstog med pådragsbegrensning	62
4.8.1	Spenning på kontaktledning for tog Tangen – Rudshøgda – Fåberg	62
4.8.2	Spenning på kontaktledning for tog Fåberg – Fron.....	63
4.8.3	Spenning på kontaktledning for tog Fron – Otta – Dombås	64
4.8.4	Spenning på kontaktledning for tog Dombås – Oppdal	65
4.8.5	Spenning på kontaktledning for tog Oppdal - Lundamo.....	66
4.8.6	Belastning av omformere	67
4.8.7	Belastning av kontaktledningsnettet	71
4.9	Resultater simulering med kapasitetsoptimal ruteplan pådragsbegrensning og forsterkning av banestrømforsyningen	71
4.9.1	Resultater for valg av omformer størrelse	71
4.9.2	Spenningen på kontaktledningen for tog Tangen – Rudshøgda – Fåberg	76
4.9.3	Spenningen på kontaktledningen mellom Fåberg og Fron	77
4.9.4	Spenningen for tog Fron – Otta – Dombås	78
4.9.5	Spenningen på kontaktledningen for tog Dombås – Hjerkin - Oppdal.....	79
4.9.6	Spenningen på kontaktledningen Oppdal - Lundamo.....	80
4.9.7	Belasting av kontaktledningsnettet.....	81
4.10	Resultater simulering med riktig ruteplan 149.1 og godstog med pådragsbegrensning	81
4.10.1	Spenningen på kontaktledningen for tog Tangen – Rudshøgda - Fåberg.....	82
4.10.2	Spenningen på kontaktledningen for tog Fåberg - Fron	84
4.10.3	Spenningen på kontaktledningen for tog Fron –Otta - Dombås	86
4.10.4	Spenningen på kontaktledningen for tog Dombås – Hjerkin - Oppdal.....	88
4.10.5	Spenningen på kontaktledningen for tog Oppdal - Lundamo.....	90
4.10.6	Belastning av omformere	92
4.10.7	Belastning av kontaktledningen	96
4.11	Resultater simulering med riktig ruteplan 149.1 og godstog med pådragsbegrensning og utfall av et aggregat på Dombås	97
4.11.1	Belastning av omformerne etter utfall av et aggregat på Dombås	97
4.11.2	Spenningen på kontaktledningen for tog Otta – Dombås – Hjerkin	98
4.11.3	Belastning av kontaktledningsnettet	99
4.12	Resultater simulering med riktig ruteplan 149.1 og godstog med pådragsbegrensning ikke omformerstasjon på Hjerkin	100
4.12.1	Belastning av omformere	100
4.12.2	Belastning av kontaktledningsnettet	101
5	OPPSUMMERING	102
5.1	Spenning på kontaktledningen	102
5.2	Belastning av omformere	103
5.3	Belastning av kontaktledning	104

6	DISKUSJON OVER FORHOLD VEDRØRENDE MODELLER OG SIMULERING.....	105
6.1	Togvarme	105
6.2	Tunneler og horisontalkurvatur	105
6.3	Spenningen for statisk omformer	105
6.4	Kjøremønster for lokomotivfører og 2 sekunders strøm for omformerne.....	105
6.5	Telefilter i EI16 lokomotiver.....	105
6.6	Belasting av kontaktledningen	106
6.7	Redundanskriteriet for omformere og den praktiske betydningen for driften.....	106
6.8	Tilgjengelige omformeraggregater er med på å bestemme muligheten for utvidelser	107
6.9	Ruteplan	107
6.10	Avviksituasjon.....	108
6.11	Kjøring med noen få doble EI16 lokomotiver	108
7	KONKLUSJON	109
7.1	Lav spenning Oppdal –Lundamo skyldes ikke effektunderskudd.....	109
7.2	Pådragsbegrensning i lokomotivene forhindrer lav spenning	109
7.3	Økning av ytelsen for omformerne	109
7.4	Overbelastning av kontaktledningen må forhindres.....	113
7.5	Oppsummering og forslag til videre arbeid fase 2.....	114

1 INNLEDNING

Simulering av banestrømforsyningen på Dovrebanen utføres på oppdrag av Region Nord og Region Øst. Bakgrunnen for prosjektet er de endringer av traksjonsmateriellet som har funnet sted siden forrige hovedplan for Dovrebanen ble utført. Disse endringene ble påvist ved utarbeidelse av landsdekkende kraftsystemplan i 1999.

I henhold til det nye regelverket (JD 546) skal ruteplanen som benyttes ved dimensjonering av banestrømforsyningen godkjennes av Hovedkontoret. Simuleringene i denne rapporten er de første som gjøres etter at denne regelen ble innført.

Simuleringene som er beskrevet i denne rapporten skal danne grunnlaget for en ny hovedplan-fase 1 for Dovrebanen. Det er flere grunner til at en ny hovedplan utarbeides:

1. Bestemme hva som skal gjøres med de midlertidige omformerne på Otta og Rudshøgda.
2. Kartlegge tiltak må gjøres for å tillate godstransport med 50% tyngre godstog og doble El16 lokomotiver.

I forrige hovedplan ble det foreslått tiltak for banestrømforsyningen i Garli området. Det ble foreslått kompaktomformer eller forsterkningsledning. Simuleringene som skal gjøres her inkluderer disse tiltakene. Belastningsforhold og spenninger ved Otta og Rudshøgda vil også bli undersøkt spesielt.

Data til simuleringene er hentet fra Banedatabanken og opplysninger om overliggende nett er gitt fra Statnett. Utarbeidelse av modeller for omformerne er utført tidligere, og data for modellene av togene er hentet inn fra NSB. Det blir ikke kommentert ytterligere om disse dataene.

Alle simuleringen utføres med SIMPOW sammen med SIMTRAC. Disse dataprogrammene er utviklet av henholdsvis ABB og AdTranz. SIMPOW er et program for simulering av alle typer kraftsystemer. Det er et av de aller mest avanserte programmer som finnes i dag. SIMTRAC er et spesialprogram for simulering av banestrømforsyning. Programmet inneholder modeller for tog, beskrivelse av kjøreveien (vertikal- og horisontalkurvatur, friksjons koeffisient, modell for luftmotstand i tunneler), togets tillatte hastighet og ruteplan.

Alle resultatdata etter simulering overføres til et spesielt regneark kalt ORIGIN. Dette egner seg blant annet spesielt godt for behandling av store datamengder. Fra ORIGIN kan kurver og min/max. verdier etc. overføres til Word for Windows.

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 skal matestasjonene ikke overbelastes.

2.1 Krav til spenning

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

Spenningen på strømvtagere må ikke underskrive en gitt verdi. Nedre grense er i henhold til IEC publikasjon nr. 60850, satt til 12kV. Jernbanelanternets nedre grense er satt til 13,5kV ved prosjektering av nye anlegg, basert på resultater fra simuleringer.

Valget av 13,5kV som dimensjonerende spenning ved prosjektering av nye anlegg begrunnes med at det bør være innlagt en viss reserve for fremtidig trafikkøkning. Et annet krav som har sammenheng med matestasjonene gjelder:

Energiforsyningen skal dimensjoneres slik at spenningen på strømvtagere ikke underskriver 12,0kV ved utfall av en mateenhet (aggregat) i en matstasjon. Dersom stasjonene består av kun en mateenhet vil kravet ikke gjelde.

2.2 Belastning av omformere

Tabell 2-1 nedenfor viser 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 2-1 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:

- Timeytelse defineres som aggregatenes/stasjonenes nominelle ytelse (kontinuerlig belastning).
- Maksimal 6 minutters belastning defineres som aggregatenes/stasjonenes termiske overbelastbarhet. Denne verdien stiller for de roterende aggregatene krav til at belastningen forut for maksimalbelastningen har vært under grunnlasten som er halve seksminuttsverdien.
- 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. Tosekundsverdien 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.

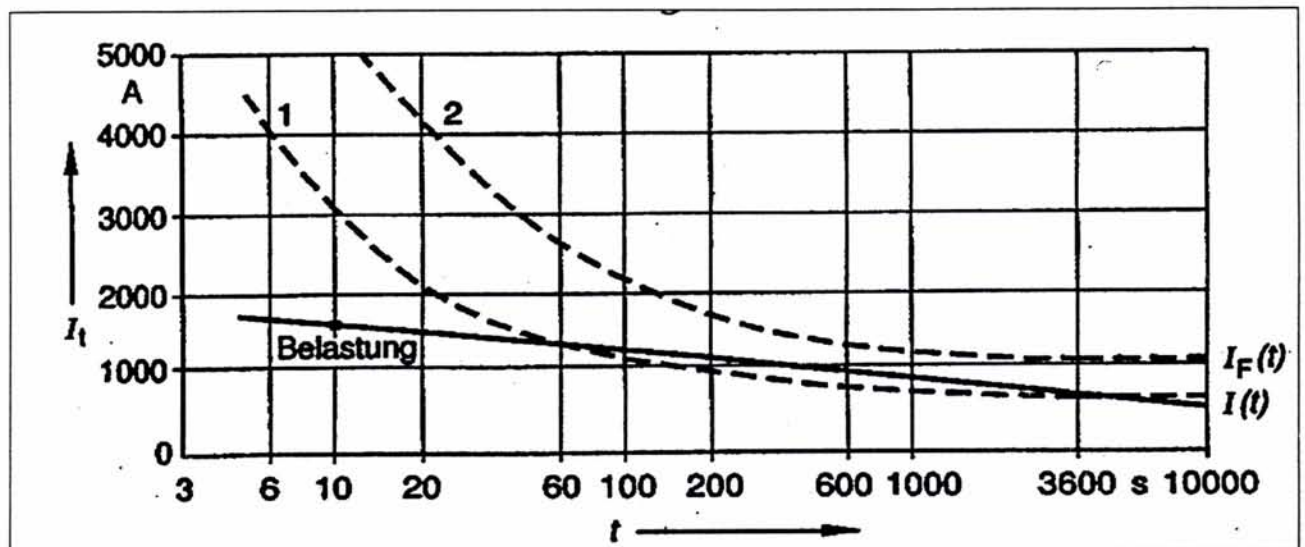
Aggregatene vil selvsagt belastes med stadig varierende verdier. Innenfor maksimal 6 minuttersverdi kan derfor belastningen tillates å overskride fastsatt verdi hvis belastningen innenfor denne perioden er tilsvarende mye under. Det samme gjelder for times- og 2 sekunders belastning.

Maksimal verdiene er beregnet i ORIGIN ved at belastningen (i MVA eller kA) er integrert over den aktuelle tidsperiode, 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.

2.3 Kontaktledningens strømføringsevne

Kontaktledningen for hele strekningen på Dovrebanen er av typen Cu 100mm² kontakttråd og 50 mm² bæreline. Figur 2-1, 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.

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.



Figur 2-1 Kontaktledningens strømføringsevne, tid i sekunder

I tillegg til at kontaktledningen har sine belastningsverdier som ikke må overskrides, finnes slike verdier også for sugetransformatorene og andre anleggskomponenter. Det er i denne rapporten ikke sett på maksimalverdier for andre komponenter. Men verdiene for linjeavgangene vil bli presentert slik at disse kan holdes opp mot merkeverdier.

3 INNDATA FOR SIMULERINGENE

I dette kapittelet beskrives kort de datamodeller som anvendes i simuleringen og inndata til disse.

3.1 Avgrensning av simuleringsområde

Følgende grenser for kjøreveien er valgt:

- Lillestrøm ved km 20,95
- Trondheim ved km 552,87

Banestrekningen mellom de to endepunktene er modellert med den nødvendige infrastruktur slik som kontaktledningsnett og omformerstasjoner. Omformerstasjonene er forsynt fra de respektive Elverkene. Modellen omfatter også Gardermobanen og togtrafikken på denne.

3.2 Matende trefasenett

Hver omformerstasjon er forsynt fra det regionale / lokale forsyningsnettet der normal tilførselsspenningsnivå er i området 11 – 66 kV, 50 Hz. De enkelte forsyningsnett er i sin tur forsynt fra og knyttet sammen via det overliggende sentralnettet som opererer på 300 og 400kV spenningsnivå. Dette fører til at forsyningsspenningsnivåene til de enkelte 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 løst 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 fullstendig modellert med linjedata, belastninger og eventuell produksjon etter opplysninger fra de enkelte Everk.

Omformer på Garli er i simuleringene forutsatt forsynt fra eksisterende 22 kV nett. Det er hentet inn opplysninger fra det lokale Elverk og basert på dette er forsyningsnettet representert i modellen ved en Thevenin ekvivalent.

3.3 Omformerstasjoner

Omformerstasjoner er modellert med følgende aggregater:

Tabell 3-1 Installert ytelse i omformerstasjonene og tillatt belastning

Omformer	Plassering (km)	Type omformer	Aggregat Type [MVA]	Maks 6 min belastning [MVA]	Maks time belastning [MVA]	Maks 2sek belastning [A]
Lillestrøm ¹⁾	20,95	Statisk	2 x 14,0	-	28,0	-
Jessheim	44,20	Statisk	2 x 14,0	-	28,0	-
Tangen	103,30	Roterende	2 x 7,0	22,0	14,0	1650
Rudshøgda	148,25	Roterende	1 x 3,1	4,8	3,1	450
Fåberg	190,85	Roterende	2 x 5,8	16	11,6	1250
Fron	258,70	Roterende	2 x 5,8	16	11,6	1250
Otta	298,50	Roterende	1 x 3,1	4,8	3,1	450
Dombås	342,32	Roterende	5,8 + 7,0	19,0	12,8	1450
Oppdal	427,60	Roterende	2 x 5,8	16	11,6	1250
Garli ²⁾	476,10	Statisk	2 x 2,0	-	4,0	242
Lundamo	515,10	Roterende	2 x 7,0	22,0	14,0	1650
Stavne	549,24	Statisk	2 x 7,5	-	15,0	909

¹⁾ Lillestrøm er modellert med 2 av 3 aggregater innkoblet.

²⁾ Eventuell ny omformerstasjon

3.4 Spenningsregulering

De statiske omformerene på Lillestrøm, Jessheim, Garli og Stavne er i simuleringen innstilt til å gi ut 16.5 kV uavhengig av belastning. Roterende 3.1 MVA aggregater på Rudshøgda og Otta er innstilt til å gi en fallende spenningskarakteristikk med tomgangsspenning 16.2 kV og 15.6 kV ved full belastning. Resterende aggregater er innstilt til tomgangsspenning 16.5 kV fallende til 16.3 kV ved full belastning.

3.5 Kontaktledningssystem

Kontaktledningssystemet er modellert som en resistans i serie med reaktans. Impedans angis pr. km. Impedansen brukt i modellen er som vist i tabell 3-2.

Tabell 3-2 Impedans på banestrekningene

Strekning	Impedans [Ω / km]
Gardermobanen	0,200 + j0,190
Lillestrøm – Tangen (Hovedbanen)	0,210 + j0,230
Tangen - Fåberg	0,210 + j0,210
Fåberg - Otta	0,194 + j0,204
Otta - Oppdal	0,171 + j0,202
Oppdal - Trondheim	0,171 + j0,197

3.6 Lok og vognmateriell

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

- **Godstog**
Det er simulert med doble E116 lokomotiver for godstogene. Det er forutsatt en totalvekt på 1435 tonn for alle togene og maksimalt effektuttak 2 x 7300kW. For godstog 5709 er det benyttet lokomotiv EG3100 (Euro-lokomotiv) fra SIEMENS.
- **Flytog**
Motorvognsett BM711 for alle flytog på Gardermobanen.
- **Lokaltog**
Mellom Lillestrøm og Eidsvoll over Hovedbanen eller Gardermobanen trafikkeres strekningen med enkelt togsett type 69 (Motorvogn, styrevogn og mellomvogn) og 2 vogns-sett BM69 (Motorvogn og styrevogn). Effektuttak 1920kW
- **Regionaltog**
For regionaltog er det benyttet togsett type BM70, enkle eller doble sett. Maksimalt effektuttak er 1720kW.
- **Fjerntog**
Fjerntog mellom Oslo og Trondheim trekkes av E118 lokomotiver med 7 eller 8 vogner av type B7, maksimalt effektuttak 7220kW. Det er også motorvogner av type BM72 enkle sett (Signatur), maksimalt effektuttak 3900kW. Nattoget trekkes av E116 lokomotiver, maksimalt effektuttak 7300kW.

3.7 Banedata

Det er benyttet parametre for gradienter (vertikalkurvatur), adhesjonskoeffisient og hastighetsprofil. Ekstra luftmotstand for tunneler er ikke inkludert, heller ikke horisontalkurvatur.

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 Ruteplan

Ruteplan R149.1 gjeldende fra 11. juni 2000 er benyttet. Ruter for en alminnelig hverdag er benyttet fordi dette gir tette trafikk. For noen simuleringer er kapasitetsoptimal ruteplan benyttet. Dette er en ruteplan der maksimalt antall godstog trafikkerer Dovrebanen. Denne ruteplanen er dimensjonert slik at samme antall tog går i hver retning.

3.10 Hastighetsprofil

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

- Godstogene holder normalhastighet, men har 90km/t som maksimal hastighet.
- Lokaltog (type 69) holder 130km/t på Gardermobanen, ellers pluss-hastighetsprofil.
- Regionaltog og persontog med E118 holder 160km/t på Gardermobanen, ellers pluss-hastighet.
- Nattoget holder 130km/t på Gardermobanen ellers normalhastighet begrenset oppad til maks 100 km/t.
- Flytoget holder maksimalt tillatt hastighet (max. 200km/t) på Gardermobanen
- Motorvogner av type BM73 (Signatur) holder maksimal hastighet på Gardermobanen, ellers krengetogshastighet (Maksimalt 130km/t). Det er simulert med krengetogshastighet som er planlagt innført fra 2001.12.31

4 SIMULERINGSRESULTATER

4.1 Resultater simulering med nåværende strømforsyning og togtrafikk om dagen

Simulering 1 omfatter togtrafikken mellom klokken 08:00 og 20:00. Nedenfor er resultater for persontog, godstog og omformerstasjoner presentert. Ingen forsterkningstiltak er innført.

Simuleringen gjelder for eksisterende anlegg og IEC's krav til laveste spenning for kontaktledningsanlegget er 12kV. Det vil imidlertid bli påpekt når spenningen kommer under 13kV.

4.1.1 Spenning på kontaktledningen for passasjertog

Tabell 4-1 nedenfor viser laveste opptredende spenning på passasjertogene for hele den strekningen som det enkelte tog trafikkerer.

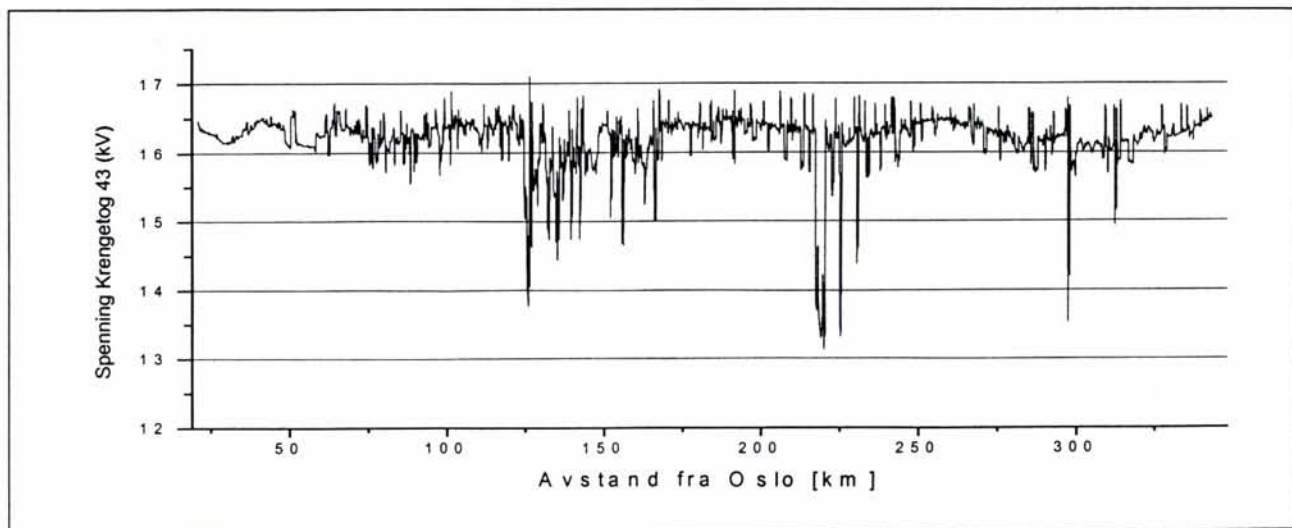
Tabellen viser at laveste opptredende spenninger kommer ned mot 12,2kV i de mest ugunstige tilfellene. Tog 307, 310, 311, 312, 316, 403 får spenning under eller lik 13,0kV i området mellom omformerne ved Tangen (km 103,3) og Fåberg (km 190,85). Midt på denne strekningen er Rudshøgda omformer (km 148,25).

Mellom Oppdal omformer (km 427,6) og Lundamo omformer (km 515,1) er det bare krengetog 46 som i følge tabell 3-1 passerer med lav spenning.

Tabell 4-1 Laveste spenning for passasjertogene Lillestrøm - Trondheim. Ingen tiltak

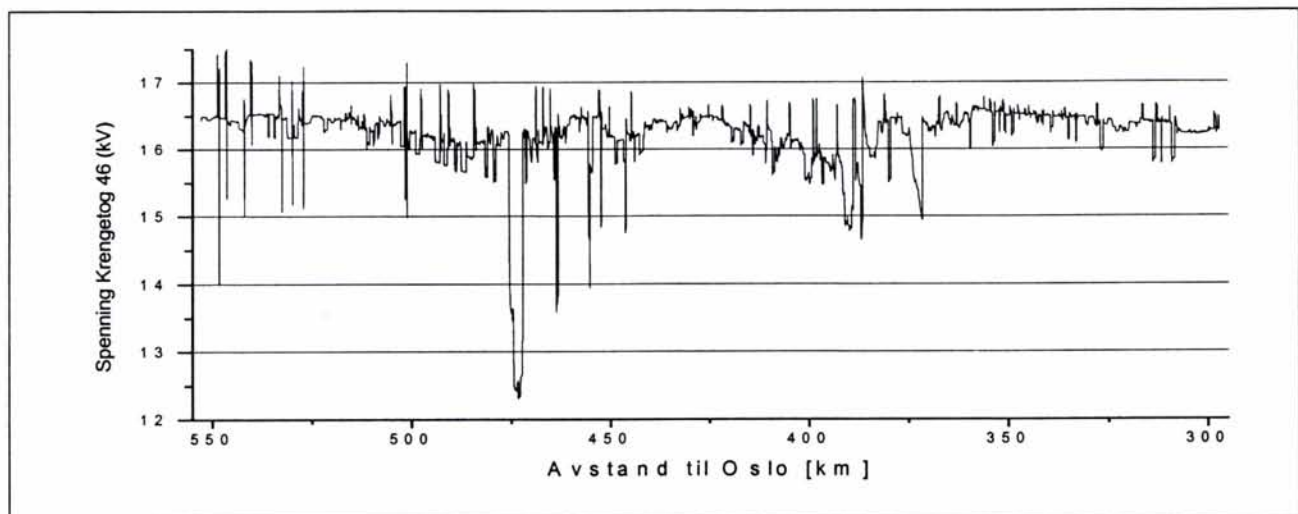
Tog nr.	Dagsimulering 1		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
307	12,7	134	09:32
309	14,4	90	09:57
310	13,0	124	09:01
311	12,8	166	12:01
312	12,2	158	09:31
313	13,5	126	12:24
314	14,5	122	11:04
315	13,8	168	14:05
316	12,9	126	12:00
317	14,7	83	13:45
318	14,4	79	13:45
320	14,1	149	13:37
403	13,0	162	15:12
40	13,8	225	10:32
41	14,4	144	08:56
42	15,1	125	13:37
43	13,2	220	11:08
44	14,6	372	16:40
45	15,5	453	19:29
46	12,3	473	17:05

I figur 3-1 og 3-2 er det vist spenningen på kontaktledningen for krengetog (Signatur) mellom Oslo og Trondheim. Det er valgt nordgående tog 43, Lillestrøm - Dombås og sørgående tog 46, Trondheim - Otta. For nordgående tog 43 oppstår lav spenning rundt km 125 (Hamar) ved kryssing med tog 312 og ved km 223 når toget akselererer fra 90 til 120km/t. Neste store spenningsfall oppstår ved Otta (km 297) når toget kjører ut fra stasjonen samtidig med at godstog 5714 er på vei ut fra stasjonen.



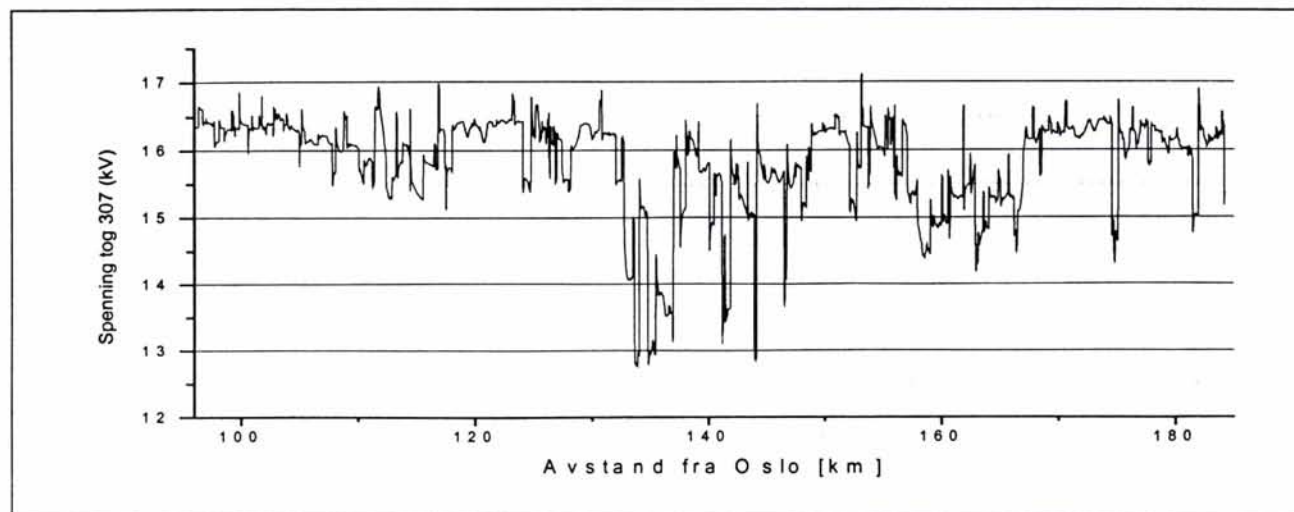
Figur 4-1 Spenning på kontaktledningen for nordgående krengetog 43 mellom Lillestrøm og Dombås. Dagsimulering uten forsterkningstiltak

For sørgående tog 46 oppstår laveste spenning ved Garli (km 477) når kryssende godstog 5791kjører ut, se figur 4-2. På resten av strekningen er spenningen helt innenfor akseptable nivåer.



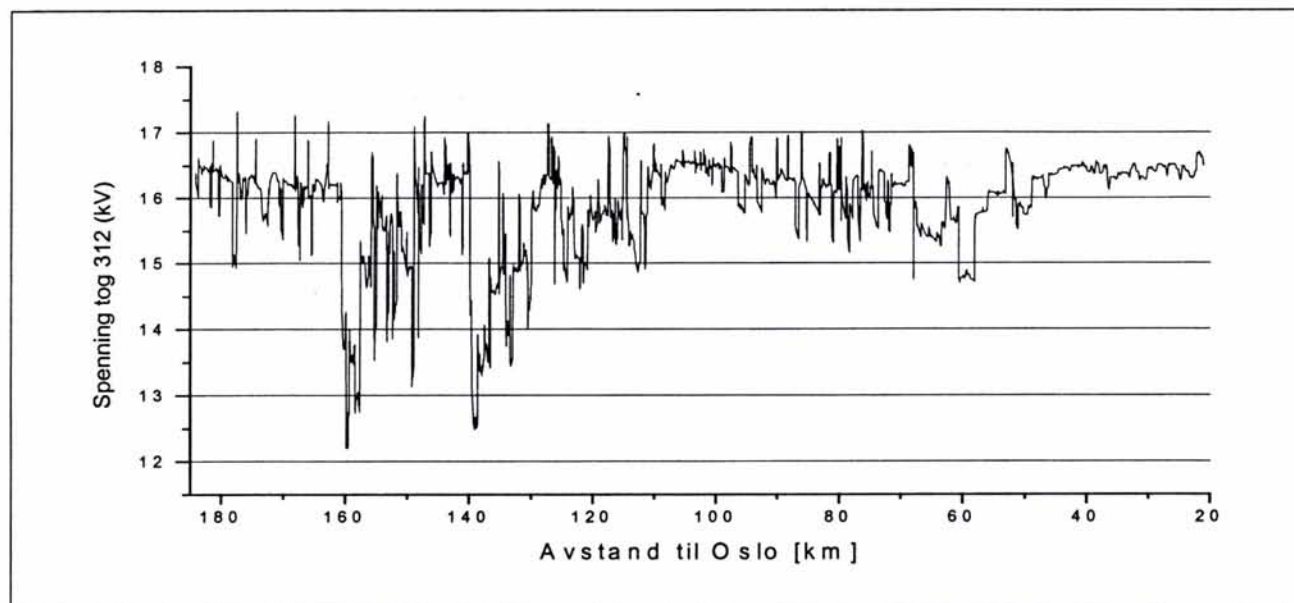
Figur 4-2 Spenningen på kontaktledningen for sørgående krengetog 46 mellom Trondheim og Otta. Dagsimulering uten forsterkningstiltak

For nordgående tog 307 med motorvogn type 70 er spenningen lavest i området rundt Rudshøgda, rundt km 134-145, se figur 4-3. På resten av strekningen har tog 307 et akseptabelt spenningsnivå.



Figur 4-3 Spenningen på kontaktledningen for nordgående tog 307. Dagsimulering uten forsterkningstiltak

Spenningen for tog 312 med E118 lokomotiv er vist i figur 4-4. Også dette toget får lav spenning på kontaktledningen i området rundt Rudshøgda. Laveste spenning oppstår rundt km 160, nord for Rudshøgda. Neste område med lav spenning er rundt km 140, Brumunddal hvor tog 312 krysser med nordgående godstog 5285.



Figur 4-4 Spenningen på kontaktledningen for sørgående tog 312. Dagsimulering uten forsterkningstiltak

4.1.2 Spenning på kontaktledningen for godstogene

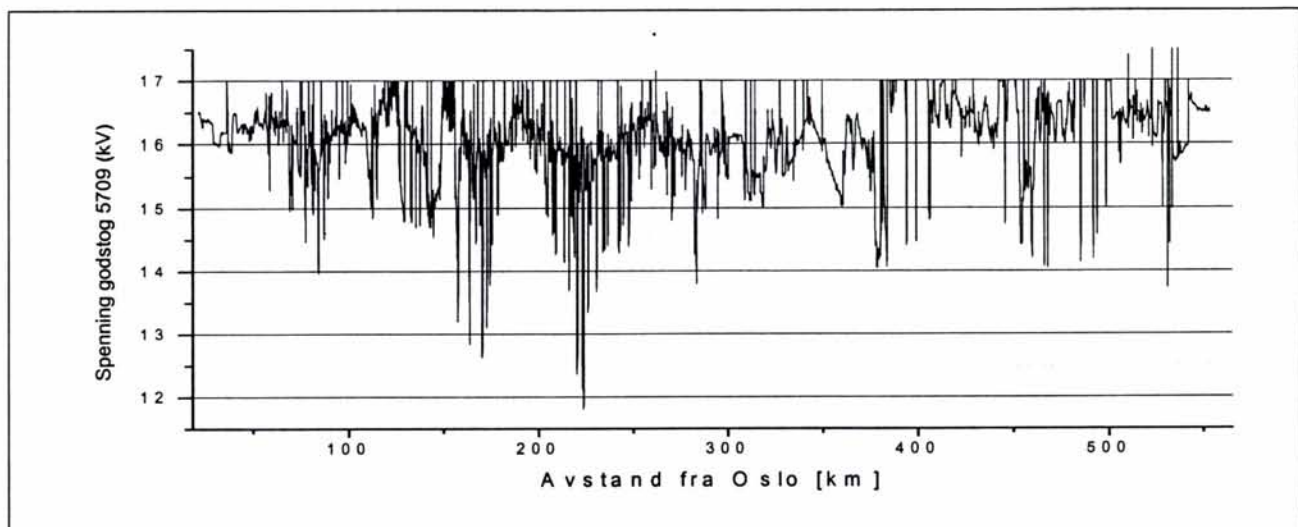
Tabell 3-2 nedenfor viser laveste opptrædende spenning på godstogene for hele strekningen Lillestrøm – Trondheim. Laveste opptrædende spenninger inntreffer sør i nettet for samtlige godstog. For tog 5704, 5709 og 5714 inntreffer laveste spenning mellom Fåberg og Fron omformer, når togene akselererer fra 70 til 90km/t. For de andre togene inntreffer de laveste spenningene i området mellom Tangen (km 101,8) og Fåberg (km 192).

Tabell 4-2 Laveste spenning for godstogene Lillestrøm - Trondheim. Ingen tiltak

Tog nr.	Dagsimulering (1)		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
5252	12,2	149	12:11
5263	12,1	163	09:31
5277	11,8	133	12:11
5285	12,3	135	09:38
5704	12,7	218	14:32
5709	11,9	223	13:02
5714	12,3	219	12:59
5791	11,5	142	12:11

Figur 3-5 viser spenningen for godstog 5709 som trafikkerer hele strekningen fra Oslo til Trondheim. Det er bare noen få steder spenningen kommer under 13,0kV, først rundt km 160, i området ved Moelv hvor det krysser med tog 40 og 314. Tog 5709 trekkes av lokomotiv EG3100 (Euro-lok) som har en del mindre trekraft enn de multiple El16 lokomotivene. Dette toget vil derfor oppføre seg annerledes med hensyn på spenningen.

Neste område med lav spenning er rundt km 224, hvor spenningen kommer helt ned i ca 11,9kV. Dette skjer når toget akselererer fra 70 til 90km/t samtidig som kryssende godstog 5714 også akselererer. I Garli området (km 477) er spenningen ikke spesielt lav, ned mot 14kV. Dette skyldes nok at det er liten trafikk i området på dette tidspunktet og at toget kjører i nedoverbakke.



Figur 4-5 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 5709. Dagsimulering uten forsterkningstiltak

4.1.3 Spenning på kontaktledning for tog Tangen - Rudshøgda - Fåberg

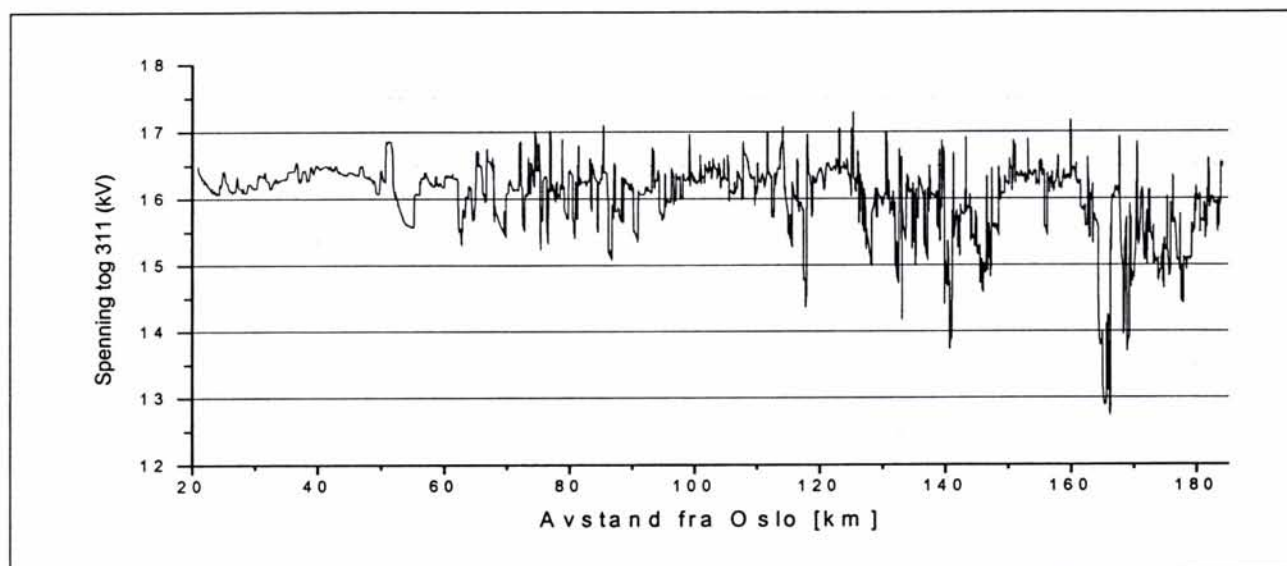
Den midlertidige omformeren på Rudshøgda (km 148,23) har en installert ytelse på 3.1MVA. Rudshøgda er et høydepunkt på banen, det er en bratt stigning opp mot stedet både for sør- og nordgående tog. Stigningen er på 12-15 promille fra begge sider. Krysningeporet på toppen av Rudshøgda tillater samtidig-innkjør, dette gjør at et nord- og sørgående tog ofte kjører samtidig i oppoverbakke før krysningen.

Tabell 3-3 nedenfor viser de passasjertogene som passerer Rudshøgda omformerstasjon. Flere tog får lav spenning, under 13kV, og tog 312 helt ned mot 12,2kV. Men det er også flere tog som passerer Rudshøgda med et helt akseptabelt spenningsnivå. Lavest spenning får sørgående tog 312, dette toget er kommentert i tidligere avsnitt 4.1.1. Tog 307 og 43 er også kommentert tidligere.

Tabell 4-3 Laveste spenning for passasjertog Tangen - Rudshøgda - Fåberg. Ingen forsterkningstiltak

Tog nr.	Dagsimulering (1)		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [Kl]
307	12,7	134	09:31
310	13,0	124	09:01
311	12,8	166	12:01
312	12,2	158	09:31
315	13,9	168	14:05
316	12,9	126	12:00
320	14,1	150	13:38
40	14,2	130	11:32
403	13,0	162	15:12
41	14,3	146	08:56
42	15,1	126	13:38
43	13,8	125	09:50

Tog 311 er vist i figur 4-6, dette toget får spenning ned til 12,8kV klokken 12:01 ved km 166 hvor toget akselererer fra 80 til 95km/t. Dette skjer samtidig med at godstog 5252 og persontog 316 kjører ut fra Bergsvika (km 163). Spenningen er akseptabel for tog 311 i resten av området.



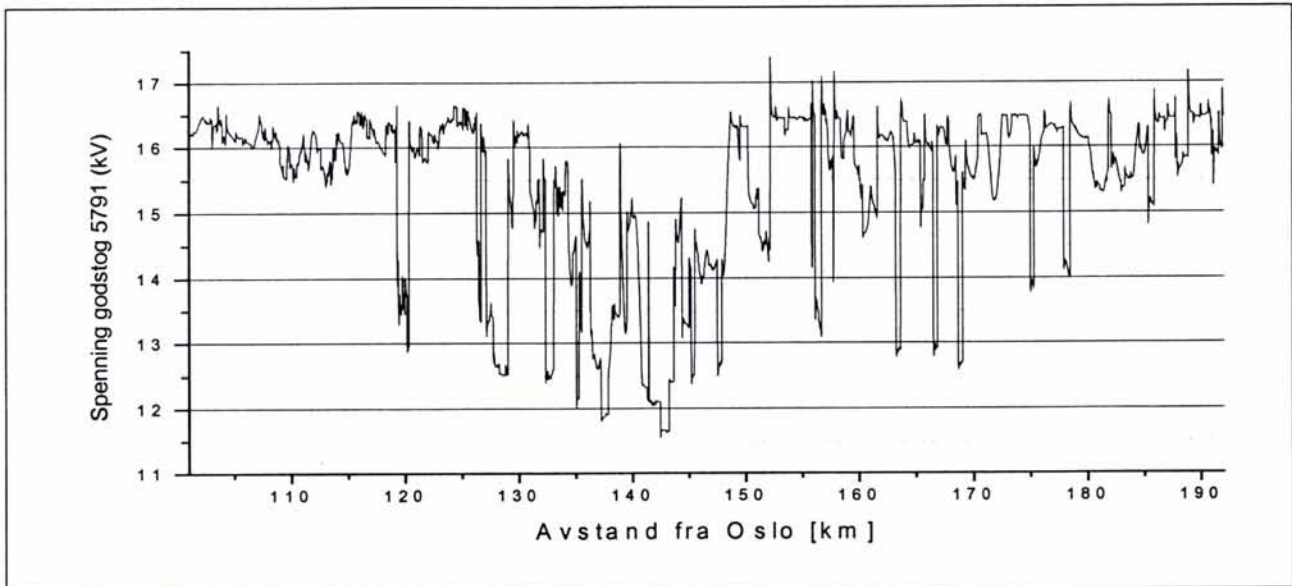
Figur 4-6 Spenningen på kontaktledningen for nordgående passasjertog 311. Dagsimulering uten forsterkningstiltak

I tabell 3-4 er godstog som passerer Rudshøgda-området listet opp. Av tabellen ser en at tidspunktet 12:11 peker seg spesielt ut, da er det 3 tog som samtidig får lav spenning. Tog 5791 får en spenning helt ned i 11,5kV, dette er omtalt ovenfor. Tog 5709 er også omtalt ovenfor.

Tabell 4-4 Laveste spenning for godstog Tangen - Rudshøgda - Fåberg. Ingen forsterkningstiltak

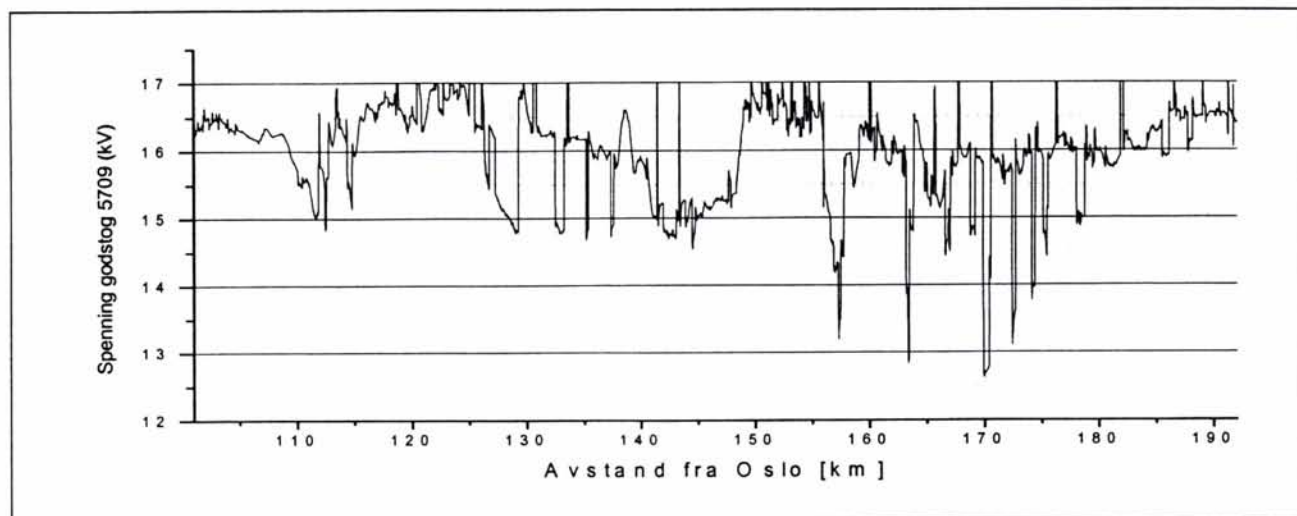
Tog nr.	Dagsimulering (1)		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
5252	12,2	149	12:11
5263	12,1	163	09:31
5277	11,8	133	12:11
5285	12,3	135	09:38
5704	12,7	165	15:12
5709	12,6	170	11:41
5714	12,7	167	13:38
5791	11,5	142	12:11

Tog 5791 er vist i figur 4-7, ved km 120 til 150 er spenningen under 13,0kV og sågar helt ned mot 11,5kV ved km 142. Dette skjer når toget akselererer fra 80 til 90km/t.



Figur 4-7 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 5791. Dagsimulering uten forsterkningstiltak

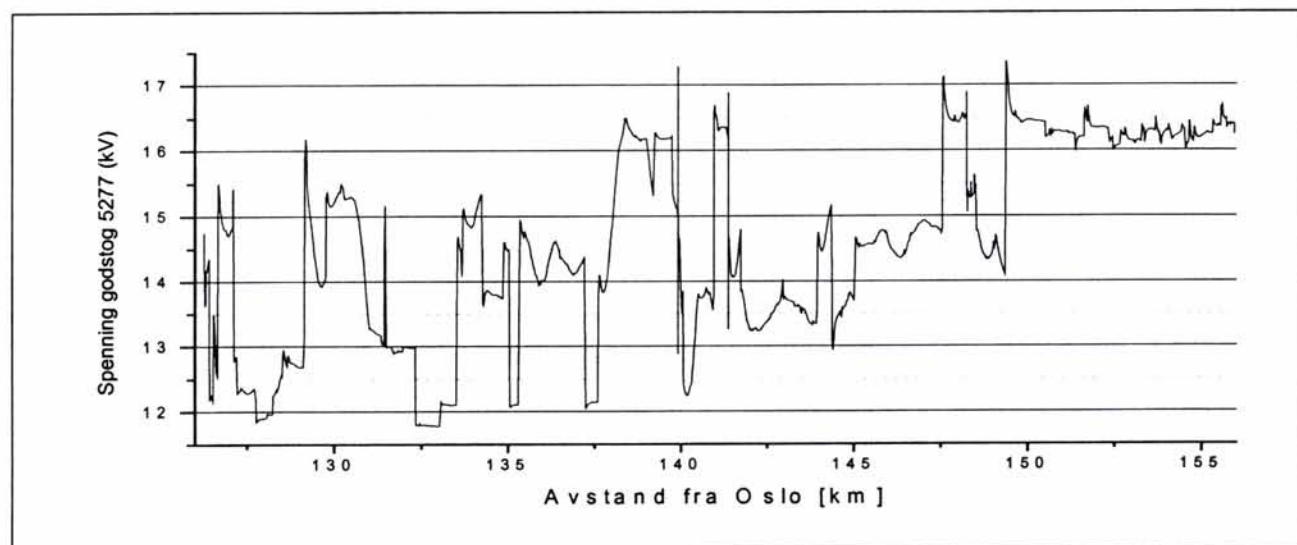
Godstog 5709 passerer Rudshøgda når det er få tog i området, se figur 4-8. Spenningen er lavest for dette toget ved km 170 når det akselererer ut fra Brøttum samtidig med at tog 5252 krysser.



Figur 4-8 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 5709. Dagsimulering uten forsterkningstiltak

Spenningen for godstog 5277 nordover er vist i figur 4-9. Spenningen kommer i flere perioder under 13kV ved km 126 til 141.

Det kan være interessant å sammenligne spenningen for godstog 5277 med det tidligere omtalte 5709, se figur 4-8. Godstog 5709 passerer Rudshøgda ca. en time f r tog 5277, men for godstog 5709 er spenningen over 15kV og opp mot 16kV det meste av tiden. Tog 5709 gir en helt annen påvirkning av nettet.



Figur 4-9 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 5277. Dagsimulering uten forsterkningstiltak

4.1.4 Spennning på kontaktledning for tog Fåberg - Fron

På strekningen fra Fåberg (km 191,7) til Fron (km 259,3) er det liten stigning. Bare for de siste 2km inn til Fron er det en stigning av betydning, opptil 11 promille. Spenningen for samtlige tog på strekningen mellom omformerstasjonene på Fåberg og Fron er undersøkt for dagsimuleringen.

Tabell 4-5 viser at spenningen for alle passasjertog er innenfor akseptabel grenser. Derimot f r godstog 5709 og 5714 spennning under 12kV. Tabell 4-6 viser spenningen for samtlige godstog som passerer denne strekningen.

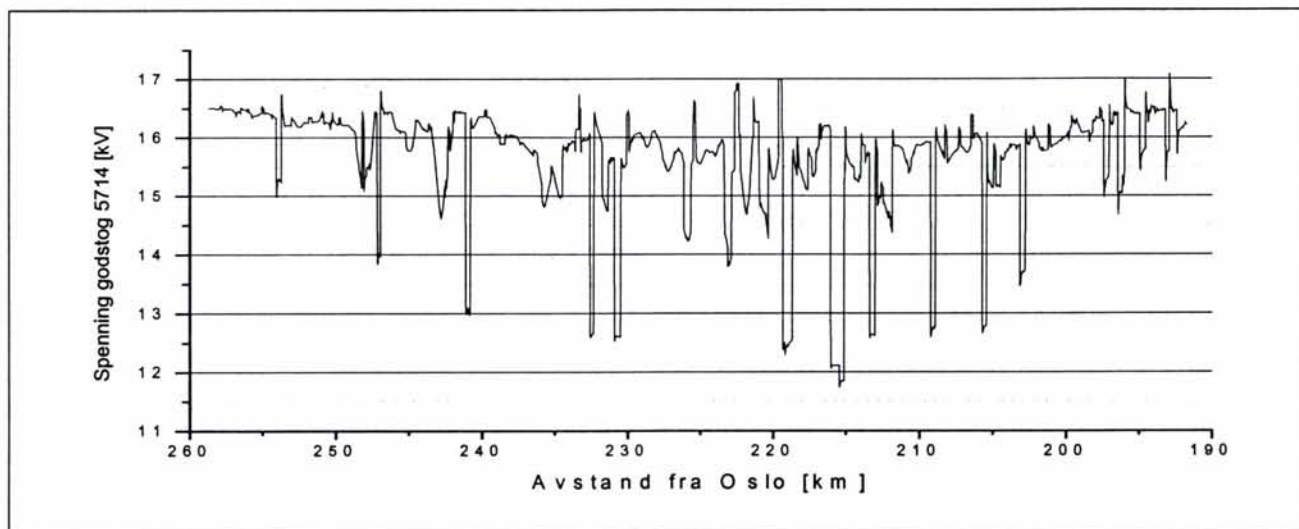
Tabell 4-5 Laveste spenning for passasjertog Fåberg - Fron. Ingen forsterkningstiltak.

Tog nr.	Dagsimulering (1)		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
40	13,8	225	10:32
41	15,2	213	09:48
42	15,2	213	12:39
43	16,8	216	11:06
403	16,4	232	16:11

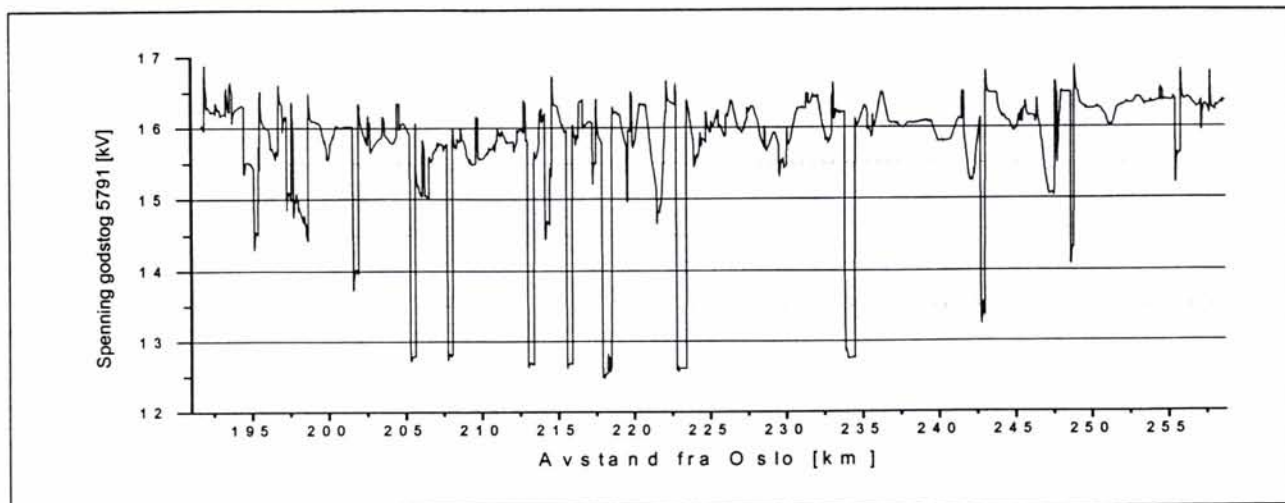
Tabell 4-6 Laveste spenning for godstog Fåberg - Fron. Ingen forsterkningstiltak

Tog nr.	Dagsimulering (1)		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
5252	12,5	219	10:47
5704	12,6	231	14:23
5709	11,8	223	13:02
5714	11,7	215	13:18
5791	12,5	218	13:18

Figur 4-10 og figur 4-11 viser spenningen for henholdsvis sørgående godstog 5714 og nordgående godstog 5791. Togene befinner seg i området samtidig og påvirker således spenningen til hverandre. De hyppige spenningsfallene inntreffer når togene akselererer fra 70 eller 80 til 90km/t etter først å ha bremsset. Bare et sted kommer spenningen under 12kV for sørgående tog 5714. Nordgående tog 5791 får også lav spenning, flere ganger under 13kV.



Figur 4-10 Spenning for sørgående godstog 5714 Fåberg - Fron. Dagsimulering uten forsterkningstiltak



Figur 4-11 Spenning for nordgående godstog 5791 mellom Fåberg - Fron. Dagsimulering uten forsterkningstiltak

4.1.5 Spenning på kontaktledning for tog Fron – Otta - Dombås

Spenningen på strekningen fra Fron (km 259,3), Otta (km 297,2) til Dombås (km 343,0) er undersøkt. Ved Otta er det en midlertidig omformer på 3,1MVA. Det er også omformere ved Fron og Dombås. Mellom Fron og Otta er det få stigninger, men fra Sel (km 307) og nordover er det flere lange stigninger på mellom 8 og 16 promille.

Tabell 4-7 viser spenningen for de passasjertogene som passerer Fron – Otta - Dombås på dagtid. Det ser ut til at alle togene får akseptable spenninger.

Tabell 4-7 Laveste spenning for passasjertog Fron – Otta - Dombås. Ingen forsterkningstiltak

Tog nr.	Dagsimulering (1)		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
40	14,8	305	09:36
403	15,3	318	17:13
41	15,0	334	11:05
42	15,6	267	12:05
43	13,5	297	12:05
46	15,8	309	18:48

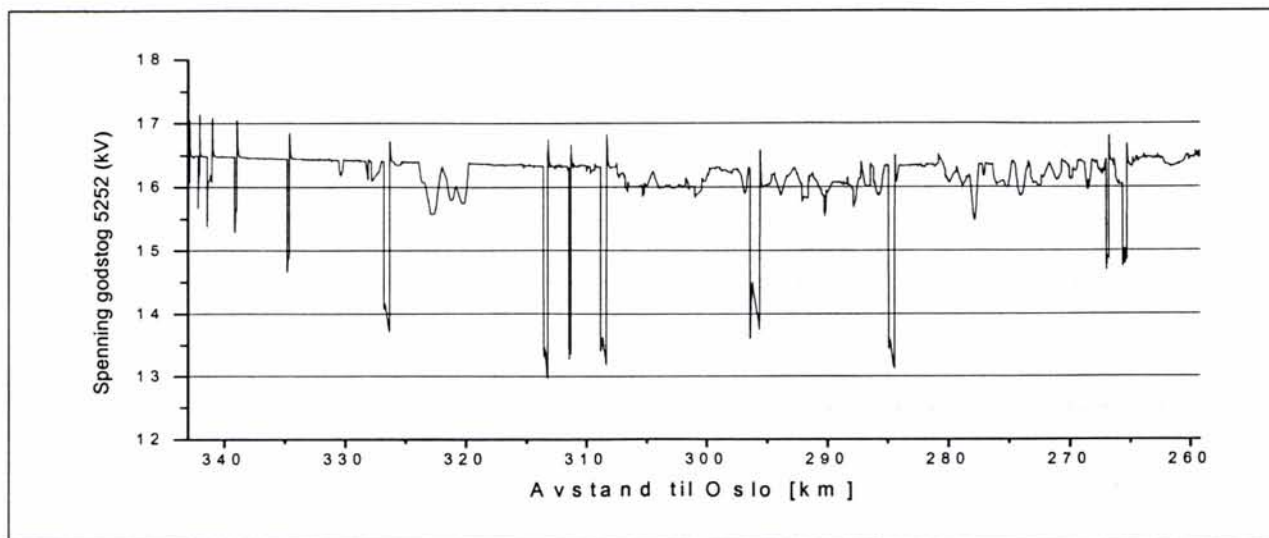
For godstogene på delstrekningen Fron – Otta - Dombås blir spenningen noe lav for alle tog, med 5709 som eneste unntak, tabell 4-8 viser dette. For de fleste passasjer- og godstog som får lav spenning oppstår dette i det bratte området etter Sel.

Tabell 4-8 Laveste spenning for godstog Fron – Otta - Dombås. Ingen forsterkningstiltak

Tog nr.	Dagsimulering (1)		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
5252	13,0	313	09:15
5704	13,0	313	13:25
5709	13,8	283	14:27
5714	13,0	313	11:17
5791	13,0	318	14:41

Av figur 4-12 ser en at spenningen for godstog 5252 holder seg over 16kV nesten over hele strekningen. Spenningen faller brått når andre tog i nærheten akselererer, slik som rundt km 313 når tog 40 akselererer ut fra Dombås lenger nord.

En fremtredende karakteristik ved spenningen er at den synker inn mot Otta ved km 297. Ved omformerstasjonene på Dombås (km 343) og Fron (km 259), er spenningen ca 16,5kV mens den ved Otta kommer under 16kV. Dette fordi Otta omformer har en spenningsinnstilling på 15.6 kV ved full belastning. Omformerne i Fron og Dombås skal gi 16,3kV ved full belastning.



Figur 4-12 Spenningen på kontaktledningen for sørgående godstog 5252 Fron – Otta - Dombås. Dagsimulering uten forsterkningstiltak

4.1.6 Spenning på kontaktledning for tog Dombås - Oppdal

Mellom Dombås (km 343,0) og Oppdal (km 429,3) ligger Dovrebanens høyeste punkt på 1024 moh, like nord for Hjerkin (km 381,7). Det er bratte stigninger på banen i begge retninger opp mot dette punktet, med stigninger mellom 16 og 18 promille.

Tabell 4-9 viser at alle passasjertogene på denne strekningen får helt akseptable spenninger. Godstog 5791 får spenning helt ned til 12,4kV, se tabell 4-10. Godstog 5709 med EG3100 lokomotiv får ikke lav spenning.

Tabell 4-9 Laveste spenning for passasjertog Dombås - Oppdal. Ingen forsterkningstiltak

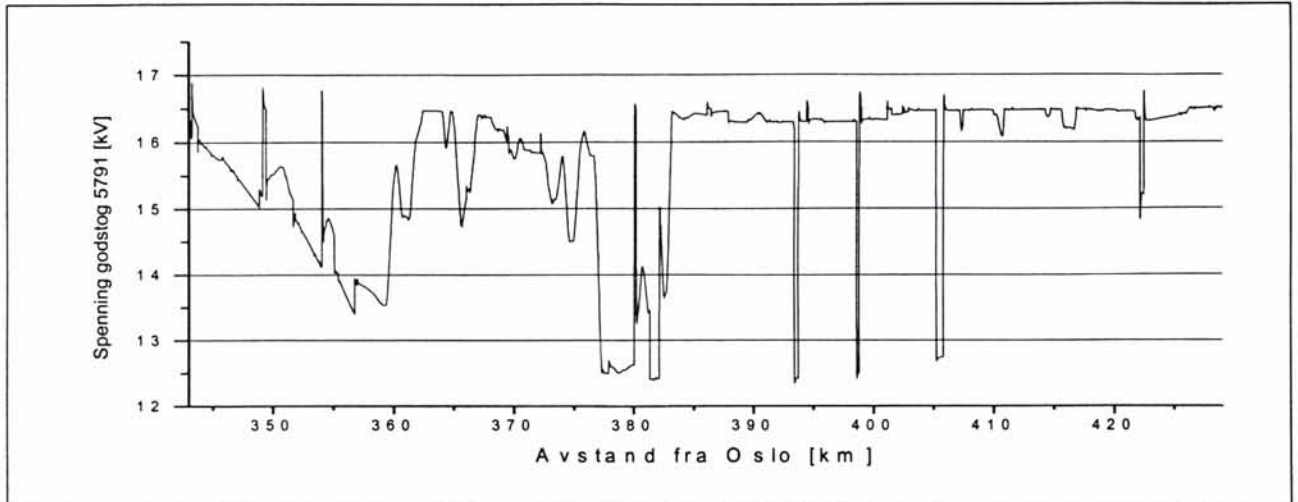
Tog nr.	Dagsimulering 1		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
403	14,5	383	18:07
45	15,6	399	18:55
46	14,7	387	17:59

Tabell 4-10 Laveste spenning for godstog Dombås - Oppdal. Ingen forsterkningstiltak

Tog nr.	Dagsimulering 1		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
5709	14,0	378	16:28
5791	12,4	394	15:43

Figur 4-13 viser at nordgående godstog 5791 får spenning under 13kV på flere steder. Rundt km 377 til 380 er spenningen under 13kV i lang tid, her er toget i en bratt stigning ca 14 promille. Ved km 380 reduseres hastigheten fra 90 til 80km/t og spenningen stiger. Mellom km 381 til 382 blir spenningen igjen lav, toget er fremdeles i den bratte stigningen og akselererer til 90km/t.

Når spenningen når lavest verdi, 12,4kV ved km 394, har toget passert det høyeste punkt på banen (km 381,7) og går deretter i nedoverbakke. Dette spenningsfallet inntreffer når toget enda en gang akselererer fra 80 til 90km/t. Også spenningsfallet rundt km 399 og 406 skyldes at toget akselererer etter først å ha redusert hastigheten.



Figur 4-13 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 5791 Dombås – Oppdal. Dagsimulering uten forsterkningstiltak

4.1.7 Spenning på kontaktledning for tog Oppdal - Lundamo

Mellom Garli og Støren er det 34km, på denne strekningen er stigningen nesten 332meter. Noen steder er stigningen mellom 16 og 18 promille og helt opp mot 20 promille på det bratteste. Videre fra Garli til Oppdal er det noen steder stigning mellom 10 og 14 promille. Mellom omformerne i Oppdal og Lundamo er det 86 km. Dette er en relativt lang avstand når stigningen er så stor, noe som dermed gir stort effektbehov.

For passasjer- og godstogene i området fra Oppdal (km 429) til Garli (km 477) og videre til Lundamo (km 429) er laveste spenning gitt i henholdsvis tabell 4-11 og tabell 4-12.

Tabell 4-11 Laveste spenning for passasjertog Oppdal - Lundamo. Ingen forsterkningstiltak

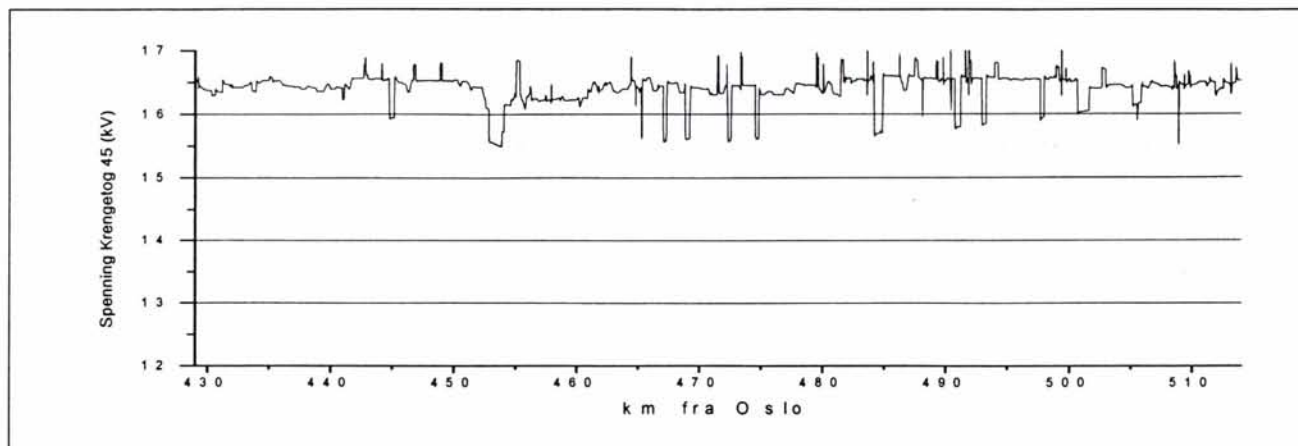
Tog nr.	Dagsimulering 1		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
403	14,8	472	19:01
45	15,5	454	19:29
46	12,4	474	17:05

Tabell 4-12 Laveste spenning for godstog Oppdal - Lundamo. Ingen forsterkningstiltak

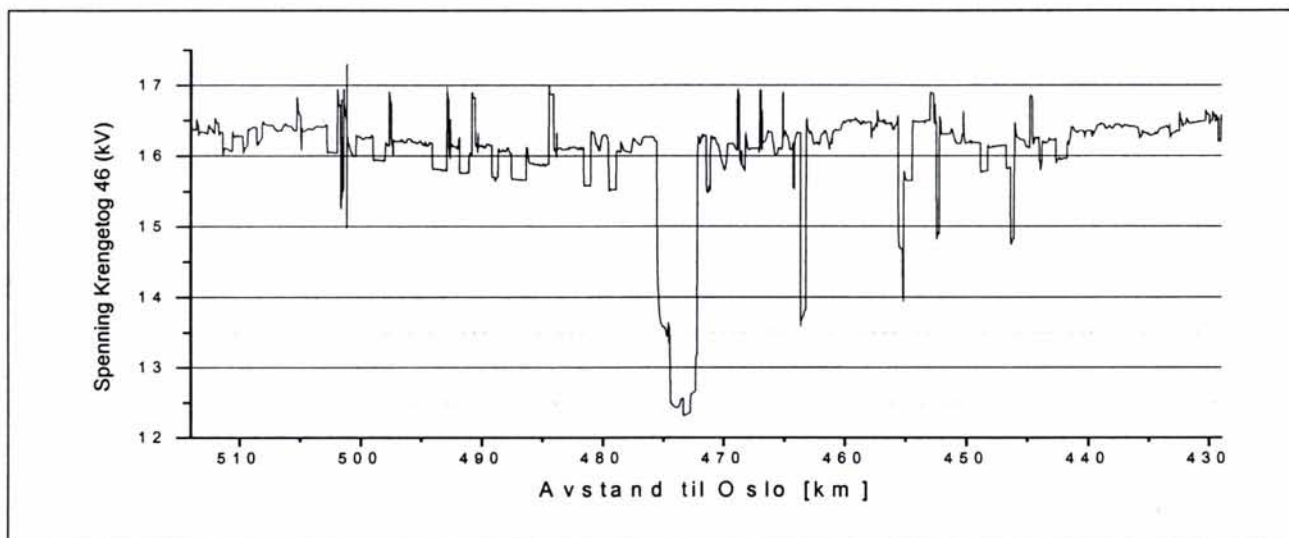
Tog nr.	Dagsimulering 1		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
5709	14,0	466	17:57
5791	12,1	478	17:05

I figur 4-14 er spenningen for passasjertog 45 vist, dette toget får en helt akseptabel spenning i hele området, rundt 16,5kV i praktisk talt hele området. Spenning ned til 15,5kV oppstår ved km 452 til 454, (da er klokken 19:29) der toget akselererer fra 80 til 100km/t.

Det er interessant å sammenligne spenningen på nord- og sørgående krengetog henholdsvis tog 45 og 46, se figur 4-14 og figur 4-15. Mens nordgående tog som nevnt får en spenning rundt 16,5kV, får sørgående tog en spenning som holder seg rundt 16kV fra km 500 til 470 (bortsett fra noen kraftige spenningsfall). Dette kan tilskrives at sørgående tog drar spenningen ned i de store stigningene fra Støren og opp Garli, mens nordgående tog i dette området triller nedover og mater effekt inn på linjen.



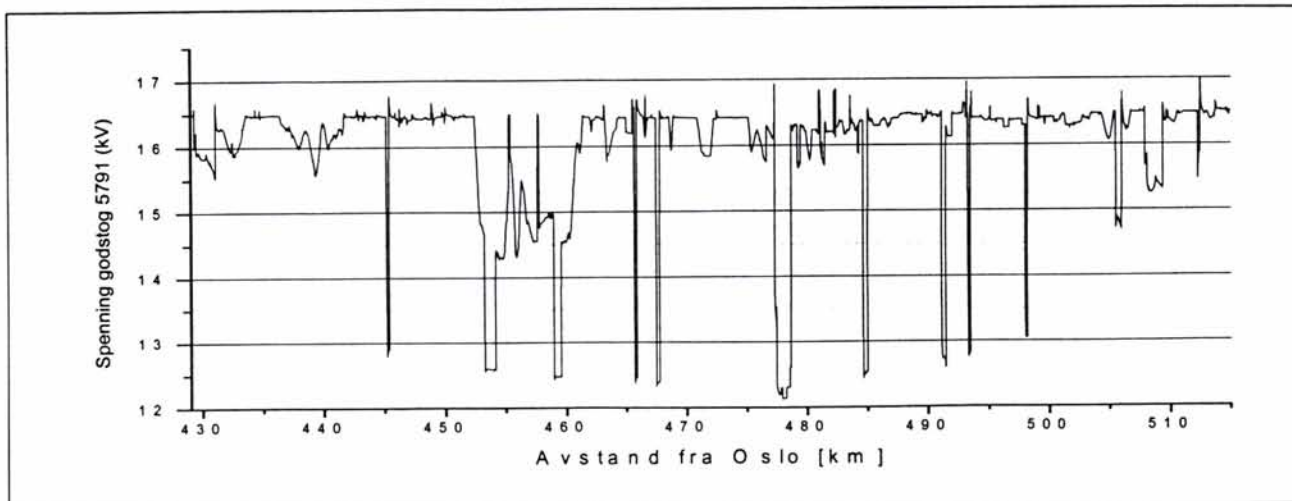
Figur 4-14 Spenningen på kontaktledningen for nordgående passasjertog 45 Oppdal-Lundamo. Dagsimulering uten forsterkningstiltak



Figur 4-15 Spenningen på kontaktledningen for sørgående krengetog 46 Oppdal-Lundamo. Dagsimulering uten forsterkningstiltak

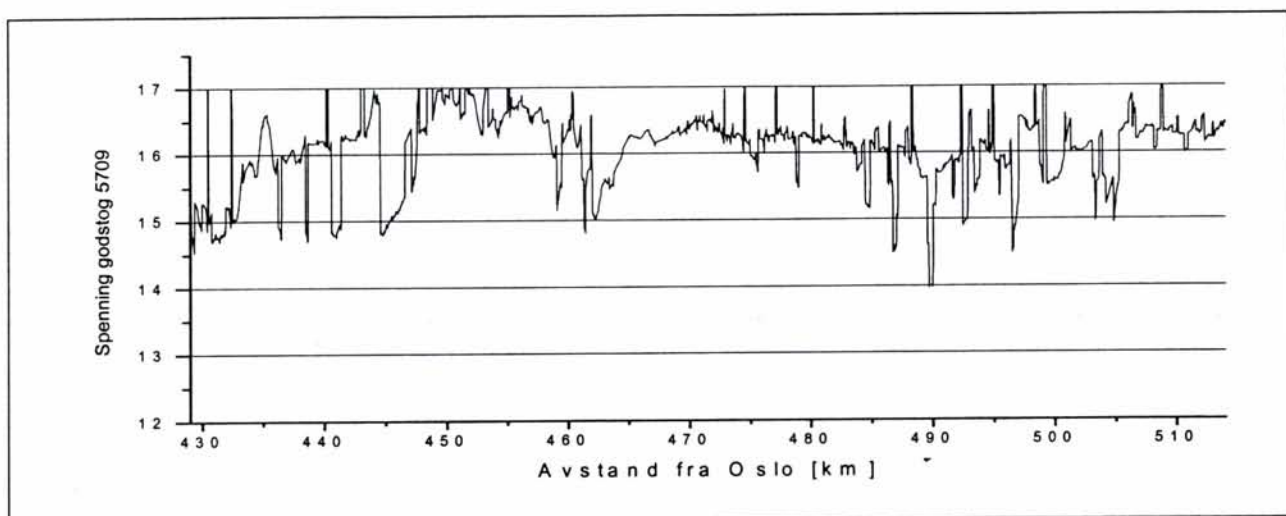
Spenningen for nordgående godstog 5791 er vist i figur 4-16. Også dette toget får en spenning rundt 16,5kV i periodene uten store lastendringer. Det laveste og mest langvarige spenningsfallet skjer fra km 777 til 779 der toget akselererer ut fra Garli (kl 17:05) etter krysning med tog 46.

Samtlige andre spenningsfall skjer når toget akselererer. Toget endrer hastighet hyppig mellom 70, 80 og 90 km/t på denne strekningen. Bortsett fra møtende tog 46 er det ingen andre tog på denne strekningen.



Figur 4-16 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 5791 Oppdal-Lundamo. Dagsimulering uten forsterkningstiltak

Godstog 5709 (med Euro-lok) er vist i figur 4-17. Dette toget får mye høyere spenning enn godstog 5791. Selv om dette toget ikke møter noen kryssende tog og ikke stopper på Garli, skyldes nok denne høyere spenningen lokomotivets andre egenskaper.



Figur 4-17 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 5709 Oppdal-Lundamo. Dagsimulering uten forsterkningstiltak

4.1.8 Belastning av omformere

Tabell 4-13 viser belastningen på omformerstasjonene. Tiden er angitt med klokken 08:00 som startpunkt.

Tabell 4-13 Belastningen av omformerstasjonene uten forsterkningstiltak. Belastning og klokkeslett

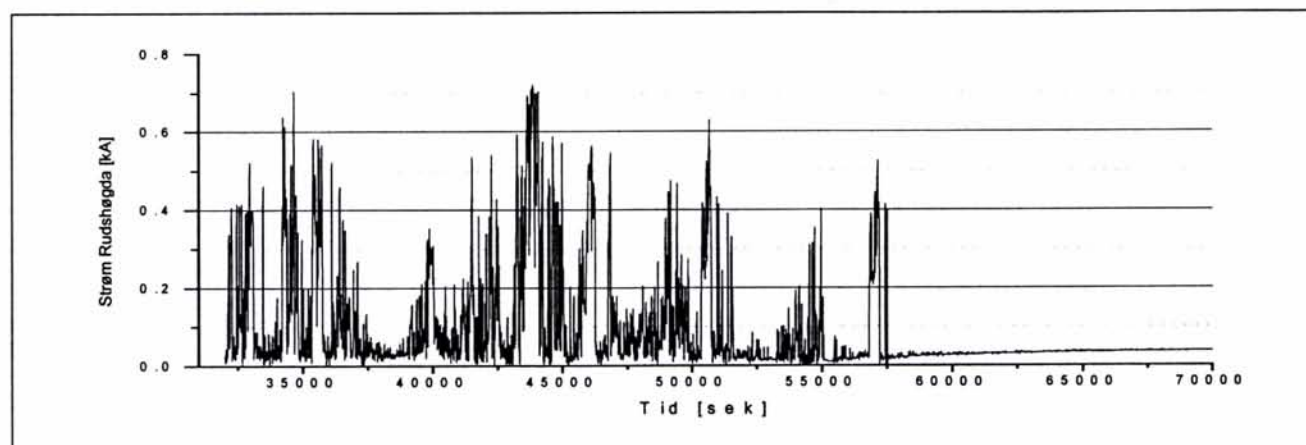
Omformer	Dagsimulering 1								
	Effekt						Strøm		
	1 time			6 minutter			2 sekunder		
	[MVA]	[%]	[kl]	[MVA]	[%]	[kl]	[kA]	[%]	[kl]
Tangen	5,11	37	12:17	8,46	38	12:49	1,10	67	11:15
Rudshøgda	3,42	110	12:58	7,89	164	12:13	0,71	158	12:11
Fåberg	5,14	44	13:37	8,95	56	13:05	1,27	102	13:02
Fron	3,75	32	14:29	6,74	42	14:16	1,29	103	14:08
Otta	1,36	44	14:58	2,94	61	14:41	0,61	135	14:27
Dombås	5,60	44	15:48	10,62	56	15:20	0,83	57	15:18
Oppdal	2,53	22	17:03	5,64	35	16:19	0,76	61	16:27
Garli	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lundamo	2,15	15	18:40	3,93	36	18:07	0,74	45	17:20
Stavne	1,83	12	19:01	6,51	-	18:07	0,69	76	18:13

Dombås, Oppdal og Lundamo

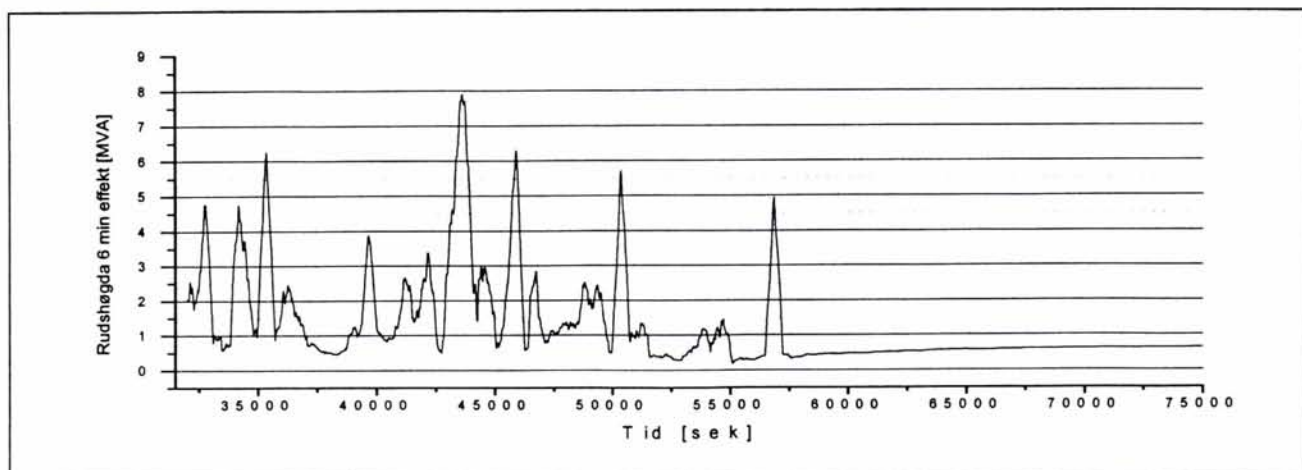
Disse omformerne er rikelig dimensjonert i forhold til belastningen dagtrafikken gir.

Rudshøgda

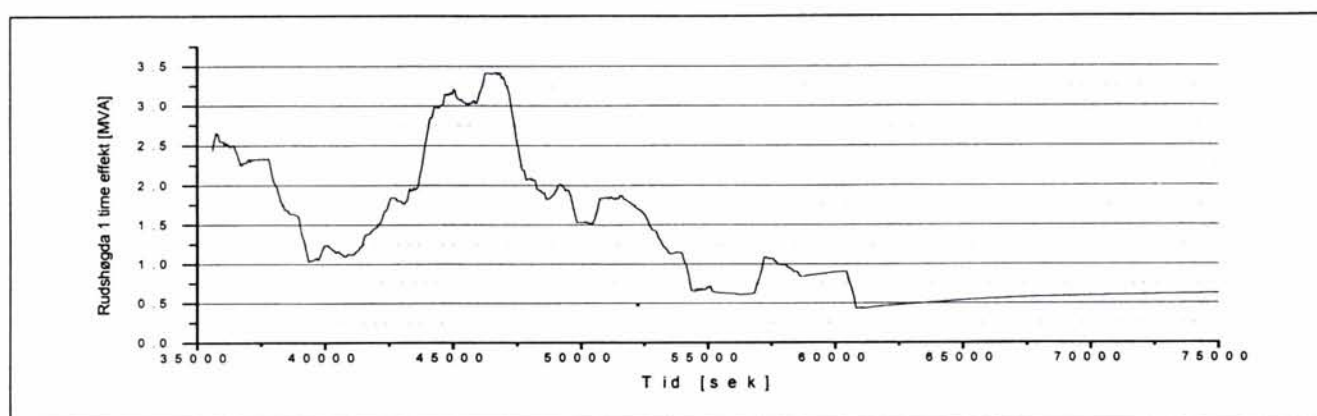
Rudshøgda omformer er mest belastet mellom klokken 12:00 og 13:00. Dette er samtidig med at flere av togene i nærheten har lavest spenning. Klokken 12:11 er omformeren mest belastet, samtidig får godstog 5252, 5277 og 5791 lavest spenning, se avsnitt 4.1.3. Figur 4-18, figur 4-18 og figur 4-20 viser at omformeren er belastet langt over sin 2 sek strømgrense, 6 minutters- og 1 times belastningsverdier i lengre perioder.



Figur 4-18 Total strøm fra Rudshøgda omformer ($I_{2\text{sek}}=460\text{A}$). Dagsimulering uten forsterkningstiltak. Grafen begynner ved 28800 sekunder som tilsvarer klokken 0800



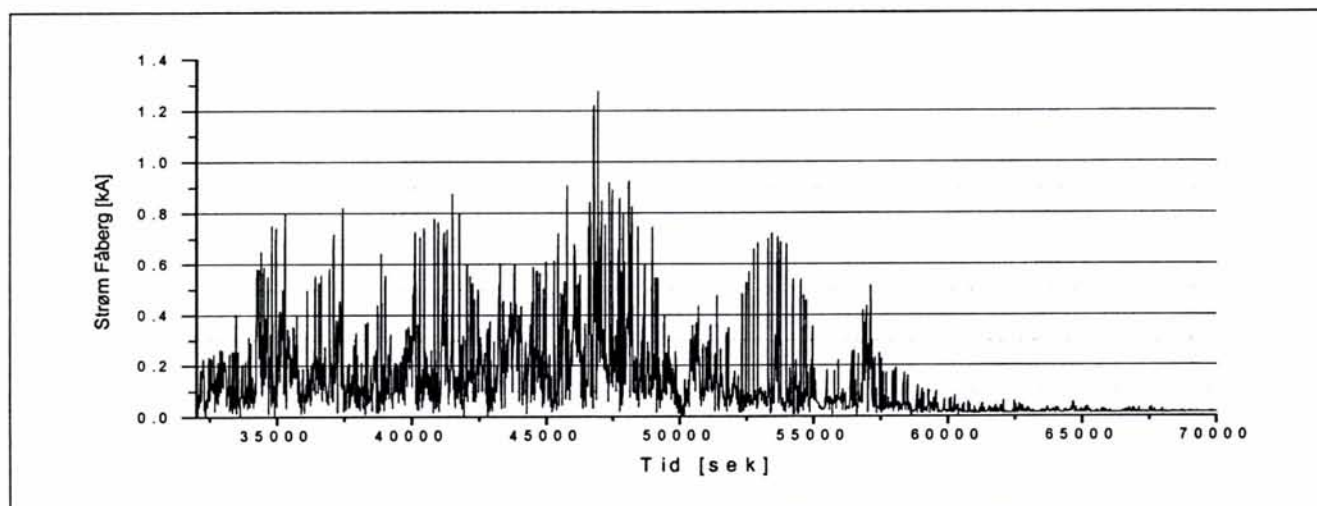
Figur 4-19 Total 6 minutters effekt fra Rudshøgda omformer ($S_{6min} = 4,8MVA$). Dagsimulering uten forsterkningstiltak. 35000 sekunder på grafen tilsvare klokken 09:43



Figur 4-20 Total 1 times effekt fra Rudshøgda omformer ($S_{1time} = 3,1MVA$). Dagsimulering uten forsterkningstiltak. 35000 sekunder på grafen tilsvare klokken 09:43

Fåberg

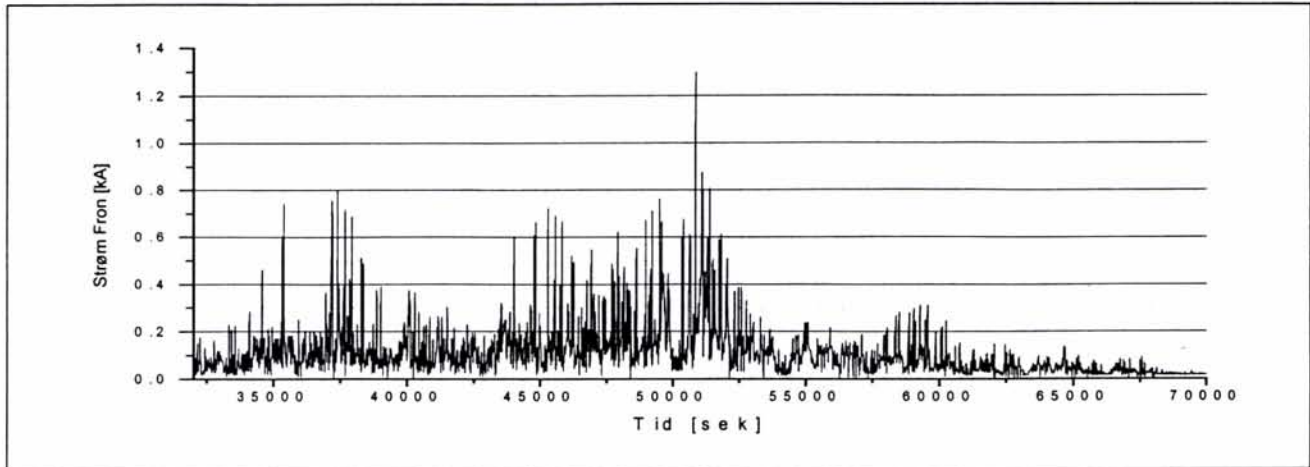
Samtidig med at Fåberg omformer er hardest belastet kl 13:02 får tog 5709 sin laveste spenning, se avsnitt 4.1.4. Imidlertid viser figur 4-21 at denne overbelastningen er kortvarig.



Figur 4-21 Total strøm fra Fåberg omformer ($I_{2sek} = 1250A$). Dagsimulering uten forsterkningstiltak. 35000 sekunder på grafen tilsvare klokken 09:43

Fron

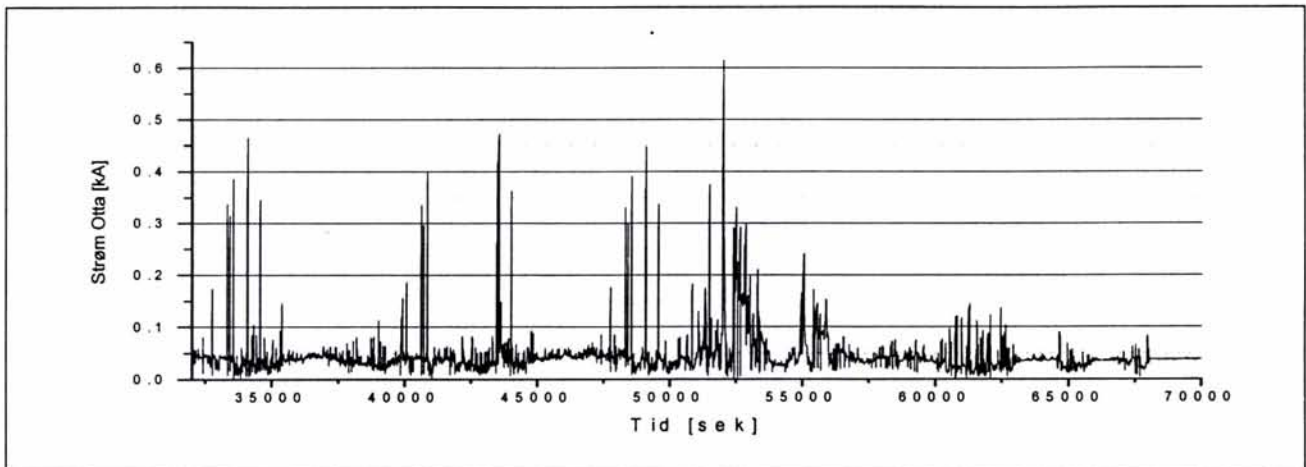
For Fron omformer er overbelastningen kortvarig, se figur 4-22.



Figur 4-22 Total strøm fra Fron omformer ($I_{2sek} = 1250A$). Dagsimulering uten forsterkningstiltak. 35000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 09:43

Otta

Figur 4-23 viser at Otta omformer blir belastet over sin nominelle strømverdi flere ganger, men kortvarig.

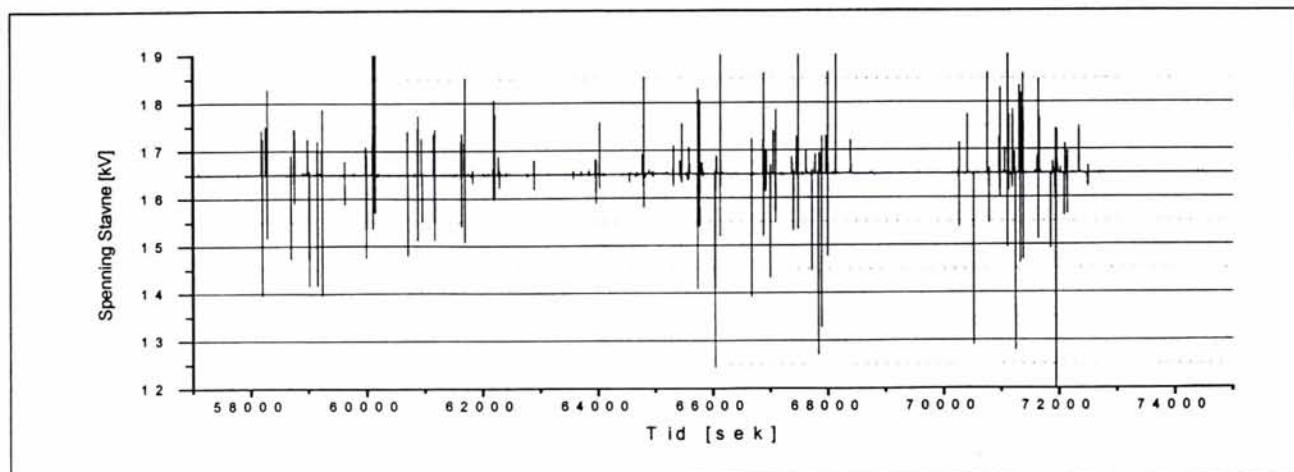


Figur 4-23 Total strøm fra Otta omformer ($I_{2sek} = 460A$). Dagsimulering uten forsterkningstiltak. 35000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 09:43

Stavne

Omformerne er rikelig dimensjonert i forhold til belastningen dagtrafikken gir. Belastningstrømmen er godt innenfor marginene. Figur 4-24 viser spenningen for denne omformeren.

Av figuren ser en at spenningen ved Stavne har mange transiente spenningsfall, eller også kalt spennings-”dipp”. Det er også mange tilfeller av at spenningen kommer høyt opp. Dette må sees på som svakheter med modellen som er brukt, å modellere spenningsregulatoren i de statiske omformerne har vært komplisert. Imidlertid er det nok i liten grad at denne svakheten i modellen egentlig forårsaker noen betydning for togenes spenning eller den samlede belastningen av omformeren.



Figur 4-24 Spenning for Stavne omformer. Dagsimulering uten forsterkningstiltak. Grafen begynner ved 57000 sekunder som tilsvarer klokken 15:50

4.2 Resultater simulering med nåværende størforsyning og togtrafikk om natten

Simulering 2 omfatter togtrafikken mellom klokken 21:00 og 06:30. På denne tiden av døgnet er det mange flere godstog som trafikkerer banen enn på dagtid og bare noen få passasjertog. Nattsimuleringen vil derfor vise de verste belastningstilfellene.

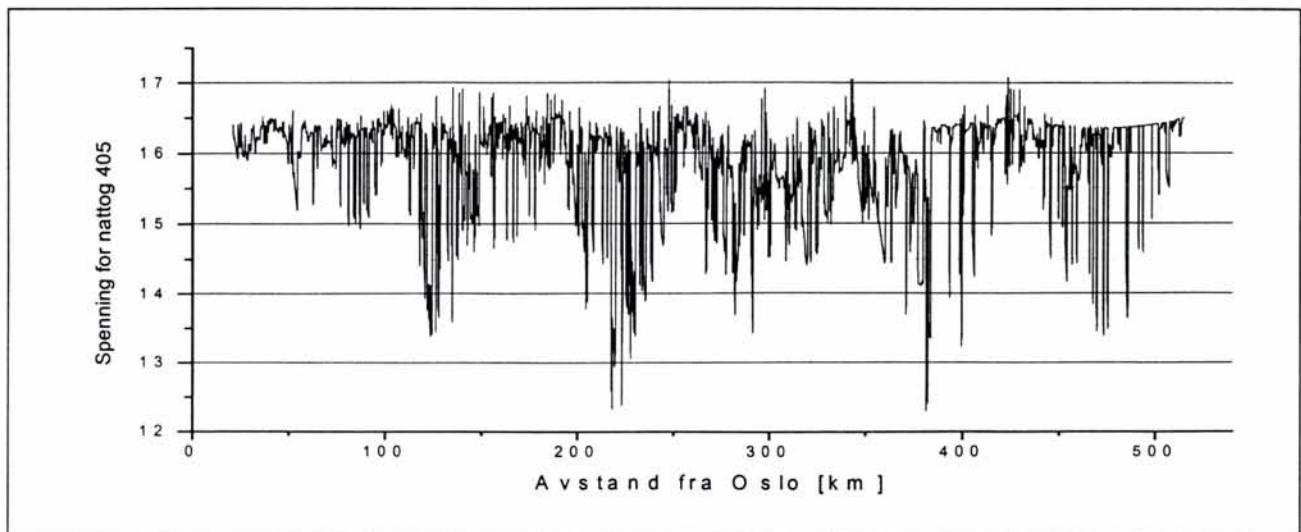
4.2.1 Spenning på kontaktledningen for passasjertog

Tabell 4-14 nedenfor viser laveste opptredende spenning på passasjertogene. Mange tog får spenninger under 13,0kV

Tabell 4-14 Laveste spenning for passasjertog Lillestrøm - Trondheim. Ingen forsterkningstiltak

Tog nr.	Nattsimulering 2		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
47	12,5	480	21:50
405	12,3	218	02:10
406	12,3	285	02:57
331	13,3	324	00:04
333	12,8	141	22:40
335	12,2	132	23:28

Spenningen for nordgående nattog 405 er vist i figur 4-25. Det er bare ved Losna (km 224) og Hjerkind (km 381) at spenningen kommer under 13 kV.



Figur 4-25 Spenningen på kontaktledningen for nordgående nattog 405. Lillestrøm – Trondheim. Ingen forsterkningstiltak. Spenning på kontaktledningen for godstog

De laveste spenningsnivåene for simuleringen for godstogene om natten er vist i tabell 4-15 nedenfor. Flere tog får spenninger under 12kV, tog 5793 får en spenning helt ned til 11,7kV. De nordgående godstogene 5701, 5703 og 5715 får lavest spenning mellom Dombås (km 343) og Oppdal (km 429). Dette skjer når togene akselererer fra 80 til 90km/t. Tog 5701 og 5715 er dessuten i et område med stigning på 14 promille. Også togene 5705 og 5713 får lavest spenning mellom Dombås og Oppdal.

Godstogene 5716, 5721 og 5793 får lavest spenning på strekningen Oppdal (km 429) til Lundamo (km 514). For tog 5721 og 5793 inntreer lavest spenning samtidig.

Mellom Tangen (km 101), Rudshøgda (km 148) og Fåberg (km 192) får godstog 5781, 5253, 5268 og 5283 laveste spenninger.

Godstog 5781 får lavest spenning midt mellom Fåberg og Fron omformere når toget akselererer fra 70 til 90km/t. Det er samtidig flere andre tog i nærheten.

Tabell 4-15 Laveste spenning for godstog Lillestrøm - Trondheim. Ingen forsterkningstiltak

Tog nr.	Nattsimulering (2)		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
5701	12,2	379	00:31
5703	12,2	393	00:10
5705	11,8	381	02:58
5713	11,8	383	04:07
5715	11,8	378	02:44
5716	12,2	477	21:50
5721	13,2	506	03:37
5781	12,1	216	01:38
5793	11,7	493	03:37
5251	12,3	313	00:44
5253	12,1	143	23:28
5268	12,5	170	03:33
5283	12,4	157	03:11

4.2.2 Spenning på kontaktledning for tog Tangen – Rudshøgda - Fåberg

Tabell 4-16 og tabell 4-17 viser spenningen for henholdsvis passasjer- og godstog på strekningen fra Tangen (km 101), Rudshøgda (km 148) til Fåberg (km 192). Lavest forekommende spenninger er ikke spesielt lavere enn for dagsimulering 1, se avsnitt 4.1.3. Spenningene er lavere enn 13kV for samtlige tog unntatt noen av passasjertogene.

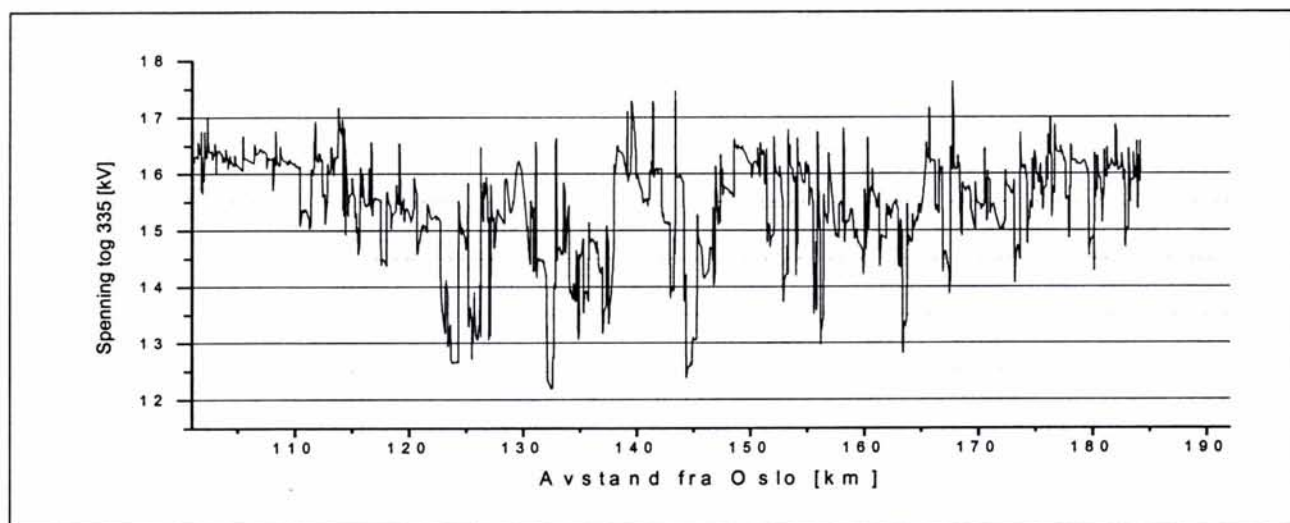
Tabell 4-16 Laveste spenning for passasjertog Tangen – Rudshøgda - Fåberg. Ingen forsterkningstiltak

Tog nr.	Nattsimulering (2)		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
405	13,4	123	00:33
406	14,7	167	04:37
333	12,8	141	22:40
335	12,2	132	23:28

Tabell 4-17 Laveste spenning for godstog Tangen – Rudshøgda - Fåberg. Ingen forsterkningstiltak

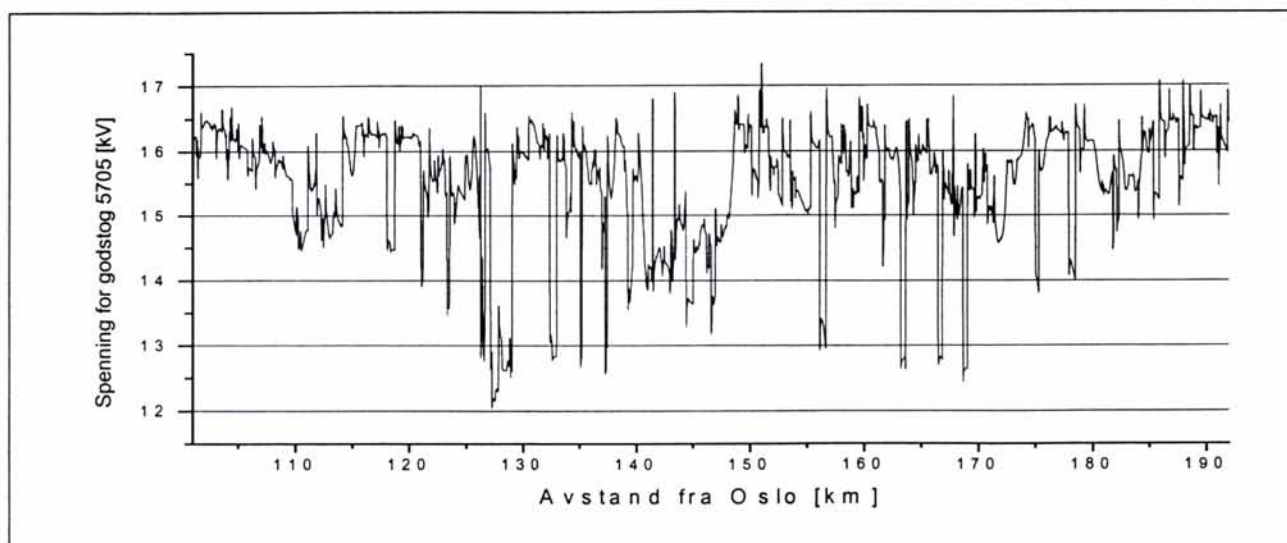
Tog nr.	Nattsimulering (2)		
	Umin (kV)	Sted (km)	Tidspunkt
5705	12,0	127	23:38
5713	12,4	124	23:38
5715	12,2	163	23:28
5716	12,3	130	03:11
5781	12,6	135	01:00
5793	12,3	132	23:02
5251	12,6	135	22:16
5253	12,1	143	23:28
5268	12,5	170	03:33
5283	12,4	157	03:11

Spenningen for tog 335 er vist mellom Tangen og Fåberg i figur 4-26. Spenningen kommer flere ganger under 13kV. Lavest blir spenningen ved km 132 der toget akselererer fra 70 til 100km/t.



Figur 4-26 Spenningen på kontaktledningen for nordgående passasjertog 335 Tangen – Rudshøgda – Fåberg. Nattsimulering uten forsterkningstiltak

Figur 4-27 viser at godstog 5705 over en kort strekning får spenning helt ned til 12kV. Dette skjer ved km 127, når toget akselererer fra 70 til 90 km/t. Også flere andre steder kommer spenningen kortvarig lavt.



Figur 4-27 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 5705 Tangen – Rudshøgda – Fåberg. Nattsimulering uten forsterkningstiltak

4.2.3 Spenning på kontaktledning for tog Fåberg - Fron

Tabell 4-18 og tabell 4-19 viser spenningen for henholdsvis passasjertog og godstog på strekningen Fåberg (km 191,7) til Fron (km 258,7). Nattog 405 får en spenning helt ned til 12,3kV, de andre to passasjertogene får akseptabel spenning. Når det gjelder godstogene får samtlige lav spenning, mange ned mot 12kV.

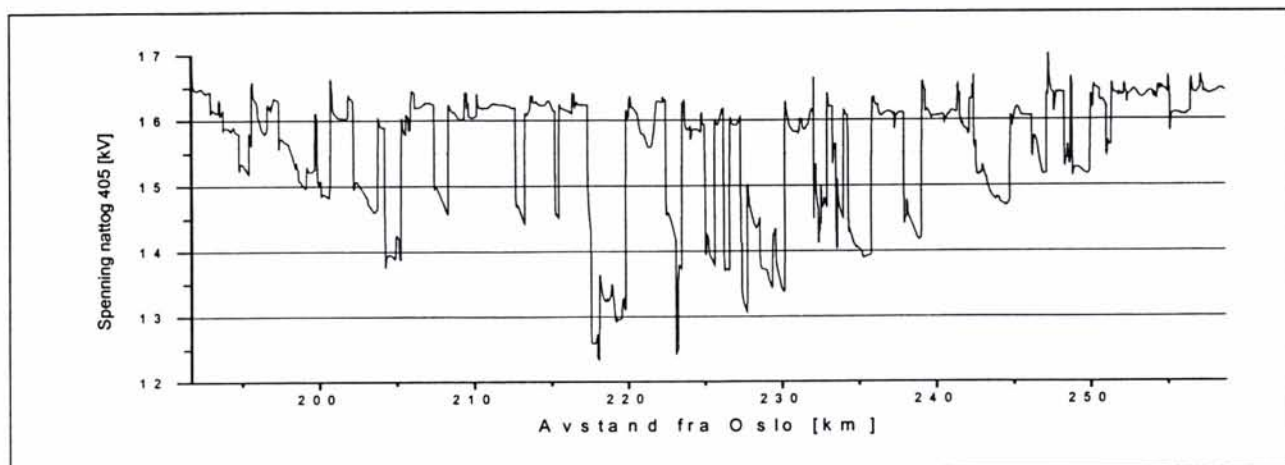
Tabell 4-18 Laveste spenning for passasjertog Fåberg - Fron. Ingen forsterkningstiltak

Tog nr.	Nattsimulering 2		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
405	12,3	218	02:10
406	13,8	229	03:43
331	14,9	226	22:51

Tabell 4-19 Laveste spenning for godstog Fåberg - Fron. Ingen forsterkningstiltak

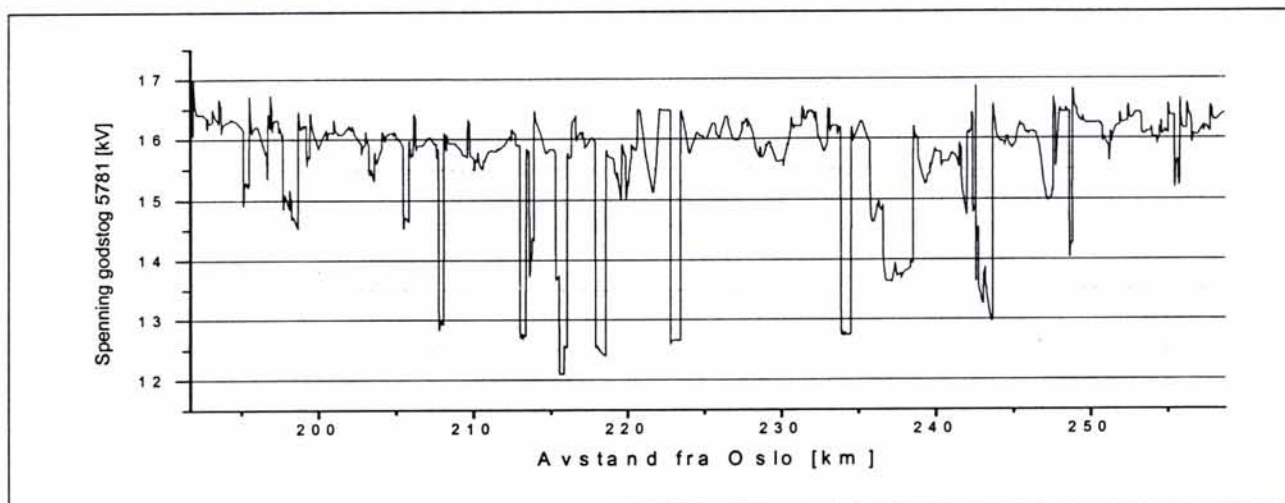
Tog nr.	Nattsimulering 2		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
5705	12,2	234	00:56
5713	12,4	208	00:56
5715	12,2	213	00:04
5716	12,0	231	01:38
5781	12,1	216	01:38
5793	12,2	234	23:54
5251	12,6	223	23:28
5253	12,4	223	00:27

Nordgående nattog 405 får en spenning som to steder kommer under 13kV, se figur 4-28. Lavest spenning er 12,3kV, den oppstår ved km 218 når toget akselererer fra 70 til 90km/t.



Figur 4-28 Spenningen på kontaktledningen for nordgående nattog 405 Fåberg – Fron. Nattsimulering uten forsterkningstiltak

Spenningen for godstog 5781 er vist i figur 4-29, toget får flere steder en spenning under 13kV. Spenningen blir lavest ved km 215, der toget akselererer fra 80 til 90km/t, også de andre spenningsfallene skyldes akselerasjonene etter nedbremsing.



Figur 4-29 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 5781 Fåberg – Fron. Nattsimulering uten forsterkningstiltak

4.2.4 Spenning på kontaktledningen for tog Fron – Otta- Dombås

Tabell 4-20 og tabell 4-21 viser spenningen for henholdsvis passasjer- og godstog på strekningen fra Fron (km 259), Otta (km 297) til Dombås (km 343).

Laveste spenning for passasjertog i dette området ble i dagsimulering 1 er funnet til 13,5kV og for godstog 13,0kV. Simulering for nattrafikken viser spenninger helt ned mot 11,9kV for godstogene, altså betydelig lavere enn for trafikken på dagtid. Laveste spenninger ser ut til å opptre mellom klokken 01:00 og 03:00. Mellom Ringebu og Dombås skjer krysningen mellom nesten alle nord- og sørgående godstog. Størst toggang opptrer mellom klokken 00:00 og 03:00. Her kan en forvente både lave spenninger og stor belastning av omformerne.

Alle godstogene, unntatt 5716, er nordgående og for mange av togene inntreer laveste spenning mellom km 308 og 318. For de nordgående togene har denne strekningen bratt stigning,

overveiende mellom 12 og 16 promille. Samtidig som det er bratt oppoverbakke akselererer togene fra 70 og 90 km/t etter å ha bremsset, tre ganger på denne strekningen.

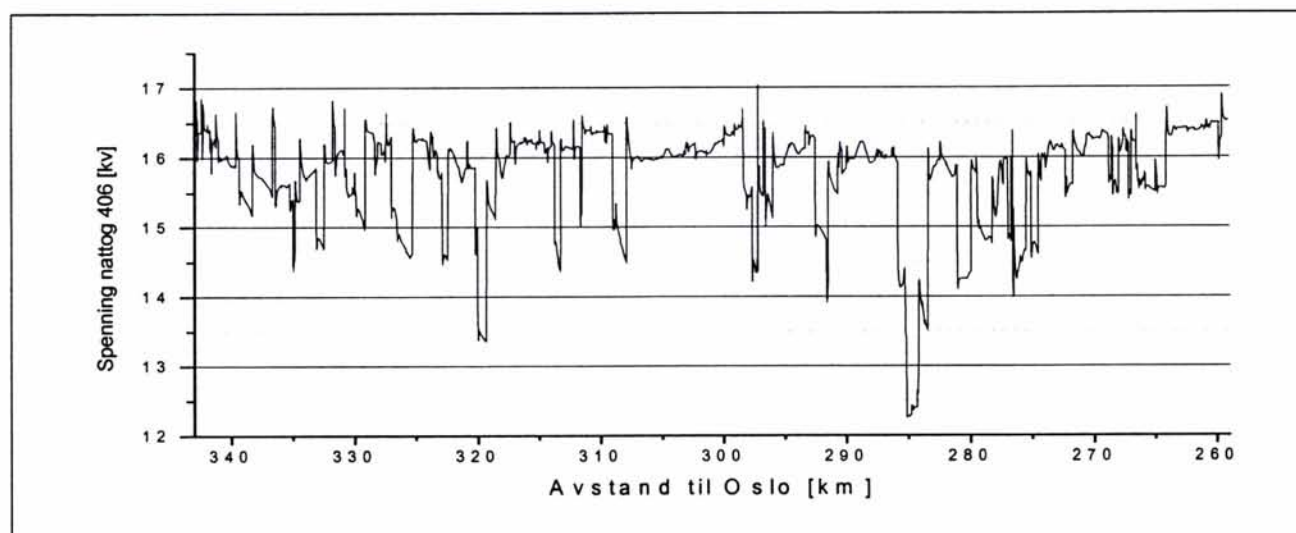
Tabell 4-20 Laveste spenning for passasjertog Fron – Otta- Dombås. Ingen forsterkningstiltak

Tog nr.	Nattsimulering 2		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
405	13,4	291	03:12
406	12,3	285	02:57
331	13,3	324	00:04

Tabell 4-21 Laveste spenning for godstog Fron – Otta- Dombås. Ingen forsterkningstiltak

Tog nr.	Nattsimulering 2		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
5703	13,2	318	23:11
5705	12,6	287	01:32
5713	12,9	318	02:45
5715	11,9	309	01:12
5716	12,5	314	00:04
5781	12,2	287	02:57
5793	12,0	317	01:12
5251	12,3	313	00:44
5253	12,4	287	01:12

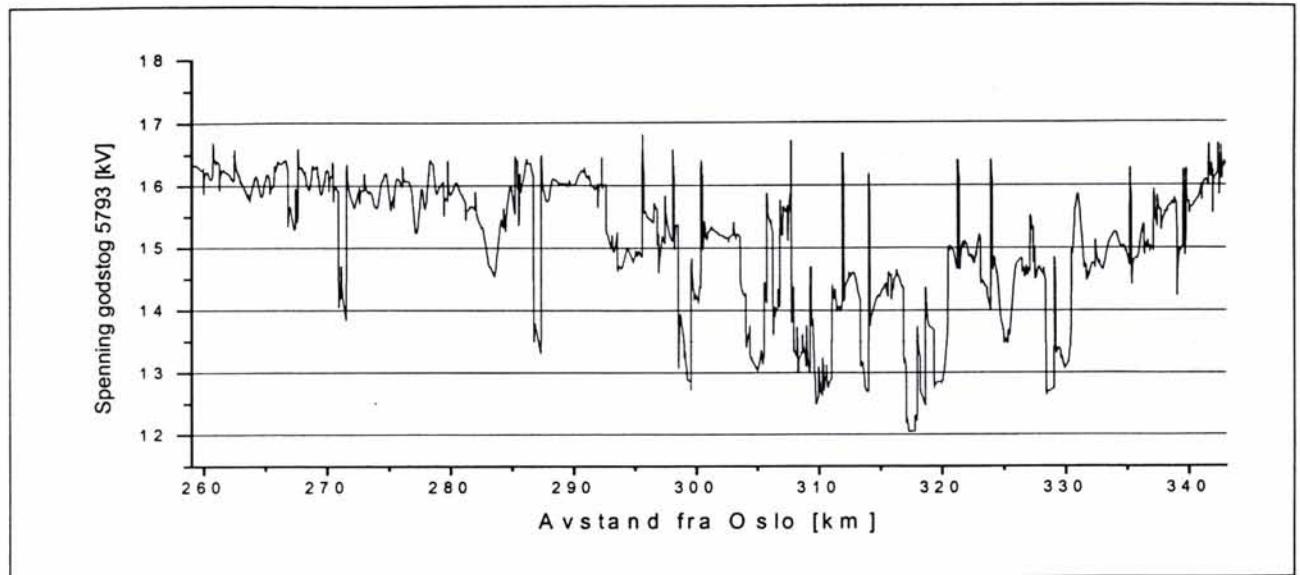
Figur 4-30 viser spenningen for sørgående nattog 406 på strekningen Fron – Otta- Dombås. Toget får sin laveste spenning helt ned mot 12,2kV ved km 284 - 285, når det akselererer fra 70 til 100km/t. Klokken er da 02:57 og samtidig akselererer nordgående godstog 5781 ut fra Sjoa (km 286) etter kryssing med nattog 406. Tabell 4-21 viser at også godstog 5781 får sin laveste spenning ved dette stedet og tidspunkt.



Figur 4-30 Spenningen på kontaktledningen for sørgående nattog 406 Fron – Otta- Dombås. Ingen forsterkningstiltak

Nordgående godstog 5793 får en spenning lavere enn 13kV over flere delstrekninger, se figur 4-31. Lavest spenning får toget ved km 317 når det akselererer fra 70 til 90km/t, klokken er da

01:12. Ved dette tidspunktet får også to tog lenger sør sin laveste spenning, dette gjelder godstog 5715 og 5253.



Figur 4-31 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 5793 ved Fron – Otta-Dombås. Ingen forsterkningstiltak

4.2.5 Spenning på kontaktledning for tog Dombås - Oppdal

Tabell 4-22 og tabell 4-23 viser laveste spenning for tog mellom Dombås (km 343) og Oppdal (km 429) for passasjer- og godstog. Alle tog får spenninger under 13kV og godstog 5705, 5713 og 5715 får spenninger under 12kV. Sammenlignes dette med laveste spenningen for togene om dagen i kapittel 4.1.6, ble laveste spenning på denne strekningen funnet til 12,4kV.

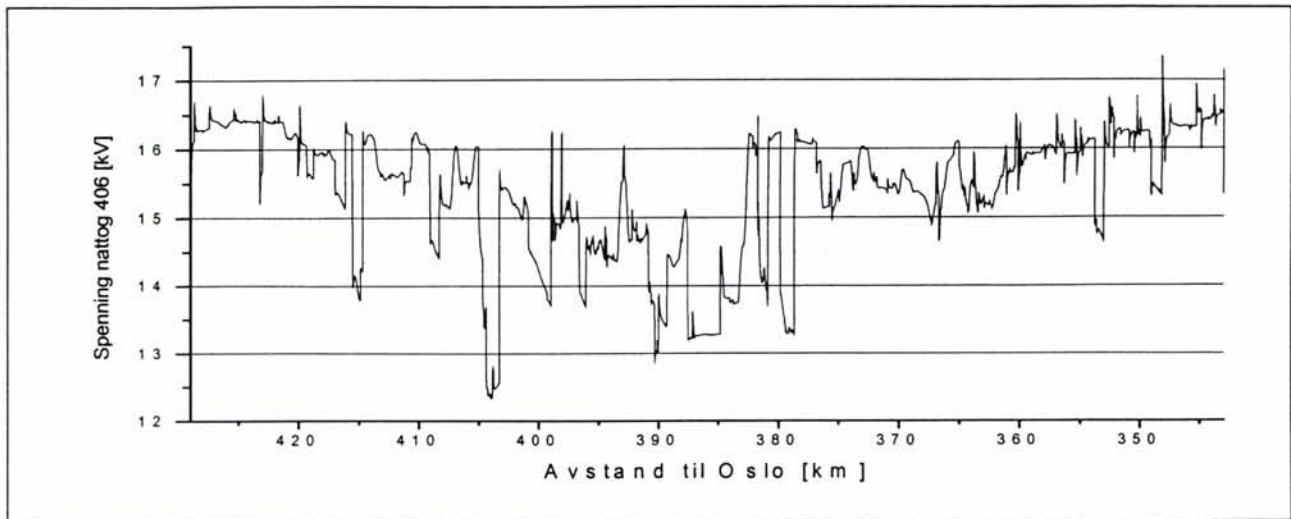
Tabell 4-22 Laveste spenning for passasjertogene Dombås – Oppdal. Ingen forsterkningstiltak

Tog nr.	Nattsimulering 2		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
405	12,4	381	04:39
406	12,3	404	00:57

Tabell 4-23 Laveste spenning for godstog Dombås – Oppdal. Ingen forsterkningstiltak

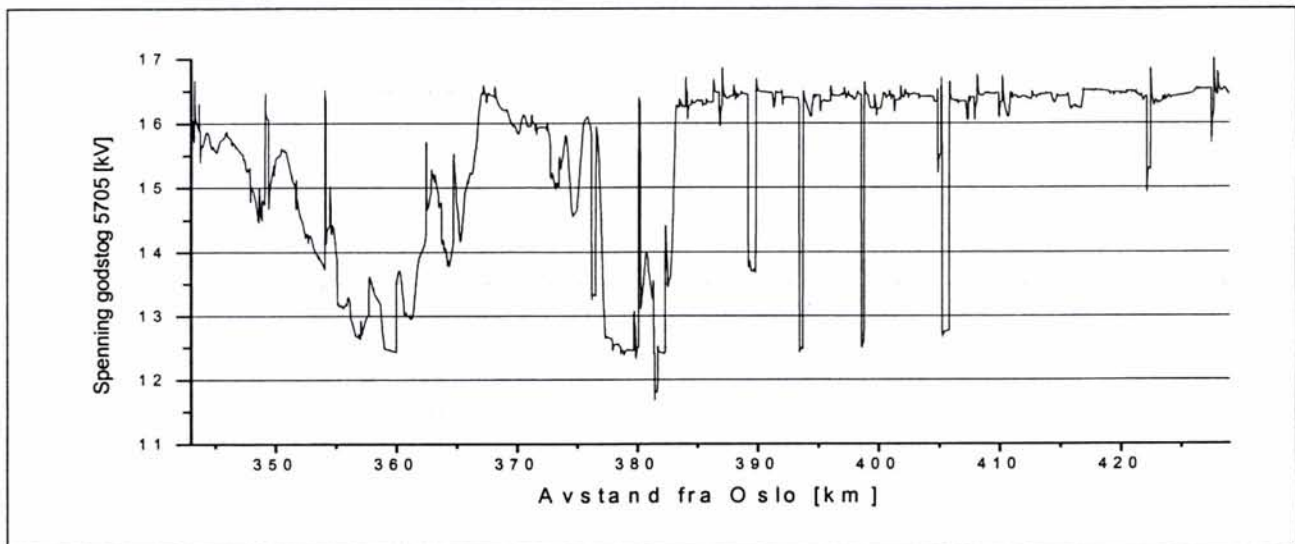
Tog nr.	Nattsimulering 2		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
5701	12,2	379	00:31
5703	12,2	393	00:10
5705	11,8	381	02:58
5713	11,8	383	04:07
5715	11,7	378	02:44
5716	12,4	380	22:59
5781	12,3	380	04:20
5793	12,1	399	02:26

Spenningen for sørgående nattog 406 er vist i figur 4-32. Spenningene er lav i hele området fram til km 381 (ved Hjerkin), her begynner nedoverbakkene etter at toget har kjørt i lange stigninger. Lavest spenning oppstår ved km 404 når toget akselererer i oppoverbakke fra 70 til 90km/t.



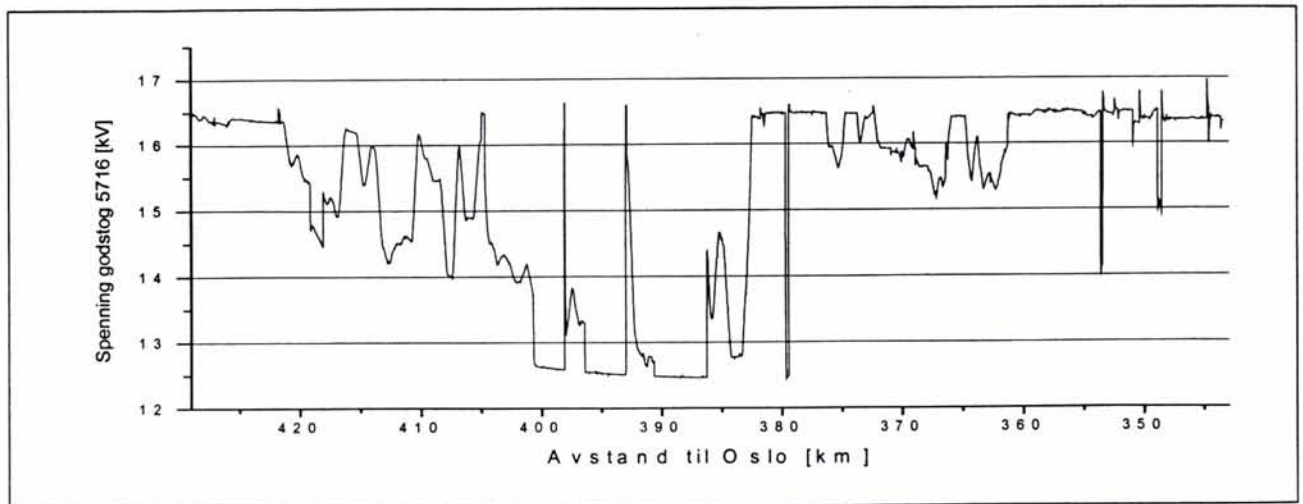
Figur 4-32 Spenningen på kontaktledningen for sørgående nattog 406 Dombås – Oppdal. Nattsimulering uten forsterkningstiltak

Spenningen for nordgående godstog 5705 er vist figur 4-33. Lavest blir spenningen rundt km 382 hvor toget akselererer fra 80 til 90km/t i sterk stigning. Spenningen blir igjen høy når toget passerer høyeste punkt på banen (km 382) og etter det kjører i nedoverbakke.



Figur 4-33 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 5705 Dombås – Oppdal. Nattsimulering uten forsterkningstiltak

Sørgående godstog 5716 er vist i figur 4-34. Spenningen er ikke så lav som for nordgående tog 5705, se figur 4-33, men spenningen for dette toget er under 13kV over en lang strekning. Spenningen er lav i oppoverbakkene mot Hjerkinns fra km 401 til 381. Toget foretar flere akselerasjoner etter nedbremsinger i disse oppoverbakkene.



Figur 4-34 Spenningen på kontaktledningen for sørgående godstog 5716 Oppdal - Dombås. Nattsimulering uten forsterkningstiltak

4.2.6 Spenning på kontaktledning for tog Oppdal - Lundamo

Tabell 4-24 og tabell 4-25 viser spenningen for henholdsvis passasjer- og godstog på strekningen mellom Oppdal (km 429) og Lundamo (km 514). Laveste spenning for passasjertog i dette området i dagsimulering 1 var 12,4kV og for godstog 12,1kV. Simulering for trafikken om natten viser spenninger helt ned mot 11,7kV, altså en del lavere spenning enn for trafikken på dagtid. Alle godstogene på denne strekningen får spenninger under 13,0kV.

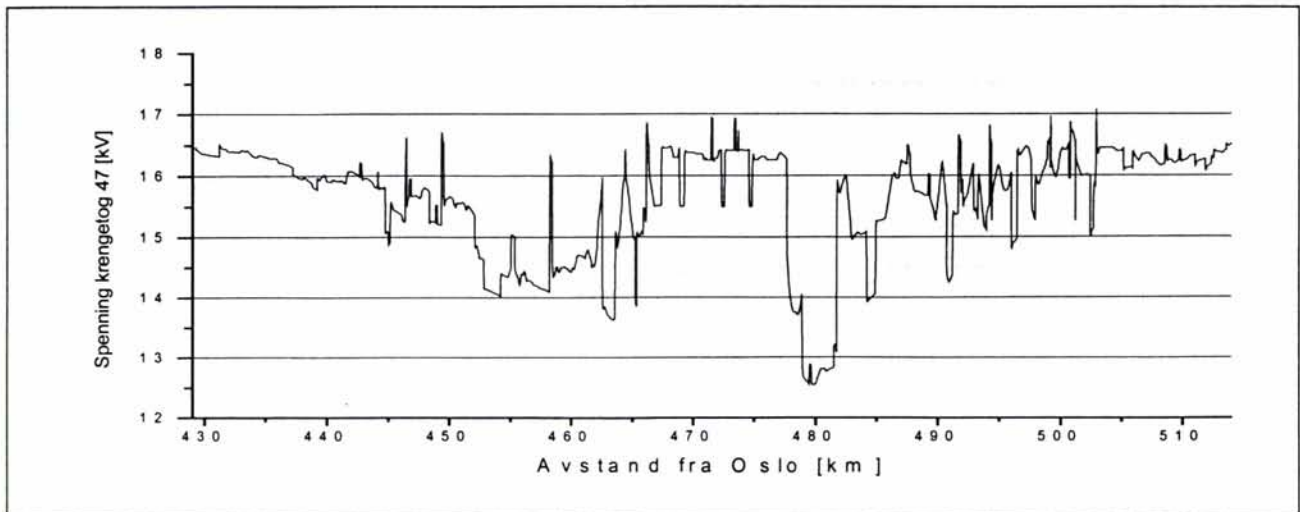
Tabell 4-24 Laveste spenning for passasjertog Oppdal - Lundamo. Ingen forsterkningstiltak

Tog nr.	Nattsimulering 2		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
47	12,5	480	21:50
405	13,3	473	05:56
406	13,3	471	00:00

Tabell 4-25 Laveste spenning for godstog Oppdal - Lundamo. Ingen forsterkningstiltak

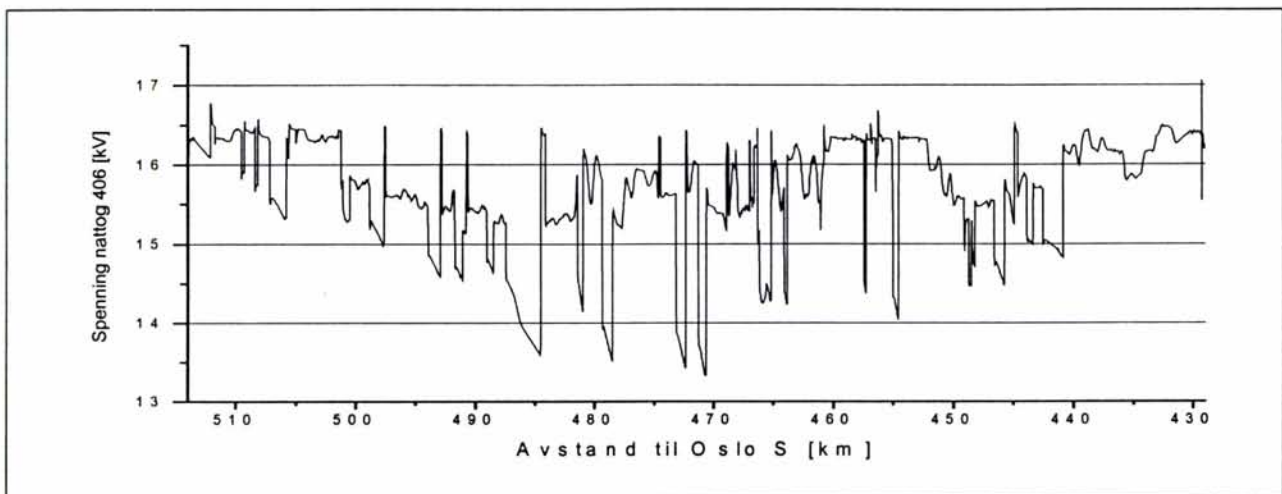
Tog nr.	Nattsimulering 2		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
5701	12,4	466	01:42
5703	12,4	468	01:03
5705	12,2	468	03:59
5713	12,3	459	05:00
5715	12,1	459	03:41
5716	12,2	477	21:50
5721	13,0	506	03:37
5781	12,4	459	05:16
5793	11,7	493	03:37

Krengetog 47 ser ut til å få en helt akseptabel spenning, unntatt ved km 480 (like nord for Garli) der laveste spenning oppstår, se figur 4-35, klokken er da 21:50. Dette skjer samtidig med at godstog 5716 akselererer ut fra Garli etter krysning. Tog 5716 kjører da sørover i stor stigning.



Figur 4-35 Spenningen på kontaktledningen for nordgående krengetog 47 Oppdal – Lundamo. Nattsimulering uten forsterkningstiltak

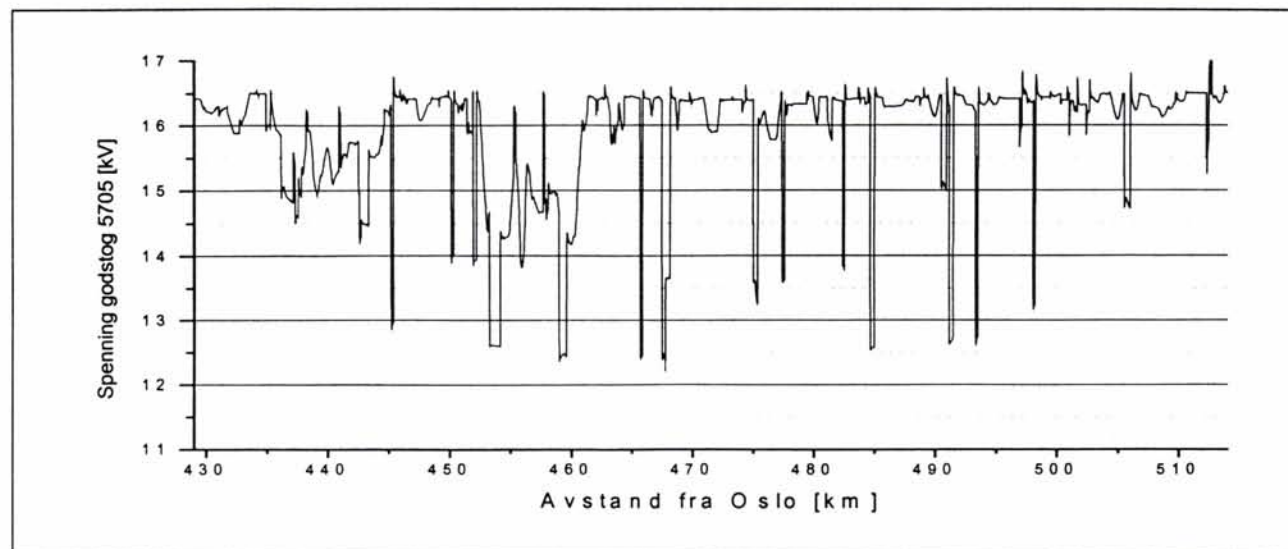
Sørgående nattog 406 befinner seg noen km sør for Garli når lavest spenning inntreffer kl 00:00 ved km 471. Toget akselererer da ut fra Garli, se figur 4-36. Det er ingen andre tog i nærheten og spenningen for tog 406 skyldes togets eget kjøremønster. Spenningen for dette toget er innenfor det tillatte området.



Figur 4-36 Spenningen på kontaktledningen for sørgående nattog 406 Oppdal – Lundamo. Nattsimulering uten forsterkningstiltak

Figur 4-37 viser at spenningen for nordgående godstog 5705 holder seg på 16,5kV det meste av strekningen, men med mange og relativt kortvarige spenningsdip. Dette toget kjører i nedoverbakke og vil dermed bremse på store deler av strekningen.

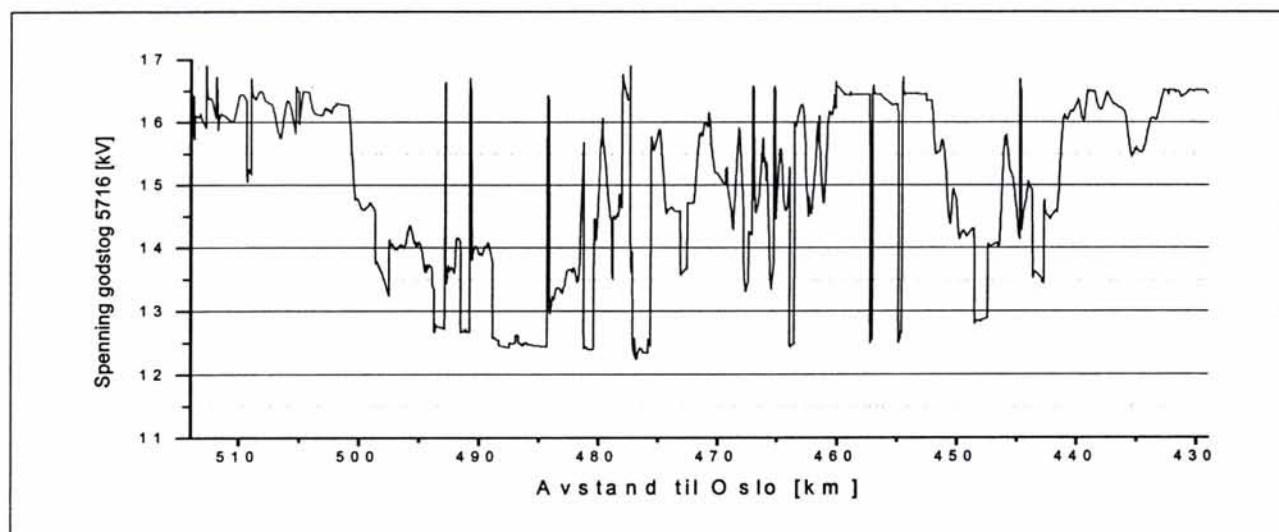
Spennning under 13kV oppstår flere steder, men i korte perioder. Dette skjer når toget akselererer og trekker større effekt. Godstog 5715 er bare noen få minutter foran, dette toget akselererer også på de samme stedene og påvirker spenningen for tog 5705.



Figur 4-37 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 5705 Oppdal – Lundamo. Nattsimulering uten forsterkningstiltak

For sørgående godstog 5716 oppstår det en spenning lavere enn 13kV over lang avstand, se figur 4-38. Fra km 489 til 484 er spenningen under 13kV. Oppoverbakene mot Garli har sterk stigning, mellom 15 og 18 promille for km 477 til 500. Det skjer flere ganger at toget reduserer hastigheten og akselererer opp igjen inntil det stanser ved Garli ved km 477 og venter. Når toget er stanset er rimeligvis spenningen høy, inntil toget akselererer ut fra stasjonen og igjen drar spenningen ned rundt km 476-475.

Sammenlignes dette mønsteret med spenningen for sørgående nattog 406, se figur 4-36, er det en viss likhet, selv om nattoget ikke får på langt nær så lav spenning ved innkjøringen til Garli.



Figur 4-38 Spenningen på kontaktledningen for sørgående godstog 5716 Oppdal – Lundamo. Nattsimulering uten forsterkningstiltak

4.2.7 Belastning av omformere

Tabell 4-26 viser belastningen på omformerstasjonene for simulering med trafikk om natten uten forsterkningstiltak. Timesverdiene for omformerne på Fåberg, Fron og Dombås viser så stor belastning at utfall av et omformeraggregat vil føre til at den andre omformeren i samme stasjon overbelastes og kobles ut. Dette igjen vil føre til overbelastning av de øvrige omformer-

stasjonene. For omformerne på Tangen og Otta, der det bare er et aggregat, vil utfall føre til overbelastning i nabostasjonene.

Tabell 4-26 Belastningen av omformerstasjonene uten forsterkningstiltak. Maksimal belastning og klokkeslett

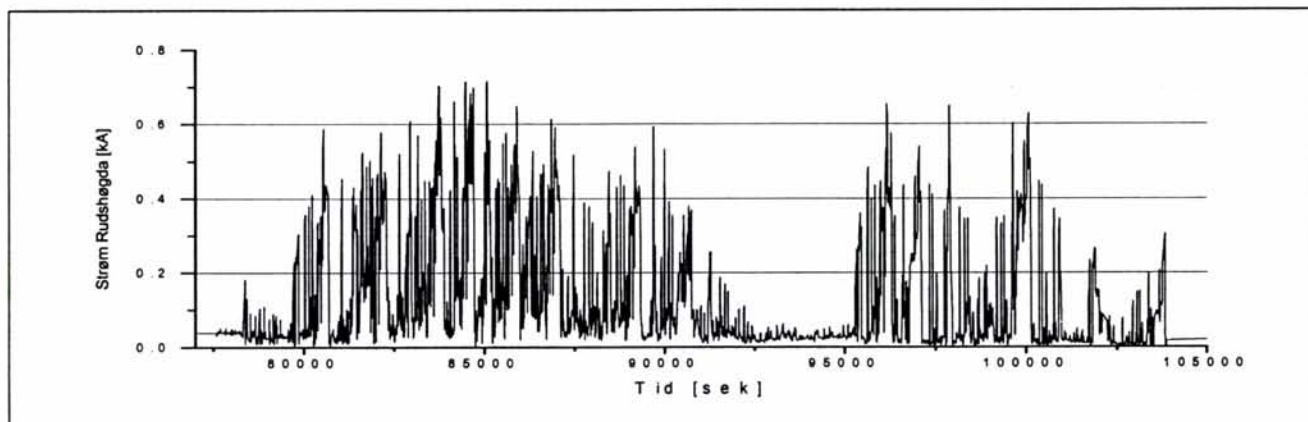
Omformer	Nattsimulering 2								
	Effekt						Strøm [kA]		
	1 time			6 minutter			2 sekunder		
	[MVA]	[%]	[kl]	[MVA]	[%]	[kl]	[kA]	[%]	[kl]
Tangen	8,26	59	00:35	13,12	60	22:41	1,62	98	23:11
Rudshøgda	4,22	136	00:11	6,55	136	23:32	0,72	160	23:38
Fåberg	7,51	65	00:41	10,30	64	00:10	1,62	130	23:54
Fron	8,57	74	01:34	10,81	68	01:09	1,44	115	01:05
Otta	4,62	149	01:35	6,78	141	01:09	0,71	158	01:05
Dombås	12,44	97	02:45	20,08	105	01:51	1,63	112	01:49
Oppdal	5,05	44	01:19	8,74	46	00:58	1,17	94	00:57
Garli	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lundamo	4,42	32	04:45	8,07	37	21:29	1,21	73	03:37
Stavne	3,97	26	04:55	7,78	-	04:05	0,94	103	04:11

Oppdal, Lundamo og Stavne

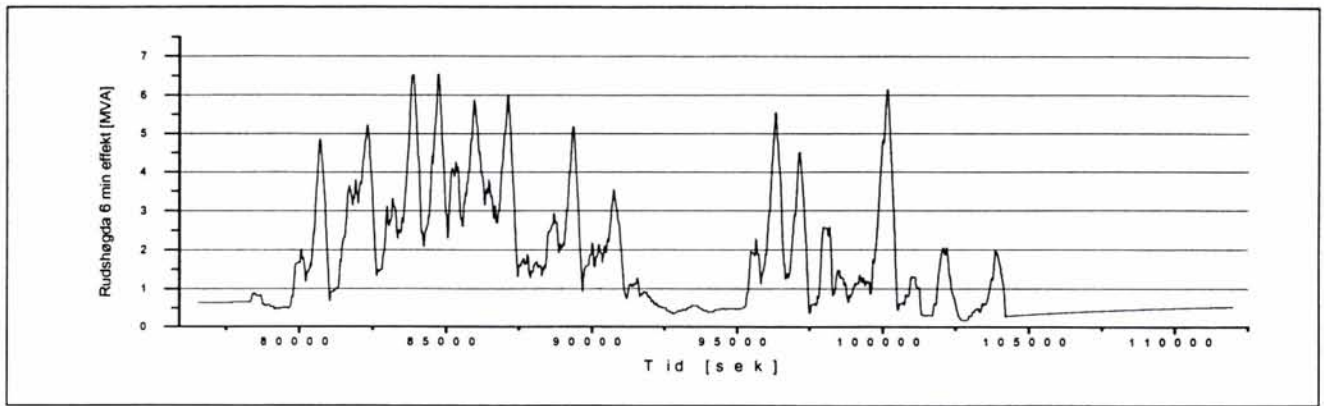
Stavne omformer har en nominell 2 sekunders strøm verdi på 909A, omformeren blir dermed belastet 103% i følge simuleringen, se tabell 4-26. Men i omformerens reguleringsorgan inngår en strømbegrensning slik at den ikke kan bli mer enn 100% belastet uansett. En sik omformer tar ikke skade av stor belastning. Oppdal og Lundamo blir ikke overbelastet.

Rudshøgda

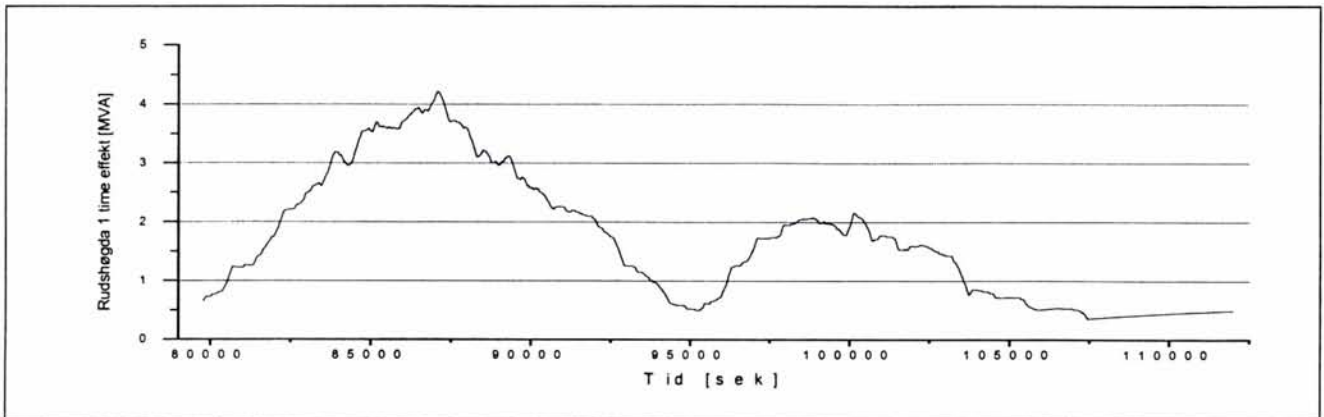
Klokken 23:38 er 2 sekunder verdien på sitt høyeste, se tabell 4-26, på samme tidspunkt får tog 5705 sin laveste spenning, se avsnitt 4.2.2. Det er mange tog i området på denne tiden som får lav spenning. Figur 4-39 viser at Rudshøgda omformer blir overbelastet over mange, tett etterfølgende perioder av relativt lang varighet. Figur 4-41 og figur 4-42 viser at overbelastningen er langvarig også for 6 minutters og 1 times belastning.



Figur 4-39 Total strøm fra Rudshøgda omformer ($I_{2sek}=460A$) nattsimulering uten forsterkningstiltak. 80000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 22:13



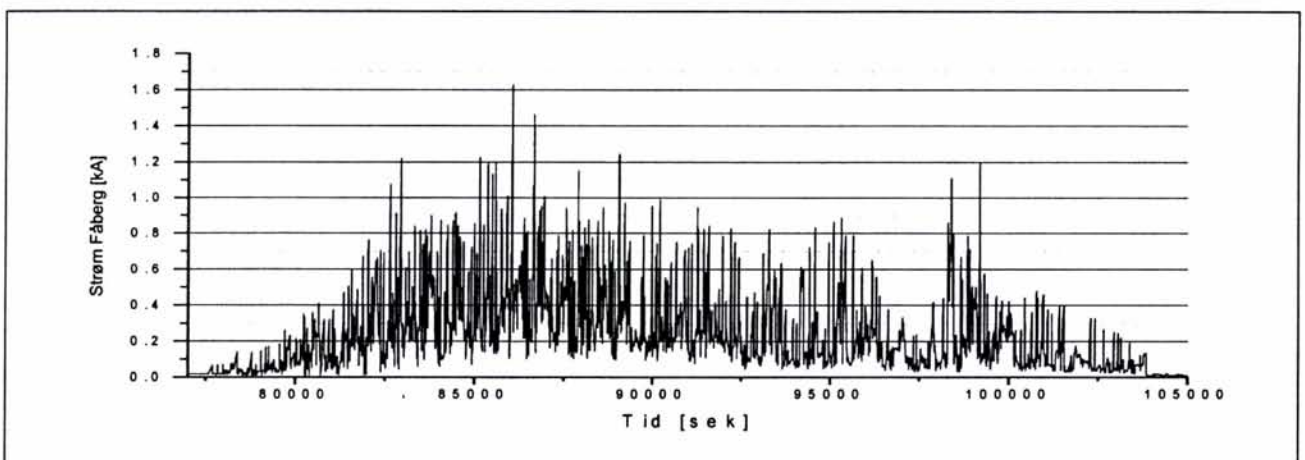
Figur 4-40 Total 6 minutters effekt fra Rudshøgda omformer ($S_{6min} = 4,8MVA$). Nattsimulering uten forsterkningstiltak. 80000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 22:13



Figur 4-41 Total 1 times effekt fra Rudshøgda omformer ($S_{1time} = 3,1MVA$). Nattsimulering uten forsterkningstiltak. 80000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 22:13

Fåberg

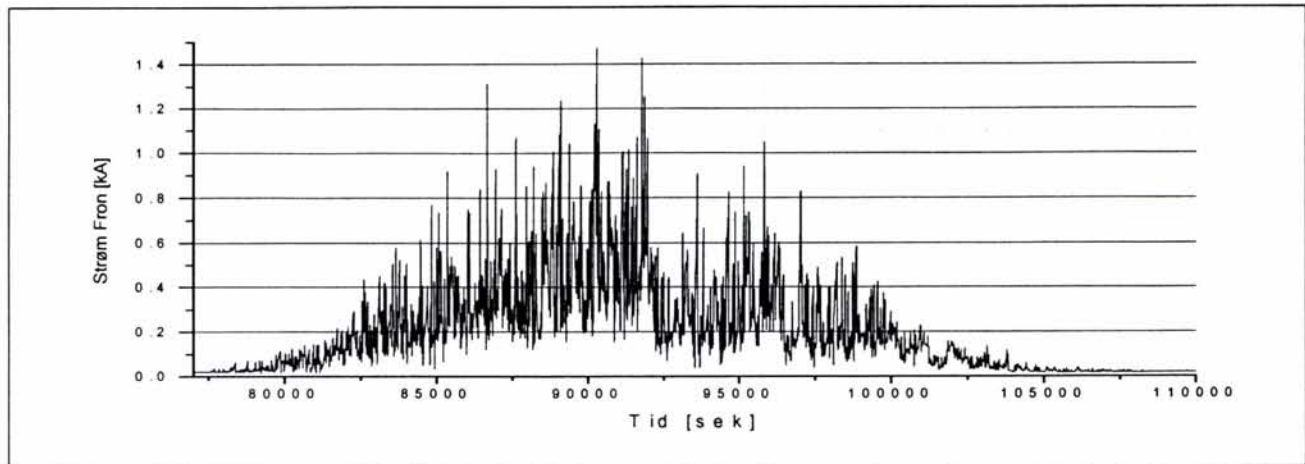
Samtidig med at omformeren får sin største 2 sekunders belastning klokken 23:54, se tabell 4-26, får tog 5793 sin laveste spenning, se avsnitt 4.2.3. figur 4-42 viser overbelastning med hensyn på strøm noen få ganger og kortvarig.



Figur 4-42 Total strøm fra Fåberg omformer ($I_{2sek} = 1250A$) nattsimulering uten forsterkningstiltak. 80000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 22:13

Fron

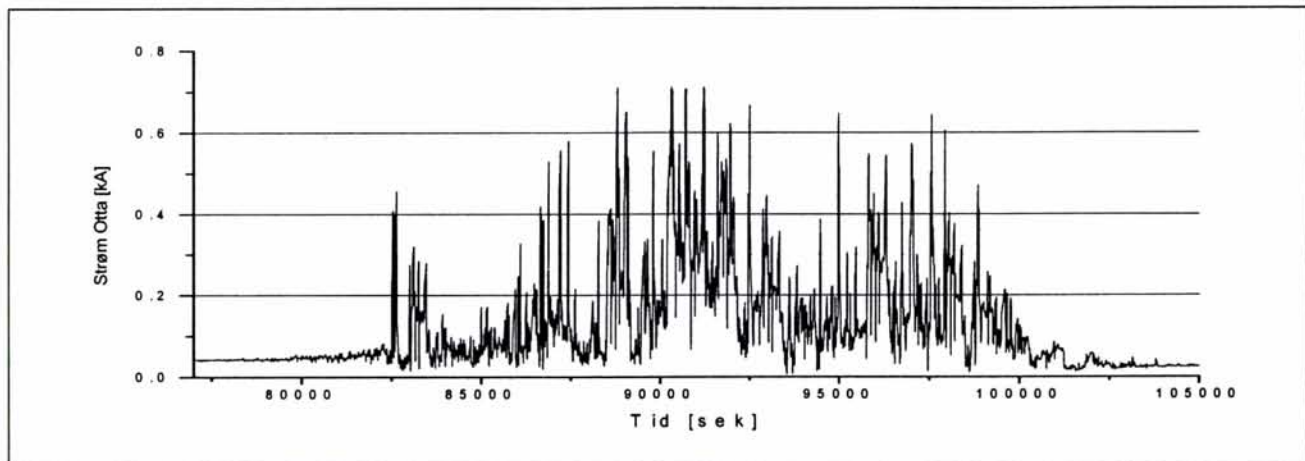
Figur 4-43 viser at også Fron omformer blir overbelastet noen få ganger med hensyn på strømmen. Overbelastningen er kortvarig.



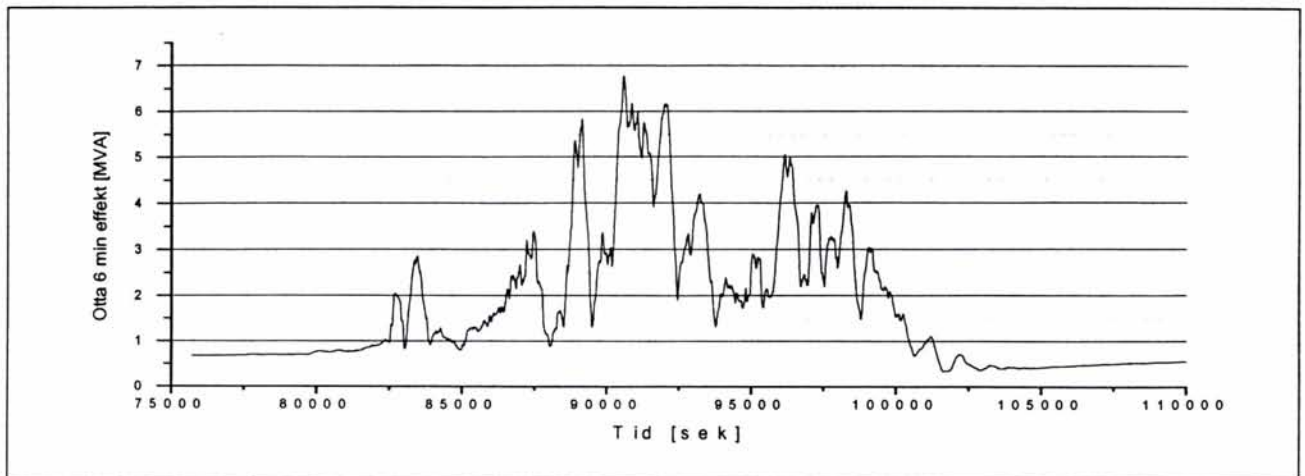
Figur 4-43 Total strøm fra Fron omformer ($I_{2sek}=1250A$) nattsimulering uten forsterkningstiltak. 80000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 22:13

Otta

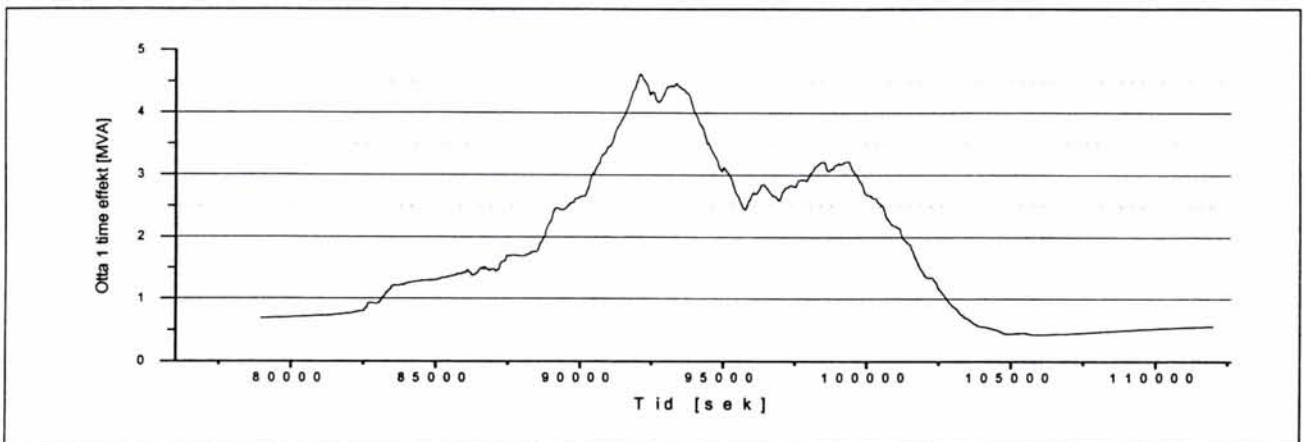
Otta omformer blir hardest belastet rundt klokken 01:00, se tabell 4-26, samtidig er det mange tog i området som får lave spenninger, se tabell 4-20 og tabell 4-21. Figur 4-44 viser mange tett følgende perioder med overbelastning. Omformeren belastes langvarig over dens 6 minutters og 1 times belastningsevne, se figur 4-45 og figur 4-46.



Figur 4-44 Total strøm fra Otta omformer ($I_{2sek}=450A$) nattsimulering uten forsterkningstiltak. 80000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 22:13



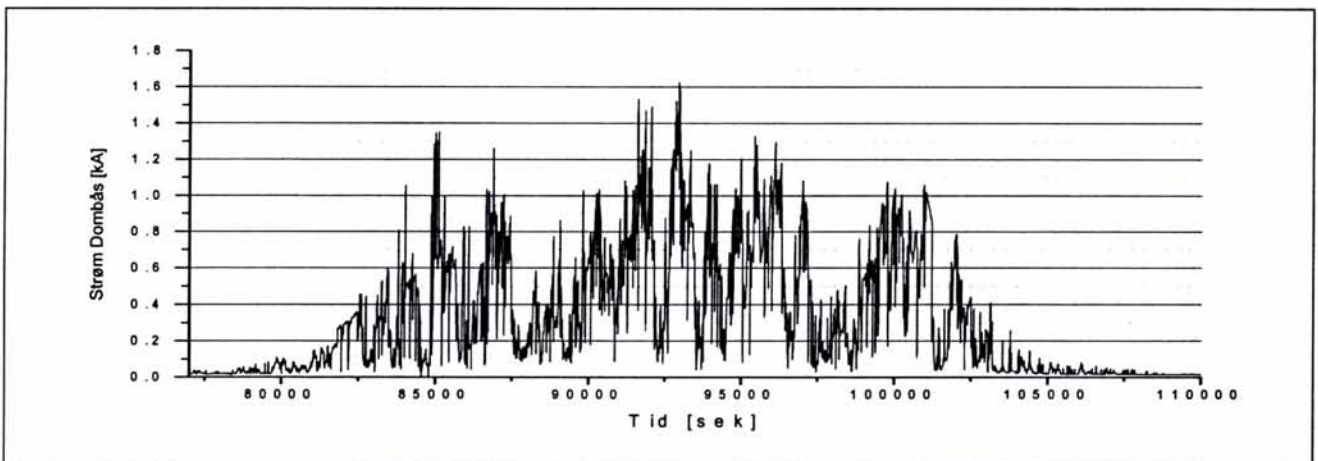
Figur 4-45 Total 6 minutters effekt fra Otta omformer ($S_{6min} = 4,8MVA$). Nattsimulering uten forsterkningstiltak. 80000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 22:13



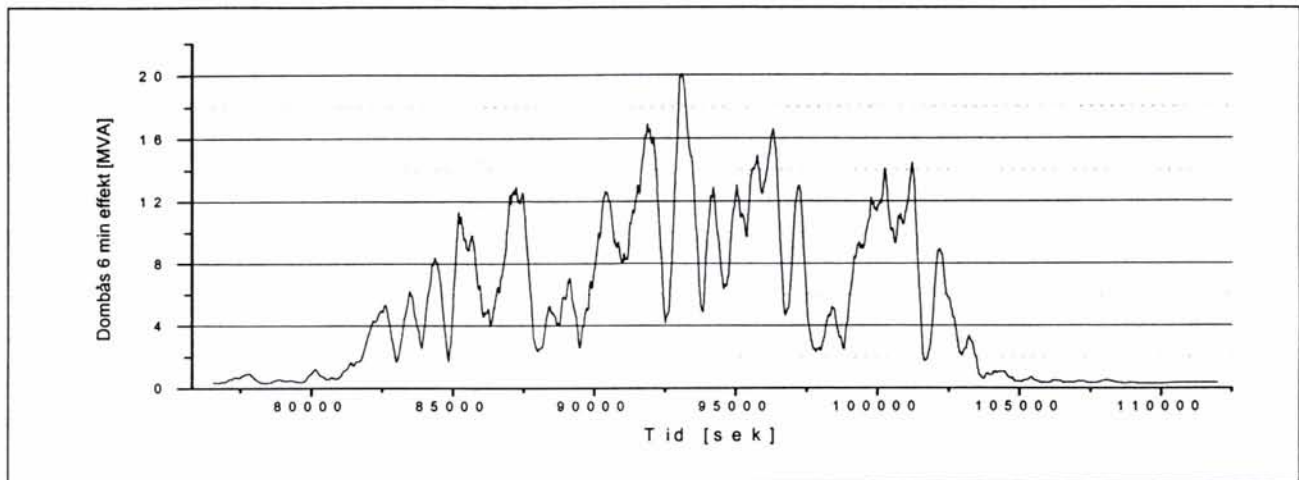
Figur 4-46 Total 1 times effekt fra Otta omformer ($S_{1time} = 3,1MVA$). Nattsimulering uten forsterkningstiltak. 80000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 22:13

Dombås

Tabell 4-26 viser at Dombås omformer blir overbelastet. Overbelastningen med hensyn på strømmen ser ut til å være liten og kortvarig, se figur 4-47. Også når det gjelder 6 minutters belastning ser det ut til at overbelastningen er kortvarig og liten, se figur 4-48. Det ser også ut til at omformeren ikke blir spesielt mye belastet verken før eller etter denne belastningstoppen.



Figur 4-47 Total strøm fra Dombås omformer ($I_{2sek} = 1450A$). Nattsimulering uten forsterkningstiltak. 80000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 22:13



Figur 4-48 Total 6 minutters effekt fra Dombås omformer ($S_{\text{time}} = 19,0\text{MVA}$). Nattsimulering uten forsterkningstiltak. 80000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 22:13

4.2.8 Belastning av kontaktledningen

Tabell 4-27 er vist strømmen for linjeavgangen til kontaktledning i nord- og sørlig retning for alle omformerne. Nominell kontinuerlig strøm for kontaktledningen er 600A. I henhold til figur 2-1 kan en avlese tilnærmede verdier for strømbelastningen: Tillatt strøm for 10 sekunders belastning 3000A, for 1 minutt 1250A og for 6 minutter 800A. For 6 minutter verdiene er bare verdiene for de mest belastede avgangene tatt med.

Tabell 4-27 Strøm i sør/nordgående kontaktledning fra omformerne uten forsterkningstiltak

Omformer - avgang	Nattsimulering 2			
	Strøm [kA]			
	1 sek	10 sek	1 min	6 min
Tangen - Sør	0,99	0,81	0,65	-
Tangen - Nord	1,09	1,05	0,79	0,58
Rudshøgda - Sør	0,83	0,81	0,73	-
Rudshøgda - Nord	0,75	0,69	0,59	-
Fåberg - Sør	1,20	1,18	0,84	0,50
Fåberg - Nord	1,33	1,20	0,84	0,52
Fron - Sør	1,14	1,06	0,64	-
Fron - Nord	1,08	1,0	0,86	0,52
Otta - Sør	0,70	0,67	0,59	-
Otta - Nord	0,95	0,95	0,86	0,49
Dombås - Sør	1,50	1,49	1,18	0,96
Dombås - Nord	1,26	1,25	1,08	0,93
Oppdal - Sør	1,05	1,03	0,73	-
Oppdal - Nord	0,86	0,86	0,71	-
Garli - Sør	-	-	-	-
Garli - Nord	-	-	-	-
Lundamo - Sør	1,26	1,17	0,70	-
Lundamo - Nord	0,87	0,85	0,63	-
Stavne - Sør	0,94	0,94	0,59	-
Stavne - Nord	0,42	0,42	0,38	-

4.3 Resultater med forsterkningsledning Oppdal - Lundamo og togtrafikk om dagen

Simulering 3 omfatter togtrafikken mellom klokken 08:00 og 20:00 når forsterkningsledning er lagt inn på strekningen Oppdal (km 429) til Lundamo (km 514). Forsterkningsledningen bidrar til lavere impedans på linjen som igjen vil gjøre spenningsfallene mindre. Bare resultatene for denne strekningen er presentert fordi dette tiltaket vil ha liten eller ingen betydning for togene lenger sør for Oppdal. Simuleringen 3 kan sammenlignes med dagsimulering 1.

Det er få tog i området på dagtid og det brukes derfor ikke mye plass på å kommentere denne simuleringen, nattsimuleringen vil uansett vise de verste forholdene. Med ny forsterkningsledning skal Jernbaneverkets krav til en spenning ikke lavere enn 13,5kV i kontaktledningsnettet følges. Det vil bli kommentert når spenningen kommer under denne verdien for togene i dette området.

4.3.1 Spenning på kontaktledningen for passasjertog

Tabell 4-28 og tabell 4-29 nedenfor viser laveste opptredende spenning på passasjertogene. Sammenlignes disse resultatene med tabell 4-11 og tabell 4-12, som viser laveste spenninger uten forsterkningstiltak, ser det ikke ut til å være noen store endringer.

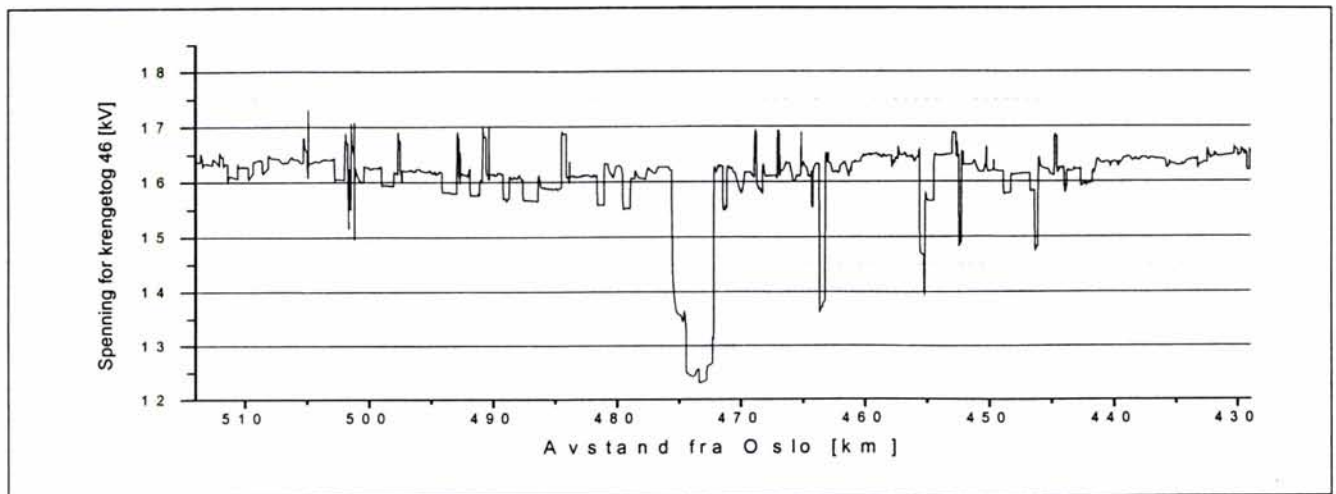
Tabell 4-28 Passasjertog Oppdal - Lundamo. Laveste spenning med forsterkningsledning

Tog nr.	Dagsimulering 3		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
403	14,8	485	19:13
45	15,5	454	19:29
46	12,3	473	17:05

Tabell 4-29 Godstog Oppdal - Lundamo. Laveste spenning med forsterkningsledning

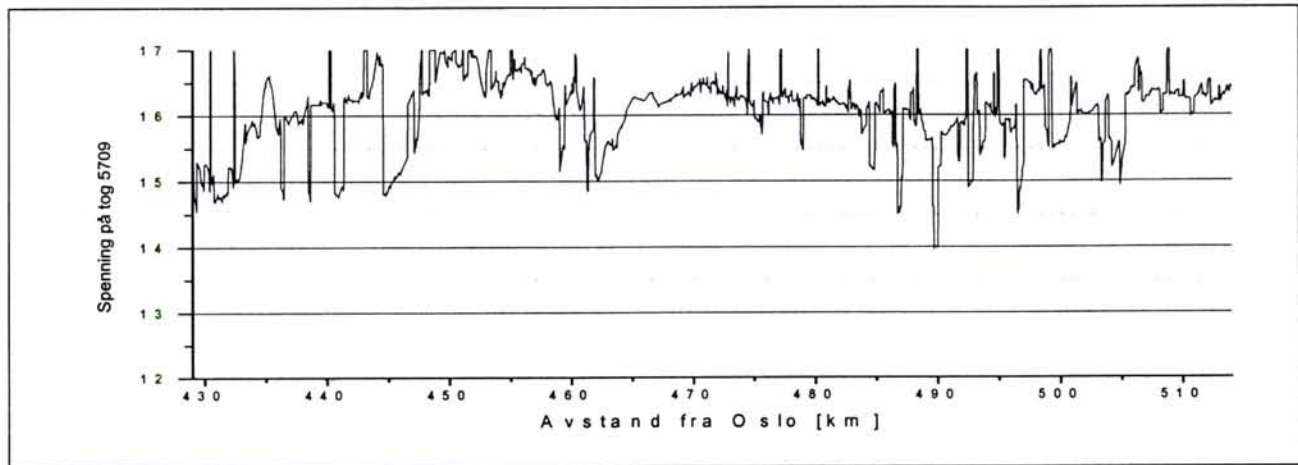
Tog nr.	Dagsimulering 3		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
5709	14,0	490	09:57
5791	12,1	478	17:05

Figur 4-49 viser spenningen for krengetog 46 ved Garli når forsterkningsledning er satt inn i området. Sammenlignet med figur 4-15 som viser spenningen for det samme toget i simulering 1 der forsterkningsledning ikke er innsatt, er det ikke store forandringer som har skjedd. Kurvene ser nesten identiske ut.



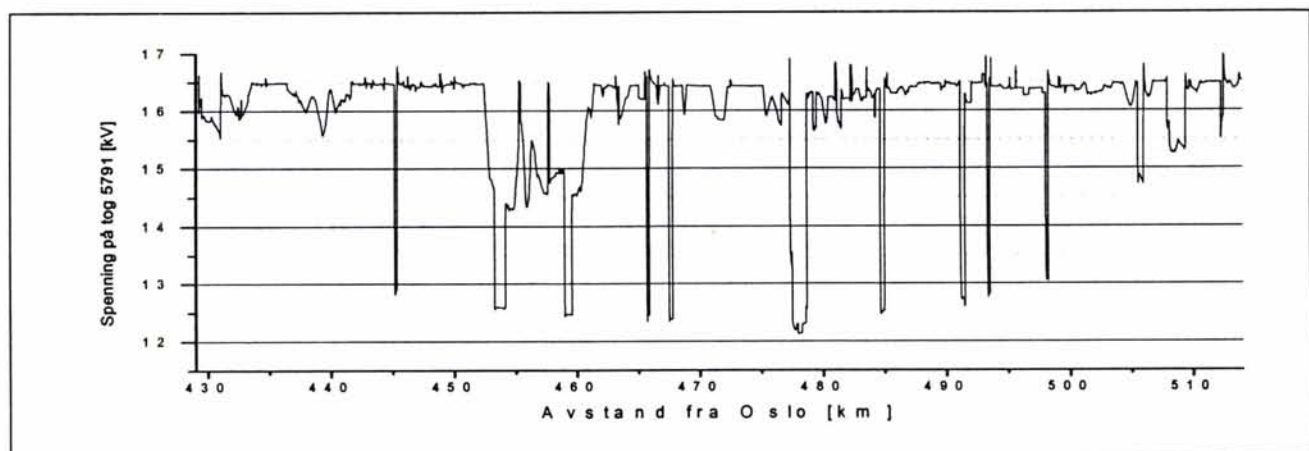
Figur 4-49 Spenningen på kontaktledningen for sørgående krengetog. Forsterkningsledning mellom Oppdal – Lundamo

Figur 4-50 viser at nordgående godstog 5709 får spenning på strømvtager meget lik den spenningen som toget får uten forsterkningstiltak, se figur 4-17.



Figur 4-50 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 5709. Forsterkningsledning mellom Oppdal – Lundamo

Også for godstog 5791 ser ikke simulering med forsterkningsledning ut til å gi noen noe forskjellig resultat fra simulering uten tiltak, se figur 4-51.



Figur 4-51 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 5791. Forsterkningsledning mellom Oppdal – Lundamo

4.3.2 Belastning av omformere

Tabell 4-30 viser belastningen på omformerstasjonene. Belastningen blir identisk med dagsimuleringen uten forsterkningstiltak. Ingen omformere blir overbelastet.

Tabell 4-30 Belastningen av omformerstasjonene med forsterkningsledning og togtrafikk om dagen. Belastning og klokkeslett

Omformer	Dagsimulering 3								
	Effekt						Strøm [kA]		
	1 time			6 minutter			2 sekunder		
	[MVA]	[%]	[kl]	[MVA]	[%]	[kl]	[kA]	[%]	[kl]
Dombås	5,60	44	15:48	10,62	56	15:20	0,83	57	15:18
Oppdal	2,53	22	17:03	5,64	35	16:19	0,76	61	16:27
Garli	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lundamo	2,15	15	18:40	3,93	18	18:06	0,74	45	17:20
Stavne	1,82	12	19:00	6,51	-	18:07	0,69	76	18:13

4.4 Resultater simulering med forsterkningsledning Oppdal - Lundamo togtrafikk om natten

Simulering 4 omfatter togtrafikken Oppdal (km 429) til Lundamo (km 514) når forsterkningsledning er lagt inn på denne strekningen. Simuleringen omfatter togtrafikken mellom klokken 21:00 og 06:30 for hele banestrekningen fra Lillestrøm til Trondheim. Resultatene i denne simuleringen kan sammenlignes med simulering 2; togtrafikk om natten uten forsterkningstiltak.

Som i kapitlet for dagsimulering 3 er bare resultatene for Lundamo - Oppdal er presentert fordi forsterkningstiltaket vil ha liten eller ingen betydning for togene lenger sør for dette området. Spenninger under 13,0 km på kontaktledningen blir kommentert.

4.4.1 Spenning på kontaktledningen Oppdal - Lundamo

Tabell 4-31 nedenfor viser laveste opptredende spenning på passasjertogene. Sammenlignes disse resultatene med tabell 4-24, som viser laveste spenninger uten forsterkningstiltak, er spenningen nå blitt noe høyere. For tog 47 var spenningen uten forsterkningstiltak 12,5kV, den er nå 12,6kV. For nattogene 405 og 406 er forbedringene mer markerte, fra henholdsvis 13,3kV for begge togene uten tiltak, til henholdsvis 14,0kV og 14,1kV.

Når det gjelder godstogene, se tabell 4-32, er forbedringene mindre. Alle godstogene får en spenning under 13kV. Sammenlignes dette med tabell 4-25 er forbedringen på opptil 0,5kV for tog 5705, for de andre togene er det enda mindre forbedringer. Sted og tidspunkt der laveste spenning opptrer er den samme eller bare litt endret. Tog 5721 er et unntak som faktisk har fått lavere spenning etter forsterkningstiltaket.

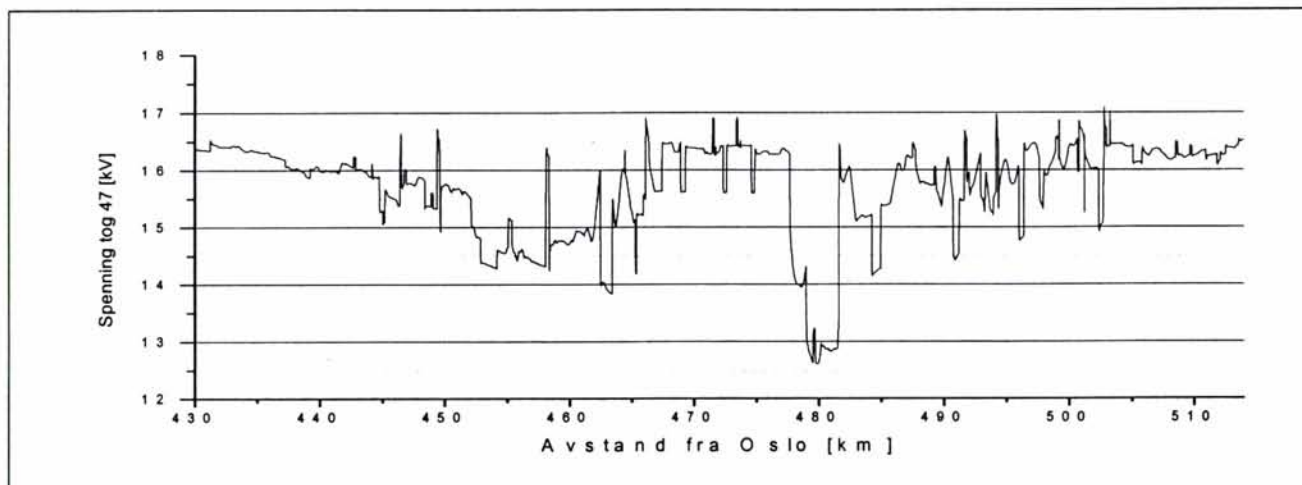
Tabell 4-31 Laveste spenning for passasjertog Oppdal – Lundamo med forsterkningsledning

Tog nr.	Nattsimulering 4		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
47	12,6	480	21:50
405	14,0	469	05:54
406	14,1	472	23:59

Tabell 4-32 Laveste spenning for godstog Oppdal – Lundamo med forsterkningsledning

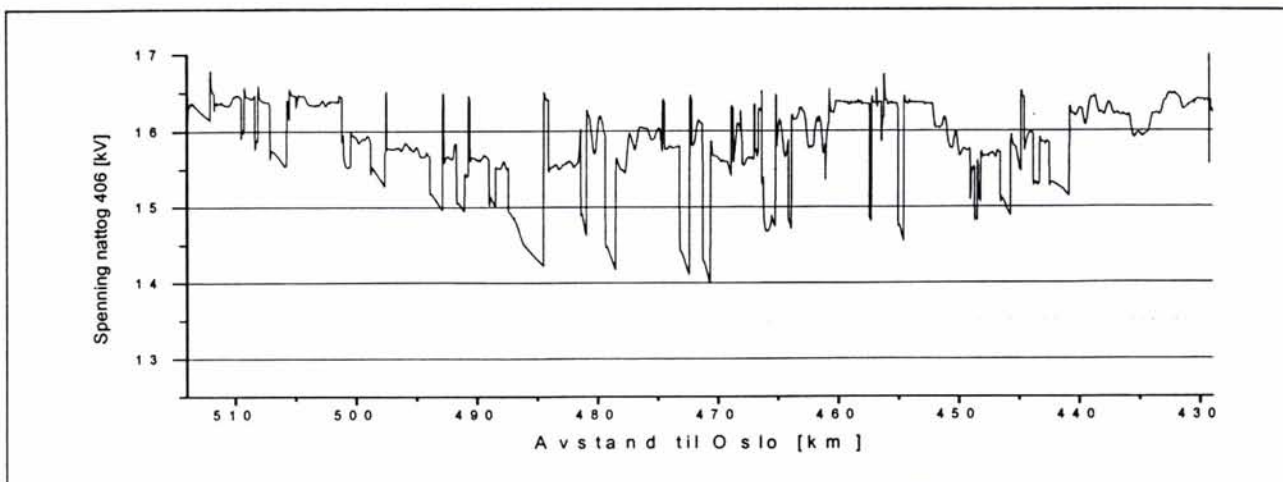
Tog nr.	Nattsimulering 4		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
5701	12,7	467	01:43
5703	12,7	459	00:57
5705	12,7	459	03:53
5713	12,8	453	04:56
5715	12,3	459	03:41
5716	12,5	487	21:32
5721	12,8	505	03:37
5781	12,7	465	05:21
5793	11,8	493	03:37

Figur 4-52 viser spenningen for krengetog 47 mellom Oppdal og Lundamo. Sammenlignes dette resultatet med den samme kurven for tog 47 uten forsterkningsledning, se figur 4-35 finner en at forsterkningsledningen har hatt liten effekt. Laveste spenning rundt km 480 var nede i 12,6kV i simuleringen uten tiltak, og er nå den samme. Imidlertid er spenningen nå noe høyere rundt km 464.



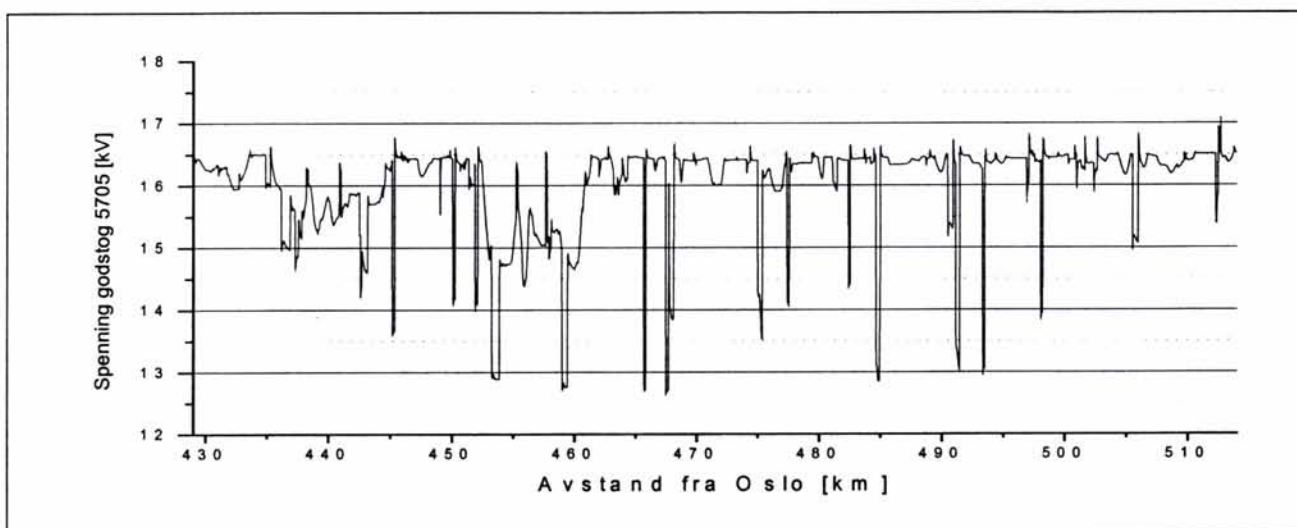
Figur 4-52 Spenningen på kontaktledningen for nordgående krengetog 47 Oppdal – Lundamo med forsterkningsledning

Figur 4-53 viser spenningen for sørgående nattog 406 ved Garli, figur 4-32 viser spenningen for det samme toget uten forsterkningstiltak. Sammenligner en de to kurvene viser det seg at forsterkningsledningen forbedrer spenningen betydelig. Spenningen er nå over 15kV store deler av strekningen og bare noen steder ned mot 14kV.



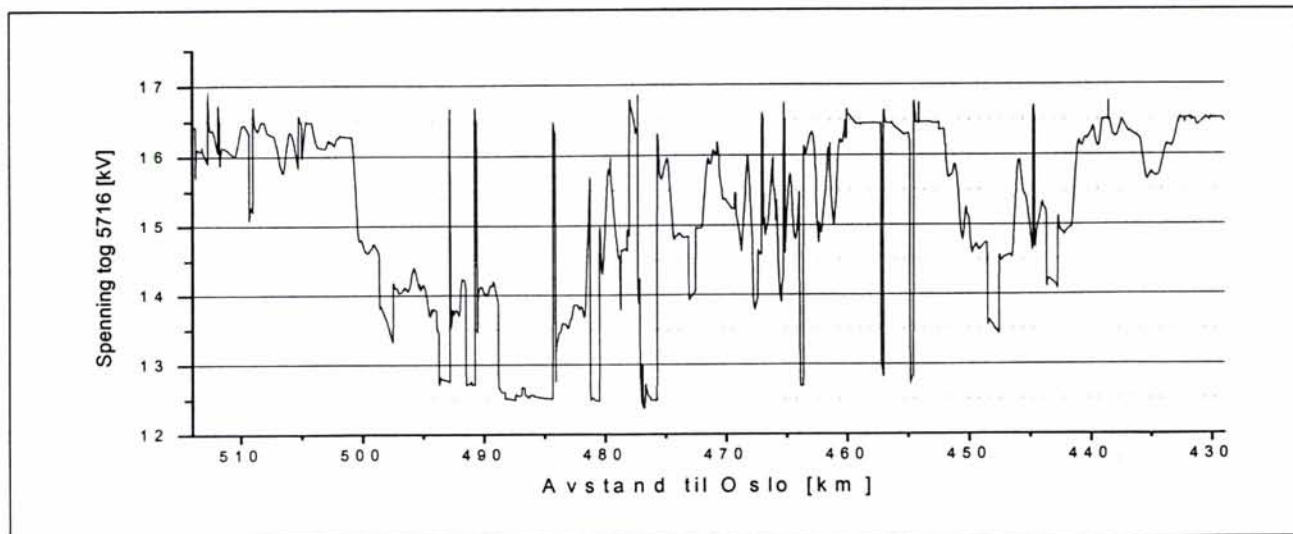
Figur 4-53 Spenningen på kontaktledningen for sørgående nattog 406 Oppdal – Lundamo med forsterkningsledning

Figur 4-54 viser spenningen for nordgående godstog 5705 etter forsterkningen. Sammenlignet med figur 4-37, som viser spenningen for det samme toget uten tiltak, ser en at spenningsfallene inntreffer ved de samme stedene. Minimumsverdiene er ikke fullt så lave med forsterkningsledning. Spenningen er kortvarig under 13,0kV flere steder.



Figur 4-54 Spenningen på kontaktledningen nordgående godstog 5705 Oppdal – Lundamo med forsterkningsledning

Sørgående godstog 5716 er kommentert tidligere, figur 4-55 viser forbedringen for dette toget ved Garli. Se figur 4-38 som viser spenningen før forsterkningstiltak. Det er fremdeles betydelige spenningsfall mellom km 477 (ved Garli) til km 500 der spenningen flere ganger kommer under 13,0kV. Forsterkningsledningen ser ut til å ha minimal effekt.



Figur 4-55 Spenningen på kontaktledningen sørgående godstog 5716 Oppdal – Lundamo med forsterkningsledning

4.4.2 Belastning av omformere

Tabell 4-33 viser belastningen for omformerstasjonene på strekningen Oppdal – Lundamo etter at forsterkningsledningen er innsatt.

Tabell 4-33 Belastningen av omformerstasjonene med forsterkningsledning. Belastning og klokkeslett

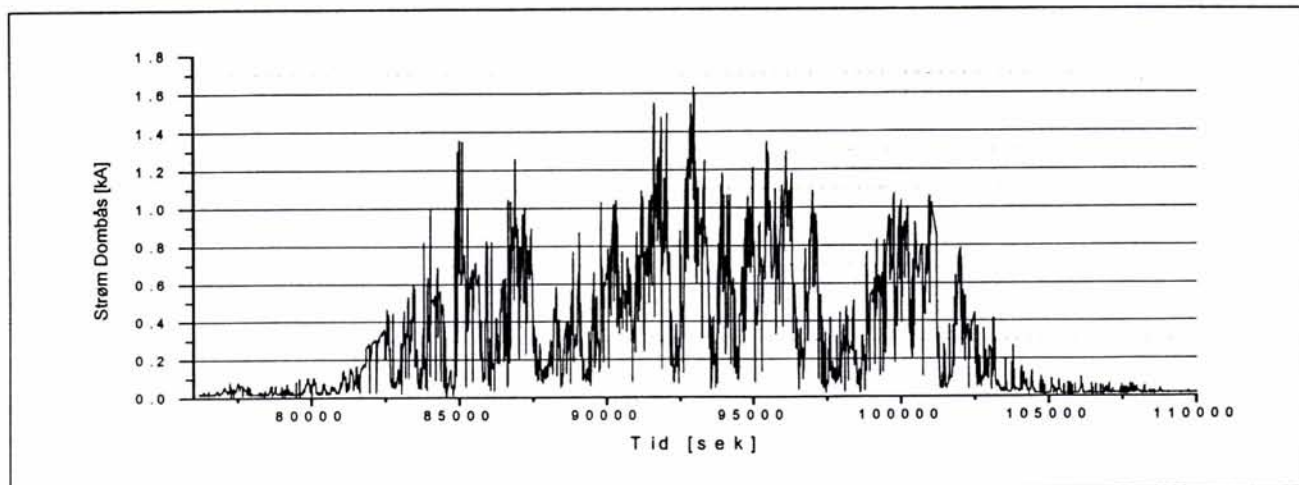
Omformer	Nattsimulering 4								
	Effekt						Strøm [kA]		
	1 time			6 minutter			2 sekunder		
	[MVA]	[%]	[kl]	[MVA]	[%]	[kl]	[kA]	[%]	[kl]
Dombås	12,44	97	02:45	20,08	106	01:51	1,63	112	01:49
Oppdal	4,91	42	01:19	8,54	53	00:58	1,22	98	00:57
Garli	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lundamo	4,41	31	04:45	7,85	36	21:29	1,22	74	03:37
Stavne	3,97	26	04:55	7,78	-	04:05	0,95	105	04:11

Oppdal, Lundamo og Stavne

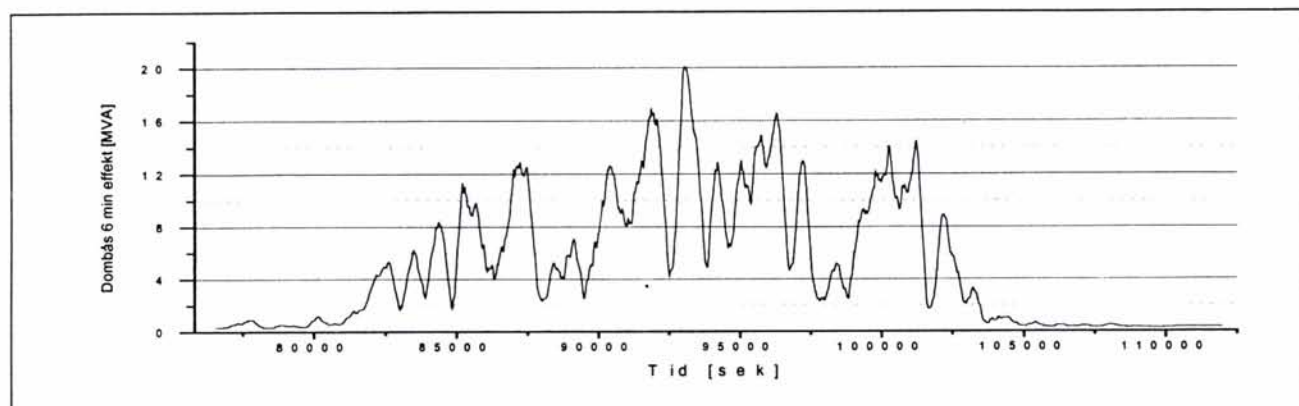
Stavne omformerne blir ikke overbelastet med hensyn på strømverdi fordi dens reguleringsmekanisme forhindrer dette. Spenningen blir imidlertid lav når denne typen kraftelektronisk omformer blir hardt belastet, figur 4-58 viser noe lav spenning noen ganger. Oppdal og Lundamo omformere blir ikke overbelastet.

Dombås

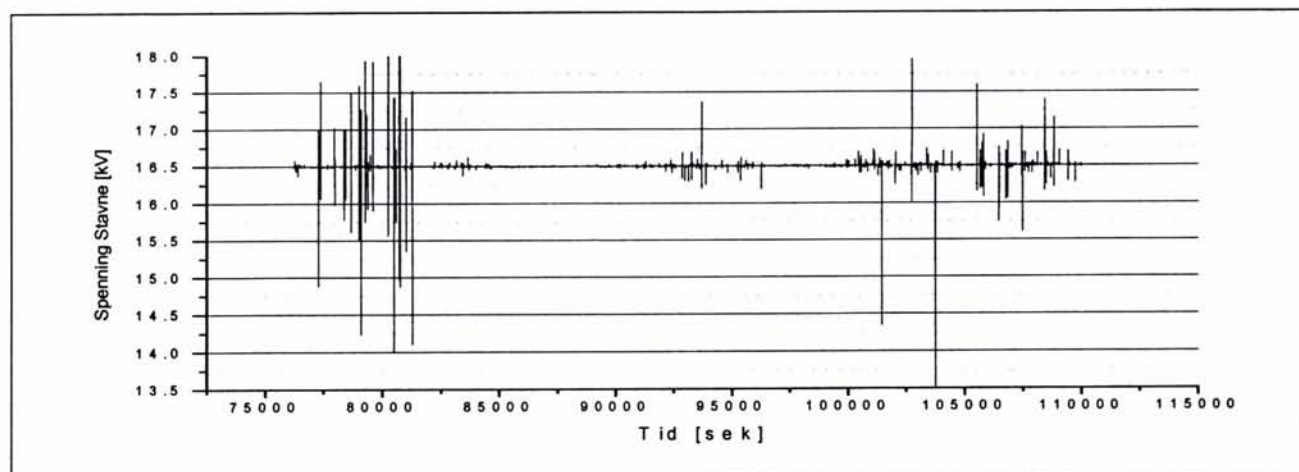
Tabell 4-33 viser at omformeren blir en del overbelastet med hensyn på 6 minutters og 2 sekunders verdien. Imidlertid viser figur 4-56 og figur 4-57 at denne overbelastningen er relativt kortvarig.



Figur 4-56 Total strøm fra Dombås omformer ($I_{2sek}=1450A$). Nattsimulering med forsterkningsledning. 80000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 22:13



Figur 4-57 Total 6 minutters effekt fra Dombås omformer ($S_{1time} = 19,0MVA$). Nattsimulering med forsterkningsledning. 80000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 22:13



Figur 4-58 Spenning for Stavne omformer nattsimulering med forsterkningsledning. 80000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 22:13

4.5 Resultater simulering med kompaktomformer på Garli og togtrafikk om dagen

Simulering 5 omfatter togtrafikken mellom klokken 08:00 og 20:00 når kompaktomformer er satt inn ved Garli. Det brukes ikke plass på å kommentere simulering 5, nattsimulering 6 vil uansett vise hardest belastning og de mest interessante resultatene.

4.6 Resultater simulering med kompaktomformer på Garli og togtrafikk om natten

Nattdisimulering 6 er gjort når kompaktomformer er satt inn på Garli ved km 477. Simuleringen omfatter togtrafikken mellom klokken 21:00 og 06:30. Resultatene i denne simuleringen kan sammenlignes med simulering 2 og 4.

Bare resultatene for strekningen Oppdal (km 429) til Lundamo (km 514) er presentert fordi forsterkningstiltaket vil ha liten eller ingen betydning for togene lenger sør for dette området. Kompaktomformer på Garli er et midlertidig tiltak, og IEC's krav til spenninger over 12kV gjelder. Spenning lavere enn 13kV blir kommentert. Nattdisimulering 6 kan sammenlignes med simulering 2 og 4.

4.6.1 Spenning på kontaktledningen ved Oppdal - Lundamo

Tabell 4-34 nedenfor viser laveste opptredende spenning på passasjer togene. Sammenlignes disse resultatene med tabell 4-24, som viser laveste spenninger uten forsterkningstiltak, er spenningen nå blitt noe høyere.

Spenningen er også blitt noe høyere sammenlignet med simuleringen der forsterkningslinje settes inn, se avsnitt 4.4.1. For tog 47 var spenningen uten forsterkningstiltak 12,5kV, med forsterkningslinje ble den 12,6kV og med kompaktomformer 13,2kV. For nattogene 405 og 406 er forbedringene mere markerte, fra henholdsvis 13,3kV for begge togene i nattdisimulering uten tiltak, til henholdsvis 14,8kV og 15kV i denne simuleringen.

For godstogene, se tabell 4-35 er forbedringene mindre. Alle godstogene unntatt 5721 får en spenning under 13kV. Sammenlignes dette med nattdisimulering uten tiltak og nattdisimulering med forsterkningsledning, er endringen liten. Godstog 5793 hadde en spenning på 11,7kV uten tiltak og 11,8kV med forsterkningsledning, når kompaktomformeren settes inn øker spenningen til 12,0kV. Sted og tidspunkt der laveste spenning opptrer er den samme eller bare litt endret for alle togene.

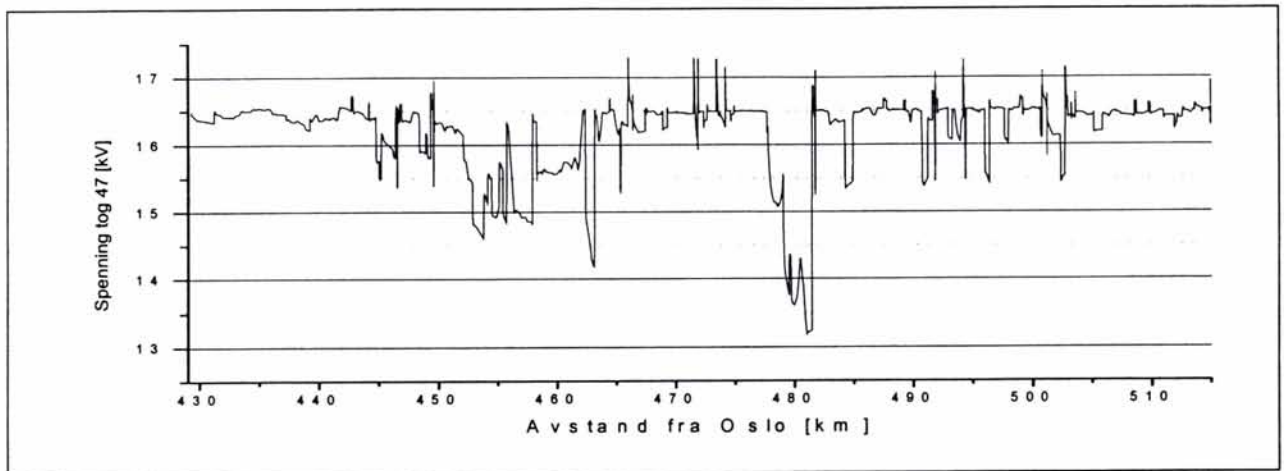
Tabell 4-34 Passasjertog Oppdal - Lundamo. Laveste spenning for togene med kompaktomformer

Tog nr.	Nattdisimulering 6		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
47	13,2	481	21:51
405	14,8	485	06:04
406	15,0	471	00:00

Tabell 4-35 Godstog Oppdal - Lundamo. Laveste spenning for togene med kompaktomformer

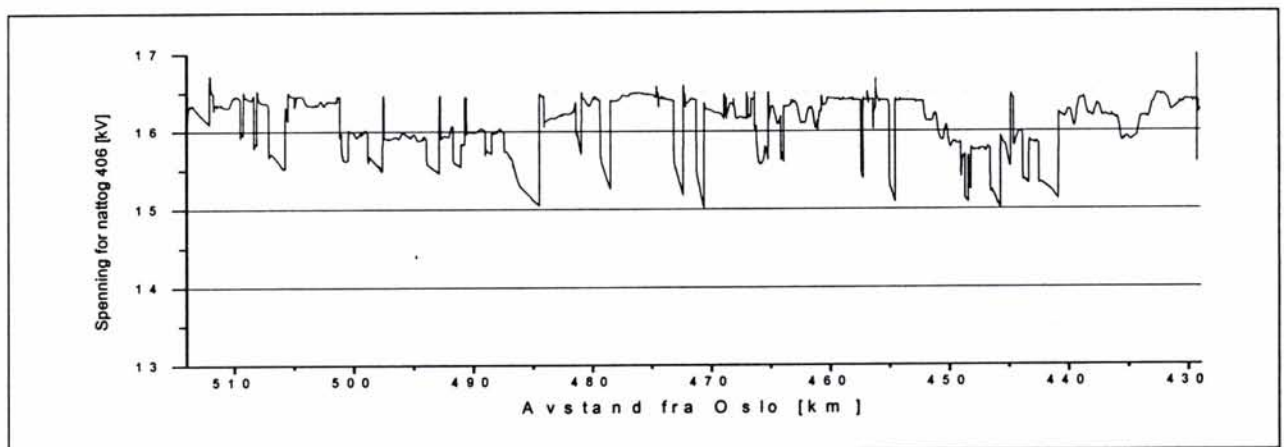
Tog nr.	Nattsimulering 6		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
5701	12,8	468	01:43
5703	12,8	459	00:57
5705	12,7	534	04:49
5713	12,8	468	05:06
5715	12,4	459	03:41
5716	12,8	476	21:51
5721	13,1	506	03:37
5781	12,8	468	05:22
5793	12,0	493	03:37

Med kompaktomformerer installert på Garli (km 477) blir spenningen noe høyere for nordgående krengetog 47, se figur 4-59. Det største spenningsfallet skjer rundt km 480 nr toget akselererer ut fra stasjonen. Nå er spenningen over 13kV mens den i simulering 2 og 4 var under 13kV over en lang strekning.



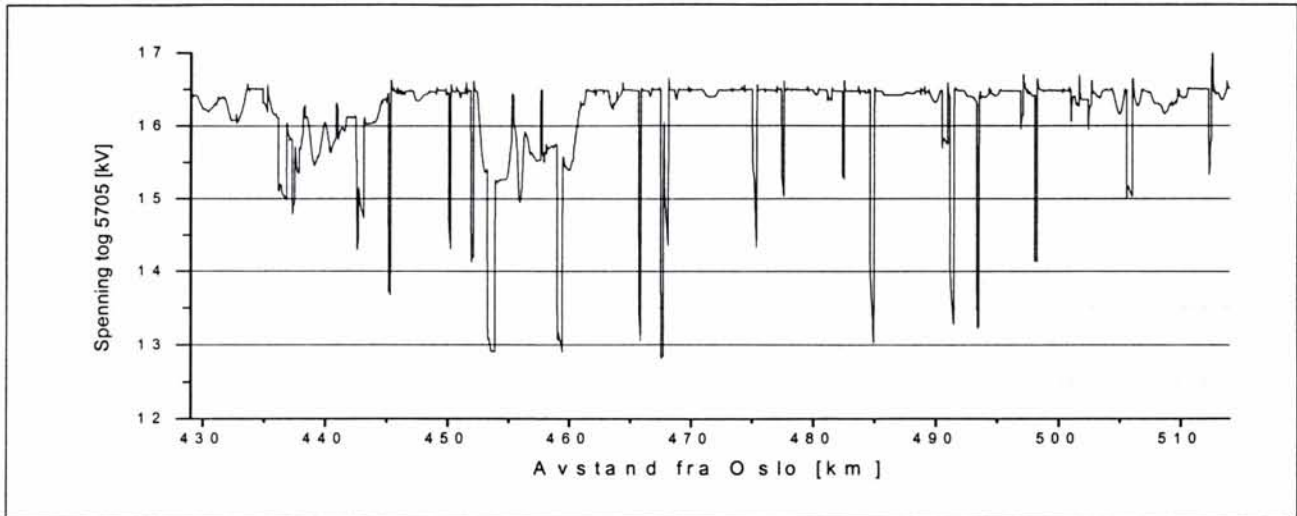
Figur 4-59 Spenningen på kontaktledningen for krengetogtog 47. Nattsimulering med kompaktomformer på Garli

Figur 4-60 viser spenningen for srggende nattog 406 som nå har fått spenning over 15kV for hele strekningen. Dette toget hadde lavere spenning fr, helt ned mot 13,3kV uten forsterkningstiltak.



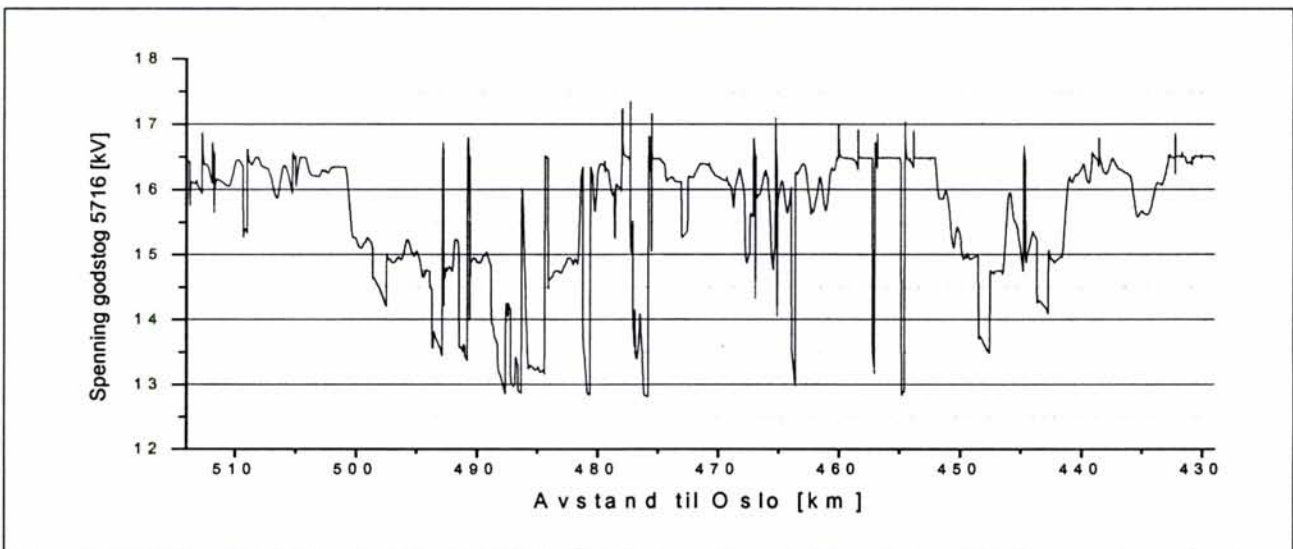
Figur 4-60 Spenning på kontaktledningen for srggende nattog 406 . Nattsimulering med kompaktomformer på Garli

Figur 4-61 viser spenningen for nordgående godstog 5705. Spenningen var flere ganger under 13kV uten tiltak og med forsterkningsledningen ble spenningsfallene noe mindre. Med kompaktomformeren på Garli kommer spenningen ned mot 13,0kV flere steder. Spenningskurven ser ellers nesten helt lik ut som for simulering 2 og 4.



Figur 4-61 Spenningen på kontaktledningen for godstog 5705. Nattsimulering med kompaktomformer på Garli

Sørgående godstog 5716 er vist i figur 4-62. Dette toget er vist i simulering 2 og 4, se henholdsvis figur 4-38 og figur 4-55. Kompaktomformeren er årsak til noe høyere spenning for dette toget enn alternativet med forsterkningsledning. Med forsterkningsledning kom spenningen ned i 12,5kV over lengere avstander, mens den nå bare sjeldent og kortvarig kommer under 13kV. Spenningen viser en generelt høyere tendens i området km 453 til 480, der den i store deler av strekningen er over 16kV. Men til tross for kompaktomformeren er spenningen flere steder kortvarig under 13,0kV.



Figur 4-62 Spenningen på kontaktledningen for godstog 5716 . Nattsimulering med kompaktomformer på Garli

4.6.2 Belastning av omformere

Tabell 4-36 viser belastningen på omformerstasjonene etter at kompaktomformerer er satt inn på Garli.

Tabell 4-36 Belastningen av omformerstasjonene. Belastning og klokkeslett

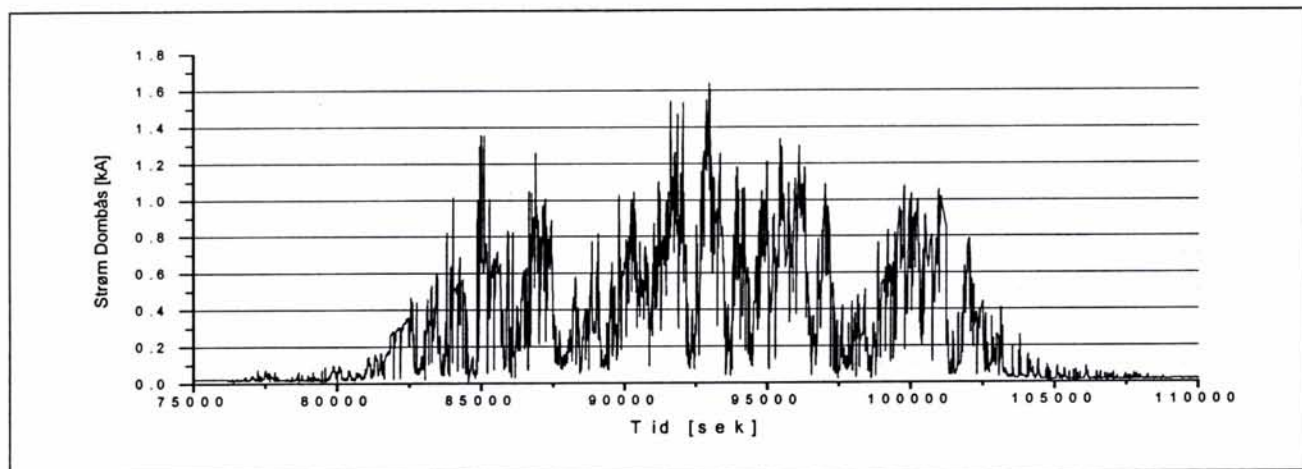
Omformer	Nattsimulering 6								
	Effekt						Strøm [kA]		
	1 time			6 minutter			2 sekunder		
	[MVA]	[%]	[kl]	[MVA]	[%]	[kl]	[kA]	[%]	[kl]
Dombås	12,47	97	02:45	20,16	106	01:51	1,64	113	01:49
Oppdal	4,52	39	01:19	7,22	45	22:50	1,13	90	00:57
Garli	2,52	63	22:21	4,30	-	21:29	0,29	120	03:31
Lundamo	3,90	28	04:45	6,35	58	04:05	1,12	68	03:37
Stavne	3,86	26	04:55	7,65	-	04:05	0,94	103	04:49

Oppdal, Lundamo og Stavne

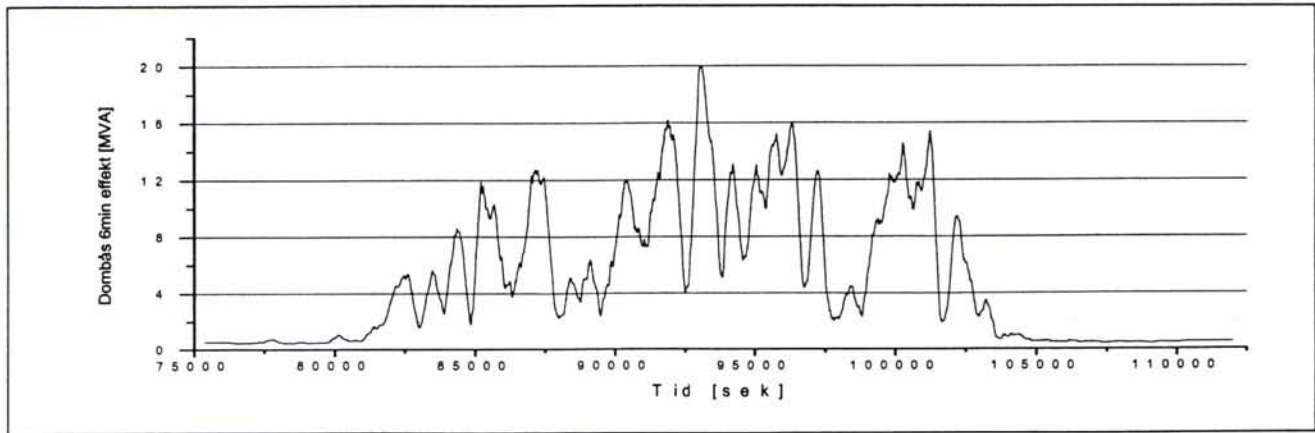
Disse omformerne blir ikke overbelastet. Stavne er som før forklart ikke mulig å overbelastet på grunn av reguleringsmekanismens funksjonsmåte.

Dombås

Omformerer på Dombås blir overbelastet med hensyn på 6 minutters og 2 sekunders verdi, se tabell 4-36. Imidlertid viser figur 4-63 og figur 4-64 at omformerer blir kortvarig overbelastet og at belastningen både før og etter denne belastningstoppen ikke er stor.



Figur 4-63 Total strøm fra Dombås omformer ($I_{2sek}=1450A$). Nattsimulering med kompaktomformer på Garli. 80000 sekunder på grafen tilsvare klokken 22:13

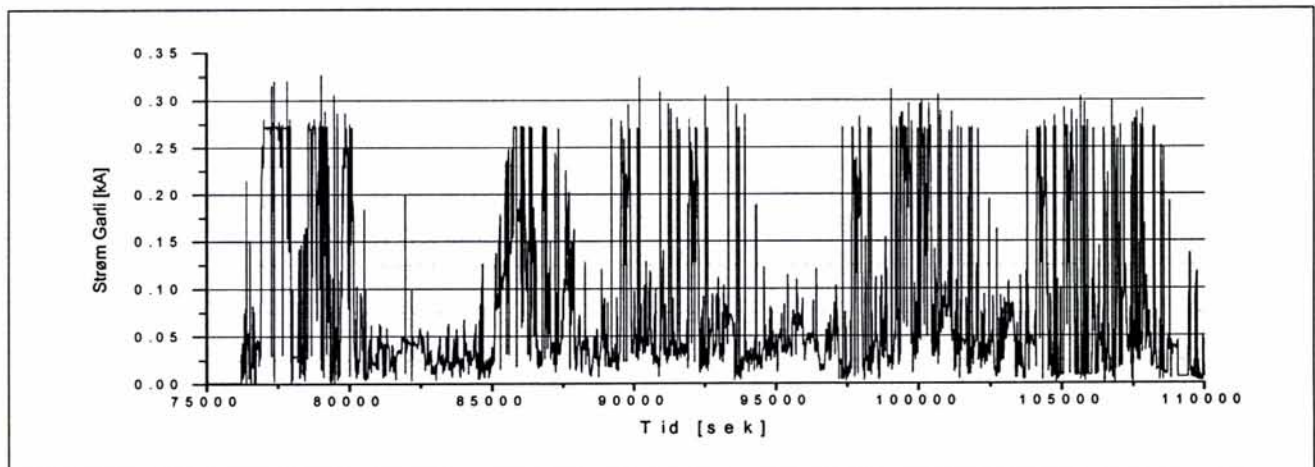


Figur 4-64 Total 6 minutters effekt fra Dombås omformer ($S_{\text{time}} = 19,0\text{MVA}$). Nattsimulering med kompaktomformer på Garli. 80000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 22:13

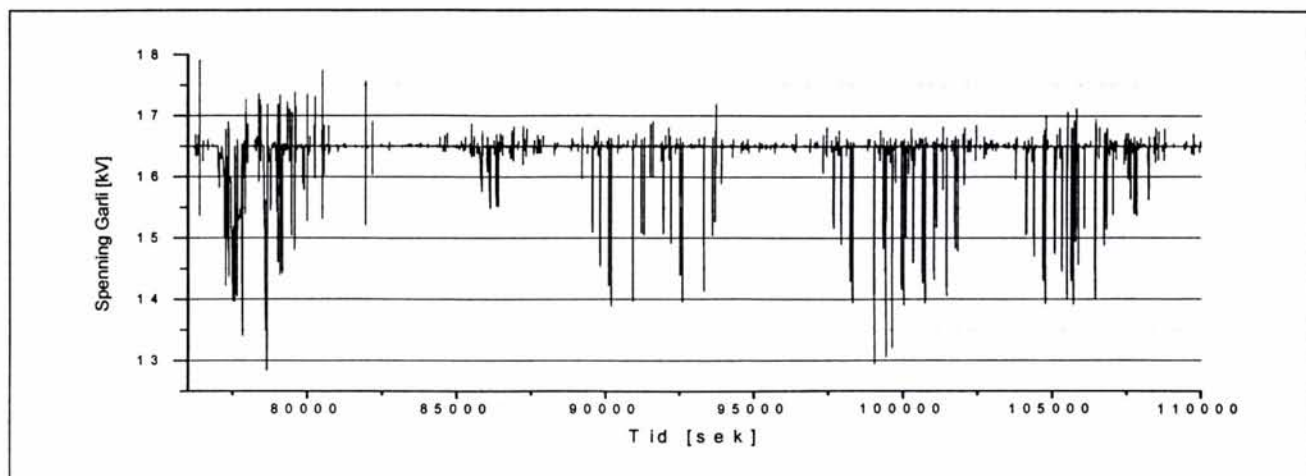
Garli

Omformeren blir overbelastet. Den har en nominell ytelse på 4,0MVA, og en belastning på 4,3MVA i 6 minutter er for mye, se tabell 4-36. Det er for stor belastning, selv om en slik omformer som forklart tidligere har en mekanisme som forhindrer overbelastning.

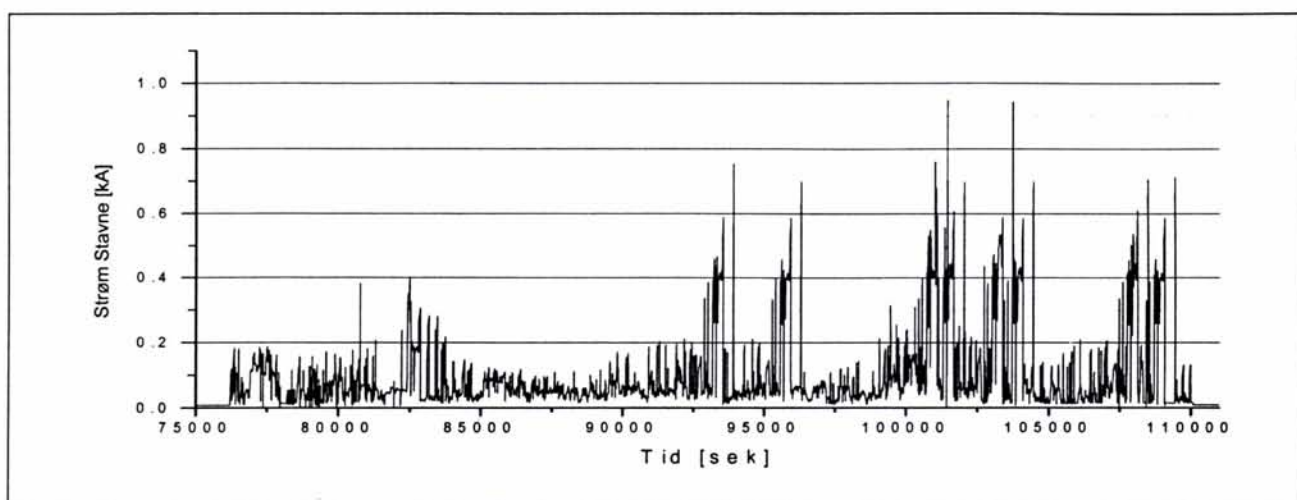
Omformeren er tydeligvis ikke valgt ut fra hvor stor belastningen vil bli med den trafikken som ruteplanen i denne simuleringen legger til grunn. Figur 4-65 viser at strømverdien vil overskrides ofte og i lange perioder. For at omformerens kraftelektronikk ikke skal skades vil reguleringsorganet senke spenningen ved stor belastning og dermed begrenses også strømmen. Figur 4-66 viser at relativt store spenningsdip vil oppstå hyppig



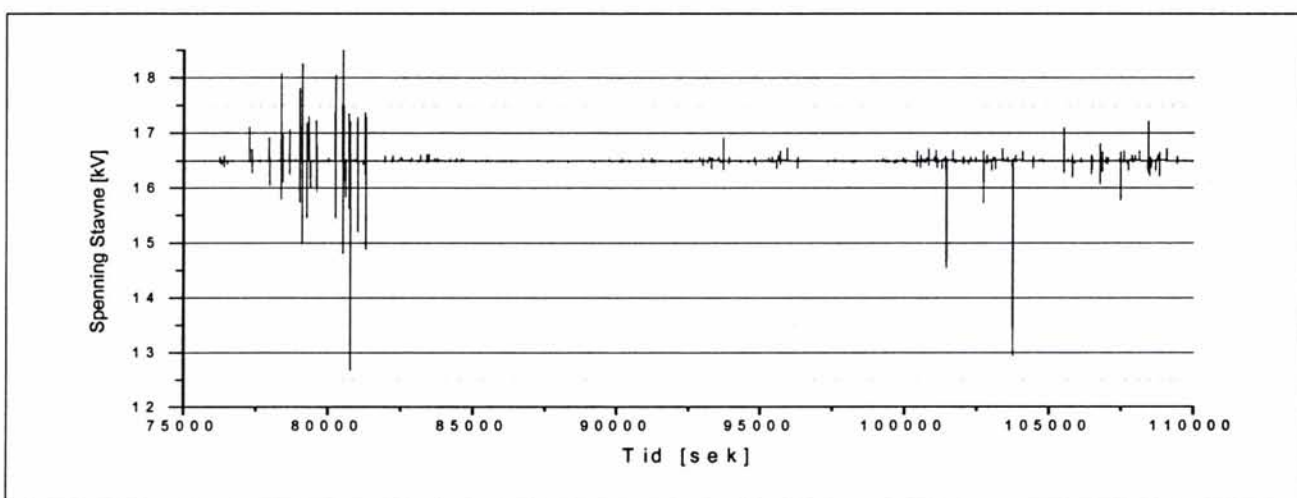
Figur 4-65 Total strøm fra Garli omformer ($I_{2\text{sek}} = 242\text{A}$). Nattsimulering med kompaktomformer på Garli. 80000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 22:13



Figur 4-66 Spennning for ny kompaktomformer ved Garli. 80000 sekunder på grafen tilsvare klocken 22:13



Figur 4-67 Total strøm fra Stavne omformer ($I_{2sek} = 909A$) nattsimulering med kompaktomformer på Garli. 80000 sekunder på grafen tilsvare klocken 22:13



Figur 4-68 Spennning ved Stavne omformer med ny kompaktomformer ved Garli. 80000 sekunder på grafen tilsvare klocken 22:13

4.7 Resultater simulering med togtrafikk om natten og godstog med pådragsbegrensning

Simuleringene har vist at forsterkningstiltak i form av forsterkningsledning eller kompaktomformer ikke er tiltak som alene forbedrer forholdene god nok. Begge alternativene gir overbelastning av Dombås omformer. Kompaktomformer som er foreslått ved Garli har tydelig for liten ytelse. En kompaktomformer hever spenningen mellom Oppdal og Lundamo, mens forsterkningsledning i liten grad øker spenningen.

Simulering 10 omfatter togtrafikken når multiplere lokomotivene for godstogene gies en begrensning av sitt pådrag. Bare opptil 70% av lokenes maksimale effekt kan taes ut. Begrensningen vil i praksis innebære at lokføreren ikke får bruke de øverste trinnene på spaken for trekraft. Denne type begrensning er vanlig på strekninger i Sverige som ikke er godkjent for kjøring med multiplere Rc-lok.

Simulering 10 er gjort uten noen forsterkningstiltak i dagens banestrømforsyning. Resultatene i denne simuleringen kan sammenlignes med simulering 2; togtrafikk om natten uten forsterkningstiltak.

På strekningen fra Oppdal til Lundamo ser det ikke ut til å være noe effektunderskudd. Men det er for høy belastning av Dombås omformer. Med de tiltakene som er foreslått (og er aktuelle) for dette området kan det være et like bra tiltak å sette begrensninger på doble El16 lokomotivenes pådrag.

Resultatpresentasjonen i dette kapitlet viser spenningen i nettet fra Dombås omformer og nordover. Nattsimulering 2 viste at Rudshøgda og Otta omformere er sterkt overbelastet. Lave spenninger i disse delene av nettet ser ut til å ha sin årsak i effektunderskudd. Installasjon av større effekt i de aktuelle omformerstasjonene vil være nødvendig, noe som også vil heve spenningen på kontaktledningen.

Når data for begrensning av lokomotivenes effekt ble hentet inn, oppdaget en at effekten for de såkalte tele-filterene har en relativt stor kapasitiv ytelse. Hvert slikt tele-filter har en ytelse på 600kVAr (kapasitiv), det vil si 1200kVAr for doble lokomotiver. Filtrene vil gi et ikke ubetydelig bidrag til å kompensere reaktiv effekt. I simulering 10 er disse filterene representert i modellen for lokomotivene som en konstant reaktiv last.

Simuleringen omfatter togtrafikken mellom klokken 21:00 og 04:53. Spenninger over 12,0 kV på kontaktledningen er Jernbaneverkets krav til eksisterende anlegg. Spenning under 13,0kV blir kommentert.

4.7.1 Spenning på kontaktledning for tog Dombås - Oppdal

Tabell 4-37 og tabell 4-38 viser laveste spenning for for passasjer- og godstog mellom Dombås (km 343) og Oppdal (km 429). Alle tog får spenninger under 13kV, men spenningene er betydelig forbedret i forhold til simuleringene uten forsterkning, se tabell 4-22 og tabell 4-23. Godstog 5705, 5713 og 5715 fikk spenninger under 12kV i simuleringen uten tiltak, men får nå spenning på 12,4kV.

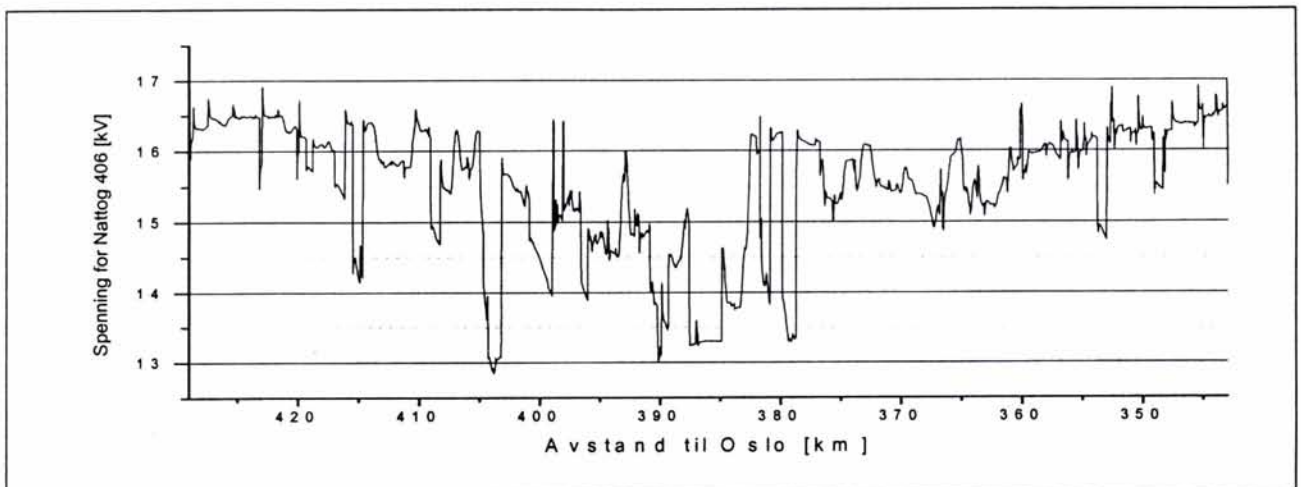
Tabell 4-37 Laveste spenning for passasjertogene Dombås – Oppdal. Nattsimulering der godstogene gies pådragsbegrensning

Tog nr.	Nattsimulering 10		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
405	12,5	381	04:39
406	12,9	404	00:57

Tabell 4-38 Laveste spenning for godstogene Dombås – Oppdal. Nattsimulering der godstogene gies pådragsbegrensning

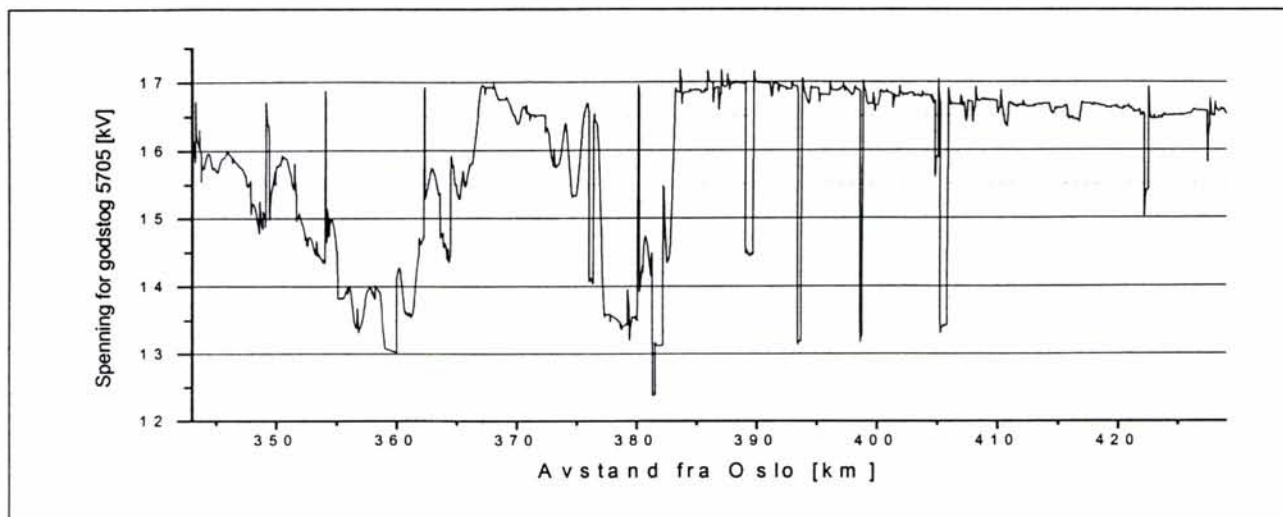
Tog nr.	Nattsimulering 10		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
5701	12,8	379	00:31
5703	12,8	399	00:14
5705	12,4	381	02:58
5713	12,4	383	04:07
5715	12,4	378	04:44
5716	13,0	380	22:59
5781	12,8	405	04:39
5793	12,6	393	02:26

Spenningen for sørgående nattog 406 er vist i figur 4-69. Spenningene er lav i hele området fram til km 381 (ved Hjerkin), her begynner nedoverbakkene etter at toget har kjørt i store stigninger. Bare et sted kommer spenningen kortvarig under 13kV. I simuleringen uten tiltak var denne perioden noe lengre, se figur 4-32. Spenningen er nå noe høyere, noe som tyder på at godstogene i nærheten ikke drar ned spenningen så mye som før.



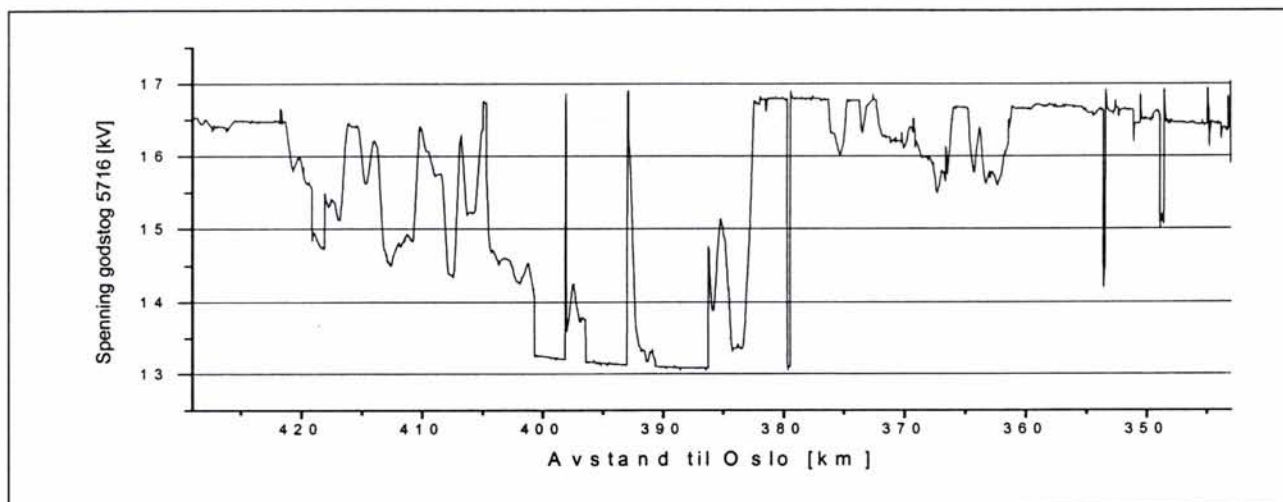
Figur 4-69 Spenningen på kontaktledningen for sørgående nattog 406 Dombås – Oppdal. Nattsimulering der godstogene gies pådragsbegrensning

Spenningen for nordgående godstog 5705 er vist i figur 4-70. Spenningen kommer bare ett sted under 13kV, det er rundt km 382 hvor toget akselererer fra 80 til 90km/t i bratt stigning. Dette er en betydelig forbedring fra simulering uten tiltak, se figur 4-33, der spenningen var under 13kV over lengre avstand. Spenningen blir igjen høy når toget passerer høyeste punkt på banen (km 382) og etter det kjører i nedoverbakke.



Figur 4-70 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 5705 Dombås – Oppdal. Nattsimulering der godstogene gies pådragsbegrensning

Spenningen for sørgående godstog 5716 er vist i figur 4-71. Spenningen er ikke under 13kV på noen del av strekningen. Dette er en god forbedring fra simuleringen uten tiltak der spenningen kom under 13kV over lange perioder, se figur 4-34.



Figur 4-71 Spenningen på kontaktledningen for sørgående godstog 5716 ved Dombås. Nattsimulering der godstogene gies pådragsbegrensning

4.7.2 Spenning på kontaktledningen Oppdal - Lundamo

Tabell 4-39 nedenfor viser laveste opptredende spenning på passasjertogene. Sammenlignes dette med resultatene i tabell 4-24, som viser laveste spenninger uten tiltak, er spenningen for pasasjertogene ikke endret mye. Tog 405 er ikke i dette området innen simuleringstidens slutt og er derfor ikke med i tabellen

Når det gjelder godstogene, se tabell 4-40, er forbedringene mer markerte. Alle godstogene får en spenning noe høyere enn simuleringen uten forsterkningstiltak. Sammenlignes dette med tabell 4-25 sees at forbedringen er på opptil 0,6kV for tog 5703, 5715 og 5793, for de andre mindre. Ingen tog får spenning under 12kV når godstogene gies pådragsbegrensning. Sted og tidspunkt der laveste spenning opptrer er den samme eller bare litt endret. Også her er det noen tog som ikke er inkludert i det tidsrommet som er simulert.

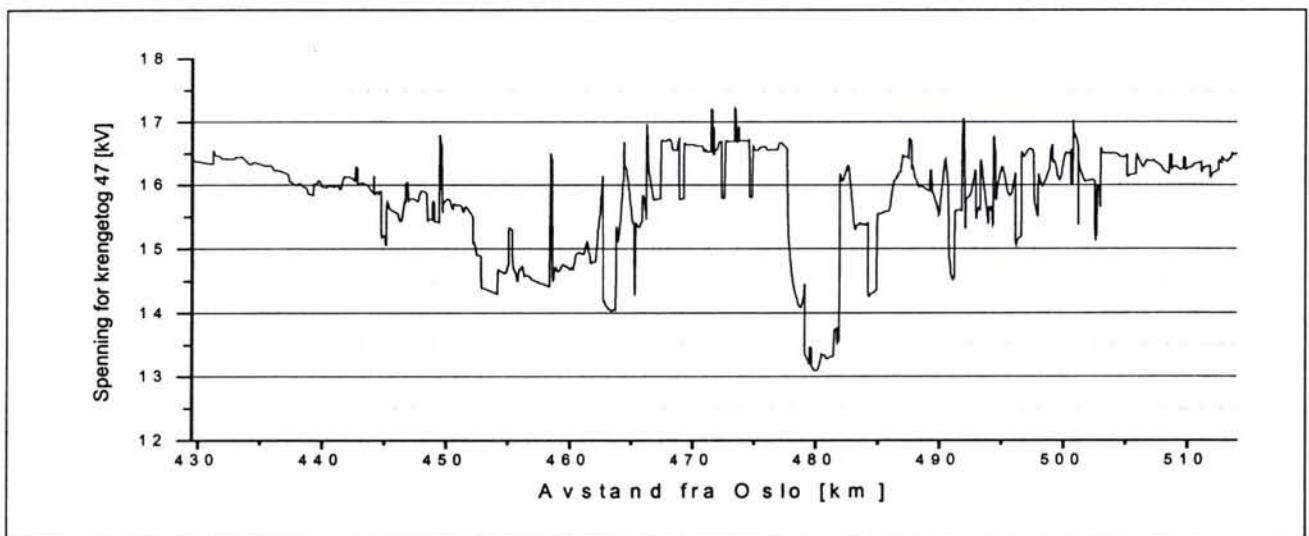
Tabell 4-39 Laveste spenning for passasjertog Oppdal – Lundamo. Tog med pådragsbegrensning

Tog nr.	Nattsimulering 10		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
47	13,1	480	21:50
405	-	-	-
406	13,3	471	00:00

Tabell 4-40 Laveste spenning for godstog Oppdal – Lundamo. Tog med pådragsbegrensning

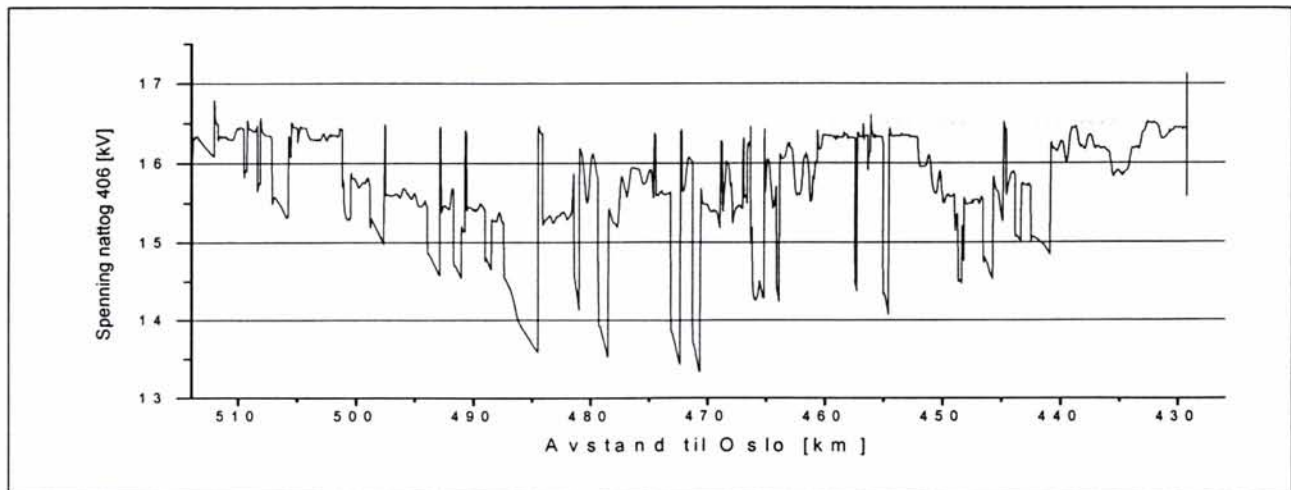
Tog nr.	Nattsimulering 10		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
5701	12,8	485	01:55
5703	13,0	467	01:03
5705	12,2	468	03:59
5713	-	-	-
5715	12,5	485	03:59
5716	12,8	477	21:50
5721	13,3	506	03:37
5781	-	-	-
5793	12,3	493	03:37

Nordgående krengetog 47 ser ut til å få en helt akseptabel spenning, ikke noe sted kommer spenningen under 13kV, se figur 4-72. Simuleringen uten tiltak viste at dette toget får en spenning ned til 12,5kV, se figur 4-35.



Figur 4-72 Spenningen på kontaktledningen for nordgående krengetog 47 Oppdal – Lundamo. Nattsimulering der godstogene gies pådragsbegrensning

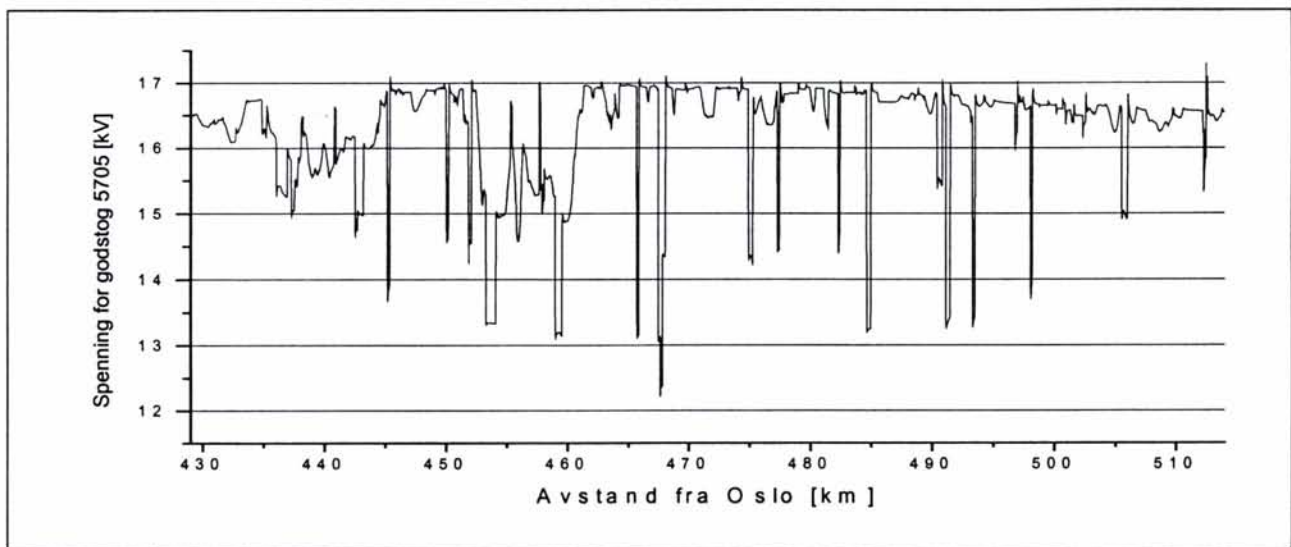
Nattog 406 befinner seg ved Garli ved midnatt, og lavest spenning inntreffer kl 00:00 ved km 471 etter at toget har kjørt ut fra Garli, se figur 4-73 Det er ingen andre tog i nærheten og spenningen for tog 406 skyldes togets eget kjøremønster. Det er derfor ikke noen synlig endring for spenningen for dette toget sammenlignet med simuleringen uten tiltak, se figur 4-36. Spenningen for dette toget er helt akseptabelt.



Figur 4-73 Spenningen på kontaktledningen for sørgående nattog 406 Oppdal – Lundamo. Nattsimulering der godstogene gies pådragsbegrensning

Figur 4-74 viser at spenningen for nordgående godstog 5705 holder seg mellom 16,5 og 17kV det meste av strekningen. Dette toget kjører i nedoverbakke og vil dermed bremse på store deler av strekningen. Spenning under 13kV oppstår et sted, men kortvarig. Det samme toget hadde spenning under 13kV flere steder i simuleringen uten tiltak, se figur 4-37.

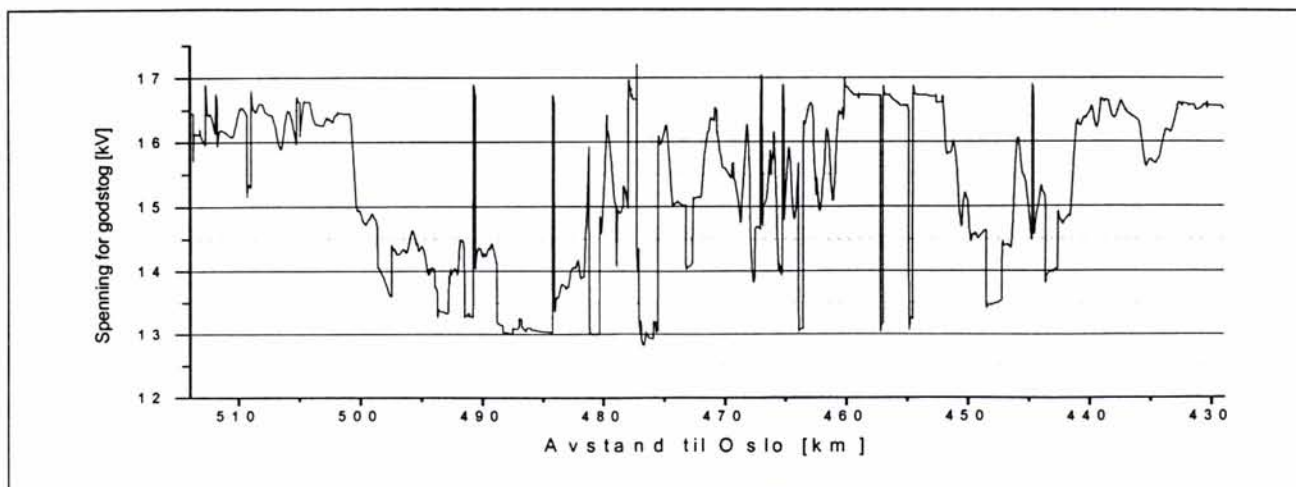
Høyeste spenningen er nå ca 17kV, mens nattsimulering uten tiltak (simulering 2) viste en maksimal spenning på 16,5kV, se figur 4-37. Denne hevingen av spenningen kan tilskrives telefiltrene som nå er med i modellen for de to El16 lokomotivene. Disse filtrene med effekt på 1,2MVA virker som fasekompensator og hever spenningen. Høyeste tillate spenningen er for øvrig 17,25kV.



Figur 4-74 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 5705 Oppdal – Lundamo. Nattsimulering der godstogene gies pådragsbegrensning

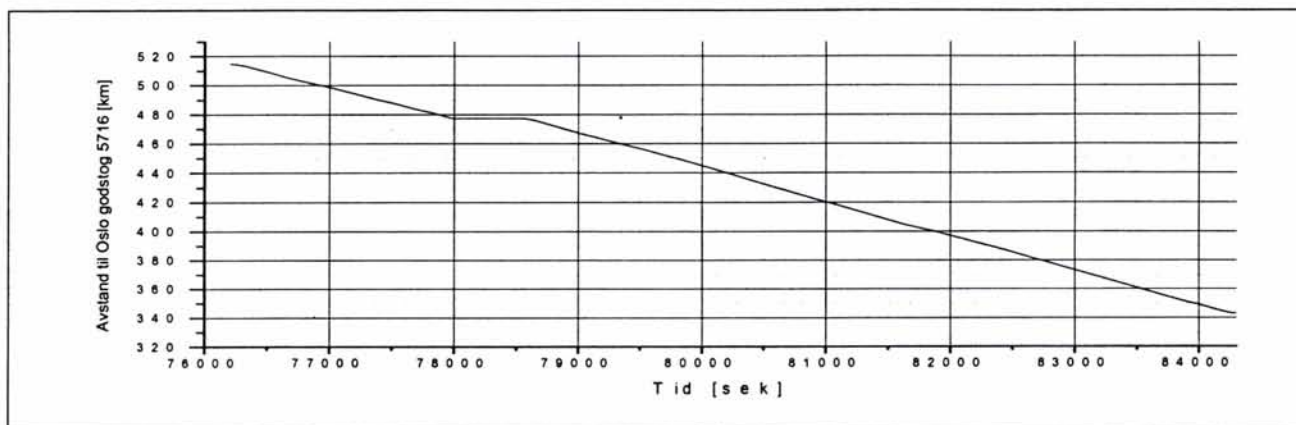
For sørgående godstog 5716 oppstår det en spenning lavere enn 13kV bare ett sted, se figur 4-75. Spenningen blir lavest ved km 477 (ved Garli) når toget akselererer ut fra stasjonene, toget går da i oppoverbakke. Sammenlignes dette med simuleringen uten tiltak, se figur 4-38, er forbedringen av spenningen markert. Uten tiltak kom spenningen under 13kV over lang distanse.

Også for dette toget sees en tendens til spenninger opp til 17kV, og ved km 477 enda noe høyere enn 17kV.

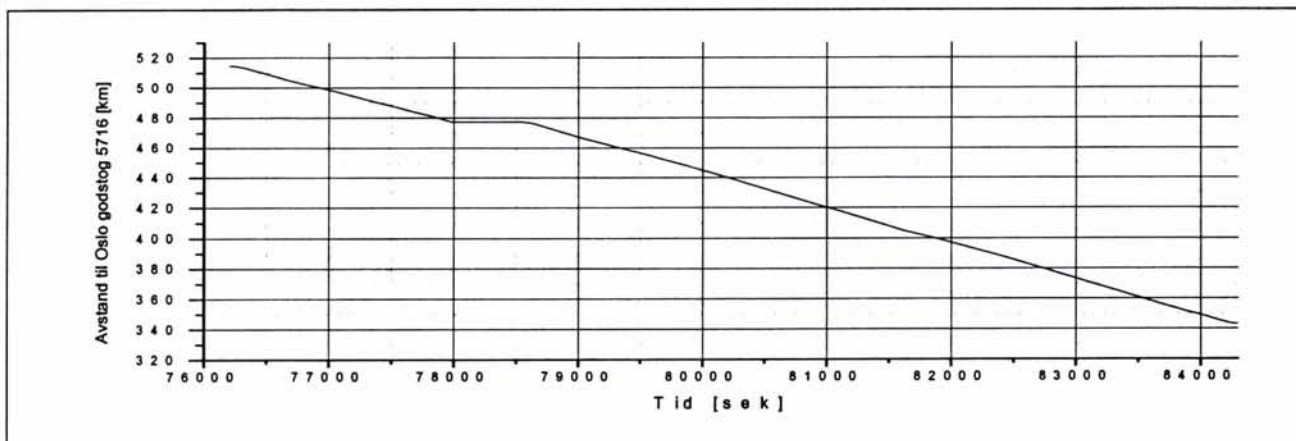


Figur 4-75 Spenningen på kontaktledningen for sørgående godstog 5716 Oppdal – Lundamo. Nattsimulering der godstogene gies pådragsbegrensning

Figur 4-76 og figur 4-77 viser tilbakelagt strekning som funksjon av tiden for godstog 5716 henholdsvis med og uten pådragsbegrensning. Sammenligning av de to figurene viser at toget i begge simuleringen tilbakelegger strekningen med samme tidsforbruk. Dermed skal det ikke bli problemer med å holde ruteplanen hvis godstogene gis pådragsbegrensning.



Figur 4-76 Tilbakelagt strekning for godstog 5716 med pådragsbegrensning



Figur 4-77 Tilbakelagt strekning for godstog 5716 uten pådragsbegrensning. Simulering 2 uten forsterkningstiltak

4.7.3 Belastning av omformere

Tabell 4-41 viser at belastningen av omformerne reduseres en del når pådragsbegrensning for godstogene innføres. Sammenlignes disse resultatene med nattsimulering 2 uten tiltak, se tabell 4-26, er forskjellene markante for noen omformere. Imidlertid er Rudshøgda og Otta omformere fremdeles betydelig overbelastet.

Omformerne ved Fåberg og Fron er også noe overbelastet, men bare for 2 sekunders verdiene. Legg merke til at Dombås omformer, som før var overbelastet med hensyn til 2 sekunders verdi, nå bare er på grense til å bli overbelastet, se tabell 4-26.

For omformeren på Dombås er times- og 6 minuttersverdien så høye at ved utfall av et aggregat vil dette føre til at det andre aggregatet også kobles ut på grunn av overbelastning.

Tabell 4-41 Belastning av omformerne når godstogene gies pådragsbegrensning

Omformer	Nattsimulering 10								
	Effekt						Strøm [kA]		
	1 time			6 minutter			2 sekunder		
	[MVA]	[%]	[kl]	[MVA]	[%]	[kl]	[kA]	[%]	[kl]
Tangen	6,77	48	23:35	11,20	51	22:42	1,45	88	23:11
Rudshøgda	4,17	134	00:12	6,48	135	23:32	0,71	158	23:28
Fåberg	6,39	55	00:11	8,55	53	00:10	1,39	111	23:54
Fron	7,03	60	01:34	8,81	55	01:09	1,25	100	01:05
Otta	4,55	147	01:35	6,71	140	01:09	0,70	157	01:20
Dombås	10,41	81	01:58	17,15	90	01:51	1,44	99	01:49
Oppdal	4,36	38	01:38	7,36	46	00:58	1,01	81	00:57
Garli	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lundamo	3,96	28	04:43	7,05	32	21:29	1,08	65	03:37
Stavne	3,88	26	04:53	7,13	-	04:05	0,94	103	04:49

4.7.4 Belastning av kontaktledningsnett

Tabell 4-42 viser strømmen for de to kontaktledningsavgangene som var hardest belastet i simulering 2 uten forsterkningstiltak. Sammenlignes resultatene nedenfor med tabell 4-27 som viser belastningen av kontaktledningen uten tiltak, kan en se at begge kontaktledningsavgangene fra Dombås nå er en del mindre belastet. Men for 6 minutters belastning som er satt til maksimum 800A ser det ut til at belastningen blir litt for stor, spesielt for avgangen i sørlig retning.

Tabell 4-42 Belastning av sør-/nordgående kontaktledningsavgangen når godstogene gies pådragsbegrensning

Omformer – avgang	Nattsimulering 10			
	Strøm [kA]			
	1 sek	10 sek	1 min	6 min
	Dombås – Nord	1,12	1,11	0,96
Dombås – Sør	1,34	1,33	1,06	0,87

4.8 Resultater simulering med kapasitetsoptimal ruteplan og godstog med pådragsbegrensning

Det har blitt utarbeidet en såkalt kapasitetsoptimal ruteplan som viser det maksimale antall tog (godstog) som det er teoretisk mulig å kjøre på Dovrebanen. Denne ruteplanen er definert slik at en får maksimalt antall tog i hver retning, samtidig med at antallet tog i hver retning skal være det samme. Denne ruteplanen var ment for simuleringer som skulle vise ekstra stor belastning av banestrømforsyningen for en senere fase 2 av Hovedplanen. Kapasitetsoptimal ruteplan er også ment å vise hva som skjer dersom det såkalte krysningsbeltet (som oppstår med ordinær ruteplan) mellom Ringebu og Dombås (strekningen der mange sør- og nordgående tog møtes) forskyves slik at hele banestrekningen får hyppige kryssninger.

Ruteplan R149.1 gir mange godstog med tett avstand og mange kryssninger sør for Dombås. Mens det på strekningen Dombås – Oppdal – Lundamo er færre godstog som trafikkerer strekningen nattetid (simulering 2 og 10). Det vil derfor være interessant å se hva som skjer i en situasjon med tettere godstogtrafikk, også i fase 1. En slik situasjon kan for eksempel være innkjøring etter forsinkelser.

Simulering 11 er utført med den kapasitetsoptimale ruteplanen, bare godstog med doble E16 lokomotiver med pådragsbegrensning og ingen endringer i banestrømforsyningen.

4.8.1 Spenning på kontaktledning for tog Tangen – Rudshøgda – Fåberg

Kapasitetsoptimal ruteplan er "symmetrisk" på den måten at rutetidene for samtlige tog er syklisk. Et hvilket som helst tog som trafikkerer Tangen – Rudshøgda – Fåberg, eller en annen strekning, vil ha avgang fra stasjonene til de samme tidene og møte kryssende tog på de samme stedene og tidspunktene. Det er derfor bare nødvendig å studere spenningen på et tog i hver retning når alle togene er like (samme lokomotiv og lastvekt).

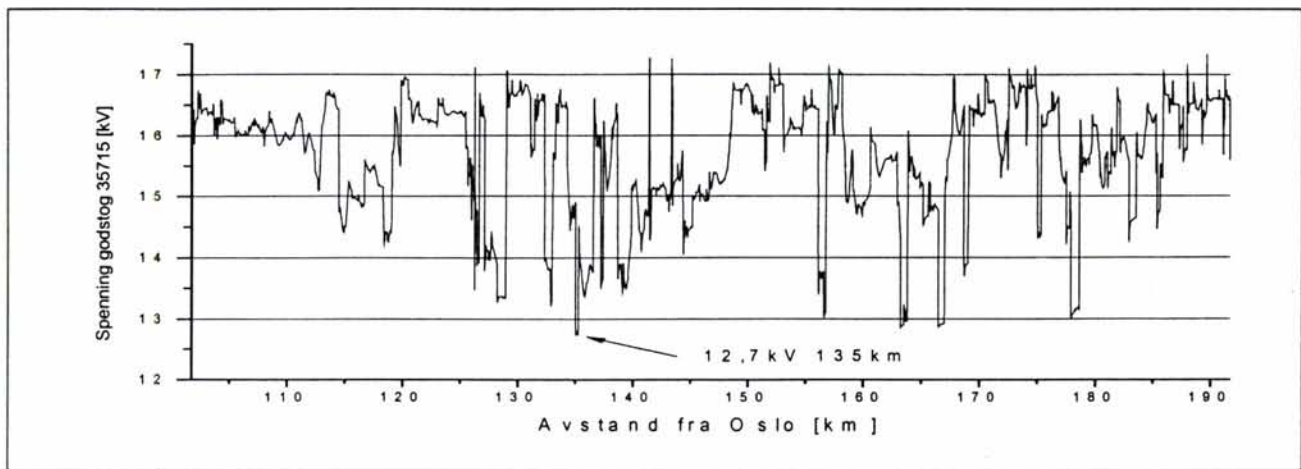
Tabell 4-43 viser spenningen på togene i sørlig og nordlig retning. Tabellen viser at samtlige nord- og sørgående tog får sin laveste spenning på samme verdi og på samme sted. Bare klokkeslettene varierer, men etter repeterende minuttall.

Figur 4-78 og figur 4-79 viser spenningene for to utvalgte tog. Laveste spenning er markert på figuren. Simulering 1 viser at laveste spenning på denne strekningen ble 11,5kV for godstog. At laveste spenning nå blir høyere skyldes både endret ruteplan og E16 lokomotiver med pådragsbegrensning.

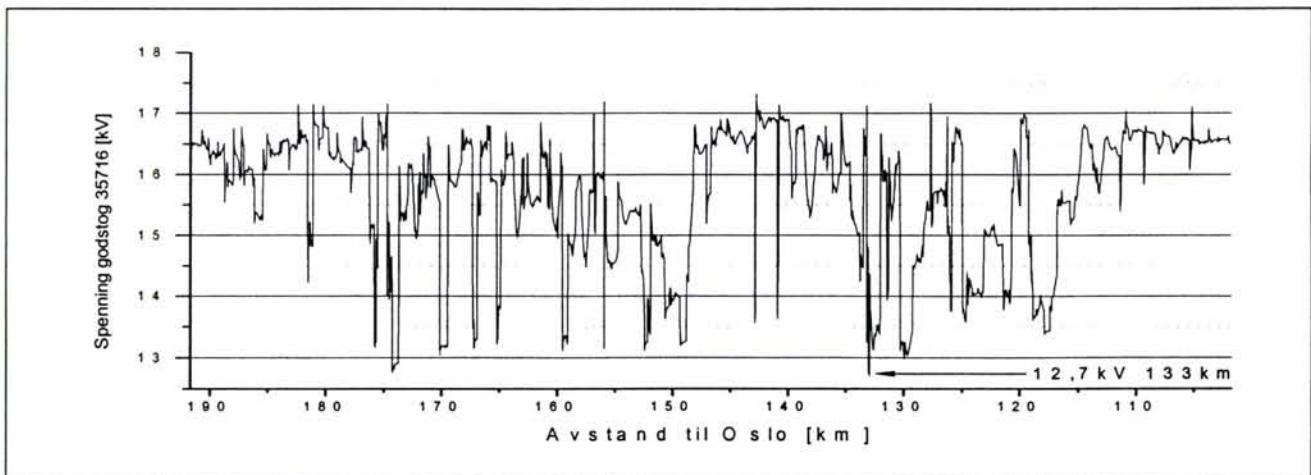
Laveste spenning for tog 35715 oppstår når toget akselerer opp i fart noen kilometer ut fra Jessnes (km 133) etter kryssning med tog 35710. Tog 35716 får også sin laveste spenning når det kjører ut fra Jessnes (km 133) etter kryssning med tog 35721.

Tabell 4-43 Laveste spenning for godstog Tangen – Rudshøgda – Fåberg. Kapasitetsoptimal ruteplan og pådragsbegrensning på godstogene. Simulering uten forsterkningstiltak

Tog nr.	Simulering 11		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
Nordgående	12,7	135	09:14, 09:34, 09:54, 10:14 etc.
Sørgående	12,7	133	09:13, 09:33, 09:53, 10:13 etc.



Figur 4-78 Spenning på kontaktledningen for nordgående for godstog 35715 Tangen – Rudshøgda – Fåberg. Kapasitetsoptimal ruteplan og pådragsbegrensning. Simulering uten forsterkningstiltak



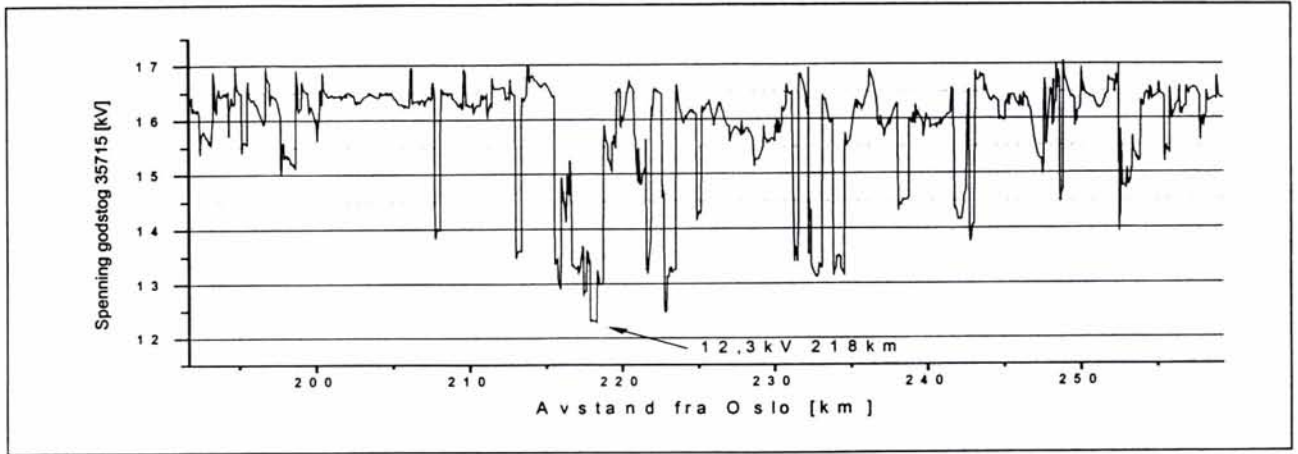
Figur 4-79 Spenning for sørgående godstog 35716 Fåberg – Rudshøgda – Tangen. Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan og pådragsbegrensning. Simulering uten forsterkningstiltak

4.8.2 Spenning på kontaktledning for tog Fåberg – Fron

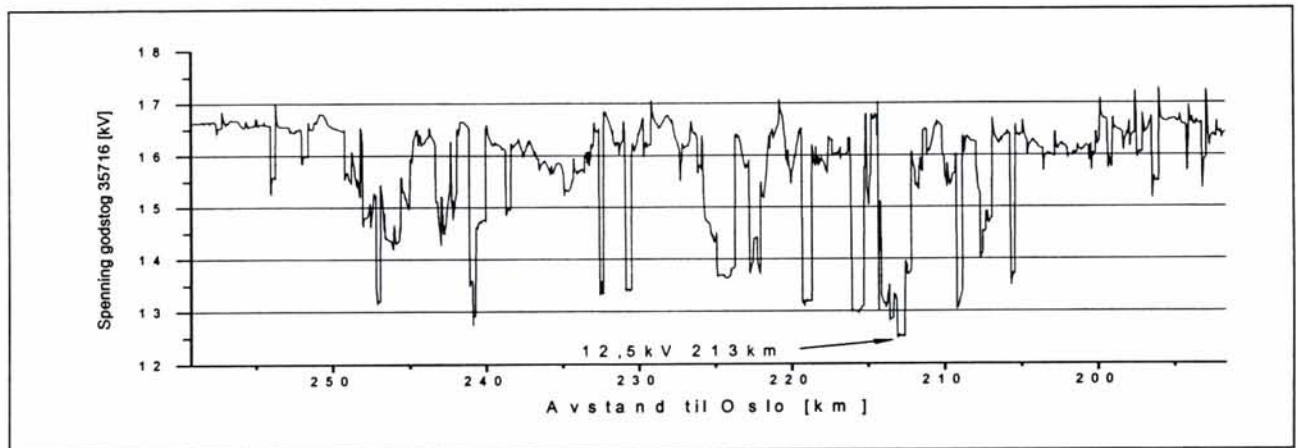
Spenningen for nord- og sørgående tog holder høye nivåer, bare noen få ganger får togene spenninger under 13kV. Både tog 35715 og 35716 som er vist i henholdsvis figur 4-80 og figur 4-81 får lave spenninger etter akselerasjon ut fra stasjoner der krysning med tog i motsatt retning skjer.

Tabell 4-44 Laveste spenning for godstog Fåberg - Fron. Kapasitetsoptimal ruteplan og pådragsbegrensning på godstogene. Simulering uten forsterkningstiltak

Tog nr.	Simulering 11		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
Nordgående	12,3	218	09:04, 09:44, 10:24, 10:04, etc.
Sørgående	12,5	213	09:01, 09:41, 10:21, 11:03 etc.



Figur 4-80 Spennning på kontaktledningen for nordgående for godstog 35713 Fåberg - Fron. Kapasitetsoptimal ruteplan og pådragsbegrensning. Simulering uten forsterkningstiltak



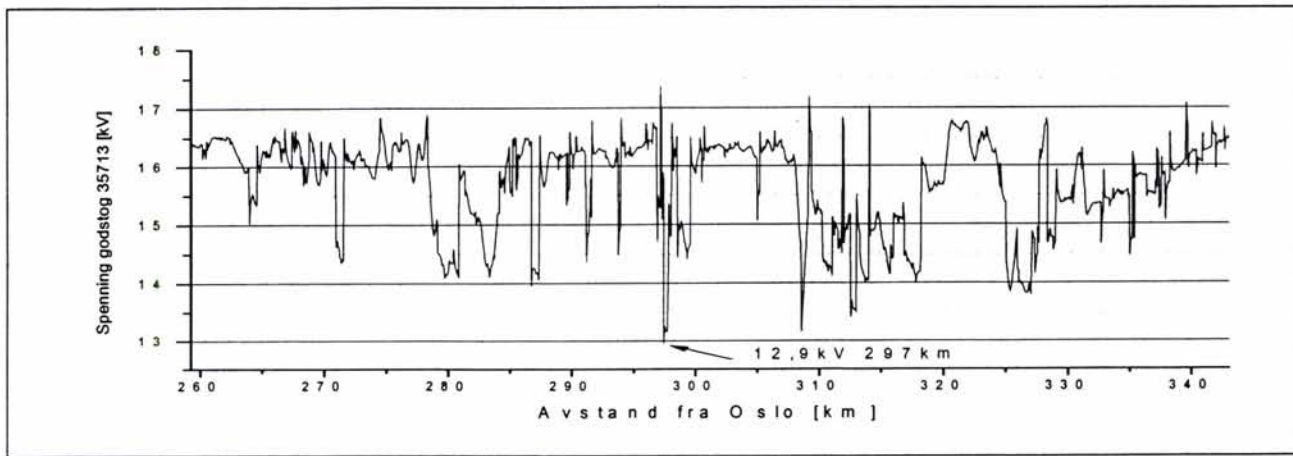
Figur 4-81 Spennning på kontaktledningen for sørgående for godstog 35718 Fron- Fåberg Kapasitetsoptimal ruteplan og pådragsbegrensning. Simulering uten forsterkningstiltak

4.8.3 Spennning på kontaktledning for tog Fron – Otta – Dombås

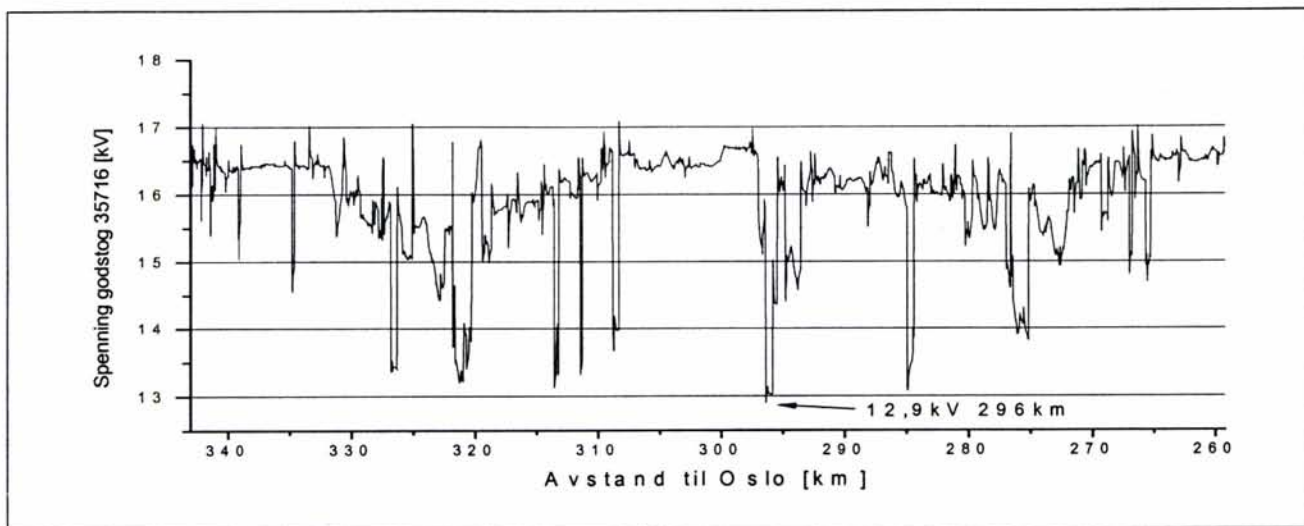
Både sør og nordgående tog får sin laveste spennning ved utkjøring fra Otta etter krysning, se tabell 4-45. Men spennningen kommer bare ned til ca 12,9kV og kan ikke sies å være spesielt lav.

Tabell 4-45 Laveste spennning for godstog Fron – Otta - Dombås. Kapasitetsoptimal ruteplan og pådragsbegrensning på godstogene. Simulering uten forsterkningstiltak

Tog nr.	Simulering 11		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
Nordgående	12,9	297	09:00, 09:40, 10:20, 11:00
Sørgående	12,9	296	09:01, 09:41, 10:20, 11:01



Figur 4-82 Spennning på kontaktledningen for nordgående godstog 35713 Fron – Otta - Dombås. Kapasitetsoptimal ruteplan og pådragsbegrensning. Simulering uten forsterkningstiltak



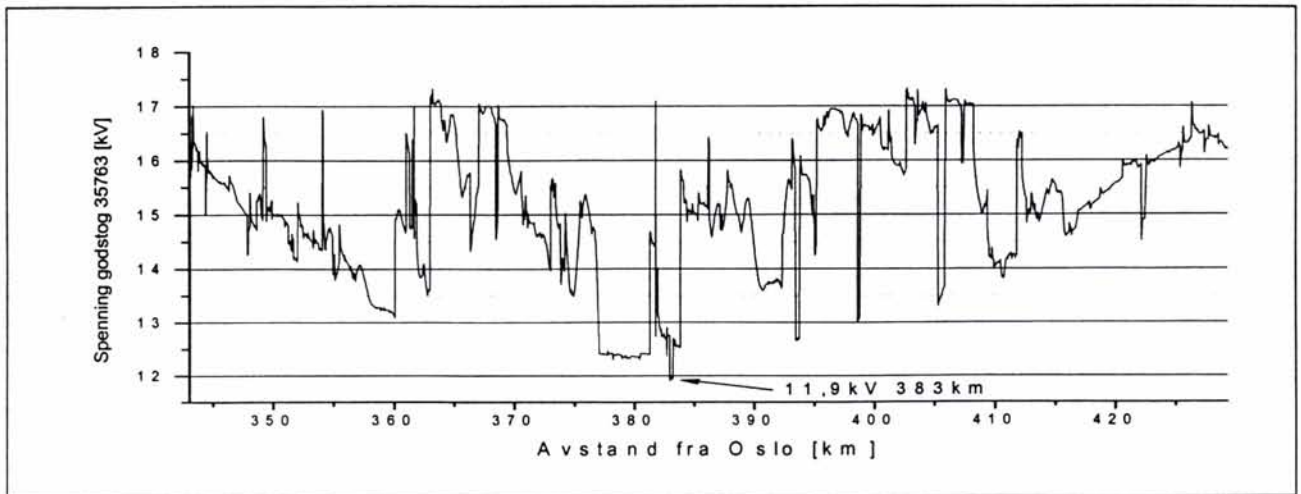
Figur 4-83 Spennning på kontaktledningen for sørgående godstog 35718 Dombås – Otta -Fron. Kapasitetsoptimal ruteplan og pådragsbegrensning. Simulering uten forsterkningstiltak

4.8.4 Spennning på kontaktledning for tog Dombås – Oppdal

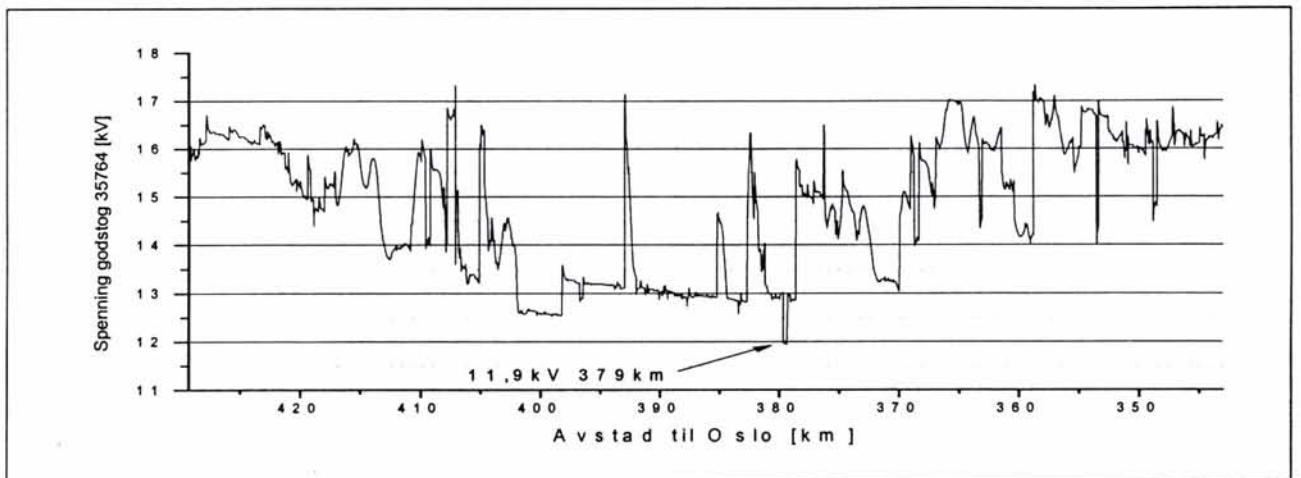
På denne strekningen får både sør- og nordgående tog sin laveste spennning ved Hjerkin etter krysning, se tabell 4-46. Her kommer spennningen under 12,0kV, men bare for en liten periode.

Tabell 4-46 Laveste spennning for godstog Dombås - Oppdal. Kapasitetsoptimal ruteplan og pådragsbegrensning på godstogene. Simulering uten forsterkningstiltak

Tog nr.	Simulering 11		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
Nordgående	11,9	383	09:09, 09:49, 10:29, 11:09 etc.
Sørgående	11,9	379	09:09, 09:49, 10:29, 11:09 etc.



Figur 4-84 Spennning på kontaktledningen for nordgående godstog 35761 Dombås - Oppdal. Kapasitetsoptimal ruteplan og pådragsbegrensning. Simulering uten forsterkningstiltak



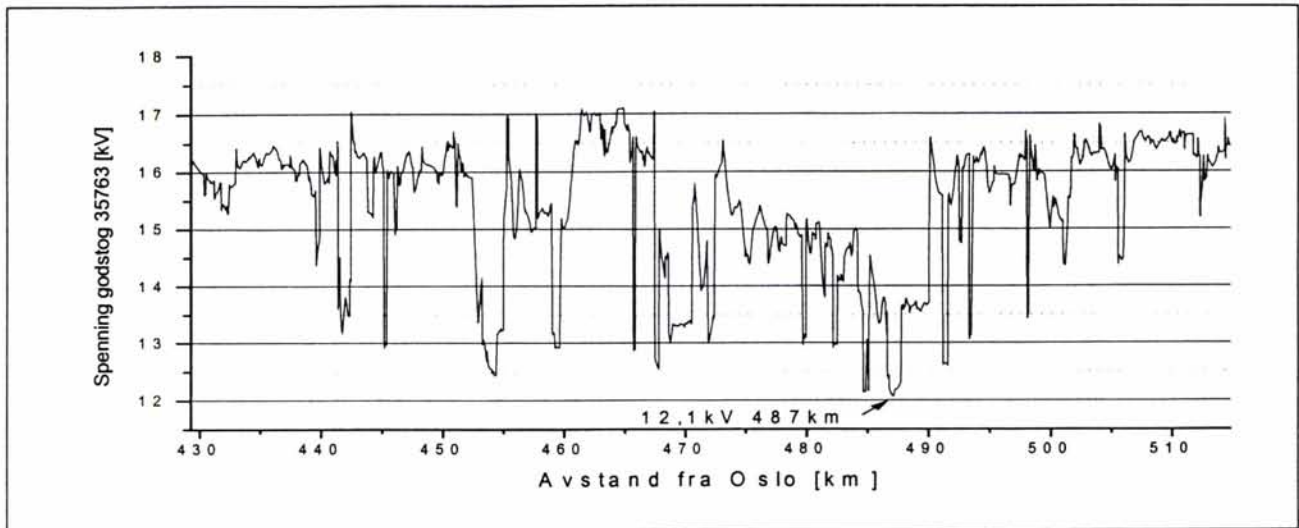
Figur 4-85 Spennning på kontaktledningen for sørgående godstog 35764 Oppdal - Dombås. Kapasitetsoptimal ruteplan og pådragsbegrensning. Simulering uten forsterkningstiltak

4.8.5 Spennning på kontaktledning for tog Oppdal - Lundamo

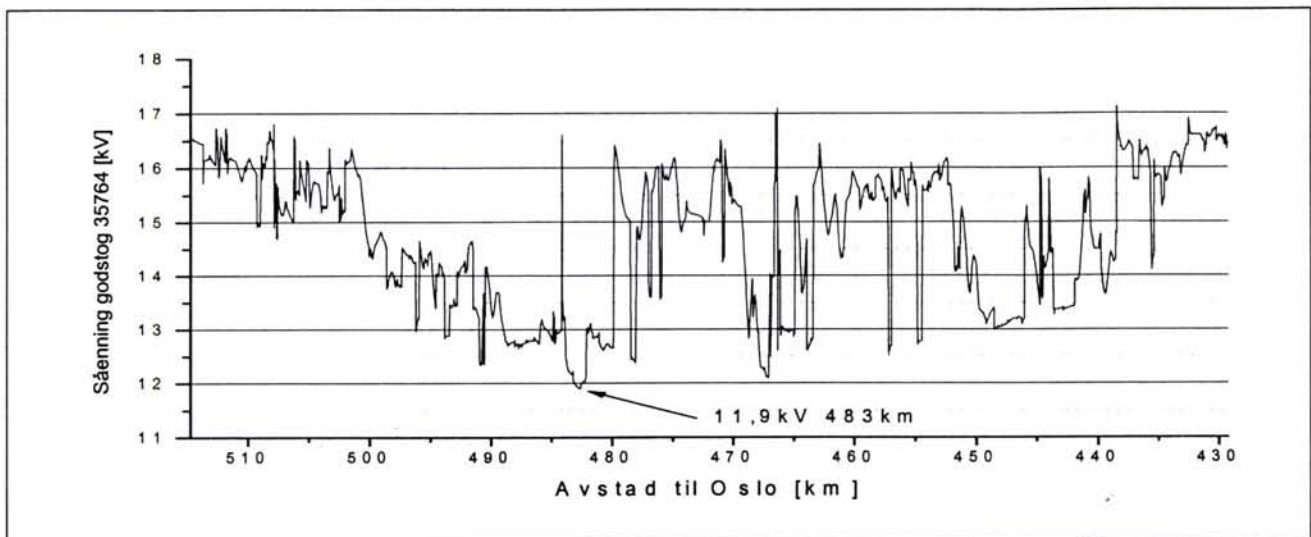
Lavest spennning oppstår for tog 35763 når det akselererer ut fra Soknedal (km 486) etter krysning med sørgående tog, se tabell 4-47. Også det sørgående toget får sin laveste spennning noe lenger sør etter krysningen. Her blir spennningene lave spesielt for sørgående tog som kjører i stigning.

Tabell 4-47 Laveste spennning for godstog Oppdal - Lundamo. Kapasitetsoptimal ruteplan og pådragsbegrensning på godstogene. Simulering uten forsterkningstiltak

Tog nr.	Simulering 11		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
Nordgående	12,1	487	09:18, 09:58, 10:38, 11:18, etc
Sørgående	11,9	483	09:22, 10:02, 10:42, 11:22, etc



Figur 4-86 Spennning på kontaktledningen for nordgående godstog 35763 Oppdal - Lundamo. Kapasitetsoptimal ruteplan og pådragsbegrensning. Simulering uten forsterkningstiltak



Figur 4-87 Spennning på kontaktledningen for sørgående godstog 35764 Lundamo - Oppdal. Kapasitetsoptimal ruteplan og pådragsbegrensning. Simulering uten forsterkningstiltak

4.8.6 Belastning av omformere

Tabell 4-48 viser at belastningen av omformerne økes en del når den kapasitetsoptimale ruteplan innføres og pådragsbegrensning fremdeles gjelder for godstogene som i simulering 10. Rudshøgda og Otta omformere er fremdeles betydelig overbelastet, men mindre enn i simulering 10.

Ved å studere kurvene kan en se at belastningen for omformerne er syklisk slik at ekstremalverdiene gjentas med faste minuttall. I tabell 4-48 er klokkeslettet bare for to omformere vist, men også for de andre omformerne vil klokkeslettene være repeterende. Maksimalverdiene for strøm og effekt repeteres med 40 minutters mellomrom.

Tabell 4-48 Belastning av omformerne med kapasitetsoptimal ruteplan når togene gis pådragsbegrensning. Simulering uten forsterkningstiltak

Omformer	Simulering 11 Kapasitetsoptimal ruteplan og pådragsbegrensning for doble EL16								
	Effekt						Strøm [kA]		
	1 time			6 minutter			2 sekunder		
	[MVA]	[%]	[kl]	[MVA]	[%]	[kl]	[kA]	[%]	[kl]
Tangen	7,23	52	-	11,48	52	-	1,21	73	-
Rudshøgda	3,82	123	-	5,71	119	-	0,71	158	-
Fåberg	7,95	69	-	9,82	61	-	1,09	87	-
Fron	8,00	69	-	11,07	69	-	1,23	98	-
Otta	3,33	107	-	4,43	108	-	0,71	158	-
Dombås	11,25	89	-	14,85	78	-	1,57	108	-
Oppdal	11,55	96	11:22 12:02 12:42 13:22	14,36	91	11:27 12:07 12:47 13:27	1,50	120	11:03 11:43 12:23 13:03
Garli	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lundamo	9,11	65	11:21 12:01 12:41 13:21	13,96	63	11:21 12:01 12:41 13:21	1,29	78	11:16 11:56 12:36 13:16
Stavne	6,63	44	-	9,42	-	-	0,88	97	-

Tangen og Stavne

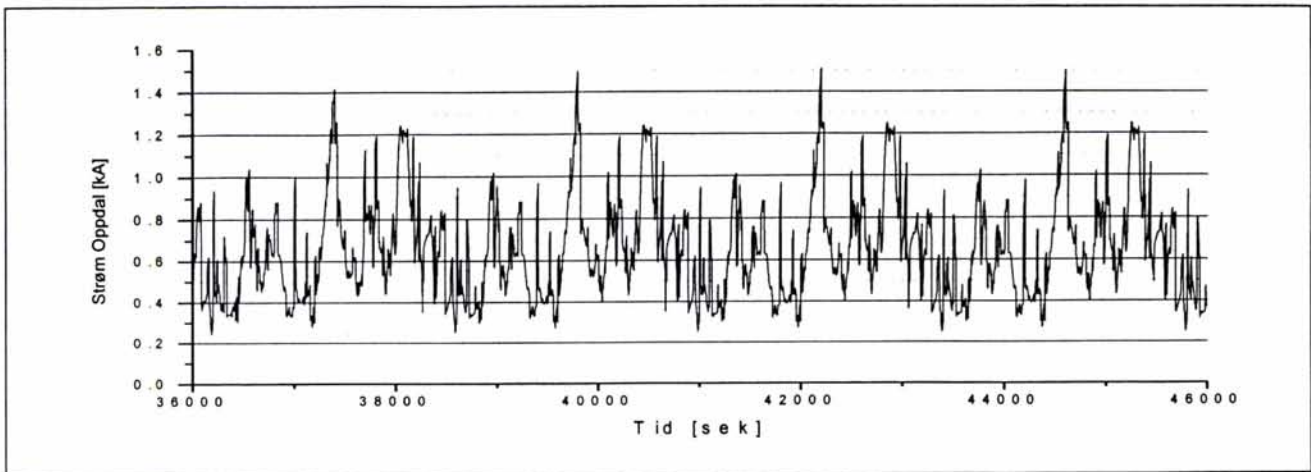
Disse omformerne får helt akseptable belastningsverdier

Rudshøgda, Fåberg, Fron, Otta, Dombås, Oppdal og Lundamo

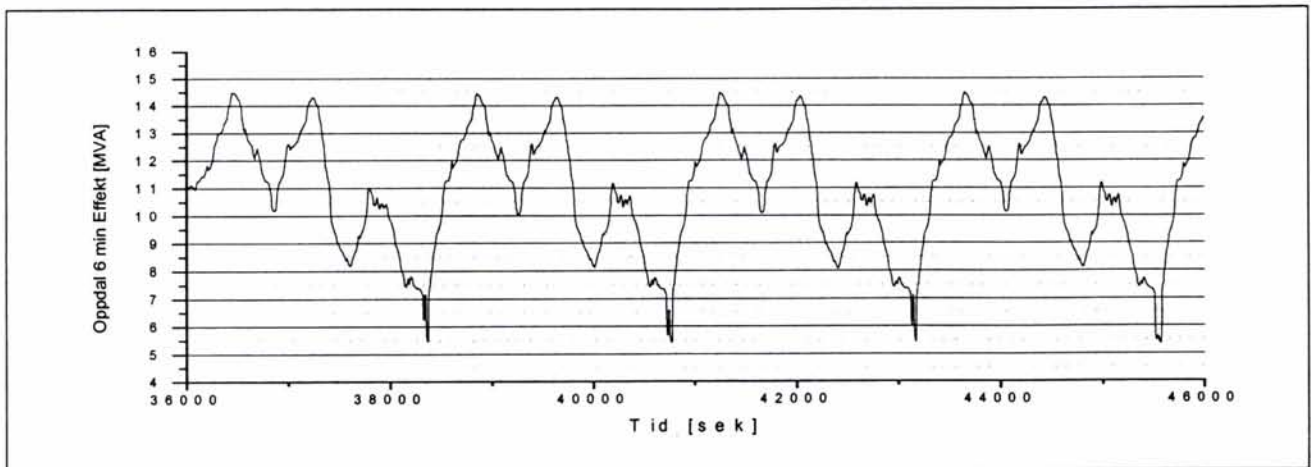
Med den kapasitetsoptimale ruteplanen og pådragsbegrensning blir alle omformerne belastet mer enn i simulering 10 for timesverdiene, bare Rudshøgda og Otta omformere blir belastet mindre. Når det gjelder 6 minuttersverdiene blir bare Rudshøgda, Otta og Dombås omformere belastet noe mindre enn i simulering 10.

Spesielt er belastningen for Oppdal, Lundamo og Stavne omformere økt betydelig. For Rudshøgda, Otta og Oppdal omformere er strømverdiene så store at overstrømsvernene vil løse ut eller er nært ved å gjøre det. For omformerne på Fron og Dombås er strømmene også store, men ikke så store at det skulle være fare for utfall.

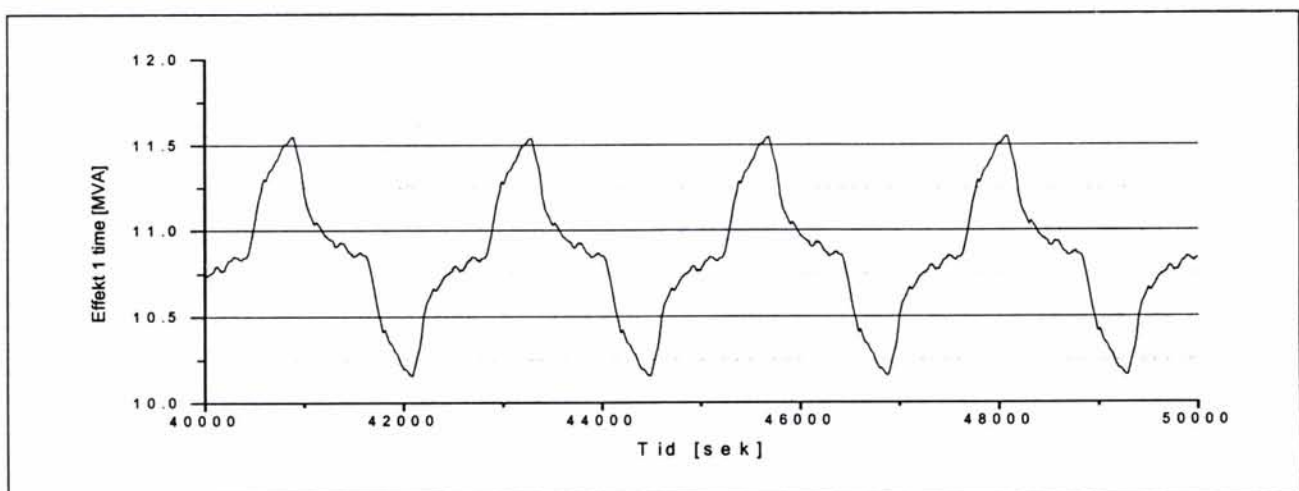
I figur 4-88, figur 4-89 og figur 4-90 er vist henholdsvis strøm, 6 minutters og 1 times effekt for Oppdal. Ved å lese av sekundene for de høyeste verdiene kan en konvertere dette til klokkeslett.



Figur 4-88 Total strøm fra Oppdal omformer. Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan, ingen forsterkningstiltak og pådragsbegrensning på doble E116 lokomotiver. 36000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 10:00



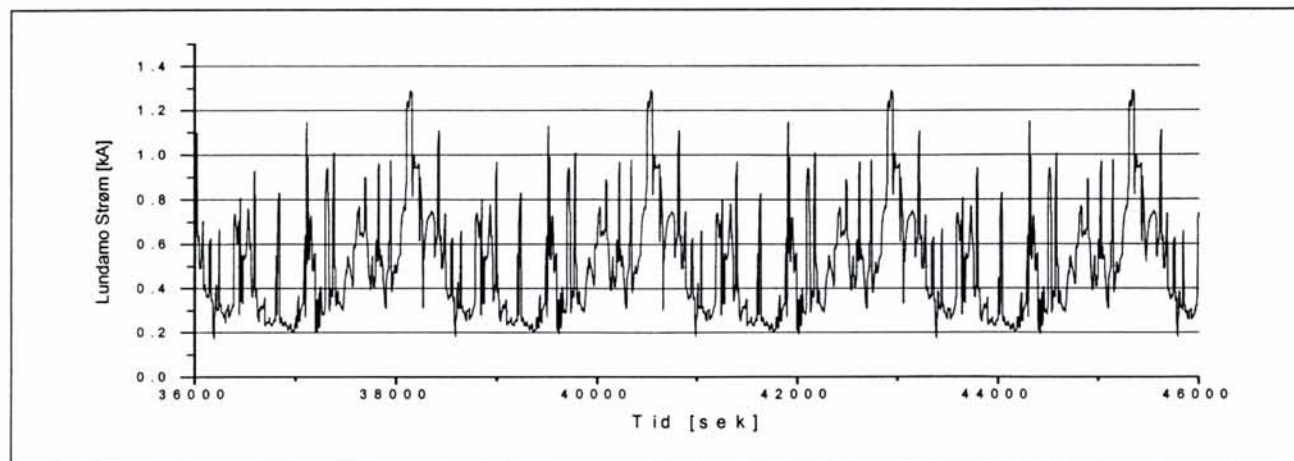
Figur 4-89 Total 6 minutters effekt fra Oppdal omformer ($S_{6min} = 16\text{MVA}$). Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan, ingen forsterkningstiltak og pådragsbegrensning på doble E116 lokomotiver. 36000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 10:00



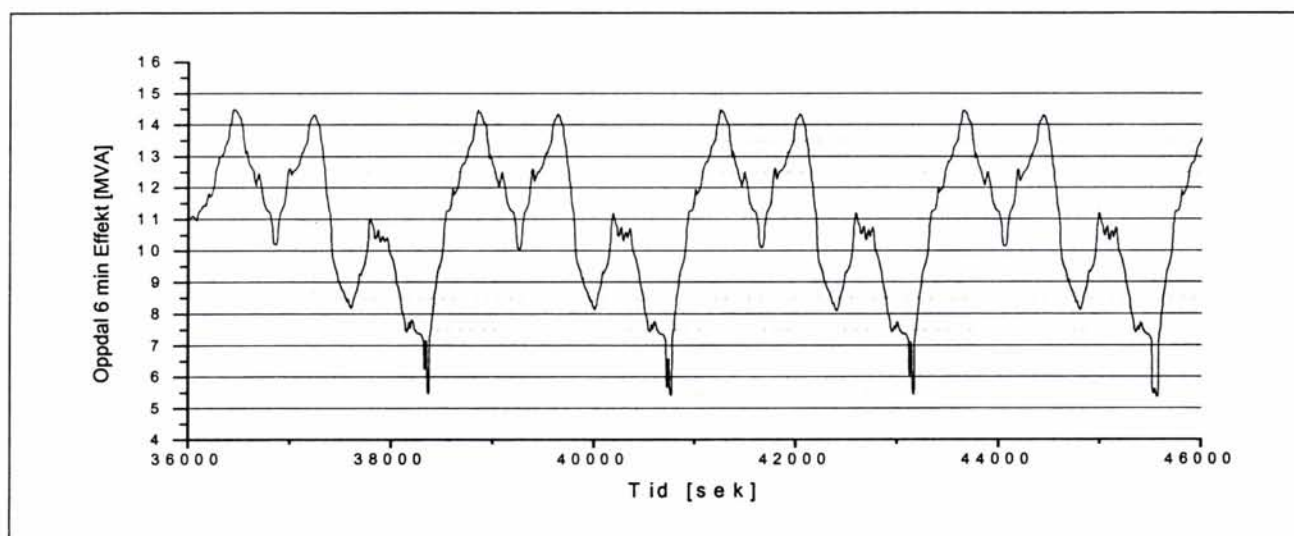
Figur 4-90 Total 1 times effekt fra Oppdal omformer ($S_{1time} = 11,6\text{MVA}$). Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan, ingen forsterkningstiltak og pådragsbegrensning på doble E116 lokomotiver. 40000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 10:07

Lundamo

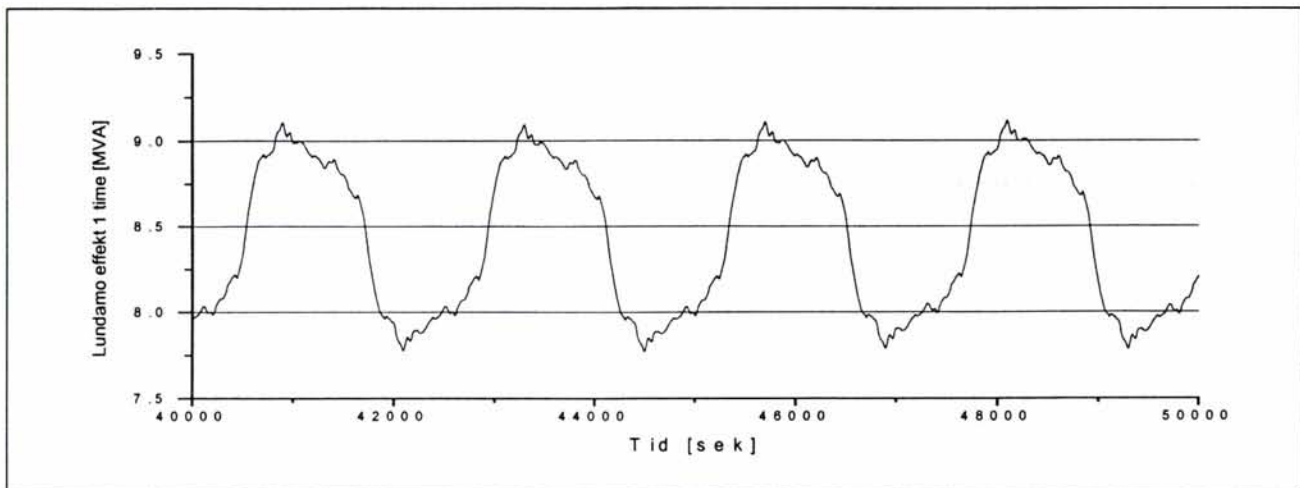
Figur 4-91, figur 4-92 og figur 4-93 viser henholdsvis strøm, 6 minutters og 1 times effekt for Lundamo omformer. Legg spesielt merke til tidspunktet for de høyeste effektene ser ut til å sammenfalne med de samme verdiene for Oppdal omformer, se tabell 4-48. Lundamo omformer er nå mer belastet enn i simulering 10 med den ordinære ruteplanen og med pådragsbegrensning.



Figur 4-91 Total strøm fra Lundamo omformer. Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan, ingen forsterkningstiltak og pådragsbegrensning på doble E116 lokomotiver. 36000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 10:00



Figur 4-92 Total 6 minutters effekt fra Lundamo omformer ($S_{6min} = 22\text{MVA}$). Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan, ingen forsterkningstiltak og pådragsbegrensning på doble E116 lokomotiver. 36000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 10:00



Figur 4-93 Total 1 times effekt fra Lundamo omformer ($S_{\text{time}}=14,0\text{MVA}$). Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan, ingen forsterkningstiltak og pådragsbegrensning på doble E116 lokomotiver. 40000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 11:07

4.8.7 Belastning av kontaktledningsnettet

Tabell 4-49 viser strømmen på avgangene til kontaktledningene som har vist seg å bli hardest belastet. For kontaktledningen i nordlig retning fra Dombås omformer ser det ut til at belastningen kan bli for høy. For de andre ser situasjonen ut til å være tilfredsstillende.

Tabell 4-49 Belastning av sør-/norgående kontaktledning med kapasitetsoptimal ruteplan og pådragsbegrensning på godstogene. Ingen forsterkningstiltak

Omformer – avgang	Simulering 11			
	Strøm [kA]			
	1 sek	10 sek	1 min	6 min
Dombås Sør	0.94	0.90	0.59	0.51
Dombås Nord	0.99	0.99	0.95	0.83
Oppdal Sør	1.04	1.02	0.71	0.58
Oppdal Nord	1.19	1.17	1.01	0.67
Lundamo Sør	1.09	1.05	0.76	0.60

4.9 Resultater simulering med kapasitetsoptimal ruteplan pådragsbegrensning og forsterkning av banestrømforsyningen

Simulering 12 er utført med den kapasitetsoptimale ruteplanen, bare godstog med doble E116 lokomotiver med pådragsbegrensning og forsterkning av banestrømforsyningen. Det er opprettet en ny omformerstasjon på Hjerkin. Hovedhensikten med omformeren på Hjerkin er å begrense strømmen på kontaktledningen ut fra omformeren fra Dombås og nordover. Strømmen her har vist seg å bli stor både for simulering 10 og 11, se henholdsvis tabell 4-42 og tabell 4-49.

4.9.1 Resultater for valg av omformer størrelse

Tabell 4-50 nedenfor viser den nye belastningssituasjonen etter at større aggregater er satt inn på Rudshøgda, Otta, Dombås og Oppdal. Ny omformerstasjon med 2 x 3,1MVA er satt inn på Hjerkin, og denne blir mest overbelastet.

Fåberg omformer får noe høy 2 sekunder strømverdi, men akseptabelt belastet for times og 6 minutters verdi. Hjerkin omformer blir belastet 130 og 117% for henholdsvis 1 time og 6 minutters verdi. Denne omformerstasjonen må få øket ytelse. En legger også merke til at Oppdal omformer også er hardt belastet. Men ved en ytterligere økning av ytelsen på Hjerkin omformer vil sannsynligvis Oppdal omformer avlastes en del.

Tabell 4-50 Belastning av omformere med forsterkning av Rudshøgda, Otta, Dombås og Oppdal og ny omformer på Hjerkin. Kapasitetsoptimal ruteplan og pådragsbegrensning på de doble El16 lokomotivene

Omformer	Innsatt aggregat [MVA]	Simulering 12a								
		Effekt						Strøm [kA]		
		1 time			6 minutter			2 sekunder		
		Tillatt	Sim [MVA]	[%]	Tillatt	Sim [MVA]	[%]	Tillatt	Sim [kA]	[%]
Tangen	2 x 7,0	14,0	6,31	45	22	10,16	46	1,65	1,15	70
Rudshøgda	2 x 5,8	11,6	5,91	51	16	8,16	51	1,25	1,14	91
Fåberg	2 x 5,8	11,6	6,94	59	16	9,78	61	1,25	1,39	112
Fron	2 x 5,8	11,6	6,60	57	16	9,79	61	1,25	1,12	90
Otta	2 x 5,8	11,6	5,83	50	16	7,21	45	1,25	1,14	91
Dombås	2 x 7,0	14,0	8,54	61	22	11,98	54	1,65	1,29	78
Hjerkin	2 x 3,1	6,2	8,04	130	9,6	11,20	117	0,9	1,22	136
Oppdal	2 x 7,0	14,0	12,15	87	22	15,98	72	1,65	1,40	85
Lundamo	2 x 7,0	14,0	8,96	64	22	13,82	63	1,65	1,28	78
Stavne	2 x 7,5	15,0	6,59	44	-	9,39	-	0,909	0,87	96

På grunn av den store belastningen på Hjerkin ble det foretatt enda en simulering med større aggregater på Hjerkin, denne gangen med 2 x 5,8MVA. Resultatet er vist nedenfor i tabell 4-51, der en kan se at Hjerkin omformer fremdeles er mye belastet. Ved et utfall av et aggregat i Hjerkin omformer vil meget sannsynlig føre til at det gjenværende blir overbelastet. En legger også merke til at Oppdal omformer nå er belastet 82 og 69% for henholdsvis times og 6 minutters effektverdier, mens de samme tallene får var 87 og 72%, se resultatene fra simulering 11, tabell 4-48. Altså ingen stor endring, men med aggregater på 3 x 5,8MVA er det mulig at Oppdal vil avlastes enda mer.

Tabell 4-51 Belastning av omformere med forsterkning av Rudshøgda, Otta, Dombås og Oppdal og ny omformer på Hjerkin med 2 x 5,8MVA ytelse. Kapasitetsoptimal ruteplan og pådragsbegrensning på de doble El16 lokomotivene

Omformer	Innsatt aggregat [MVA]	Simulering 12b								
		Effekt						Strøm [kA]		
		1 time			6 minutter			2 sekunder		
		Tillatt	Sim [MVA]	[%]	Tillatt	Sim [MVA]	[%]	Tillatt	Sim [kA]	[%]
Dombås	2 x 7,0	14	7,74	55	22	10,89	50	1,65	1,19	72
Hjerkin	2 x 5,8	11,6	9,30	80	16	12,69	79	1,25	1,36	109
Oppdal	2 x 7,0	14	11,47	82	22	15,17	69	1,65	1,44	87

Simuleringen med 3 x 5,8MVA på Hjerkin viser at prosentvis belastningen av omformeren nå kommer ned på et akseptabelt nivå, se tabell 4-52 nedenfor. Men fremdeles er Oppdal meget

høyt belastet. Selv med aggregater på 3 x 5,8MVA på Hjerkinns blir Oppdal omformer ikke avlastet i noen større grad.

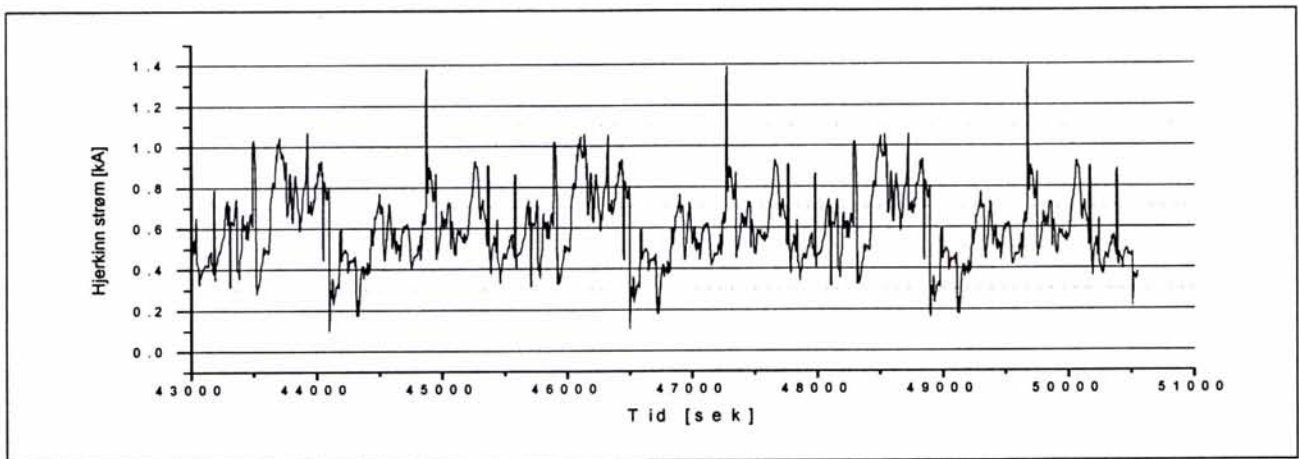
En ytterligere økning for å møtet effektbehovet vil være å la Hjerkinns ha 3 x 5,8MVA og sette inn aggregater på 2 x 10MVA på Oppdal. I de etterfølgende avsnittene er spenningen på kontaktledningen vist for tilfellet med 3 x 5,8MVA på Hjerkinns.

Settes det inn tre aggregater på 5,8MVA ved etablering av Hjerkinns omformer, representerer simulering 12b med 2 x 5,8MVA aggregater på Hjerkinns en situasjon med utfall av et aggregat.

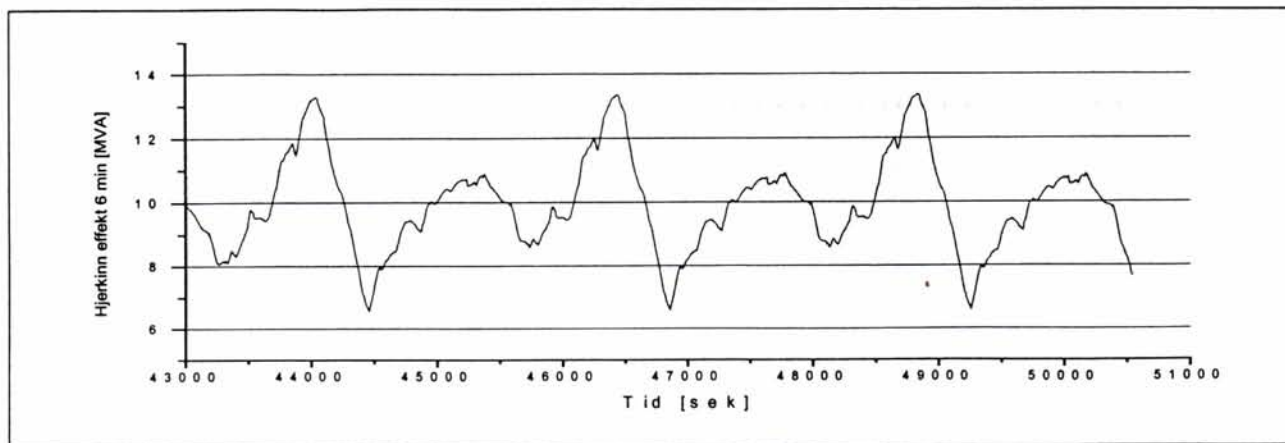
Tabell 4-52 Belastning av omformere med forsterkning av Rudshøgda, Otta, Dombås og Oppdal og ny omformer på Hjerkinns på 3 x 5,8MVA. Kapasitetsoptimal ruteplan og pådragsbegrensning på de doble El16 lokomotivene

Omformer	Innsatt aggregat [MVA]	Simulering 12c								
		Effekt						Strøm [kA]		
		1 time			6 minutter			2 sekunder		
		Tillatt	Sim [MVA]	[%]	Tillatt	Sim [MVA]	[%]	Tillatt	Sim [kA]	[%]
Dombås	2 x 7,0	14	7.47	53	22	10.67	49	1650	1.17	71
Hjerkinns	3 x 5,8	17,4	10.26	59	24	13.35	56	1875	1.38	74
Oppdal	2 x 7,0	14	11.17	80	22	14.87	68	1650	1.44	87

Total strøm og 6 minutters effekt til Hjerkinns omformer er vist i figur 4-94 og figur 4-95. For 6 minutters verdien av effekten er det maksimal verdier ved 44000, 46400 og 48800sekunder eller når klokken er 12:13, 12:53 og 13:33. Altså er det 40 minutter mellom hver belastningstopp for Hjerkinns som de andre omformerne, dette er vist i simulering 11, avsnitt 4.8.6. Også for strømmen er det 40 minutter mellom hver belastningstopp.

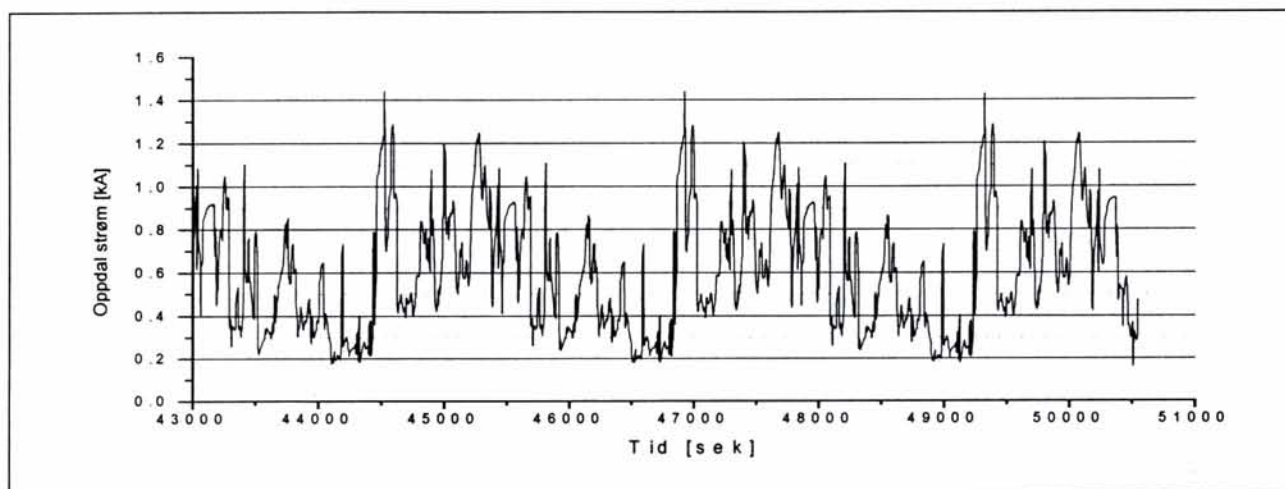


Figur 4-94 Total strøm fra Hjerkinns omformer. Simulering 12c med kapasitetsoptimal ruteplan, pådragsbegrensning på doble El16 lokomotiver og forsterkning av omformere. 43000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 11:57

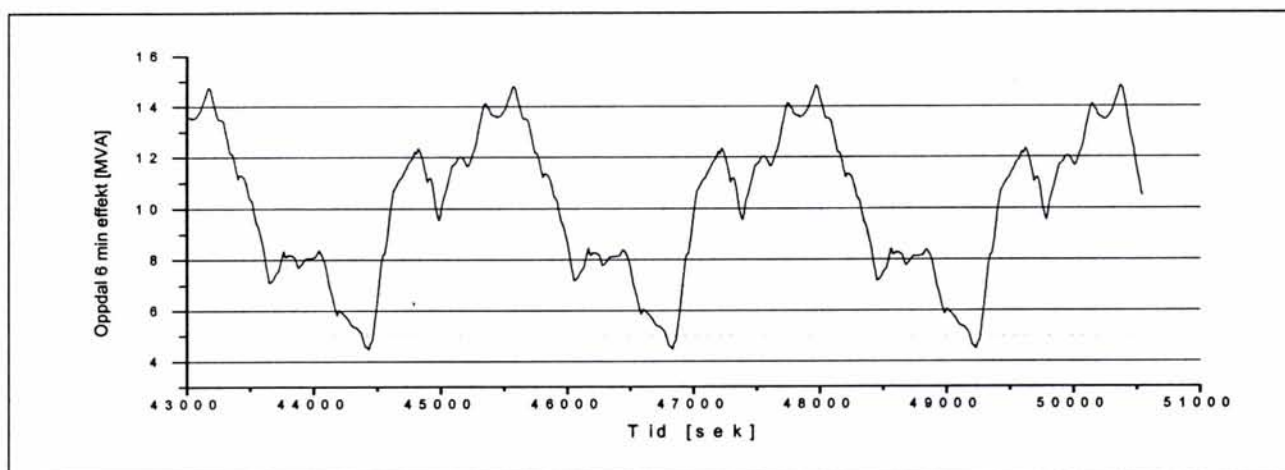


Figur 4-95 6 minutters effekt fra Hjerkinn omformer. Simulering 12c med kapasitetsoptimal ruteplan, pådragsbegrensning på doble E116 lokomotiver og forsterkning av omformere. 43000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 11:57

Også for Oppdal omformer er det 40 minutter mellom hver belastningstopp for strøm og 6 minutters effekt, se figur 4-96 og figur 4-97.



Figur 4-96 Total strøm fra Oppdal omformer. Simulering 12c med kapasitetsoptimal ruteplan, pådragsbegrensning på doble E116 lokomotiver og forsterkning av omformere. 43000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 11:57

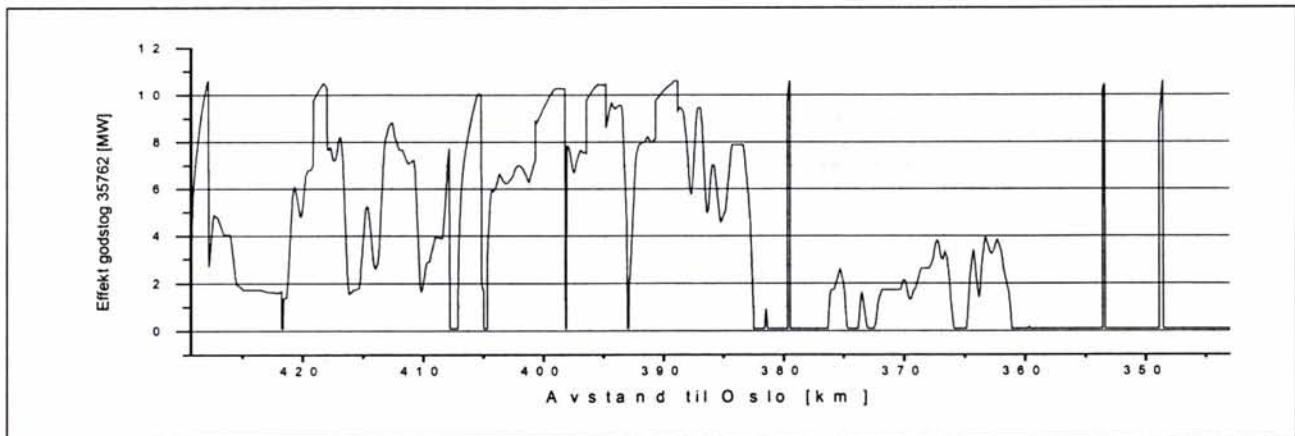


Figur 4-97 6 minutters effekt fra Oppdal omformer. Simulering 12c med kapasitetsoptimal ruteplan, pådragsbegrensning på doble E116 lokomotiver og forsterkning av omformere. 43000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 11:57

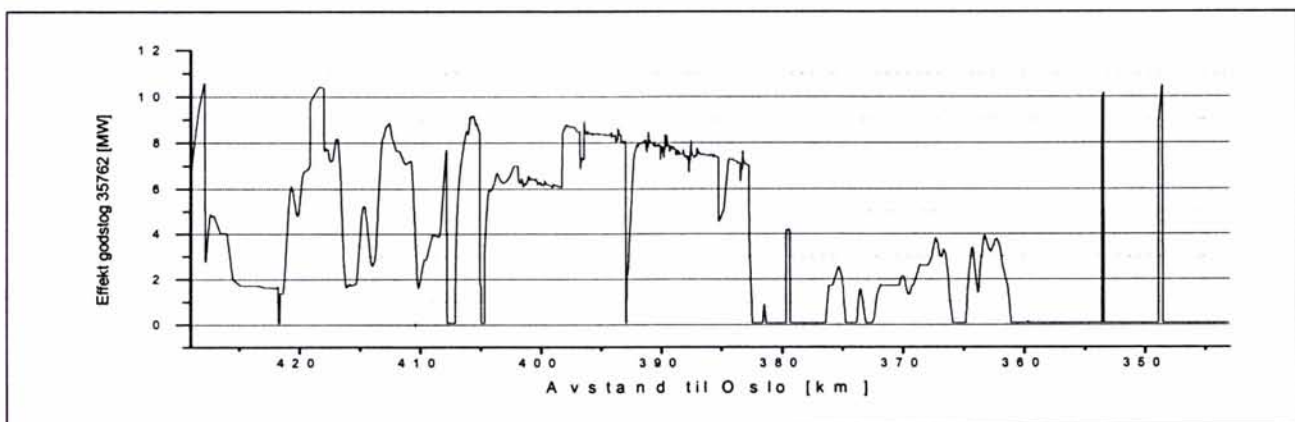
Det kan synes paradoksalt at plassering av en omformer på et nytt sted som tilfellet med Hjerkinns kan utløse et så stort effektbehov. Oppdal omformer, som i simulering 11 (uten noen forsterkningstiltak) var belastet med 11,55 og 14,36MVA for henholdsvis times og 6 minutters verdi (se tabell 4-48), blir nå bare noe mindre belastet når Hjerkinns omformer er etablert. For 6 minutters verdien blir faktisk Oppdal noen mer belastet i simulering 12b.

Kurvene nedenfor som viser at effektopptaket for et tilfeldig tog kan forklare dette, se figur 4-98 og figur 4-99 for situasjonen henholdsvis før og etter forsterkning. Hjerkinns omformer er plassert ved km ca. 383, etter forsterkning viser figur 4-98 at toget trekker ca. 10,5MW mellom km 397 og 383. Sammenlignes dette med figur 4-99 som viser effekten til toget før forsterkning, er effekten som trekkes på den samme strekningen mellom ca 9 og 7MVA. Også andre steder kan denne store forskjellen sees.

Effektopptaket til et tog fra Oppdal til Dombås blir altså mye større når omformer på Hjerkinns er satt inn, enn uten denne. Figur 4-85 viser spenningen for sørgående tog for simulering 11 uten forsterkning, og figur 4-107 viser spenningen med omformer etablert på Hjerkinns i simulering 12c. Spenningen på kontaktledningen er altså blitt betydelig høyere etter at Hjerkinns ble installert og dette gjør at toget trekker større effekt. Større spenning gir større effektuttak på grunn av innstillingen i lokomotivets kontrollutrustning. Hensikten med dette er å forhindre at transformatoren i lokomotivene overbelastes av strøm når spenningen er lav og effektbehovet er stort.



Figur 4-98 Effektopptak for tog 35762 fra Oppdal til Dombås etter forsterkninger med 2 x 5,8MVA installert på Hjerkinns. Kapasitetsoptimal ruteplan og pådragsbegrensning på doble E16 lokomotiver



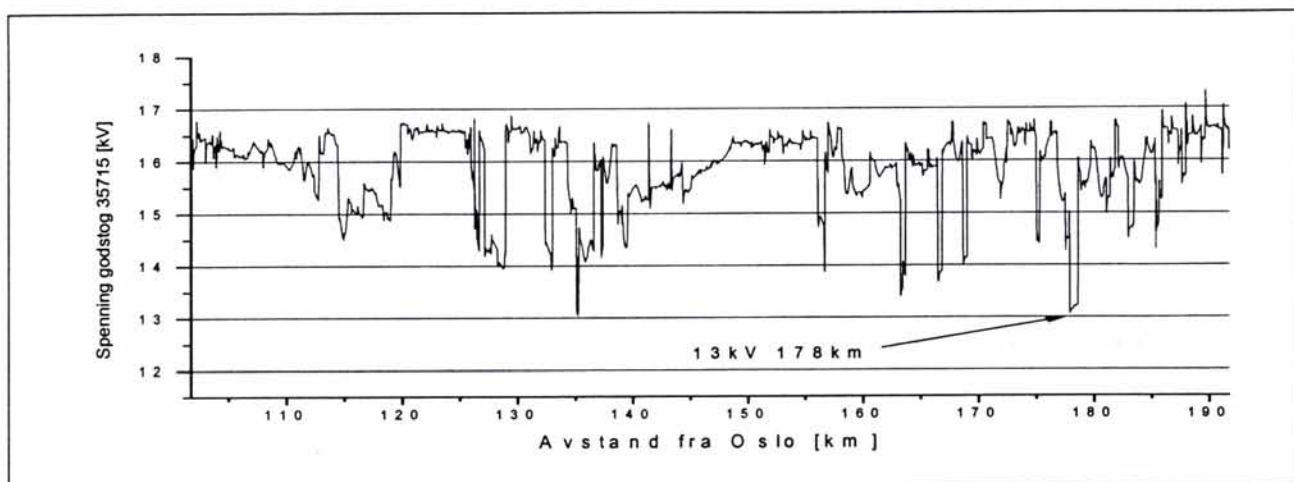
Figur 4-99 Effektopptak for tog 35762 fra Oppdal til Dombås med eksisterende omformer-aggregater. Kapasitetsoptimal ruteplan og pådragsbegrensning på doble E16 lokomotiver

4.9.2 Spenningen på kontaktledningen for tog Tangen – Rudshøgda – Fåberg

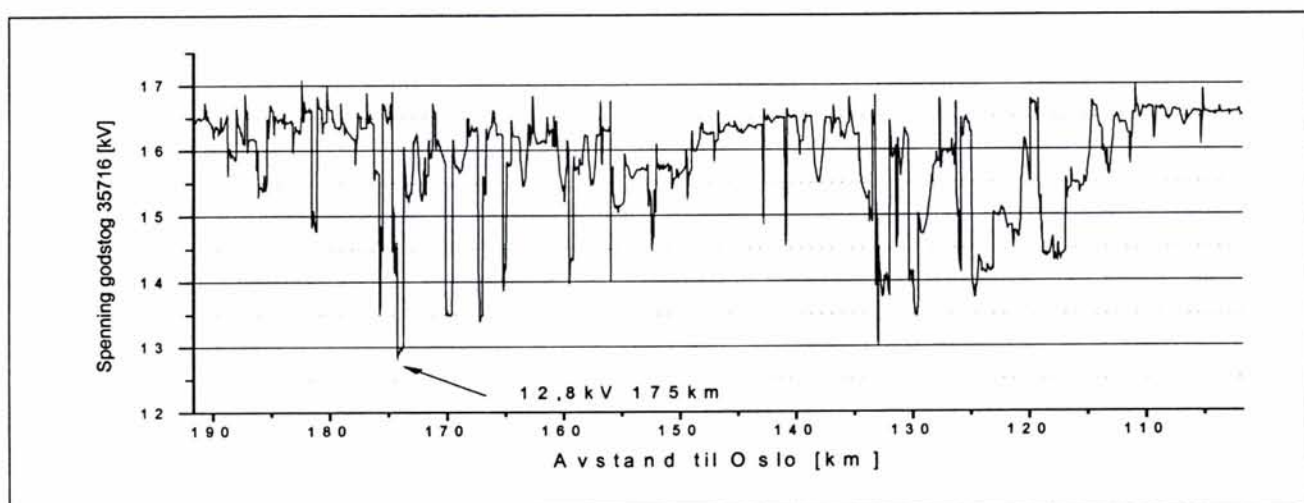
Spenningen for nord og sørgående godstog er vist nedenfor for simulering 12b. Med større omformer på Rudshøgda er spenningen blitt forbedret i forhold til simulering 11 (uten forsterkning), se avsnitt 4.8.1. Rudshøgda omformer ligger ved km 148,23 og her er spenningen blitt betydelig forbedret. Men en skal spesielt legge merke til at spenningen ikke er over 13,5kV som kreves etter et forsterkningstiltak. For sørgående tog oppstår laveste spenning ved km 175 der spenningen kommer ned til 12,8kV, det samme som i simulering 11 (uten forsterkningstiltak).

Tabell 4-53 Laveste spenningen på kontaktledningen for godstog Tangen – Rudshøgda – Fåberg. Kapasitetsoptimal ruteplan, pådragsbegrensning og forsterkning av omformere

Tog nr.	Simulering 12c		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
Nordgående	13,0	178	09:06, 09:46, 10:26, 11:06 etc
Sørgående	12,8	175	09:03, 09:43, 09:23, 10:03 etc.



Figur 4-100 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 35715 Tangen – Rudshøgda – Fåberg. Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan, pådragsbegrensning for lokomotivene og forsterkning av omformerne



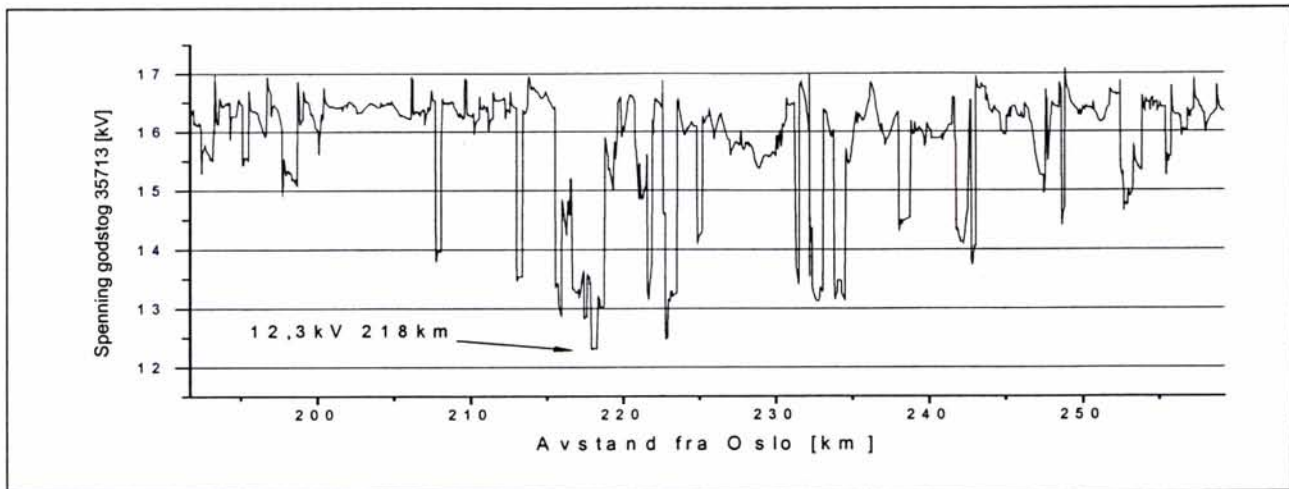
Figur 4-101 Spenningen på kontaktledningen for sørgående godstog 35716 Fåberg – Rudshøgda - Tangen. Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan, pådragsbegrensning for lokomotivene og forsterkning av omformerne

4.9.3 Spenningen på kontaktledningen mellom Fåberg og Fron

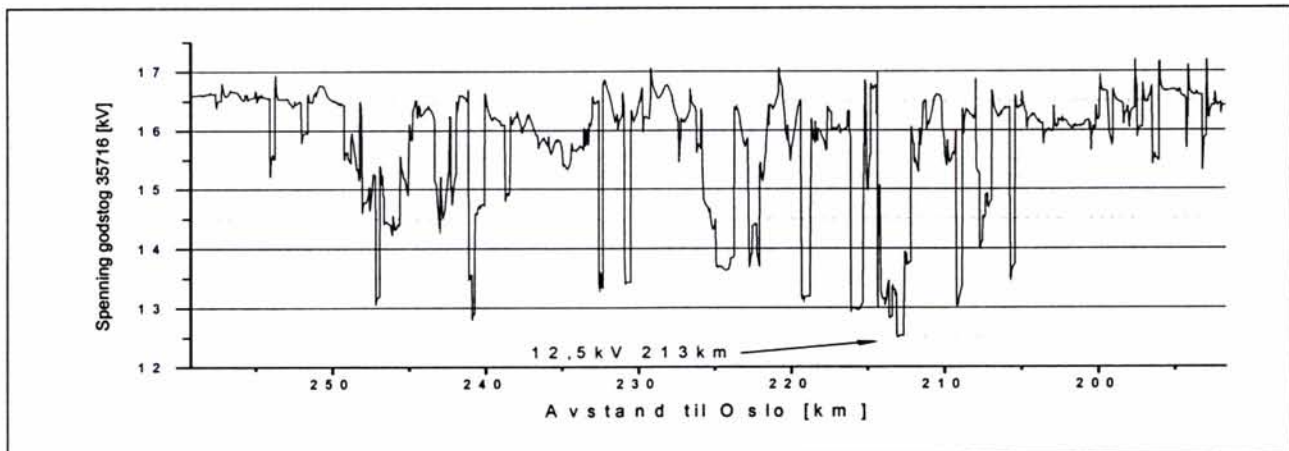
Spenningen for togene mellom Fåberg og Fron er i liten grad påvirket av forsterkningene av omformerne, se tabell 4-54 nedenfor og tabell 4-44 for simulering 11. Faktisk ser det ut til at spenningen nå er noe lavere enn den var i simulering 11 uten forsterkninger.

Tabell 4-54 Laveste spenningen på kontaktledningen for godstog Fåberg - Fron. Kapasitetsoptimal ruteplan, pådragsbegrensning på El16 lokomotivene og forsterkning av omformere

Tog nr.	Simulering 12c		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
Nordgående	12,3	218	09:04, 09:44, 10:24, 10:04 etc
Sørgående	12,5	213	09:13, 09:53, 10:33, 11:13 etc



Figur 4-102 Spenningen på kontaktledningen for sørgående godstog 35713 Fåberg – Fron. Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan, pådragsbegrensning for El16 lokomotivene og forsterkning av omformerne



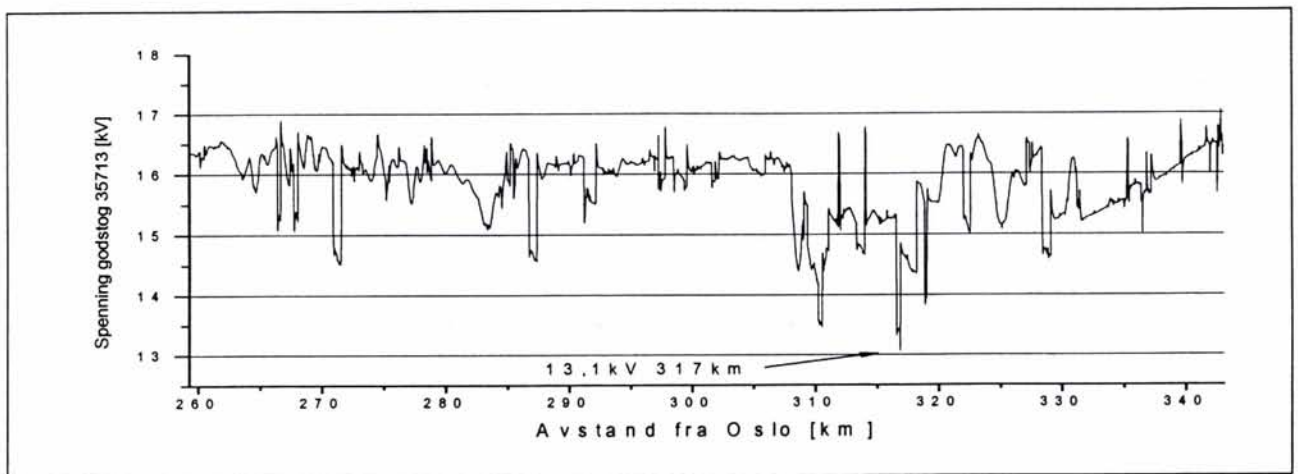
Figur 4-103 Spenningen på kontaktledningen for sørgående godstog 35716 Fron - Fåberg. Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan, pådragsbegrensning for El16 lokomotivene og forsterkning av omformerne

4.9.4 Spenningen for tog Fron – Otta – Dombås

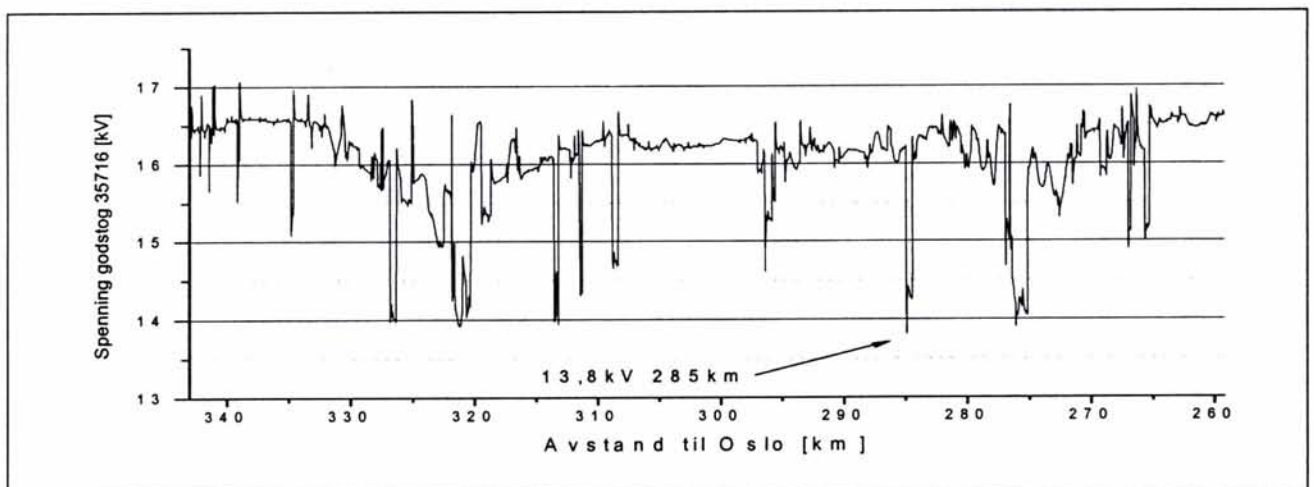
Spenningen er blitt noe høyere etter at Otta og Dombås omformere er blitt forsterket, se tabell 4-55 nedenfor og tabell 4-45. Størst forbedring kan observeres i området rundt Otta omformer ved km 298. Heller ikke her kommer laveste spenningen over 13,5kV selv om det nå er bare ca 40 km mellom hver omformer. Riktignok er spenningen under 13,5kV for et kort øyeblikk.

Tabell 4-55 Laveste spenningen på kontaktledningen for godstog Fron – Otta - Dombås. Kapasitetsoptimal ruteplan, pådragsbegrensning på El16 lokomotivene og forsterkning av omformere

Tog nr.	Simulering 12c		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
Nordgående	13,1	317	09:18, 09:58, 10:38, 10:18 etc
Sørgående	13,8	285	09:25, 10:05, 10:45, 11:25 etc



Figur 4-104 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 35713 Fron – Otta – Dombås. Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan, pådragsbegrensning for El16 lokomotivene og forsterkning av omformerne



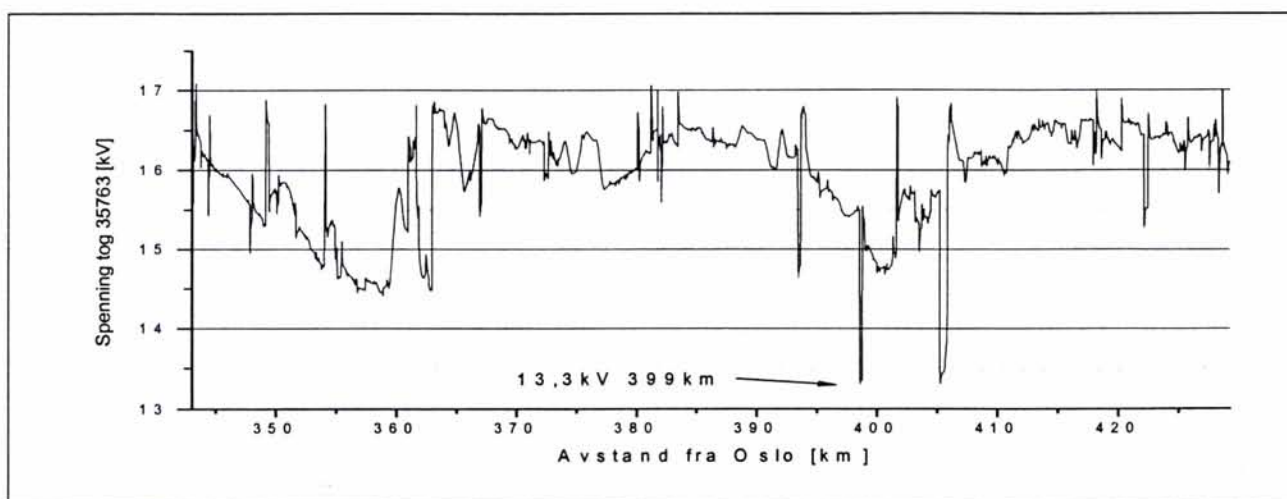
Figur 4-105 Spenningen på kontaktledningen for sørgående godstog 35716 Dombås – Otta - Fron. Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan, pådragsbegrensning for El16 lokomotivene og forsterkning av omformerne

4.9.5 Spenningen på kontaktledningen for tog Dombås – Hjerkinn - Oppdal

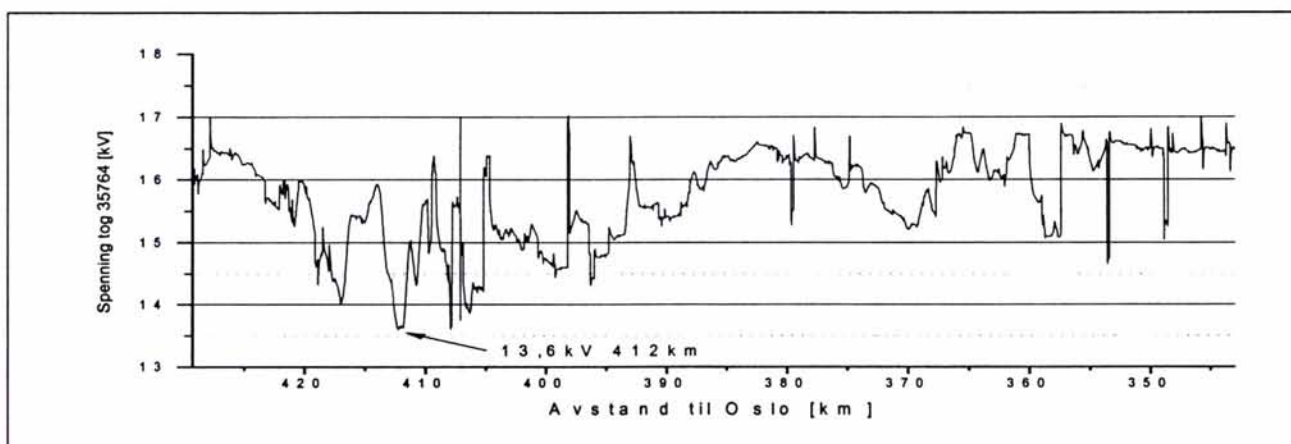
På denne strekningen er det blitt en betydelig forbedring av spenningen, se tabell 4-56 nedenfor og sammenlign med tabell 4-46. Spenningen er nå tilfredsstillende på hele strekningen, men allikevel ikke høy nok (13,5kV) dersom en omformer på Hjerkinn skal etableres permanent. Hvis Oppdal omformer bestykses med aggregater på 2 x 10MVA kan det hende at spenningen kommer over 13,5kV for nordgående tog.

Tabell 4-56 Laveste spenningen på kontaktledningen for godstog Dombås – Hjerkinn - Oppdal. Kapasitetsoptimal ruteplan, pådragsbegrensning på E116 lokomotivene og forsterkning av omformere

Tog nr.	Simulering 12c		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
Nordgående	13,3	399	09:21, 10:01, 10:41, 11:21 etc
Sørgående	13,6	412	09:15, 09:55, 10:35, 11:15 etc



Figur 4-106 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 35763 Dombås – Hjerkinn - Oppdal. Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan, pådragsbegrensning for E116 lokomotivene og forsterkning av omformerne



Figur 4-107 Spenningen på kontaktledningen for sørgående godstog 35764 Oppdal – Hjerkinn - Dombås. Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan, pådragsbegrensning for E116 lokomotivene og forsterkning av omformerne

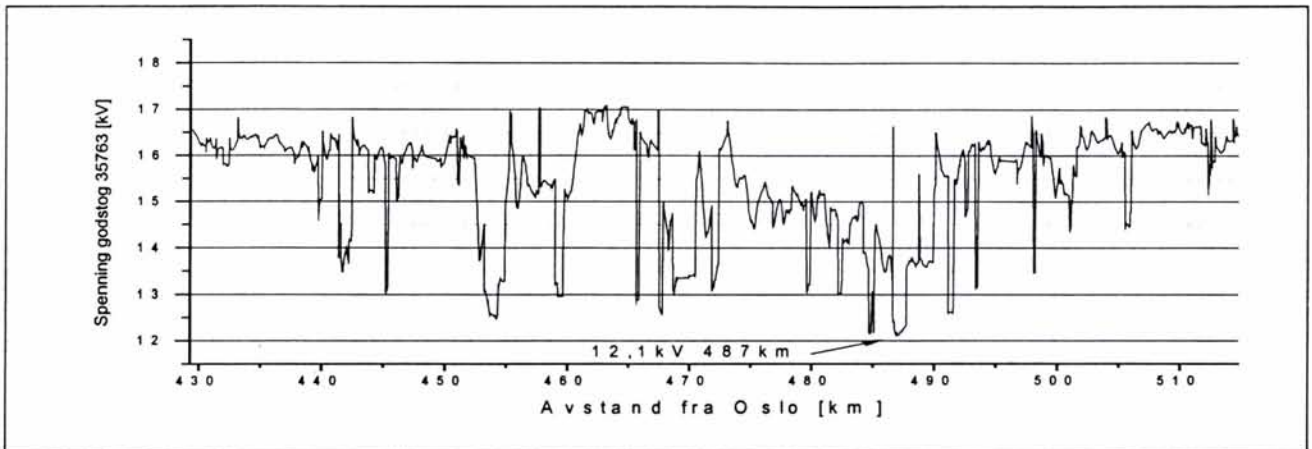
4.9.6 Spenningen på kontaktledningen Oppdal - Lundamo

På strekningen mellom Oppdal og Lundamo får togene sin laveste spenning for hele strekningen på Dovrebanen, se tabell 4-57, spenningen kommer her under 12kV for sørgående tog. Dette er lavere enn for samme tog på denne strekningen i simulering 11, se tabell 4-47. Imidlertid opptrer denne lave spenningen bare for en kort tidsperiode.

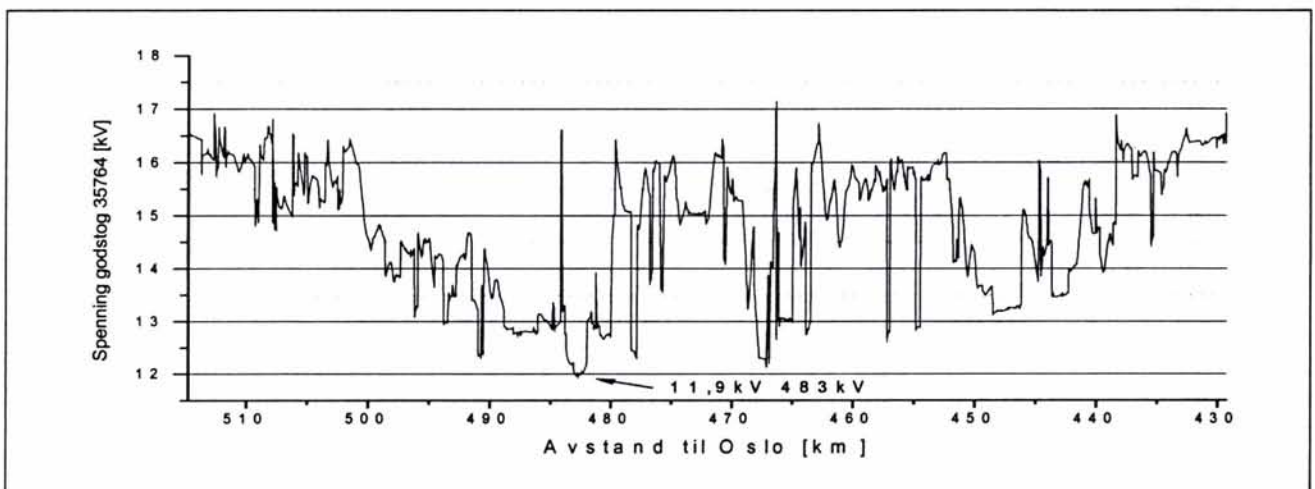
Skal spenningen forbedres her må en ny omformer etableres på Garli. Da er det sannsynlig at samme fenomen oppstår her som på Hjerkin. Nemlig at lokomotivene vil komme til å trekke mer effekt når spenningen øker og omformerer må ha stor ytelse.

Tabell 4-57 Laveste spenningen på kontaktledningen for godstog Oppdal - Lundamo. Kapasitetsoptimal ruteplan, pådragsbegrensning for El16 lokomotivene og forsterkning av omformere

Tog nr.	Simulering 12c		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
Nordgående	12,1	487	09:18, 09:58, 10:38, 11:18 etc
Sørgående	11,9	483	09:22, 10:02, 10:42, 11:22 etc



Figur 4-108 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 35763 Oppdal - Lundamo. Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan, pådragsbegrensning for El16 lokomotivene og forsterkning av omformerne



Figur 4-109 Spenningen på kontaktledningen for sørgående godstog 35764 Lundamo - Oppdal. Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan, pådragsbegrensning for El16 lokomotivene og forsterkning av omformerne

4.9.7 Belastning av kontaktledningsnettet

I tabell 4-58 nedenfor viser strømmen for nord- og sørgående avgang til kontaktledningsanlegget. Legg spesielt merke til at belastningen nå er blitt mindre for den nordlige avgangene fra Dombås omformer. Nå er ikke lenger fare for å overbelaste kontaktledningen slik som i simulering 11, se tabell 4-49. Dermed kan en si at den midlertidige omformeren på Hjerkinns har hatt den tilstede funksjon, nemlig å få belastningen på kontaktledningen fra Dombås og nordover redusert.

Tabell 4-58 belastning av sør/nordgående kontaktledning med kapasitetsoptimal ruteplan, pådragsbegrensning på E116 lokomotivene og forsterkning av omformerne

Omformer – avgang	Nattsimulering 12c			
	Strøm [kA]			
	1 sek	10 sek	1 min	6 min
Dombås Sør	0.82	0.73	0.52	0.47
Dombås Nord	0.67	0.65	0.60	0.54
Hjerkinns Sør	1.28	1.16	0.73	0.43
Hjerkinns Nord	1.01	1,0	0.95	0.71
Oppdal Sør	1.01	1,0	0.79	0.60
Oppdal Nord	1.24	1.23	1.03	0.69
Lundamo Sør	1.04	1.03	0.73	0.58

4.10 Resultater simulering med riktig ruteplan 149.1 og godstog med pådragsbegrensning

Noen godstog er utelatt fordi at de ved tolkning av den grafiske ruteplanen, er misoppfattet til ikke å gå. På strekningen Dombås – Lundamo gjelder dette godstog i nattsimuleringen: 5708 og 5792. Tog 5703 er med i simuleringen, men går bare på hverdager etter helligdag. Simuleringen gjelder en alminnelig hverdag. For godstog på strekningen Alnabru – Dombås er følgende utelatt i nattsimuleringen: 5708, 5254 og 5792. For dagsimuleringen er følgende godstog utelatt: 5794 og 5782.

Godstog 5715 er med i simuleringen, men går bare hverdager etter helligdager og helligdager før hverdager. Tog 5253 går på hverdager og i simuleringen kjører det etter tog 5715 med bare ca 4-5 minutters mellomrom på det nærmeste. Dette kalles "blokkpost-avstand". Tog 5715 får lavest spenning av alle tog på strekningen Dombås - Oppdal. At togene kjører på samme dag skal ikke skje etter ruteplanen. Derfor er det ikke usannsynlig at disse to togene kan gi høyere belastning av omformere enn hva som gjelder med ruteplan 149.1.

Ruteplanen er kontrollert og de riktige godstogene er lagt inn for en alminnelig ukedag. Unntaket er godstog 5716 som kjører fra Trondheim til Dombås og Sel og videre til Eidsvoll bare etter særskilt ordre. Dette toget er inkludert da det hender relativt ofte at dette toget går hele vegen (noen ganger i måneden).

Når det gjelder pasasjertogene ble det også for disse funnet en del feil, blant annet gjelder dette regionaltogene, 331, 334 og 336 som ikke var med. Stoppmønsteret for togene er også kontrollert. Dette kan ha betydning for de sørligste omformerne.

Denne simuleringen kan sammenlignes med nattsimulering 2, men mange ting vil være forskjellige. Simulering 10b er utført med de forsterkninger av omformerne som fremkom i simulering 12b, se tabell 4-50 og tabell 4-51. Videre har doble E116 lokomotiver for godstogene pådragsbegrensning. En annen forskjell fra nattsimulering 2 er at telefiltrene er inkludert.

Nattogene er trukket av E116 lokomotiver i simuleringen. Selv om en i dag normalt benytter E118 lokomotiver er E116 valg for å vise et verste tilfelle, noe som også kan skje for eksempel ved at E116 lokomotiv må settes inn på grunn av feil på E118 lokomotivet. Nattoget følger ruteplanen med 100km/timen som maksimal hastighet, noe som heller ikke var riktig i de tidligere simuleringen der pluss-hastighet var maksimal hastighet.

4.10.1 Spenningen på kontaktledningen for tog Tangen – Rudshøgda - Fåberg

Laveste spenning for passasjer- og godstog er vist i tabell 4-59 og tabell 4-60. Spenningen blitt betydelig forbedret etter at Rudshøgda ble forsterket, laveste spenning blir nå 12,9kV for godstog 5716.

For å illustrere resultatet av forsterkninger og korrigerert ruteplan er det vist spenningskurver for omtrent de samme togene som ble vist for simulering 2.

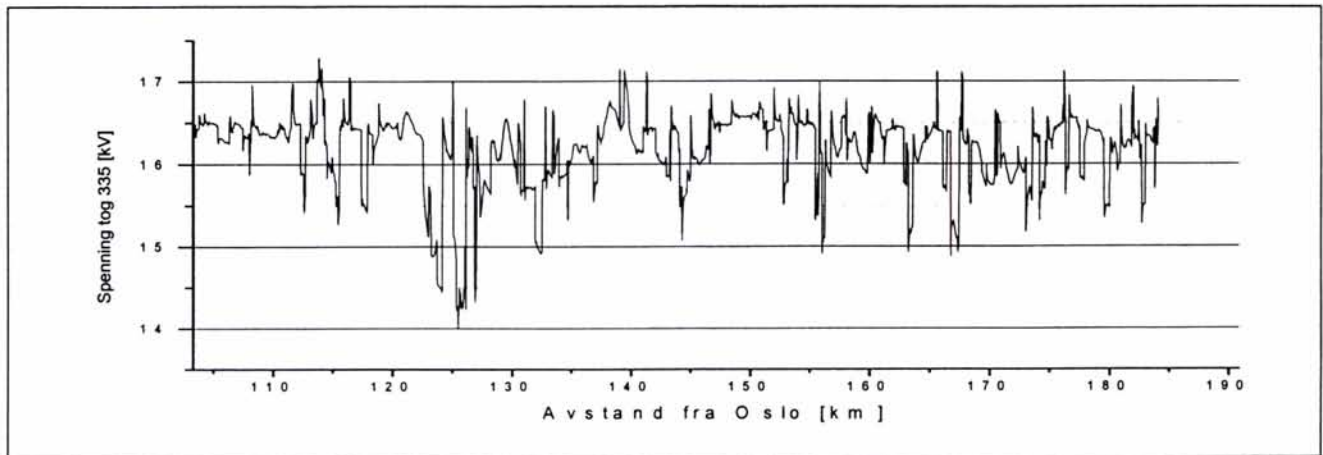
Tabell 4-59 Laveste spenning for passasjertog Tangen – Rudshøgda - Fåberg. Nat simulering med kontrollert ordinær ruteplan, pådragsbegrensning på doble E116 lokomotiver og forsterkning av omformere

Tog nr.	Nat simulering 10a		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
46	15,9	112	21:04
405	14,6	125	24:38
406	14,0	116	05:23
331	13,8	128	21:42
333	14,5	171	21:16
334	15,3	113	21:16
335	14,0	125	23:17
336	14,0	120	22:10

Tabell 4-60 Laveste spenning for godstog Tangen – Rudshøgda – Fåberg. Nat simulering med kontrollert ordinær ruteplan, pådragsbegrensning på doble E116 lokomotiver og forsterkning av omformere

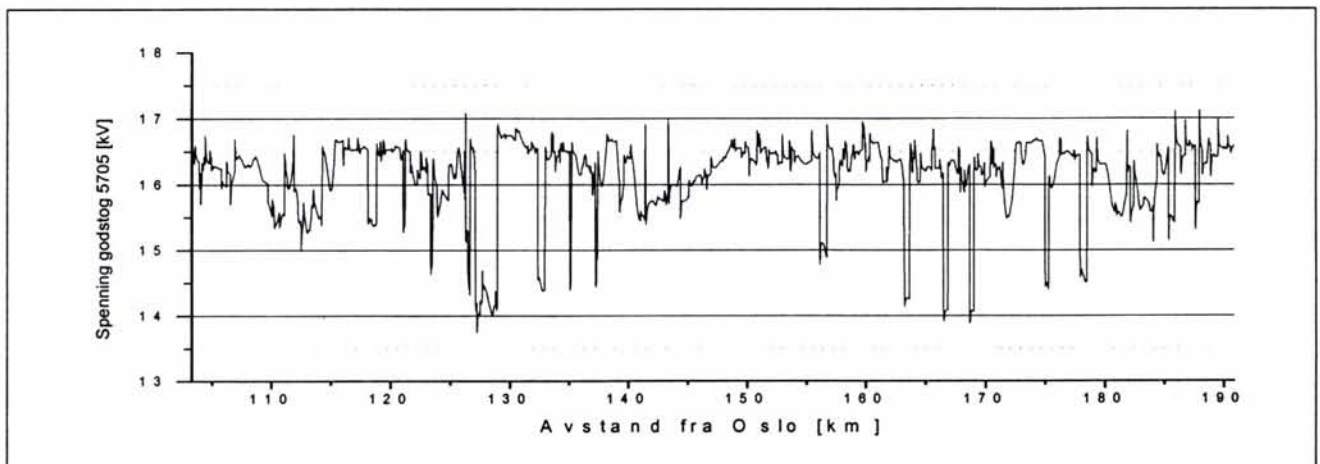
Tog nr.	Nat simulering 10a		
	Umin (kV)	Sted (km)	Tidspunkt
5251	13,5	127	22:09
5253	13,9	128	23:17
5254	13,0	126	03:41
5701	13,6	120	21:30
5705	13,7	127	23:38
5708	13,0	110	22:34
5713	13,9	129	23:58
5716	12,9	127	03:41
5781	13,9	169	01:04
5793	13,7	127	22:36
5792	13,4	130	05:23

Spenningen for nordgående tog 335 er vist i figur 4-110. Laveste spenning ser ut til å bli 14,0kV. Dette toget fikk tidligere en spenning helt ned til 12,2kV ved km 132, se figur 4-17. Når omformeren på Rudshøgda er forsterket kommer spenningen på dette stedet bare ned til ca 14,9kV.

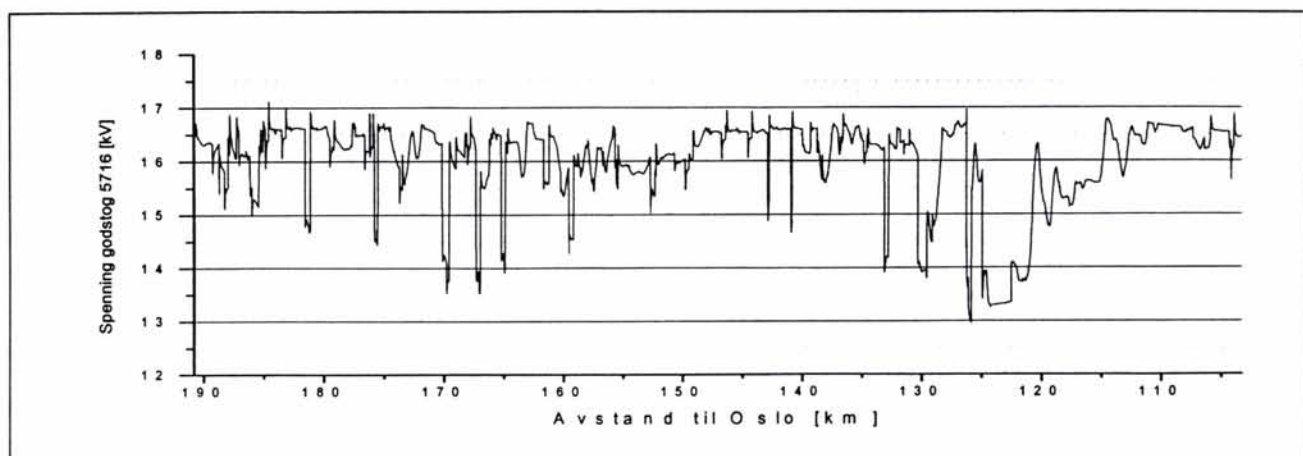


Figur 4-110 Spenningen på kontaktledningen for nordgående passasjertog 335 Tangen – Rudshøgda – Fåberg. Nattsimulering med kontrollert ordinær ruteplan, pådragsbegrensning på doble E116 lokomotiver og forsterkning av omformere

Spenningen for godstog 5705 ser nå ikke ut til å komme lavere enn 13,7kV, se figur 4-111. Men for godstog 5716 kommer spenningen under 13,5kV på en del av strekningen, se figur 4-112. Dette ble også observert for simuleringene med forsterkning og kapasitetsoptimal ruteplan, se avsnitt 4.9.2



Figur 4-111 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 5705 Tangen – Rudshøgda – Fåberg. Nattsimulering med kontrollert ordinær ruteplan, pådragsbegrensning på doble E116 lokomotiver og forsterkning av omformere



Figur 4-112 Spenningen på kontaktledningen for sørgående godstog 5716 Tangen –Rudshøgda – Fåberg. Nattsimulering med kontrollert ordinær ruteplan, pådragsbegrensning på doble E116 lokomotiver og forsterkning av omformere

4.10.2 Spenningen på kontaktledningen for tog Fåberg - Fron

Omformerne på Fåberg og Fron er ikke forsterket og fremdeles er spenningen mellom disse nokså lav, se tabell 4-61 og tabell 4-62. Men spenningen er over 12,0kV for samtlige tog og altså innenfor akseptable grenser.

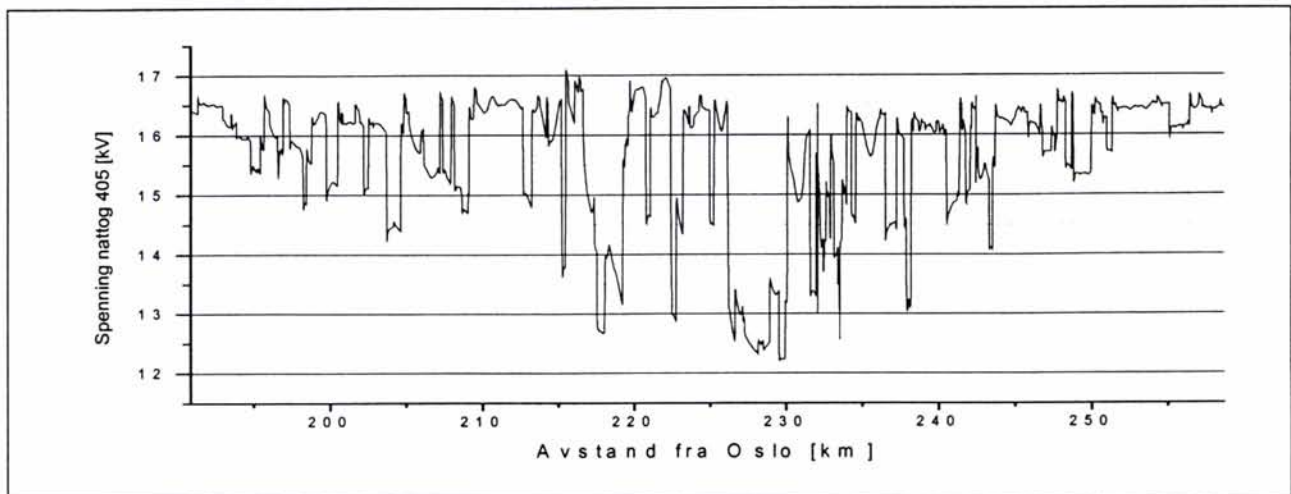
Tabell 4-61 Laveste spenning for passasjertog Fåberg - Fron. Nattsimulering med kontrollert ordinær ruteplan, pådragsbegrensning på doble E116 lokomotiver og forsterkning av omformere

Tog nr.	Nattsimulering 10a		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
405	12,2	230	02:18
406	14,3	223	03:47
327	15,0	227	

Tabell 4-62 Laveste spenning for godstog Fåberg - Fron. Nattsimulering med kontrollert ordinær ruteplan, pådragsbegrensning på doble E116 lokomotiver og forsterkning av omformere

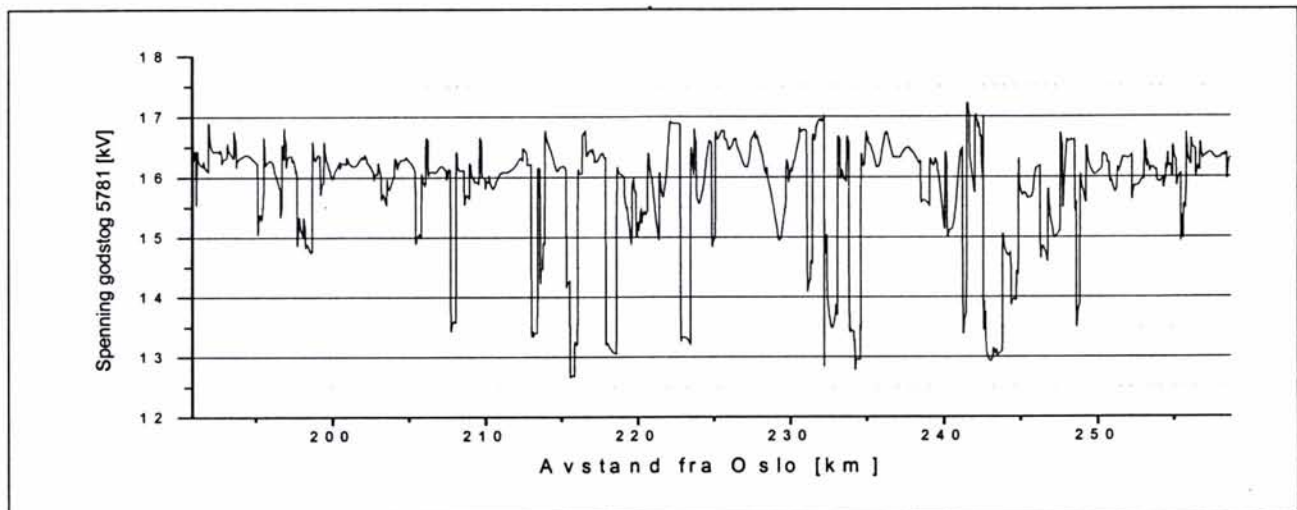
Tog nr.	Nattsimulering 10a		
	Umin (kV)	Sted (km)	Tidspunkt
5251	13,1	223	23:21
5253	13,1	223	00:27
5254	12,3	233	02:18
5701	12,6	234	22:54
5705	12,8	234	00:56
5708	13,8	247	00:19
5713	13,1	218	01:03
5716	12,6	231	01:38
5781	12,7	216	01:38
5793	13,0	218	23:43
5792	13,3	230	04:10

Figur 4-113 viser nordgående nattog 405 som enkelte steder får en spenning under 13,0kV. Laveste spenning for dette toget blir 12,2kV ved km 230.

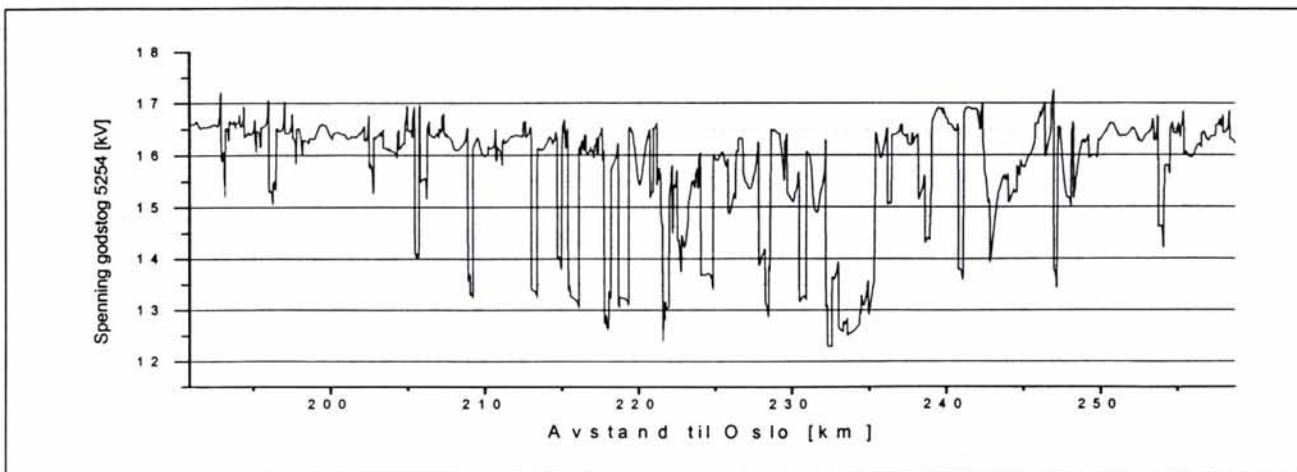


Figur 4-113 Spenningen på kontaktledningen for nordgående nattog 405 Fåberg - Fron. Nattsimulering med kontrollert ordinær ruteplan, pådragsbegrensning på doble E116 lokomotiver og forsterkning av omformere

Nordgående godstog 5781 får en spenning som bare noen få steder kommer under 13kV, se figur 4-114. Også det sørgående godstoget 5254 får en spenning som bare noen få steder kommer under 13,0kV, se figur 4-115.



Figur 4-114 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 5781 Fåberg - Fron. Nattsimulering med kontrollert ordinær ruteplan, pådragsbegrensning på doble E116 lokomotiver og forsterkning av omformere



Figur 4-115 Spenningen på kontaktledningen for sørgående godstog 5254 Fåberg - Fron. Nattsimulering med kontrollert ordinær ruteplan, pådragsbegrensning på doble EI16 lokomotiver og forsterkning av omformere

4.10.3 Spenningen på kontaktledningen for tog Fron –Otta - Dombås

Laveste spenning for togene mellom omformerne på strekningen Fron – Otta – Dombås er betydelig forbedret etter at Dombås og Otta er bilt forsterket, se tabell 4-63 og tabell 4-64. Men selv etter så vidt store forsterkninger kommer fremdeles spenningen under 13,5kV for flere tog.

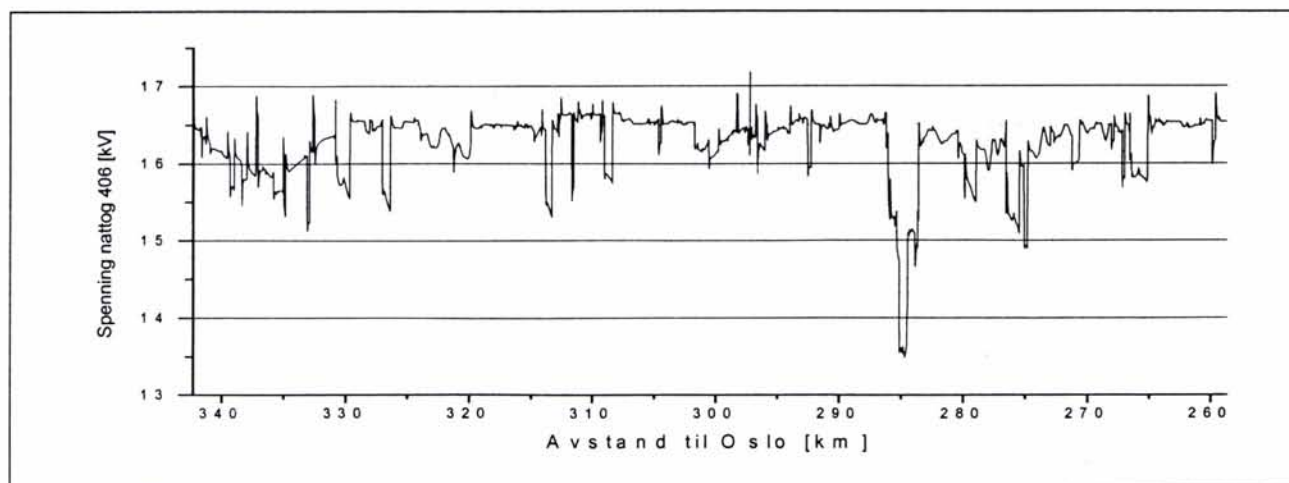
Tabell 4-63 Laveste spenning for passasjertog Fron – Otta- Dombås. Nattsimulering med kontrollert ordinær ruteplan, pådragsbegrensning på doble EI16 lokomotiver og forsterkning av omformere

Tog nr.	Nattsimulering 10a		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
405	14,7	267	02:57
406	13,5	285	02:57
327	15,7	276	21:32

Tabell 4-64 Laveste spenning for godstog Fron – Otta- Dombås. Nattsimulering med kontrollert ordinær ruteplan, pådragsbegrensning på doble EI16 lokomotiver og forsterkning av omformere

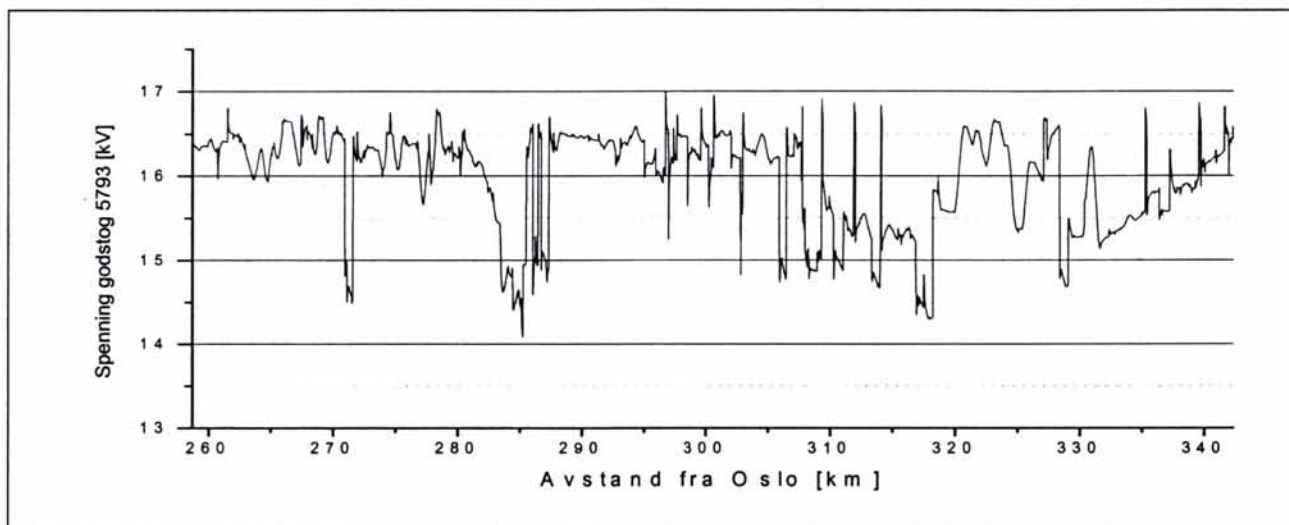
Tog nr.	Nattsimulering 10a		
	Umin (kV)	Sted (km)	Tidspunkt
5251	13,1	223	23:20
5253	13,7	288	00:52
5254	13,3	312	00:56
5701	13,7	319	23:55
5705	14,3	318	01:56
5708	13,4	276	00:53
5713	13,2	325	02:50
5716	13,3	214	00:06
5781	13,4	314	03:16
5793	14,1	286	00:30
5792	13,1	321	02:50

Spenningen for nattog 406 er over 16,0kV store deler av strekningen mellom Dombås- Otta – Fron. Laveste spenning kommer ned mot 13,5kV ved km 285.



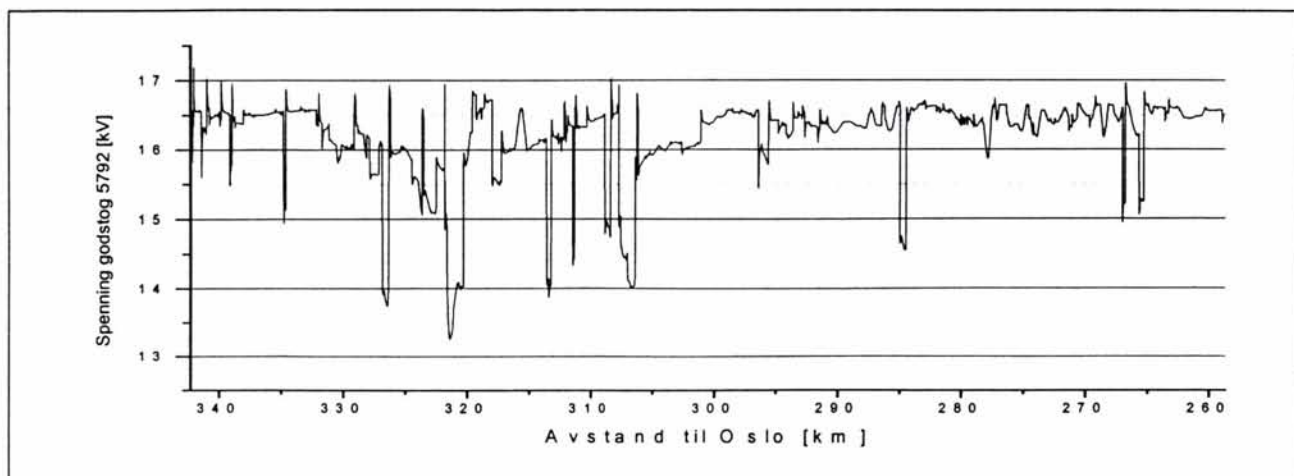
Figur 4-116 Spenningen på kontaktledningen for sørgående nattog 406 Fron – Otta - Dombås. Nattsimulering med kontrollert ordinær ruteplan, pådragsbegrensning på doble EI16 lokomotiver og forsterkning av omformere

Godstog 5793, vist i figur 4-117, får en spenning betydelig bedre enn i nattsimulering 2. Da kom spenningen helt ned til 12,0kV ved km 317, se figur 4-31. Etter at omformerne er forsterket og pådragsbegrensning innført oppstår blir spenningen fremdeles noe lav på dette stedet, men forbedringen av spenningen er allikevel betydelig.



Figur 4-117 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 5793 Fron – Otta - Dombås. Nattsimulering med kontrollert ordinær ruteplan, pådragsbegrensning på doble EI16 lokomotiver og forsterkning av omformere

Sørgående godstog 5792, se figur 4-118, får noe lavere spenning enn 5793, men også for dette toget er spenningen akseptabel, dog skal det påpekes at spenningen kommer under 13,5kV en liten periode.



Figur 4-118 Spenningen på kontaktledningen for sørgående godstog 5792 Fron – Otta - Dombås. Nattsimulering med kontrollert ordinær ruteplan, pådragsbegrensning på doble EI16 lokomotiver og forsterkning av omformere

4.10.4 Spenningen på kontaktledningen for tog Dombås – Hjerkin - Oppdal

Spenningen for togene mellom Dombås og Oppdal er blitt betydelig forbedret etter at en ny omformer er etablert på Hjerkin, se tabell 4-65 og tabell 4-66. Nattsimulering 2 viste at spenningen her kom helt ned til 11,7kV, se tabell 4-23. Nå er spenningen kommet godt over kravet som gjelder for forsterkningstiltak.

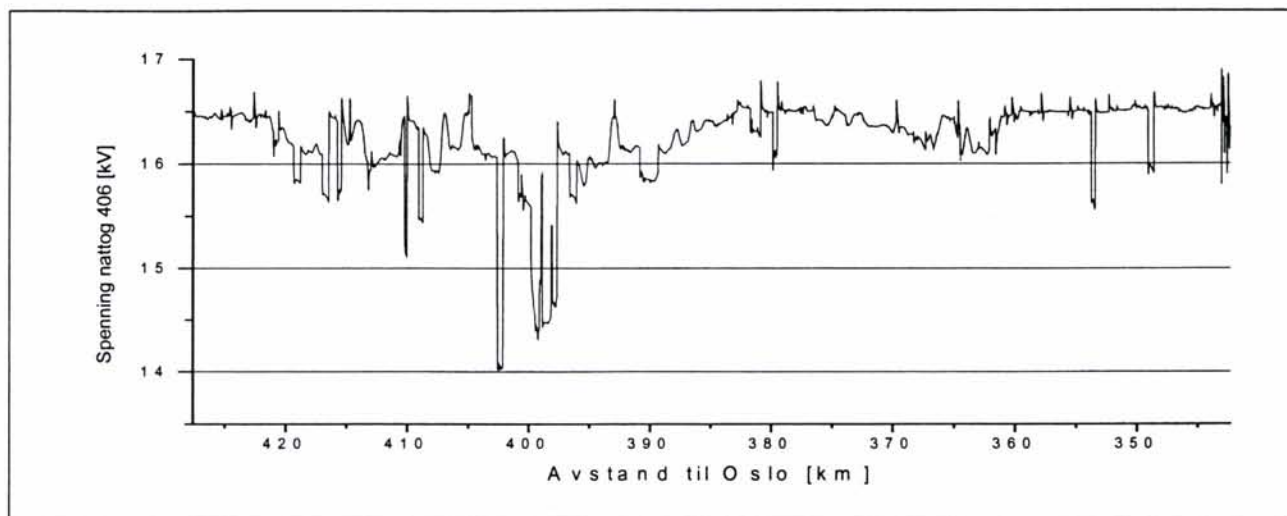
Tabell 4-65 Laveste spenning for passasjertogene Dombås – Hjerkin - Oppdal. Nattsimulering med kontrollert ordinær ruteplan, pådragsbegrensning på doble EI16 lokomotiver og forsterkning av omformere

Tog nr.	Nattsimulering 10a		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
327	15,8	372,1	22:07
405	15,3	406	04:58
406	14,0	403	00:58

Tabell 4-66 Laveste spenning for godstog Dombås – Hjerkin - Oppdal. Nattsimulering med kontrollert ordinær ruteplan, pådragsbegrensning på doble EI16 lokomotiver og forsterkning av omformere

Tog nr.	Nattsimulering 10a		
	Umin (kV)	Sted (km)	Tidspunkt
5701	13,8	406	00:59
5705	14,4	406	03:16
5708	14,4	402	02:56
5713	14,4	399	04:17
5716	14,4	399	22:45
5781	14,3	406	04:39
5793	13,9	358	01:57
5792	14,9	363	01:56

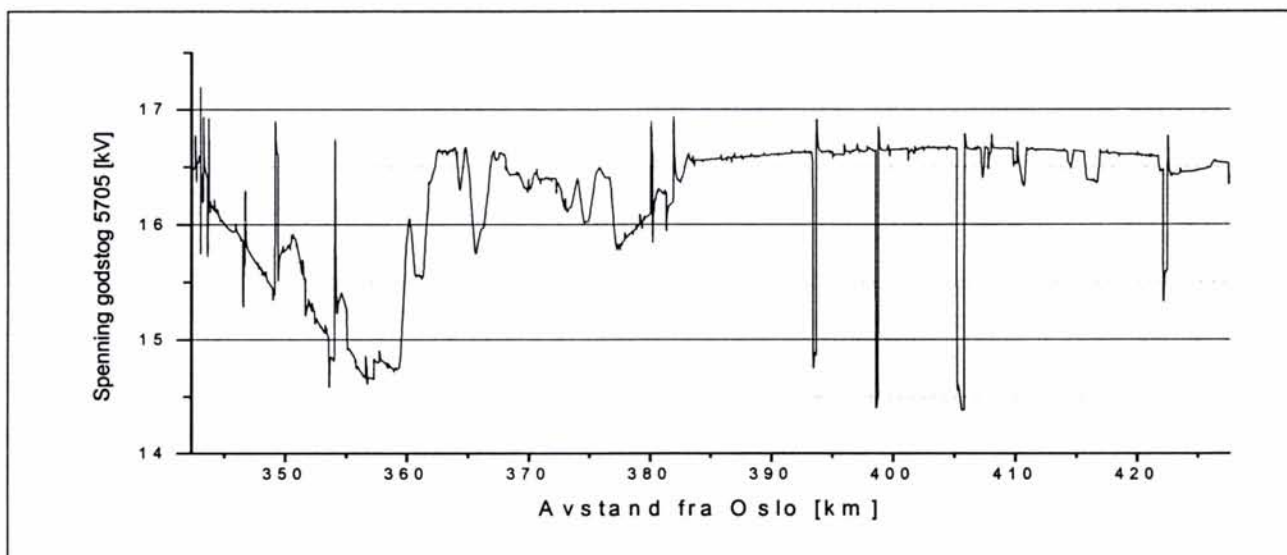
Figur 4-119 viser sørgående nattog mellom Oppdal - Hjerkinn - Dombås. Spenningen blir ca 14,0kV, men holder seg for det meste rundt 16kV på vei oppover fra Oppdal til Hjerkinn. Når det nærmer seg Hjerkinn omformer kommer spenningen opp mot 16,5kV og holder seg på dette høye nivået i nedoverbakke fra Hjerkinn til Dombås.



Figur 4-119 Spenningen på kontaktledningen for sørgående nattog 406 Dombås – Hjerkinn - Oppdal. Nat simulering med kontrollert ordinær ruteplan, pådragsbegrensning på doble El16 lokomotiver og forsterkning av omformere

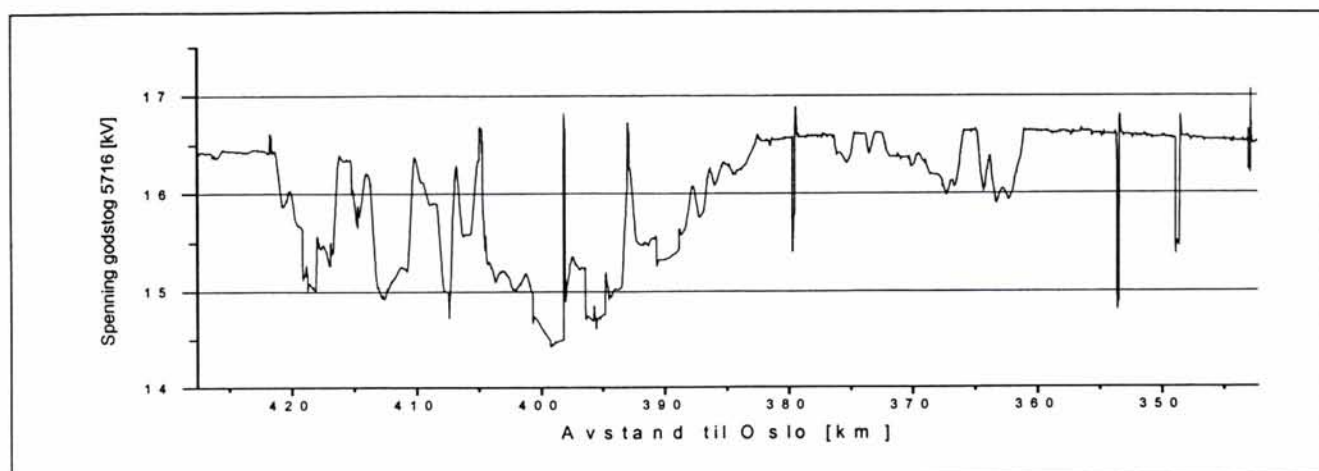
Godstog 5705 får en spenning som vist i figur 4-120. Også for dette toget blir spenningen noe lav i oppoverbakken fra Dombås mot Hjerkinn omformer ved km 382,8. Allikevel holdes et høyt nivå for spenningen helle denne strekningen.

En legger spesielt merke til at spenningen ser ut til å stige over 16,5kV fra km ca 383 til 420. Dette kan virke merkelig når spenningsregulatorene for omformerne er innstilt til ikke å gi høyere spenning enn 16,5kV. Fenomenet skyldes at lokomotivet ikke trekker aktiv effekt på denne strekningen og at telefiltrenes leverer reaktiv effekt som hever spenningen, også kalt ferantieffekt.



Figur 4-120 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 5705 Dombås – Hjerkinn - Oppdal. Nat simulering med kontrollert ordinær ruteplan, pådragsbegrensning på doble El16 lokomotiver og forsterkning av omformere

Laveste spenning for godstog 5716 ser ut til å bli ca 14,5kV, se figur 4-121. For dette toget kan en også se den samme tendensen til spenningsstigning over 16,5kV.



Figur 4-121 Spenningen på kontaktledningen for sørgående godstog 5716 Dombås – Hjerkin - Oppdal. Nattsimulering med kontrollert ordinær ruteplan, pådragsbegrensning på doble E116 lokomotiver og forsterkning av omformere

4.10.5 Spenningen på kontaktledningen for tog Oppdal - Lundamo

På strekningen Oppdal – Lundamo er spenningen bare noe forbedret fra nattsimulering 2 og simuleringen med kapasitetsoptimal ruteplan, se tabell 4-67 og tabell 4-68. Forbedringen sammenlignet med nattsimulering 2 skyldes nok både øket ytelse for omformer på Oppdal, pådragsbegrensning og telefiltrenes reaktive fasekompensering. I tillegg kan endringer i ruteplanen også spille inn. Simuleringen med kapasitetsoptimal ruteplan viste spenninger under 12,0kV, men med ordinær ruteplan ser ikke spenningen ut til å komme noe lavere enn 12,5kV, dette gjelder for godstog 5716.

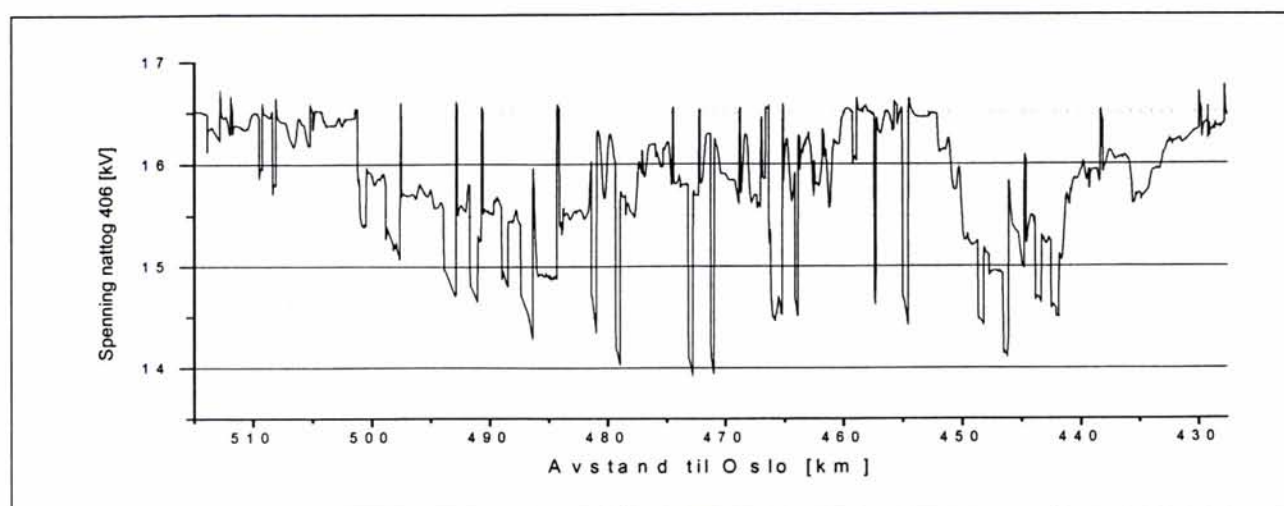
Tabell 4-67 Laveste spenning for passasjertog Oppdal – Lundamo. Nattsimulering med kontrollert ordinær ruteplan, pådragsbegrensning på doble E116 lokomotiver og forsterkning av omformere

Tog nr.	Nattsimulering 10a		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
47	12,8	481	21:51
405	13,7	475	05:59
406	13,9	473	23:59

Tabell 4-68 Laveste spenning for godstog Oppdal – Lundamo. Nattsimulering med kontrollert ordinær ruteplan, pådragsbegrensning på doble E116 lokomotiver og forsterkning av omformere

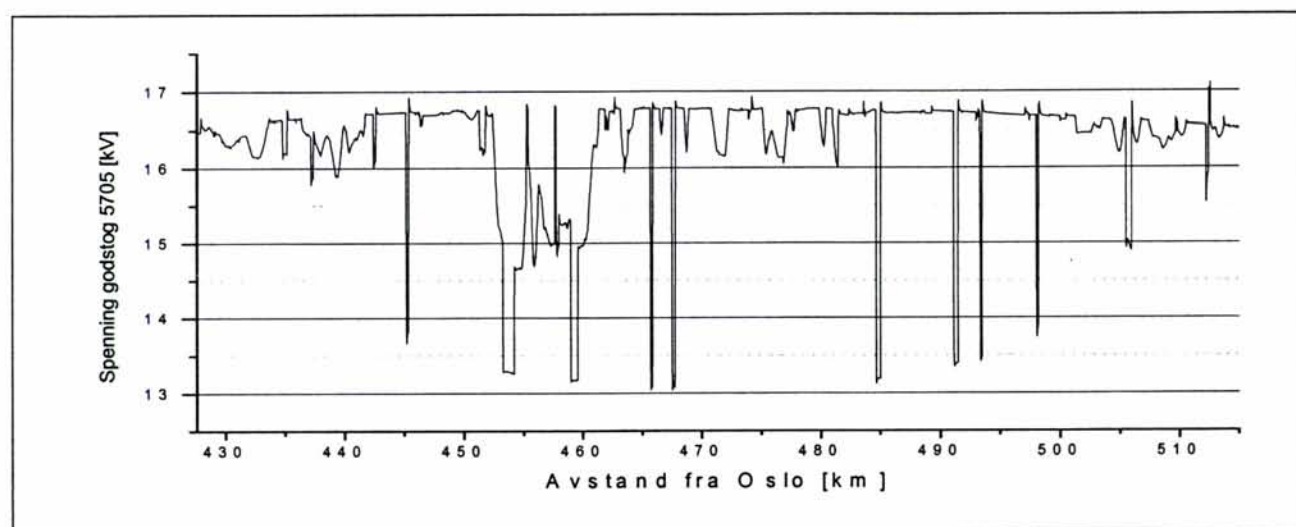
Tog nr.	Nattsimulering 10a		
	Umin (kV)	Sted (km)	Tidspunkt
5701	13,0	468	01:46
5705	13,0	468	03:59
5708	12,9	489	04:05
5713	13,1	468	05:06
5716	12,5	477	21:50
5781	12,6	486	05:35
5793	13,0	468	03:19
5792	13,1	464	00:46

Spenningen for nattog 405 er vist i figur 4-122, spenningen kommer ned mot ca 13,9kV i stigningen ved Garli.



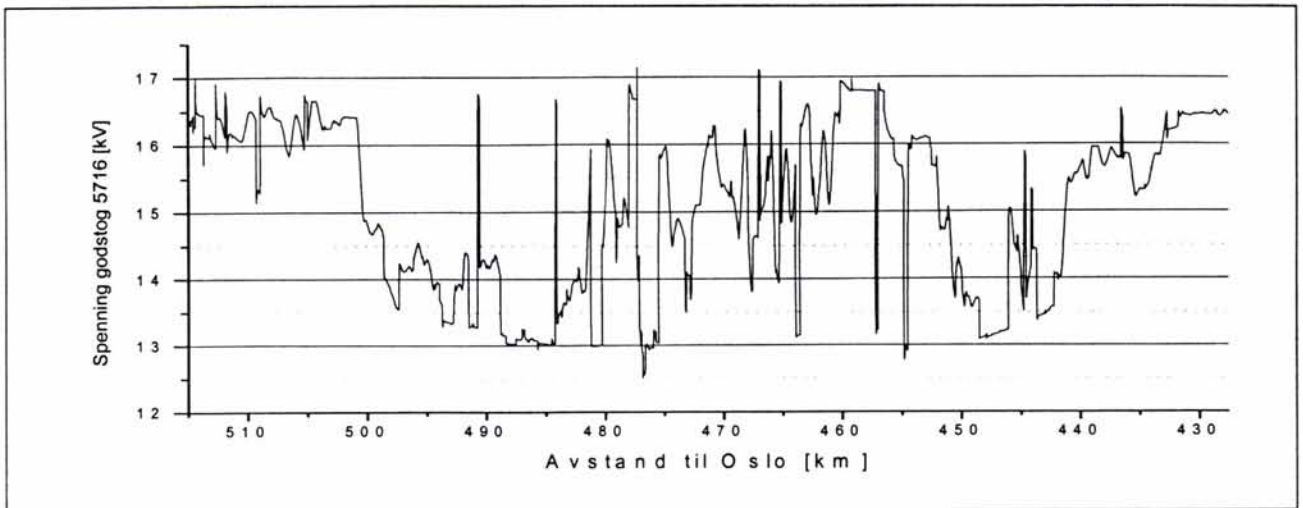
Figur 4-122 Spenningen på kontaktledningen for sørgående nattog 406 Oppdal - Lundamo. Nattsimulering med kontrollert ordinær ruteplan, pådragsbegrensning på doble E116 lokomotiver og forsterkning av omformere

Spenningen for nordgående godstog 5705 er vist i figur 4-123. Dette toget går i nedoverbakke og trekker dermed bare aktiv effekt ved hastighetsendringer. Også her sees tendensen til spenning over 16,5KV.



Figur 4-123 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 5705 Oppdal - Lundamo. Nattsimulering med kontrollert ordinær ruteplan, pådragsbegrensning på doble E116 lokomotiver og forsterkning av omformere

Godstog 5716 får en spenning helt ned til 12,5kV ved km 477, se figur 4-124 nedenfor. Dette toget får den laveste spenningen på denne strekningen.



Figur 4-124 Spenningen på kontaktledningen for sørgående godstog 5716 Oppdal - Lundamo. Nattsimulering med kontrollert ordinær ruteplan, pådragsbegrensning på doble El16 lokomotiver og forsterkning av omformere

4.10.6 Belastning av omformere

Belastningen av omformerne er vist i tabell 4-69 etter at forsterkninger er innført og den ordinære ruteplanen er blitt korrigert. Forsterkningene som er innført er de samme som ble funnet i simulering 12a og 12b, med 2 x 5,8MVA installert ytelse ny omformer på Hjerkin. Godstogene med doble El16 lokomotiver er gitt pådragsbegrensning.

Det er naturlig å sammenligne belastningen for omformerne i denne simuleringen med resultatene i simulering 10, se tabell 4-41. En sammenligning med simulering 12a, 12b og 12c er også relevant.

Størst belastning oppstår for Dombås omformer som er belastet 72% for sin 6 minutters verdi. Dette kan være mye i tilfelle det andre aggregatet er utkoblet. Noe høy strøm oppstår for Rudshøgda, Fåberg og Fron omformere.

Tangen omformer var i simulering 10 belastet 11,2MVA for 6 minutters verdi mens den nå er belastet 9,17MVA. Motsatt er Rudshøgda omformer som før var belastet 6,48MVA nå blitt belastet 10,0MVA for sin 6 minutters verdi. Da kan en nesten vurdere om aggregatene på 2 x 7,0MVA i Tangen omformer skulle vært byttet med aggregatene på 2 x 5,8MVA i Rudshøgda omformer.

Tabell 4-69 Belastning av omformere med forsterkning av Rudshøgda, Otta, Dombås og Oppdal. Ny omformer på Hjerkinn. Kontrollert ordinær ruteplan og pådragsbegrensning på de doble E116 lokomotivene

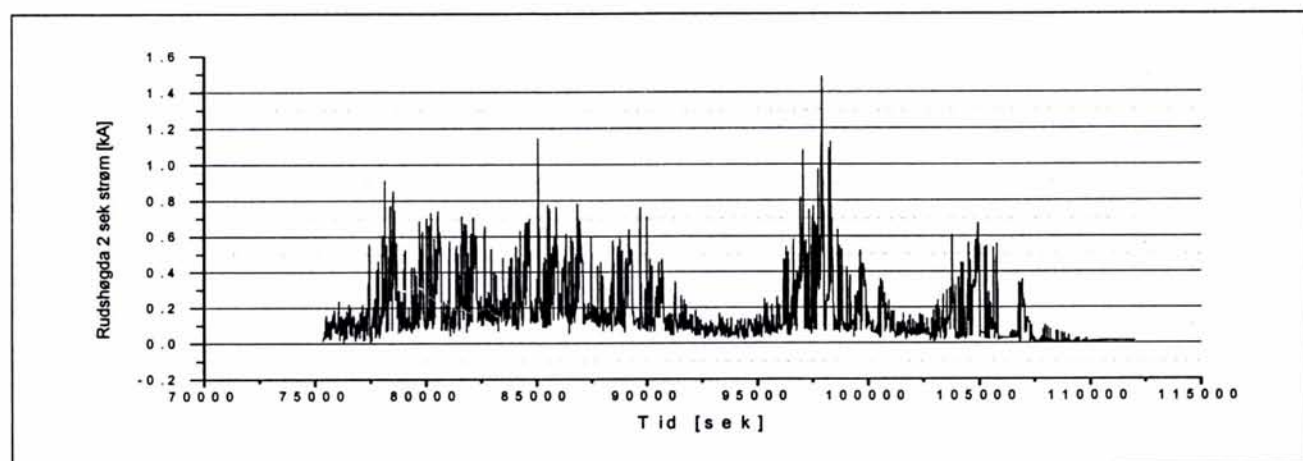
Omformer	Innsatt ytelse	Simulering 10a								
	Effekt	Effekt						Strøm [kA]		
		1 time			6 minutter			2 sekunder		
		[MVA]	[MVA]	[%]	[kl]	[MVA]	[%]	[kl]	[kA]	[%]
Tangen	2 x 7,0	5,44	39	22:12	9,17	41	22:12	1,33	80	04:00
Rudshøgda	2 x 5,8	5,04	43	00:12	10,0	62	03:14	1,49	119	03:12
Fåberg	2 x 5,8	5,11	44	00:50	7,39	46	20:57	1,32	106	02:29
Fron	2 x 5,8	6,40	55	01:30	8,34	52	01:51	1,47	118	02:04
Otta	2 x 5,8	6,41	55	01:35	9,32	58	01:32	1,15	92	03:17
Dombås	2 x 7,0	7,25	52	02:44	15,76	72	01:50	1,32	80	00:09
Hjerkinn	2 x 5,8	4,63	40	01:58	8,11	51	04:07	0,88	70	04:06
Oppdal	2 x 7,0	5,22	37	23:07	9,81	46	22:50	1,15	70	01:18
Garli	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lundamo	2 x 7,0	5,35	38	22:22	9,24	42	22:14	1,10	67	05:39
Stavne	2 x 7,5	2,99	20	22:17	7,06	-	23:45	0,65	71	23:41

Tangen, Otta, Oppdal, Lundamo og Stavne

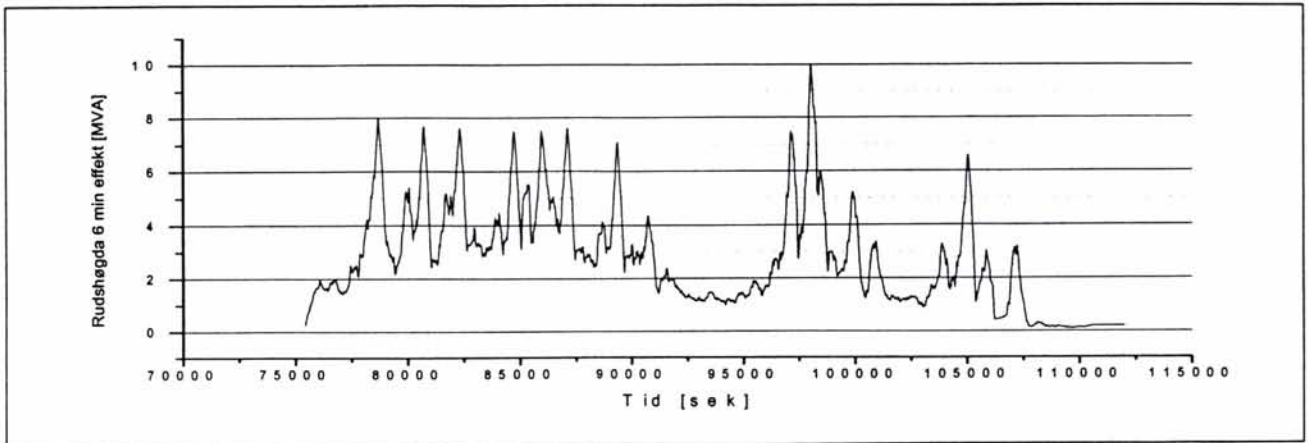
Disse omformerne blir belastet innenfor sine grenser hva gjelder 6 minutters og times effekt. For 2 sekunders strøm er belastningen stor for alle omformerne spesielt Otta med 1150A. Men allikevel skal det ikke være fare for at vern løser ut når strømmen er under 100%.

Rudshøgda

Figur 4-125 og figur 4-126 viser henholdsvis 2 sekunders strøm og 6 minutters effekt for Rudshøgda omformer etter at denne er utvidet fra 1 x 3,1MVA til 2 x 5,8MVA. Som grafene viser er det stor belastning ved ca. 96000 sekunder eller klokken 02:40, denne belastningstoppen er kortvarig.



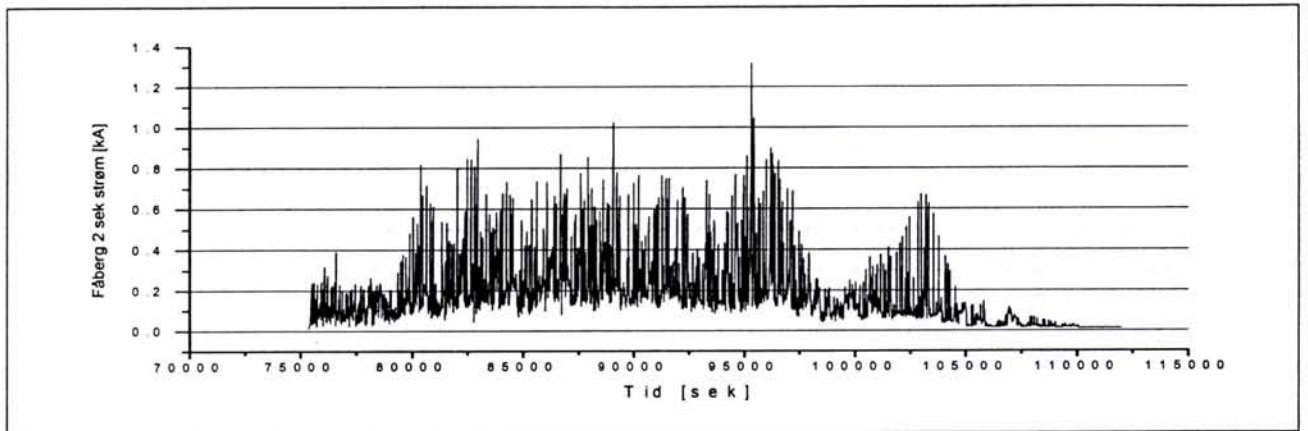
Figur 4-125 2 sekunders strøm fra Rudshøgda omformer ($I_{2sek} = 1250A$). Nattsimulering med kontrollert ordinær ruteplan, pådragsbegrensning på doble E116 lokomotiver og forsterkning av omformere. 80000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 22:13



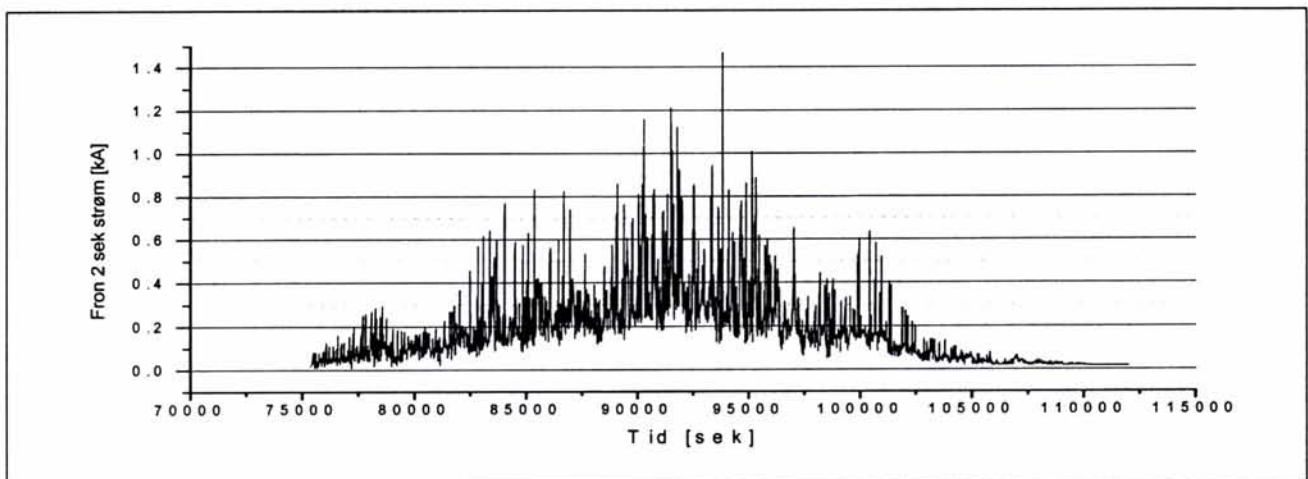
Figur 4-126 6 minutters effekt fra Rudshøgda omformer ($S_{6min} = 16\text{MVA}$). Nattsimulering med kontrollert ordinær ruteplan, pådragsbegrensning på doble E116 lokomotiver og forsterkning av omformere. 80000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 22:13

Fåberg og Fron

Felles for Rudshøgda, Fåberg og Fron er relativt stor 2 sekunders strøm. Av figur 4-125 og figur 4-127 og figur 4-128 ser en at disse belastningstoppene er meget kortvarige.



Figur 4-127 2 sekunders strøm fra Fåberg omformer ($I_{2sek} = 1250\text{A}$). Nattsimulering med kontrollert ordinær ruteplan, pådragsbegrensning på doble E116 lokomotiver og forsterkning av omformere. 80000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 22:13

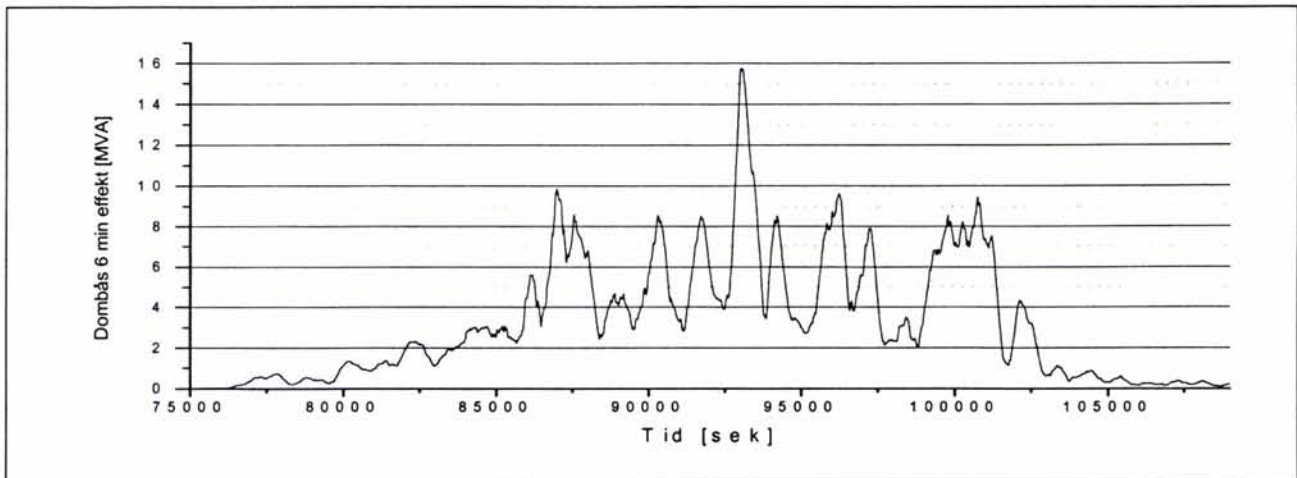


Figur 4-128 2 sekunders strøm fra Fron omformer ($I_{2sek} = 1250\text{A}$). Nattsimulering med kontrollert ordinær ruteplan, pådragsbegrensning på doble E116 lokomotiver og forsterkning av omformere. 80000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 22:13

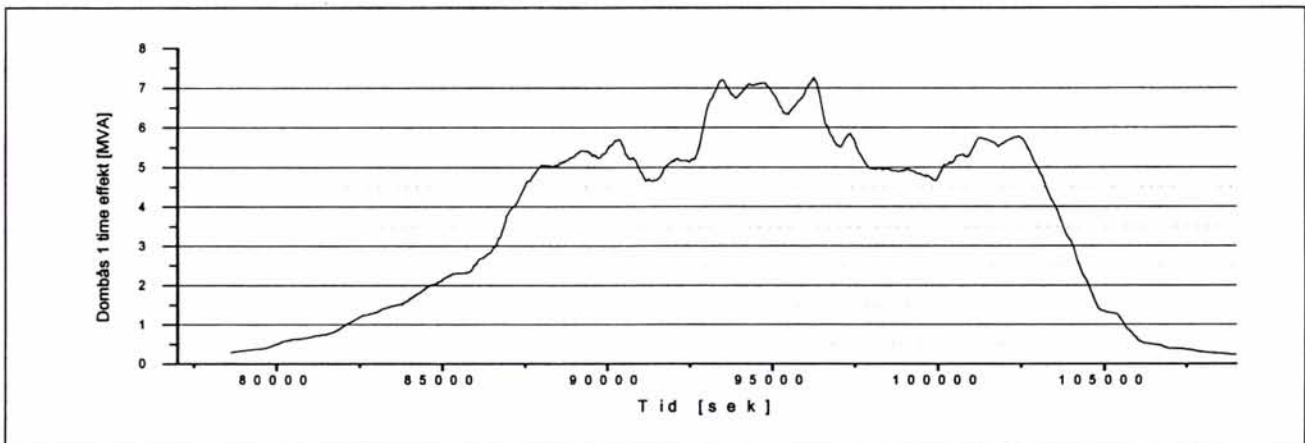
Dombås

Omformeren på Dombås er belastet noe høyt når det gjelder 6 minutters effekt, se figur 4-129, verdien er på 72% av nominell 6 minutters verdi. Dette er noe mye i forhold til kriteriet om redundans ved utfall av ett aggregat.

Det kan være interessant å sammenligne formen av kurven etter at riktig toggang er simulert, se figur 4-48 som viser 6 minutters effekt fra Dombås omformer i nattsimulering 2. Maksimalverdien for 6 minutters effekt er som forventet noe mindre etter at pådragsbegrensning er innført, men også lokomotivmodellen som tar med telefiltrenes reaktive effekt begrenser effekten fra omformeren. Simulering 1o viste at maksimal 6 minutters verdi for Dombås omformer ble ca. 17,2MVA, se tabell 4-41. Dermed ble ikke maksimalverdien så mye endret. Når det gjelder times effekten, se figur 4-130, er denne klart innenfor akseptable verdier.



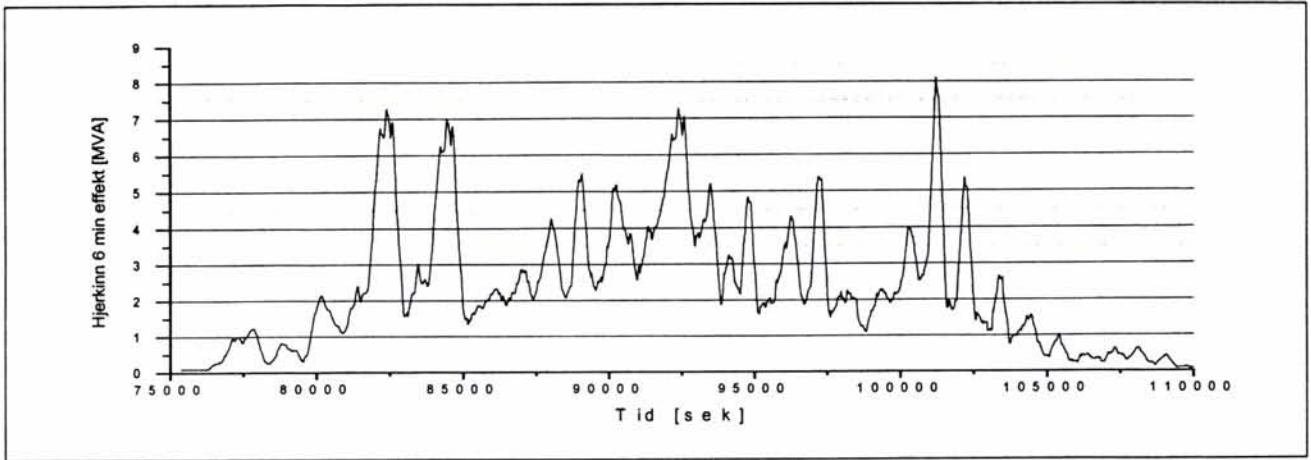
Figur 4-129 6 minutters effekt fra Dombås omformer ($S_{6min}=22MVA$). Nattsimulering med kontrollert ordinær ruteplan, pådragsbegrensning på doble E116 lokomotiver og forsterkning av omformere. 80000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 22:13



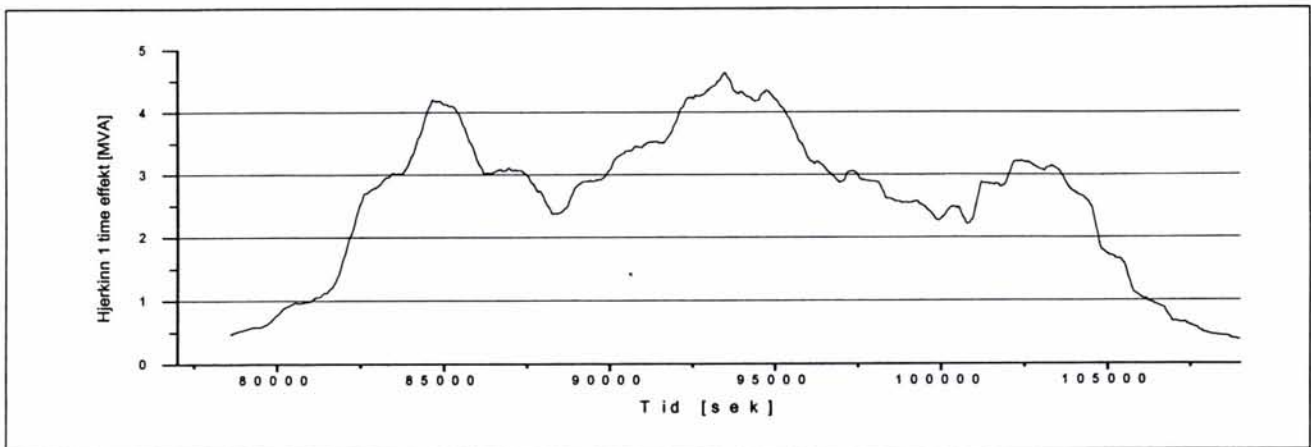
Figur 4-130 Times effekt fra Dombås omformer ($S_{1time}=14MVA$). Nattsimulering med kontrollert ordinær ruteplan, pådragsbegrensning på doble E116 lokomotiver og forsterkning av omformere. 80000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 22:13

Hjerkinn

Den nye omformeren på Hjerkinn ser ut til å være passe stor i forhold til 6 minutters og times effekt, se henholdsvis figur 4-131 og figur 4-132.



Figur 4-1316 minutters effekt fra ny omformer på Hjerkinn ($S_{6\text{min}}=16$ min). Nattsimulering med kontrollert ordinær ruteplan, pådragsbegrensning på doble E116 lokomotiver og forsterkning av omformere. 80000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 22:13



Figur 4-132 Times effekt fra Hjerkinn omformer ($S_{1\text{time}}=11,6\text{MVA}$). Nattsimulering med kontrollert ordinær ruteplan, pådragsbegrensning på doble E116 lokomotiver og forsterkning av omformere. 80000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 22:13

4.10.7 Belastning av kontaktledningen

Etter at en ny omforme er etablert på Hjerkinn og Otta omformer er forsterket ser det ikke lenger ut til at kontaktledningen i verken nordlig eller sørlig retning fra Dombås omformer er overbelastet, se figur 4-70. Belastningsverdien for 6 minutters strøm er satt til 800A og denne verdien overskrides ikke, slik som det skjedde i nattsimulering 10 (uten forsterkningstiltak men med pådragsbegrensning) se tabell 4-42.

Tabell 4-70 Belastning av sør-/nordgående kontaktledning når godstogene gies pådragsbegrensning, ordinær ruteplan, forsterkning av omformere og Hjerkin omformer etablert

Omformer – avgang	Nattsimulering 10a			
	Strøm [kA]			
	1 sek	10 sek	1 min	6 min
Dombås Sør	1,36	1,32	1,0	0,70
Dombås Nord	0,68	0,67	0,64	0,54
Hjerkin Sør	0,91	0,90	0,74	0,57
Hjerkin Nord	0,63	0,62	0,58	0,50
Oppdal Sør	0,92	0,87	0,52	0,35
Oppdal Nord	0,79	0,78	0,78	0,60
Lundamo Sør	1,15	1,07	0,71	0,61

4.11 Resultater simulering med riktig ruteplan 149.1 og godstog med pådragsbegrensning og utfall av et aggregat på Dombås

Resultatene i nattsimulering 10a viste at Dombås omformer var belastet noe høyt for 6 minutters verdi, se tabell 4-69. Effekten sin 6 minutters verdi kommer opp mot 72% med 2 x 7MVA installert ytelse. For å undersøke om det er fare for overbelastning, er en simulering der det ene aggregatet i Dombås omformer er koblet ut.

4.11.1 Belastning av omformerne etter utfall av et aggregat på Dombås

I tabell 4-71 er resultatet etter utfall av en av omformerne på 7MVA på Dombås vist. Belastningen kommer opp til 129% for 6 minutters verdien av effekten for det gjenværende aggregatet og da vil dette falle ut for overbelastning. Også 2 sekunders strømverdien er for stor. Belastningen må komme noe under 100% for at det ikke skal oppstå problemer. Dette betyr at Dombås omformer må utstyres med aggregater på 2 x 10MVA, eventuelt kan 3 x 5,8MVA være et alternativ.

Den totale belastningen for 6 minutters verdien for Dombås omformer har gått noe ned etter at det ene aggregatet ble lagt ut, samtidig har belastningen på Otta og Hjerkin omformere gått noe opp, sammenlign tabell 4-71 og tabell 4-69. Grunnen til dette er at spenningsregulatoren vil regulere spenningen ned når et aggregat faller ut, dermed leveres mindre effekt enn om begge ligger inne. Samtidig med at spenningen blir lavere ved ett aggregat vil nabostasjonene ta over noe av lasten. Lavere spenning på kontaktledningen betyr også at lokomotivene trekker mindre effekt og dermed avlaster det gjenværende aggregatet.

Tabell 4-71 Belastning av omformere etter forsterkning av omformere, men med utfall av ett av aggregater på 7,0MVA i Dombås omformer. Kontrollert ordinær ruteplan og pådragsbegrensning på de doble El16 lokomotivene

Omformer	Innsatt ytelse	Simulering 10b								
		Effekt	Effekt						Strøm [kA]	
	1 time			6 minutter			2 sekunder			
	[MVA]	[MVA]	[%]	[kl]	[MVA]	[%]	[kl]	[kA]	[%]	[kl]
Otta	2 x 5,8	6,62	57	01:35	9,75	60	01:32	1,16	93	03:17
Dombås	1 x 7,0	6,26	89	02:44	14,14	129	01:50	1,14	138	01:49
Hjerkin	2 x 5,8	5,12	44	01:58	8,65	54	04:07	0,90	72	04:06

4.11.2 Spenningen på kontaktledningen for tog Otta – Dombås – Hjerkin

Tabell 4-72 og tabell 4-73 viser spenningen på kontaktledningen for samtlige tog mellom Otta – Dombås – Hjerkin når et av aggregatene i Dombås omformer kobles ut. Laveste spenning oppstår for sørgående godstog 5708 som får en spenning ned mot 12,2kV. Disse resultatene kan sammenlignes med simulering 10b der alle aggregater er innkoblet og laveste spenning for togene ble 13,1kV, se resultatene for spenningen for togene i tabell 4-63, tabell 4-64, tabell 4-65 samt tabell 4-66. Kravet i regelverket er at spenningen ikke skal underskride 12,0kV ved utfall av en mateenhet i en omformerstasjon. Dette er oppfylt i følge simuleringen med utfall av en mateenhet i Dombås omformerstasjon. Med større omformere på Dombås vil spenningen sannsynligvis bli enda noe høyere ved utfall av et aggregat.

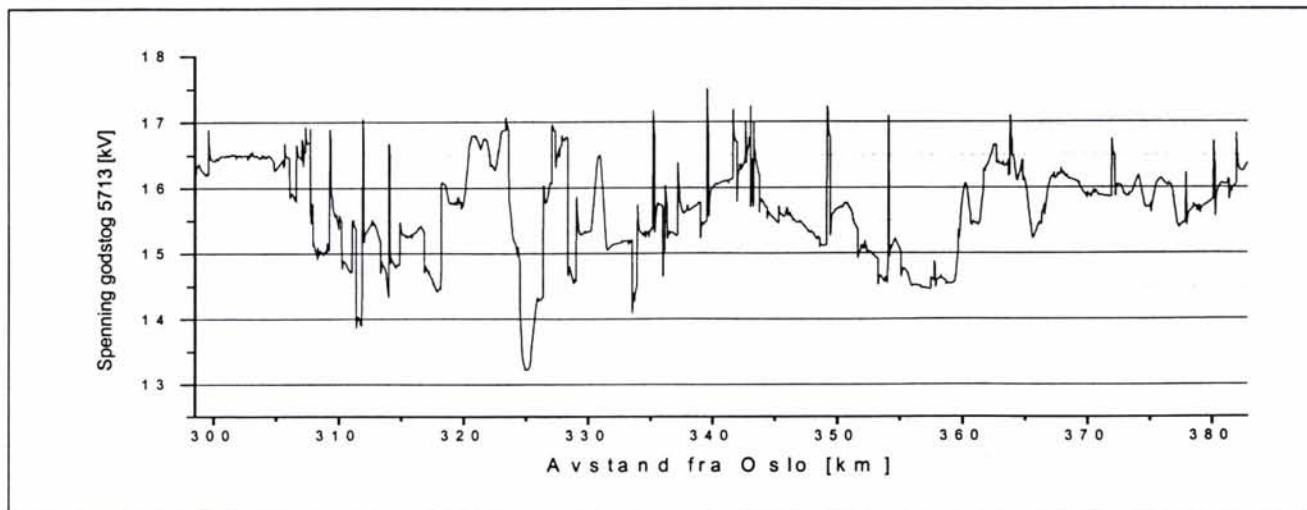
Tabell 4-72 Laveste spenning for passasjertogene Otta - Dombås – Hjerkin

Tog nr.	Nattsimulering 10b		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
327	15,8	318	22:35
405	15,0	318	03:40
406	14,5	333	02:10

Tabell 4-73 Laveste spenning for godstog Otta - Dombås – Hjerkin. Forsterkning av omformere, men med utfall av ett av aggregater på 7,0MVA i Dombås omformer. Kontrollert ordinær ruteplan og pådrags- begrensning på de doble E16 lokomotivene

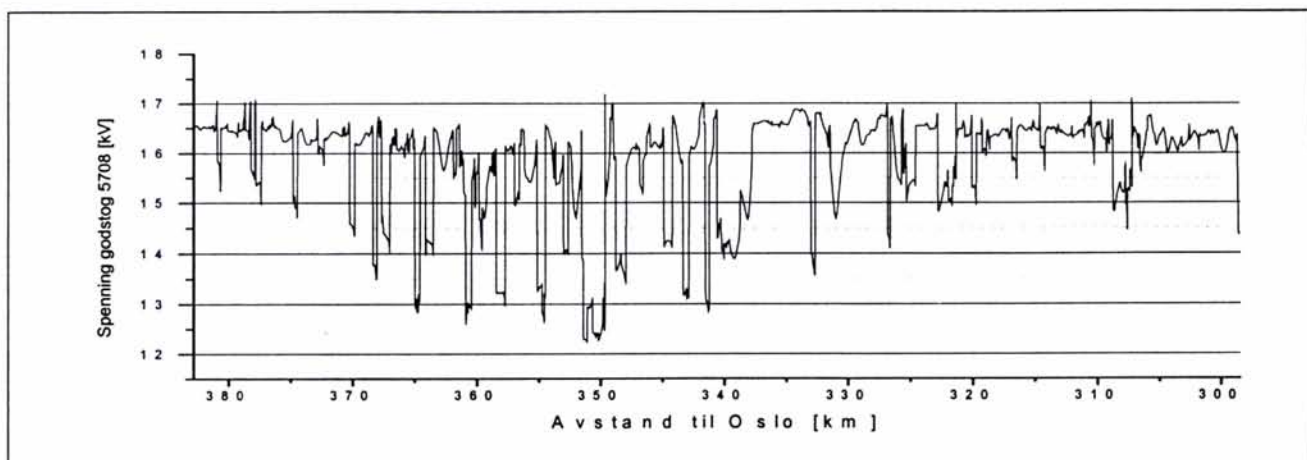
Tog nr.	Nattsimulering 10b		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [kl]
5251	14,1	313	00:40
5254	14,0	327	00:46
5253	14,3	329	01:42
5701	13,7	318	23:54
5705	13,7	329	02:03
5708	12,2	350	02:18
5713	13,2	325	02:50
5716	13,5	326	23:55
5781	13,4	314	03:17
5793	13,9	359	01:57
5792	13,1	321	02:50

Spenningen for godstog 5713 er vist i figur 4-133 nedenfor. Spenningen kommer ned til 13,2kV ved km 325 for en liten periode. Ellers er spenningen på kontaktledningen akseptabel på helle strekningen.



Figur 4-133 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 5713 Otta – Dombås - Hjerkin. Nattsimulering med kontrollert ordinær ruteplan, pådragsbegrensning på doble El16 lokomotiver og forsterkning av omformere, men med utfall av et aggregat på Dombås

Figur 4-134 viser spenningen for sørgående godstog 5708. Også for dette toget holder spenningen seg på et akseptabelt nivå over hele strekningen.



Figur 4-134 Spenningen på kontaktledningen for sørgående godstog 5708 Otta – Dombås - Hjerkin. Nattsimulering med kontrollert ordinær ruteplan, pådragsbegrensning på doble El16 lokomotiver og forsterkning av omformere, men med utfall av et aggregat på Dombås

4.11.3 Belastning av kontaktledningsnettet

Strømmen på kontaktledningen i nordlig og sørlig retning fra omformerne etter at et aggregat er tatt ut på Dombås er vist i tabell 4-74. Ingen verdier er så høye at det kan være noen fare for overbelastning. Ved utfall av et aggregat i en annen omformerstasjon vil fare for overbelastning kunne skje, men dette er ikke undersøkt.

Tabell 4-74 Belastning av sør-/nordgående kontaktledning når godstogene gies pådragsbegrensning, kontrollert ordinær ruteplan, forsterkning av omformerstasjoner og Hjerkin omformer etablert. Utfall av et aggregat på Dombås

Omformer – avgang	Nattsimulering 10b			
	Strøm [kA]			
	1 sek	10 sek	1 min	6 min
Otta Nord	1,20	1,06	0,89	0,55
Dombås Sør	1,09	1,08	0,78	0,55
Dombås Nord	0,66	0,65	0,62	0,52
Hjerkin Sør	0,95	0,94	0,78	0,61
Hjerkin Nord	0,62	0,61	0,58	0,49

4.12 Resultater simulering med riktig ruteplan 149.1 og godstog med pådragsbegrensning ikke omformerstasjon på Hjerkin

Behovet for Hjerkin omformer har vært basert på nødvendigheten av å avlaste kontaktledningen nordover fra Dombås omformer. Simulering 10 med pådragsbegrensning for de multiple godstogene og ingen forsterkningstiltak, se tabell 4-42, har vist at denne kontaktledningsavgangen bare er på grensen til overbelastning. Simulering 10d vil undersøke om riktig toggang kan komme til å gi mindre strøm på kontaktledningen slik at omformerstasjonen på Hjerkin er unødvendig. Resultatene fra simulering 10c viste at Dombås omformer trenger en installert ytelse større enn 2 x 7,0MVA. Derfor er simulering 10d utført med 2 x 10MVA i Dombås omformer og Hjerkin omformer er utelatt.

Spenningen har ikke vært undersøkt. Men i simulering 2 uten forsterkninger og pådragsbegrensning kom spenningen mellom Dombås og Oppdal ned mot 11,7kV, se tabell 4-23. Med pådragsbegrensning og kapasitetsoptimal ruteplan kom spenningen ned mot 11,9kV, se simulering 11, og tabell 4-46. Med pådragsbegrensning, forsterkning av omformere på Oppdal og Dombås og ordinær ruteplan vil spenningen mest sannsynlig bli bedre og over 12,0kV. Som en midlertidig løsning må spenninger rundt 12,0kV kunne tillates.

4.12.1 Belastning av omformere

Belastningen av omformerne er vist i tabell 4-75 etter at Hjerkin er utelatt og Dombås forsterket med aggregater på 2 x 10,0MVA. Belastningen av omformerne er innenfor akseptable grenser og det er sannsynliggjort at en vil ha redundans til å koble ut et aggregat.

Tabell 4-75 Belastning av omformere etter at Hjerkin omformer er utelat. Forsterkning av øvrige omformere, med blant annet 2 x 10,0MVA aggregater i Dombås omformer. Kontrollert ordinær ruteplan og pådragsbegrensning på de doble El16 lokomotivene

Omformer	Innsatt ytelse	Simulering 10c								
		Effekt						Strøm [kA]		
	Effekt	1 time			6 minutter			2 sekunder		
		[MVA]	[MVA]	[%]	[kl]	[MVA]	[%]	[kl]	[kA]	[%]
Otta	2 x 5,8	6.29	54	01:35	9.30	58	01:32	1.14	91	03:17
Dombås	2 x 10,0	9.49	47	01:58	16.70	59	01:51	1.37	58	01:45
Oppdal	2 x 7,0	6.40	46	23:08	13.27	60	23:00	1.28	78	01:02

4.12.2 Belastning av kontaktledningsnettet

Resultatet etter simulering uten omformer på Hjerkinn er vist i tabell 4-76. Igjen er strømmen på avgangen fra Dombås og i nordlig retning for stor. Endringene i toggangen etter at ruteplanen er korrigert og større omformer på Oppdal har ikke redusert strømmen ut fra denne omformeren sammenlignet med simulering 10, se tabell 4-42. Største 6 minutters strøm på kontaktledningen i nordlig retning fra Dombås er undersøkt til å oppstå klokken 04:07. Dette skjer når godstog 5713 og 5781 er på vei nordover i oppoverbakkene fra Dombås til Hjerkinn.

Tillatt strøm på kontaktledningen er ca 800A i 6 minutter, og nominell strøm er 600A. Da er 810A i 6 minutter noe for høyt. Dette er diskutert i avsnitt 6.6.

Tabell 4-76 Belastning av kontaktledningen etter at Hjerkinn omformer er utelat. Forsterkning av øvrige omformere, med blant annet 2 x 10,0MVA aggregater i Dombås omformer. Kontrollert ordinær ruteplan og pådragsbegrensning på de doble E116 lokomotivene

Omformer – avgang	Nattsimulering 10c			
	Strøm [kA]			
	1 sek	10 sek	1 min	6 min
Otta Sør	0,84	0,84	0,66	0,35
Otta Nord	1,10	1,02	0,87	0,54
Dombås Sør	1,10	1,10	0,80	0,58
Dombås Nord	0,95	0,95	0,90	0,81
Oppdal Nord	0,78	0,78	0,77	0,63

5 OPPSUMMERING

5.1 Spenning på kontaktledningen

Simuleringen med forsterkningsledning fra Oppdal til Lundamo og alternativet med kompaktomformer på Garli viste seg ikke å gi den ønskede effekten. For nye anlegg kreves det at spenningen ikke skal bli lavere enn 13,5kV, noe som ikke ble oppfylt. Kompaktomformerene burde hatt større ytelse. Derfor utelates det å kommentere disse simuleringene (3 til 6) her.

For sammenligningens skyld er laveste spenning for togene på de strekningene som er undersøkt i simulering uten tiltak vist i tabell 5-1 nedenfor. Laveste spenning etter at pådragsbegrensning innføres for godstogene er vist i tabell 5-2.

Tabell 5-1 Laveste spenning for person- og godstog på alle strekningene. Dag – og nattsimulering uten forsterkningstiltak og uten godstog med pådragsbegrensning

Simulering 1 og 2				
Strekning	Tog nummer og type	Laveste spenning [kV]	Sted fra Oslo [km]	Klokken
Tangen – Rudshøgda - Fåberg	Passasjertog 335	12,2	132	23:28
	Godstog 5791	11,5	142	12:11
Fåberg - Fron	Nattog 405	12,3	218	02:10
	Godstog 5714	11,7	215	13:18
Fron – Otta – Dombås	Nattog 406	12,3	285	02:57
	Godstog 5715	11,9	309	01:12
Dombås – Oppdal	Nattog 405	12,4	381	04:39
	Godstog 5715	11,7	378	02:44
Oppdal – Lundamo	Krengetog 47	12,5	480	21:50
	Godstog 5793	11,7	493	03:37

Simuleringen med pådragsbegrensning på godstogene viser at spenningen kommer over 12,0kV på de strekninger som før hadde spenning under 12,0kV. Dette oppfyller kravet til spenningen i eksisterende anlegg. Pådragsbegrensning for doble E16 lokomotiver må for øvrige sees på som en midlertidig løsning, eller en løsning så lenge disse lokomotivene eksisterer.

Tabell 5-2 Laveste spenning for person- og godstog på strekninger der forsterkning med kompaktomformer eller forsterkningsledning er aktuelt. Nattsimulering med pådragsbegrensning for godstogene

Simulering 10				
Strekning	Tog nummer og type	Laveste spenning [kV]	Sted fra Oslo [km]	Klokken
Dombås – Oppdal	Nattog 405	12,5	381	04:39
	Godstog 5795/5713/5715	12,4	381/383/ 378	02:58/04:07/ 04:44
Oppdal - Lundamo	Nattog 47	13,1	480	21:50
	Godstog 5705	12,2	468	03:59

Det er gjort simuleringer med forsterkede omformere både med ordinær ruteplan og kapasitetsoptimal ruteplan. Dessuten er det funnet flere feil i den ordinære ruteplanen R149.1 som er lagt inn i simuleringene. Derfor er ruteplanen kontrollert og riktig toggang lagt inn.

Med forsterkning av omformerstasjonene og simulering med kontrollert ordinær ruteplan kommer spenningen opp på akseptable nivåer, se tabell 5-3. Imidlertid viser simuleringen at på flere strekninger kommer spenningen under 13,5kV, som er kravet for laveste spenning etter forsterkningstiltak. Dette gjelder selv om avstanden mellom omformerne da blir ca. 40km.

Tabell 5-3 Laveste spenning for person- og godstog på alle strekningene. Nat simulering med forsterkning av omformere og pådragsbegrensning for doble E116 lokomotiver

Simulering 10a				
Strekning	Tog nummer og type	Laveste spenning [kV]	Sted fra Oslo [km]	Klokken
Tangen – Rudshøgda - Fåberg	Passasjertog 331	13,8	128	21:42
	Godstog 5716	12,9	127	03:41
Fåberg - Fron	Nattog 405	12,2	230	02:18
	Godstog 5254	12,3	233	02:18
Fron – Otta – Dombås	Nattog 406	13,5	285	02:57
	Godstog 5251/ 5792	13,1	223 / 321	23:20 / 02:50
Dombås – Oppdal	Nattog 406	14,0	403	00:58
	Godstog 5701	13,8	406	00:59
Oppdal – Lundamo	Krengetog 47	12,8	481	21:50
	Godstog 5716	12,5	477	21:50

Med forsterkede omformere og kapasitetsoptimal ruteplan (simulering 12) blir spenningene på kontaktledningen høyere, se tabell 5-4. Dette gjelder ikke for strekningene mellom Fåberg – Fron og Oppdal – Lundamo, der spenningen er blitt noe lavere. Heller ikke med kapasitetsoptimal ruteplan og forsterkningene av omformerne kommer spenningen over 13,5kV noe sted. Mellom Oppdal - Lundamo kommer spenningen lavest, under 12kV for en kort tid.

Tabell 5-4 Laveste spenning for godstog på alle strekningene. Kapasitetsoptimal ruteplan med pådragsbegrensning for godstogene og forsterkning av omformere

Simulering 12c				
Strekning	Tog nummer og type	Laveste spenning [kV]	Sted fra Oslo [km]	Klokken
Tangen – Rudshøgda - Fåberg	Sørgående	12,8	175	Repeterende
Fåberg – Fron	Nordgående	12,3	218	Repeterende
Fron – Otta – Dombås	Nordgående	13,1	317	Repeterende
Dombås - Oppdal	Nordgående	13,3	399	Repeterende
Oppdal – Lundamo	Sørgående	11,9	483	Repeterende

5.2 Belastning av omformere

Nat simuleringen uten tiltak (simulering 2) viste at de midlertidige omformerne i Otta og Rudshøgda blir sterkt overbelastet, se avsnitt 4.2.7. Også andre omformere i den sørlige delen av Dovrebanen blir overbelastet.

Simuleringen der godstogene gies en pådragsbegrensning (simulering 10) viser imidlertid at overbelastningen av omformerne blir mindre, se 4.7.3. Fremdeles er Rudshøgda og Otta omformere overbelastet, men de mellomliggende omformerne Fåberg og Fron blir bare noe høyt belastet med hensyn på 2 sekunders strømverdi. Dombås omformer kommer på grensen til

overbelastning. Omformerne på den nordlige delen av banen ser ikke ut til å få problemer med høy belastning.

Simulering 10a viser nødvendig installert ytelse for å tilfredsstillende kontrollert ordinær ruteplan, se tabell 4-69. Men størrelsen på Dombås omformer må økes til 2 x 10,0MVA for å få redundans. Simulering 10c uten Hjerkinns omformer, men med ytelse på Dombås til 2 x 10MVA, viser tilfredsstillende resultater, men da kan kontaktledningen komme i fare for å bli overbelastet på avgangen nordover fra Dombås omformer.

Med den kapasitetsoptimale ruteplanen i simulering 11 blir nesten alle omformerne belastet noe mer enn med den ordinære ruteplanen. Bare for 6 minutters verdiene blir Rudshøgda, Otta og Dombås omformere belastet noe mindre enn i simulering 10a med ordinær ruteplan. Spesielt er belastningen for Oppdal, Lundamo og Stavne omformere økt betydelig.

Simulering 12, som er den samme som simulering 11, bare at omformerne på Rudshøgda, Otta, Dombås og Oppdal er forsterket og ny omformerstasjon er etablert på Hjerkinns, er vist i avsnitt 4.9.1. Denne simuleringen viser spesielt at Oppdal og Hjerkinns må ha en betydelig installert ytelse for å tilfredsstillende den kapasitetsoptimale ruteplanen.

5.3 Belastning av kontaktledning

Kontaktledningen ut fra Dombås i både nordlig og sørlig retning viste seg å bli hardt belastet uten omformer på Hjerkinns. Selv i simuleringen der godstogene ble pålagt pådragsbegrensning blir strømmen på kontaktledningen over 800A i sammenhengende 6 minutter, se avsnitt 4.7.4. Dette er mye når nominell tillatt belastning er 600A.

Med kapasitetsoptimal ruteplan blir avgangen fra Dombås i nordlig retning overbelastet. Simulering 12 med kapasitetsoptimal ruteplan og simulering 10a med ordinær ruteplan, viser at ved etablering av en omformer på Hjerkinns vil dette problemet elimineres.

Imidlertid viser simulering 10c med en kontrollert ordinær ruteplan, installert ytelse på 2 x 10MVA i Dombås og Hjerkinns omformer utelatt, at overbelastningen av kontaktledningen er liten. For 6 minutters effekten er tillatt belastning satt til 800A og om denne da belastes 810A er ikke dette mye.

6 DISKUSJON OVER FORHOLD VEDRØRENDE MODELLER OG SIMULERING

En del forhold omkring inndata og modeller som kan tenkes å påvirke simuleringsresultatene er drøftet i dette avsnittet.

6.1 Togvarme

For togvarme er det lagt inn konstante verdier for hvert tog lik 20kW for hver passasjervogn. Effektuttaket er ment å representere midlere effektuttak om vinteren. Dette effektuttaket er varierende, men utgjør en liten del av det maksimale effektuttaket i lokomotivet. Togvarme utgjør på den annen side en ikke ubetydelig andel av det totale energiforbruket. Dette antas å gi liten innvirkning på resultatene.

6.2 Tunneler og horisontalkurvatur

Øket luftmotstand forårsaket av tunneler er ikke inkludert i simuleringene. Tunneler gir noe høyere effektuttak for togene. Lengden av tunneler og ruheten i tunnelsidene har betydning. Horisontalkurvatures betydning er neglisjerbar og derfor utelatt.

6.3 Spenningen for statisk omformer

Spenningen for Stavne omformer, se figur 4-24 og figur 4-58, varierer nokså mye og kommer i meget korte perioder helt ned mot 12kV. Dette vil ikke skje i virkeligheten, en vil forvente at spenningen skal forbli på et mye høyere nivå selv med store belastningsendringer. Simuleringen gir slike resultater fordi modellering av spenningsregulatoren for statiske omformere har vært problematisk. Resultat for spenningen for Stavne omformer skal derfor ikke tillegges stor vekt. Fordi omformeren er langt unna de områdene som har vært undersøkt, vil nok heller ikke dette ha betydning for togenes spenning eller belastningen av roterende omformere som har vært undersøkt.

6.4 Kjøremonster for lokomotivfører og 2 sekunders strøm for omformerne

Når simuleringer utføres med SIMTRAC vil "lokførerens" oppførsel være å holde skiltet hastighet og foreta akselrasjoner etter innleste parametre i modellen. I virkeligheten kan en lokfører ved kjøring i nedoverbakke utnytte fallet til å la toget akselerer av seg selv, istedenfor å øket pådraget hurtig ved økning av skiltet hastighet. Dette og flere andre ting ved lokførerens personlige kjøremonster gjør at simuleringen og målte verdier kan bli forskjellige. Dette gjelder spesielt for de korte belastningstoppene.

Dette fenomenet gjør seg spesielt gjeldende for 2 sekunders verdien av strømmen fra omformerne, som kan bli store nettopp på grunn av hurtige akselerasjoner. For denne strømmen er det vanskelig å sette noen eksakt grense, men i utgangspunktet vil det være naturlig å si at strømverdien ikke bør overstige 50% av nominell verdi for to aggregater, for å sikre redundans. Dette er ikke brukt som noe kriterium i kommentarene til avsnittene om belastningen av omformerne. Dette fordi det antas at modellen for lokomotivene gir nokså mye større strømtopper enn virkeligheten. Dette er også vist i flere figurer for 2 sek strømmen til omformerne, se figur 4-125

6.5 Telefilter i E116 lokomotiver

Når data ble innhentet for å gjøre simuleringene var en ikke klar over at E116 lokomotivene har telefilter på 600kVAr. Telefiltrene virker som fasekompensatorer og hever spenningen på kontaktledningen. En ble oppmerksom på telefilter da den siste simuleringen med pådragsbegrensning skulle gjøres. Telefiltrene er derfor inkludert i simuleringene med pådragsbegrensning for de doble E116 lokomotivene.

Konsekvensene av denne utelatelsen vil imidlertid ikke få stor betydning for konklusjonene. På strekningen fra Tangen til Dombås skyldes lave spenninger overveiende den store overbelastningen av omformerne på Rudshøgda og Otta. Nye simuleringer med øket omformerytelse, eller eventuelle andre tiltak, må uansett gjøres for å finne laveste spenninger på kontaktledningen.

For simuleringene med pådragsbegrensning er telefiltrene inkludert og tiltaket viser god forbedring. Konklusjonen vil uansett måtte bli at en forsterkningsledning gir svak forbedring og at en kompaktomformer på Garli må være større. Pådragsbegrensning gir ønsket forbedring og er enkelt å innføre.

6.6 Belasting av kontaktledningen

Simulering 10 har vist at kontaktledningen i nordlig retning fra Dombås omformer er belastet med en strøm på 810A for sin 6 minutters verdi når Hjerkin omformer er utkoblet. Hele hensikten med Hjerkin omformer som provisorisk installasjon var å begrense strømmen på kontaktledningen. Men en belastning på bare 10A over det som er satt til grensen for 6 minutters belastning er ikke mye for en komponent der absolutte grenser for overbelastning er vanskelig å sette. Konsekvensen av overbelastning vil være redusert levetid ved at kontaktledningens mekaniske styrke reduseres; den blir sprø.

Grensen for 6 minutters belastning er funnet til 800A ved avlesning av kurven vist i figur 2-1. En visuell avlesningen av denne figuren blir unøyaktig, og dermed er ikke dette en noen eksakt verdi i utgangspunktet. På den annen side er 600A som nominell kontinuerlig belastningsstrøm for kontaktledningsanlegg en gitt strøm i teknisk regelverk.

Det virker omfattende å bygge en ny omformer bare for denne neste marginale overbelastningen. Imidlertid skal det sies at forskjellige forhold kan gjøre denne strømmen større. For det første vil usikkerheten i simuleringen ha en vis betydning, men togtrafikken i en avvikssituasjon kan gi enda større strømmer, jevnfør simuleringene med kapasitetsoptimal ruteplan.

Siden en her ser på en helt marginal overbelastning burde det gjøres undersøkelser som kan bringe klarhet i overbelastningsgrensen. Det kunne også vært sett på muligheten for å sette inn overbelastningsvern som tar hensyn til for eksempel utetemperatur og dermed tillater en større belastning på grunnlag av denne. Men også vindhastighet, matthet og farge på kontaktledningen, solbestråling, varmen fra bakken, etc spiller inn på disse forholdene.

Kurven i figur 2-1 er opptatt ved 35°C og 1m/s vindhastighet. Dette vil sannsynligvis tilsvare forholdene på en meget varm sommerdag. Imidlertid oppstår den største belastningen av kontaktledningen en kort tid rundt klokken 04:00. På natten vil utetemperaturen sjelden komme over 20°C i Norge og så langt oppe i Gudbrandsdalen, opp mott høyfjellet, vil det være enda sjeldnere eller ikke kunne skje overhode. Dermed skulle en tro at muligheten for større belastning enn 800A er tilstede.

Det er forholdene på en varm dag som vil være dimensjonere for hvilke marginer det egentlig finnes for å tillate en maksimal belastning for 6 minutters verdien som funnet. Dessuten vil konsekvensene ved utkobling av kontaktledningen ved overbelastning også bli bestemmende og eventuelle muligheten for å innføre tiltak som kan forhindre overbelastning med større toggang i en avvikssituasjon. Tiltak kan være melding til lokomotivførerne om forsiktig kjøring.

6.7 Redundanskriteriet for omformere og den praktiske betydningen for driften

For valget av størrelser for omformer er redundanskriteriet, der det skal være mulig å koble ut en omformer og fremdeles kunne opprettholde driften på det gjenværende samtidig som spenningen ikke kommer under 12,0KV på kontaktledningen, vært forsøkt tilfredsstilt. For Dombås omformer viser simuleringene at det da kreves aggregater på 2 x 10,0MVA. Dette er

meget stor installert ytelse spesielt når simuleringen viser at aggregatenes kapasitet utnyttes lite. Det er bare et lite tidsrom klokken 01:50 at behovet for så stor ytelse er tilstede, se figur 4-129.

Ved å sette inn to aggregater i Dombås omformer på 7,0MVA vil det under normale forhold bare være behov for begge aggregatene innkoblet etter klokken tolv på natten. Altså når godstrafikken er på det største. Dagsimulering med pådragsbegrensning og kontrollert ordinær ruteplan er ikke utført, men simulering 1 uten pådragsbegrensning antyder en belastning på ca. 10,6MVA klokken 15:20, se tabell 4-13.

I praksis kan en med aggregater på 7,0MVA foreta utkobling av det ene aggregatet ca klokken 03:00 og ikke behøve å koble inn begge igjen før ca. klokken 00:00. Disponeringstiden blir altså ca. 21 timer. Større problemer vil imidlertid oppstå ved en ikke planlagt utkobling midt på natten, men driftsstabiliteten for disse aggregatene er erfaringsmessig god.

6.8 Tilgjengelige omformeraggregater er med på å bestemme muligheten for utvidelser

For Dombås omformer er det foreslått 2 x 10,0MVA som nødvendig tiltak. Dette er en type omformer som det i Norge bare finnes 8 enheter av. Simuleringen kunne også vært gjort med for eksempel 3 x 5,8MVA enheter i Dombås omformer, da aggregater på 5,8MVA finnes flere av. Dessuten kan slike aggregater kjøpes i Sverige. Også det store behovet for aggregater på 7,0MVA kan tilfredsstilles med flere aggregater på 5,8MVA eller eventuelt en kombinasjoner av aggregater på 7 og 5,8MVA. Som diskutert ovenfor er det heller ikke sikkert at behovet for 2 x 10,0MVA på Dombås må oppfylles.

Muligens kan det i praksis vise seg å bli så vanskelig å fått i stor nok omformere at en dimensjonering med hensyn på moderne lokomotiver vil vise seg mer fornuftig. En utbygging av kontaktledningsanlegg med AT-system kan også vise seg å gi bedre fordeling av effekten mellom omformerne.

6.9 Ruteplan

Simuleringen med den såkalte kapasitetsoptimale ruteplanen gir tog i begge retninger med 40 minutters mellomrom. For 6 minutters verdien for Dombås omformer er belastningen lavere i simulering 11 enn den var i simulering 10, dette kan ha sin årsak i at krysningsbeltet som oppstår ved Dombås i simulering 10 gir en hardere belastning.

Mange andre tog kjører også tett, spesielt sør for Lillehammer der persontrafikken til tider er stor. Simulering 11 viser at tettere toggang med mange krysninger, gir hardere belastning av omformerne og noe lavere spenning for togene. Nord for Dombås omformer er dette tydelig.

Det kan være gunstig å ta hensyn til den kapasitetsoptimale ruteplanen for å se på belastningssituasjonen mellom Dombås og Lundamo i en situasjon som kan sammenlignes med en avvikssituasjon. Med det menes enten en situasjon der krysningsbeltet forskyves nordover eller at flere godstog enn normalt kjører tett fra Lundamo og sørover.

Skal en dimensjonere banestrømforsyningen midlertidig for å tillate den ønskede økningen i godstrafikken kan det bli vel store forsterkninger om en tar hensyn til simuleringene med den kapasitetsoptimale ruteplanen. Dessuten er det spesielt for Oppdal, Hjerkin og Dombås omformer stor forskjell i belastningen for den ordinære- og kapasitetsoptimale ruteplanen. Det er derfor mulig at en forsterkning som tar hensyn til den ordinære ruteplanen (R149.1) vil være mer fornuftig på kort og mellomlang sikt. I en avvikssituasjon må lokføreren ofte holde øye med spenningen på strømvatageren og tilpasse pådraget for ikke å overbelaste banestrømforsyningen.

Med denne kapasitetsoptimale ruteplanen vil som nevnt omformerne på Hjerkin og Oppdal bygges meget store. Det er tvilsomt om det i det hele tatt finnes nok roterende aggregater i den

ønskede størrelsen. For simulering 12c ble det satt inn omformere på 3 x 5,8MVA på Hjerkin, men også aggregater på 2 x 7MVA (eller endog 2 x 10MVA) kunne vært valgt. Valget falt på 3 x 5,8MVA fordi det finnes mange slike omformere og en allerede har foreslått aggregater på 10,0MVA på Dombås og 7,0MVA på Oppdal.

6.10 Avviksituasjon

I en avviksituasjon kan de verste forholdene oppstå. For eksempel en situasjon der flere godstog skal kjøre avgårde etter en forsinkelse eller driftsforstyrrelse som har blokkert toggangen. Verste situasjon vil en nok få om flere tog kjører etter hverandre i stigningene ved Garli eller opp mot Hjerkin fra nord eller sør i såkalt blokkpostavstand. Det vil her si at togene gies beskjed om å stoppe av togleder og at dette skjer ved hver blokkpost. Når da trafikken gjenopprettes kan det skje at alle togene starter og akselererer samtidig.

Simulering 11 og 12 med kapasitetsoptimal ruteplan kan ikke sies å være like kritisk som den avviksituasjonen beskrevet ovenfor. Simuleringer i fase 2 kan ta hensyn til dette ved å utelate enkelte tog i den kapasitetsoptimale ruteplanen og legge flere tog etter hverandre.

6.11 Kjøring med noen få doble E116 lokomotiver

Simuleringene viser at banestrømforsyningen må forsterkes en hel del for å kunne tillate at alle godstog som kjøres har doble E116 lokomotiver og 50% større lastvekt en dagens. Det kan derfor være interessant å se på en alternativ løsning der bare noen få godstog tillates å ha 50% større lastvekt og doble E116 lokomotiver.

Simuleringen med pådragsbegrensning (simulering 10) på alle godstog viste at ingen av togene på strekningen Dombås – Oppdal – Lundamo får spenninger under 12kV, se avsnitt 4.7. Hvis bare noen av disse togene har doble E116 lokomotiver vil nok spenningen komme til å bli litt høyere eller like stor. Hvis en kan legge kjøringen av slike tunge godstog til perioden der omformerne ikke er så hardt belastet kan det tenkes å kunne gjennomføres uten noen spesielt store tiltak.

En rutetabell som legger opp til at bare noen få nord- og sørgående godstog pr. døgn har doble E116 lokomotiver kan for eksempel være slik at det er 30-40 minutter mellom disse og andre tog. Da kan det tenkes at ingen av dagens omformere trenger utvidelse. Spesielt er det Rudshøgda, Otta og Dombås omformere som blir mye belastet, se tabell 4-41. Kanskje bare Dombås omformer, som selv i dag viser seg å være overbelastet i spesielle situasjoner, trenger utvidelse.

7 KONKLUSJON

Simuleringene med multiple El16 lokomotiver for godstogene og stor lastvekt har vist at dagens banestrømforsyning vil bli belastet ut over hva det er dimensjonert for. Grenseverdier overskrides flere steder både hva gjelder høyeste belastning for omformeraggregater, kontaktledning og laveste spenning på kontaktledningen.

7.1 *Lav spenning Oppdal –Lundamo skyldes ikke effektunderskudd*

Simulering 1 og 2 med togtrafikk om natten med dagens banestrømforsyning viser at spenningen på kontaktledningen blir lav på strekningen Oppdal – Garli – Lundamo uten at omformerne i Oppdal og Lundamo blir belastet spesielt mye. Dette tyder på at det er overføringskapasiteten på kontaktledningen på denne strekningen som er for liten.

Selv med forsterkningsledning blir ikke spenningen noe vesentlig høyere. Erfaring fra tidligere simuleringer viser også at dette ikke er noe godt forsterkningsalternativ på strekninger med lav spenning.

Et forsterkningstiltak som sannsynligvis ville ha hjulpet er kompaktomformer på Garli, men den måtte da vært større enn 4MVA. En ny statisk omformer burde kanskje hatt en ytelse på 2 x 6MVA. Selv om det egentlige problemet ikke er effektunderskudd, vil en omformer ved Garli føre til kortere overføring av strømmen og dermed mindre spenningsfall. En slik omformer vil dessuten kompensere reaktiv effekt, noe som spesielt El16 lokomotivene trekker mye av og som gir spenningsfall på kontaktledningene.

Selv om de foreslåtte tiltakene i tidligere Hovedplan er en forsterkning av strekningen Oppdal – Lundamo, oppstår den laveste spenning ved Hjerkin, mellom Dombås og Oppdal. På denne strekningen oppstår også problemer med stor strøm på kontaktledningen.

7.2 *Pådragsbegrensning i lokomotivene forhindrer lav spenning*

Simulering 10 med pådragsbegrensning for doble El16 lokomotiver viser at spenningen kommer over 12,0kV, som er IEC's krav til laveste spenning på kontaktledningen. Oppstillingen i tabell 5-1 og tabell 5-2 viser tydelig forskjellen på laveste spenning på kontaktledningen, henholdsvis med og uten pådragsbegrensning i dagens nett. Imidlertid viser simuleringen med pådragsbegrensning og kapasitetsoptimal ruteplan at spenningen kan komme under 12,0kV mellom Oppdal og Lundamo. Å innføre pådragsbegrensning vil være et mye enklere og billigere tiltak enn de foreslåtte tidligere tiltakene med kompaktomformer på Garli eller forsterkningsledning. Simuleringen med pådragsbegrensning viser at godstogene holder ruteplanen selv om dette medfører redusert trekraft.

7.3 *Økning av ytelsen for omformerne*

Rudshøgda og Otta omformere viser seg å bli hardt overbelastet med innføring av doble El16 lokomotiver. Tabell 4-41 viser at flere omformere blir overbelastet selv når doble El16 lokomotiver er gitt pådragsbegrensning (simulering 10). Simuleringer med nødvendig installert ytelse i omformerne er utført for simuleringen med kapasitetsoptimal ruteplan, simulering 12 og for ordinær ruteplan, simulering 10a, 10b og 10c.

Hjerkin omformer foreslås fordi simulering 10 viser at selv med pådragsbegrensning vil kontaktledningen ut fra Dombås omformer bli hardt belastet. Bygges det en ny omformer her er kravet til laveste spenning på kontaktledningen 13,5kV, noe som vil kunne oppfylles både for kapasitetsoptimal og ordinær ruteplan.

Størelsen på omformerne med kapasitetsoptimal ruteplan

Tabell 7-1 viser resultatet av simulering 12c med øket ytelse i omformerstasjonene på Rudshøgda, Otta, Dombås og Oppdal. Ny omformer er etablert på Hjerkinns med 3 x 5,8MVA. Simuleringen med godstog med pådragsbegrensning er lagt til grunn. Av resultatene sees at omformeren på Oppdal blir hardt belastet og at en utvidelse til 2 x 10MVA vil være nødvendig for å få redundans om et av aggregatene skulle falle ut.

Med de foreslåtte nye aggregatene er det forsøkt å tilstrebe innebygget reserve nok til å kunne takle utfall av et aggregat uten at de andre overbelastes og uten at spenningen på kontaktledningen kommer under 12kV. Dog er det sannsynlig at spenningen kommer under 12,0kV ved Garli ved utfall av et aggregat på enten Oppdal eller Lundamo omformerstasjon i en avvikssituasjon, som simulering 12 med kapasitetsoptimal ruteplan antyder.

Tabell 7-1 Belastning for omformerne med pådragsbegrensning for doble E116 lokomotiver, kapasitetsoptimal ruteplan og forsterkning av omformerne

Omformer	Nattsimulering 12c						Aggregat størrelse
	Effekt				Strøm		Nominell effekt
	1 time		6 minutter		2 sekunder		
	[MVA]	[%]	[MVA]	[%]	[kA]	[%]	[MVA]
Tangen	6,31	45	10,16	46	1,15	70	2 x 7,0
Rudshøgda	5,91	51	8,16	51	1,14	91	2 x 5,8
Fåberg	6,94	59	9,78	61	1,39	112	2 x 5,8
Fron	6,60	57	9,79	61	1,12	90	2 x 5,8
Otta	5,83	50	7,21	45	1,14	91	2 x 5,8
Dombås	7,47	53	10,67	49	1,17	71	2 x 7,0
Hjerkinns	10,26	59	13,35	56	1,38	74	3 x 5,8
Oppdal	11,17	80	14,87	68	1,44	87	2 x 7,0
Garli	-	-	-	-	-	-	-
Lundamo	8,96	64	13,82	63	1,28	78	2 x 7,0
Stavne	6,59	44	9,39	-	0,87	96	2 x 7,0

Størelsen på omformerne med ordinær ruteplan

Resultatene fra simulering 10a med kontrollert ordinær ruteplan, pådragsbegrensning for doble E116 lokomotiver og forsterkning av omformer, er fremstilt i tabell 7-2 nedenfor. Simulering 10a viser belastning som gir redundans ved utfall av et aggregat, unntatt for omformeren på Dombås som får en belastning på 72% for 6 minutters verdi. Dette i motsetning til den kapasitetsoptimale ruteplanen som viser en mindre belastning for Dombås omformer, men betydelig større belastning for omformerne på Hjerkinns, Oppdal, Lundamo og Stave. Simulering 10b viser at om det ene aggregatet på Dombås faller ut kan det andre aggregatet lett komme i fare for overbelastning.

Tabell 7-2 Belastning for omformerne med pådragsbegrensning for godstogene med normal ruteplan og pådragsbegrensning

Omformer	Nattsimulering 10a						Aggregat størrelse
	Effekt				Strøm		
	1 time		6 minutter		2 sekunder		Ytelse
	[MVA]	[%]	[MVA]	[%]	[kA]	[%]	[MVA]
Tangen	5,44	39	9,17	41	1,33	80	2 x 7,0
Rudshøgda	5,04	43	10,0	62	1,49	119	2 x 5,8
Fåberg	5,11	44	7,39	46	1,32	106	2 x 5,8
Fron	6,40	55	8,34	52	1,47	118	2 x 5,8
Otta	6,41	55	9,32	58	1,15	92	2 x 5,8
Dombås	7,25	52	15,76	72	1,32	80	2 x 7,0
Hjerkinn	4,63	40	8,11	51	0,88	70	2 x 5,8
Oppdal	5,22	37	9,81	46	1,15	70	2 x 7,0
Garli	-	-	-	-	-	-	-
Lundamo	5,35	38	9,24	42	1,10	67	2 x 7,0
Stavne	2,99	20	7,06	-	0,65	71	2 x 7,5

Forsterkning av omformere på kort- og mellomlang sikt når doble E116 lokomotiver gies pådragsbegrensning

For å tillate bruk av doble E116 lokomotiver med pådragsbegrensning må flere omformere utvides, men en så stor utvidelse som kapasitetsoptimal ruteplan viser kan bli for omfattende. tabell 7-3 viser nødvendig utvidelse av omformerne på kort og mellomlang sikt for å tillate ordinær ruteplan (R149.1) og samtidig gi rom for en avvikssituasjon.

Aggregater 3 x 5,8MVA for Hjerkinn og 2 x 10,0MVA for Oppdal omformere er nødvendig for å få redundans i følge simulering 12c med kapasitetsoptimal ruteplan, se tabell 4-52. Men om de foreslåtte aggregatstørrelse i tabell 7-3 brukes, vil ingen aggregater falle ut for overbelastning selv i en avvikssituasjon som kapasitetsoptimal ruteplan representerer. I simulering 12b, se tabell 4-51, med 2 x 7,0MVA på Dombås, 2 x 5,8MVA på Hjerkinn og 2 x 7,0MVA i Oppdal omformere, er belastningen på disse stor, men ikke så stor at noen av dem blir overbelastet og kan falle ut. Det er bare om et aggregat er utkoblet at en ikke vil få redundans. Spesielt for en midlertidig utbygging vil det kunne bli for omfattende å dimensjonere banestrømforsyningen både for en avvikssituasjon og at et aggregat er utkoblet, for eksempel for revisjon. Sannsynligheten for at disse hendelsene skal skje samtidig må ansees som liten. Dessuten er utetiden for aggregatene generelt lav.

Aggregater på 2 x 10MVA i Dombås omformer er nødvendig i følge simulering 10b, der en simulering med utkobling av et aggregat på 7,0MVA viser at det gjenværende vil falle for overbelastning, se tabell 4-71. Men som diskusjonen i avsnitt 6.7 kommer frem til, er det bare ved et bestemt tidspunkt i døgnet at dette problemet oppstår. Hvis den praktiske driften av omformeren gir mulighet for å planlegge utkobling av et aggregat og utetiden ikke overstiger ca. 20 timer vil ikke dette bli noe problem. I tabell 7-3 nedenfor er imidlertid 2 x 10MVA valg for Dombås.

I avsnitt 6.6 ble betydningen av Hjerkinn omformer for å redusere strømmen på kontaktledningen nordover fra Dombås omformer diskutert. Det synes som om overbelastningen med ordinær ruteplan er liten. Dermed kan det være mulighet for å utelate å bygge en ny omformer på Hjerkinn. Disse forholdene er beskrevet mere i avsnitt 7.4.

Forsterkning av omformere på lang sikt

For en permanent utbygging av omformerstasjoner vil det være aktuelt å bygge statiske omformere på Hjerkin og Garli. Disse vil bli installasjoner med stor ytelse. For Hjerkin er det gjort mange nok simuleringer til å være sikker på behovet, men for Garli er det gjort antagelser om riktig størrelse. For Otta og Rudshøgda omformere viser simuleringen at aggregater på 5,8MVA er tilstrekkelig (så sant doble E116 lokomotiver har pådragsbegrensning), derfor kan nye permanente omformere bygges med denne typen. Tabell 7-3 viser nødvendig ytelse for permanente installasjoner på lang sikt med pådragsbegrensning på doble E116 lokomotiver.

Det bemerkes at flere steder vil man få problemer med å oppfylle kravet om 13,5kV som laveste spenning etter forsterkningstiltak. Selv om nye omformere settes inn slik at avstanden mellom omformerne flere steder blir ca. 40km, kommer spenningen bare over 12,0kV. Dermed vil ytterligere forsterkning av banestrømforsyningen måtte gjøres om det skal foretas permanente tiltak.

Tabell 7-3 viser estimerte verdier for nødvendig ytelse i omformerstasjonene om doble E116 lokomotiver gies pådragsbegrensning. Hvis E116 lokomotivene gies pådragsbegrensning eller moderne lokomotiver innføres er det sannsynlig at nødvendig ytelse kan settes en hel del lavere.

Ved fremtidige forsterkninger med AT-system vil behovet for installert ytelse i omformerstasjonene bli noe annerledes. Det er vanskelig å si noe sikkert om dette uten simuleringer. Men det er forsøkt å benytte de samme simuleringene som ligger til grunn for kolonnen med antatt nødvendig ytelse om doble E116 lokomotiver ikke gies pådragsbegrensning, se tabell 7-3

Forsterkning av omformere uten pådragsbegrensning for doble E116 lokomotiver

I tilfelle togene ikke gis pådragsbegrensning må en se på de største belastningsverdiene i de simuleringene som er gjennomført. Simulering 2 gir de høyeste belastningstoppene for alle omformerne fra Dombås og sørover unntatt for Rudshøgda omformer. For denne er verdier fra simulering 1 brukt. Når det gjelder Oppdal, Lundamo og Stavne omformere er verdier fra simuleringen for kapasitetsoptimal ruteplan lagt til grunn. Her hadde doble E116 lokomotiver pådragsbegrensning slik at en bare kan si at belastningen for omformerne vil bli større om togene kjører uten begrensning.

For en eventuell Garli omformer er verdiene fra nattsimulering 6 benyttet. Denne simuleringen viste at de foreslåtte aggregatene på 2 x 2MVA var for små. Hjerkin omformer er innført for å unngå lave spenninger ved Hjerkin og for å unngå overbelastning av kontaktledningen, se simulering 2. Det poengteres at så lenge det ikke er utført konkrete simuleringer for disse forsterkningene kan forslagene bare bli veiledene.

Tabell 7-3 Antatte verdier for forsterkning av omformerne

Omformer	Nødvendig ytelse for kort og mellomlang sikt. Pådragsbegrensning for doble El16 lokomotiver	Nødvendig ytelse for omformere på lang sikt. Pådragsbegrensning for doble El16 lokomotiver	Antatt nødvendig ytelse uten begrensinger for doble El16 lokomotiver. Konv. bane. st. fors.	Antatt nødvendig ytelse uten begrensning for doble El16 lokomotiver. AT-system
	[MVA]	[MVA]	[MVA]	[MVA]
Tangen	2 x 7,0	2 x 7,0	2 x 7,0	2 x 7,0
Rudshøgda	2 x 5,8	2 x 5,8 / 2 x 7,5 ¹⁾	2 x 7,0 / 2 x 7,5 ¹⁾	-
Fåberg	2 x 5,8	2 x 5,8	2 x 5,8	2 x 7,0
Fron	2 x 5,8	2 x 5,8	2 x 7,0	2 x 10,0
Otta	2 x 5,8	2 x 5,8 / 2 x 7,5 ¹⁾	2 x 5,8	-
Dombås	2 x 10,0	2 x 10,0	2 x 10,0	2 x 10,0
Hjerkinn	2 x 5,8	2 x 14,0 ¹⁾	3 x 7,0 / 2 x 14,0 ¹⁾	-
Oppdal	2 x 7,0	2 x 7,0	2 x 10,0	2 x 10,0
Garli	-	2 x 7,5 ¹⁾²⁾	2 x 7,5 ¹⁾	-
Lundamo	2 x 7,0	2 x 7,0	2 x 7,0	2 x 7,0
Stavne	2 x 7,5 ¹⁾	2 x 7,5 ¹⁾	2 x 7,5 ¹⁾	2 x 7,5 ¹⁾

1) Gjelder for statiske omformere

2) For omformer på Garli er størrelsen antatt

For valg av løsningene i tabell 7-3 ovenfor vil forskjellen i kostnadene kunne bli store. I Hovedplanen vil flere forskjellige alternativer presenteres. Løsningen som faller ut som den beste på lang sikt, vil også ha betydning for beste løsninger på kort sikt.

7.4 Overbelastning av kontaktledningen må forhindres

Tabell 4-27 og tabell 4-49 viser at spesielt nord- og sørgående kontaktledning fra Dombås omformer blir belastet over nominell verdi i lang tid. Ved å gi godstogene pådragsbegrensning er det vist at denne overbelastningen kan begrenses. Med forsterkninger av omformerstasjoner viser både simulering 12c med kapasitetsoptimal ruteplan og simulering 10a med ordinær ruteplan, at ingen avganger til kontaktledningene blir overbelastet, se tabell 4-58 og tabell 4-58.

Nye vern med funksjon mot overbelastning på avgangene til kontaktledningen er nødvendig om den doble El16 lokomotiver og tog med stor lastvekt skal innføres. Om et omformeraggregat legges ut vil strømmen på kontaktledningen bli så stor at overbelastning sannsynlig vil inntreffe. Høy utetemperatur samtidig vil kunne bli kritisk. For eksempel om et aggregat i omformerne på Hjerkinn eller Otta faller ut, vil avgangen fra Dombås få en strøm som kommer over 600A i lenge tid.

Denne typen overbelastningsvern bør også vurderes opp mot nødvendigheten av å etablere en omformer på Hjerkinn. Hele hensikten med å sette opp en midlertidig omformer på Hjerkinn var å begrense strømmen på kontaktledningen. Simulering 10c der Hjerkinn omformer er utelatt viser at strømmen på kontaktledningen blir 830A på avgangen i nordlig retning fra Dombås. Når 800A er satt til grensen for 6 minutters belastningen kan jo ikke dette sies å være stor overlast, spesielt for en komponent der absolutte grenser for overbelastning er vanskelig å sette. Det ikke eksakte verdier for overbelastningen i teknisk regelverk.

Moderne overbelastningsvern som tar hensyn til utetemperaturen, kan gi en vernfunksjon som tar hensyn til temperaturen som kontaktledningen oppnår på grunn av belastning.

7.5 Oppsummering og forslag til videre arbeid fase 2

Enkleste tiltak for å tilrettelegge for den dimensjonerende ruteplanen på kort sikt kan oppsummeres slik:

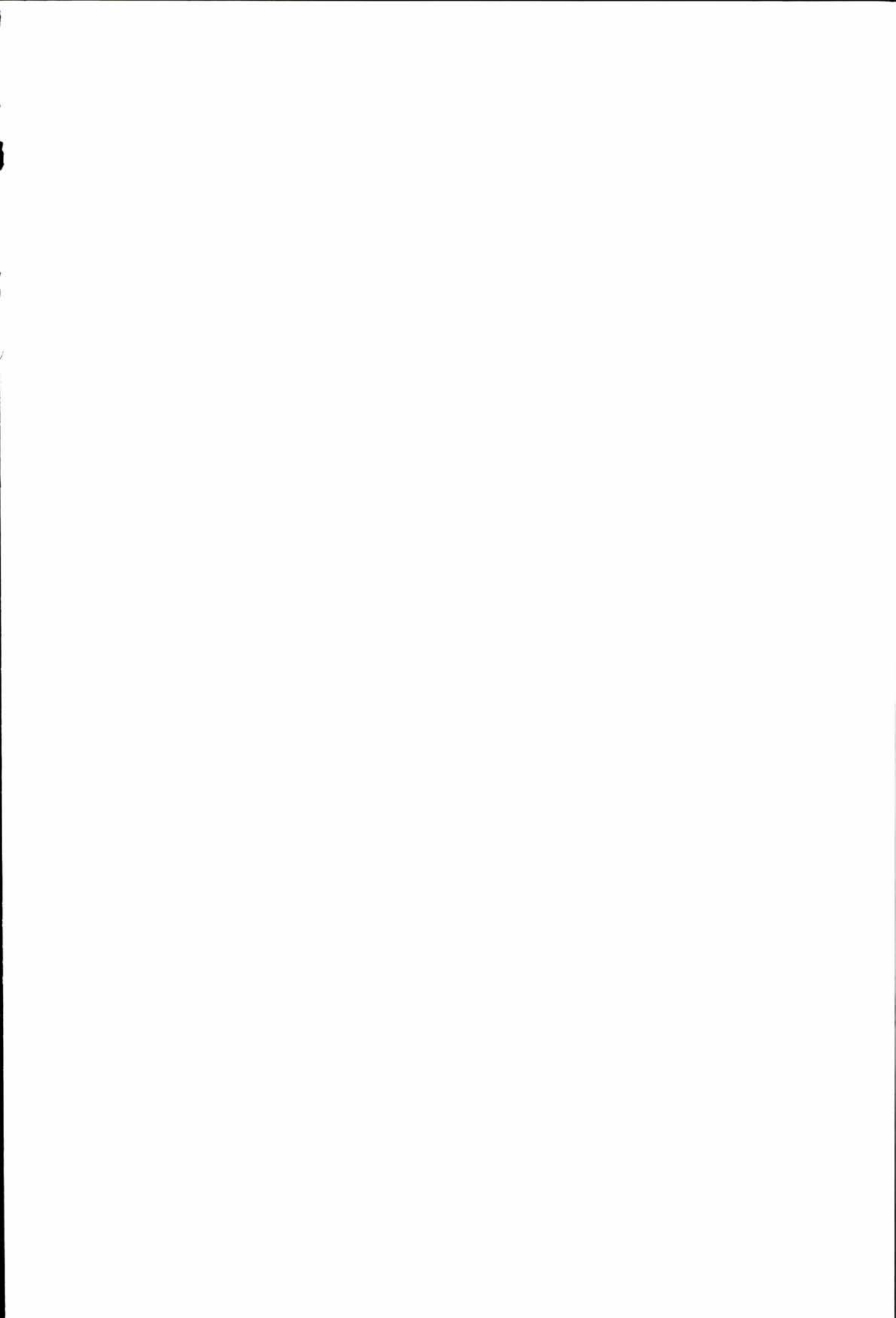
- Innføre pådragsbegrensning for godstog med doble lokomotiver for kjøring på helle Dovrebanen.
- Det kreves større installert effekt i omformerne ved Rudshøgda, Otta og Dombås. Ny omformerstasjon på Hjerkin.
- Nye vern med overbelastningsfunksjon innføres for kontaktledningsavgangene.
- Forsterkningsledning for å øke strømføringsevnen på kontaktledningene ut fra Dombås er en mulighet istedenfor ny omformer på Hjerkin. Hvis en senere skal bygge anlegg med AT-system kan forsterkningsledningen også brukes i et slikt system. Eventuelt overbelastningsvern på dagens linjeavganger kan være et alternativ.

Tiltakene ovenfor er midlertidige, men kan allikevel vise seg å bli kostbare. Flere simuleringer for hovedplanens fase 2 må gi svar på hva som er beste fremtidige KL-anlegg.

En mulighet er at KL-anlegg med autotransformator (AT-system) vil vise seg å gi tekniske og økonomiske fordeler. Med et slikt system overføres effekten med det dobbelte (eller mer) av systemspenningen. I et slikt tilfelle bør en se på om omformerne ved Rudshøgda og Otta kan fjernes. Da vil dette systemet bli mer økonomisk attraktivt.

Finner man det riktig å fornye KL-anlegget med AT-system kan et alternativ være å forsere byggingen av et slikt anlegg på strekningene Tangen - Dombås. Samtidig kan omformerne på Otta og Rudshøgda fjernes.

Nye simuleringer bør også inkludere den ønskede godstrafikken, men med lokomotiver av moderne type som ikke belaster nettet med så mye reaktiv effekt som E116 gjør. En simulering med EURO-lokomotiver for godstogene og dagens nett vil meget sannsynlig vise høyere spenning på kontaktledningen og mindre belastning av omformerne.



BanePartner- en ledende leverandør av banerettet rådgivning og prosjektering

BanePartner er en forretningsenhet i Jernbaneverket. Vi tilbyr rådgivende tjenester fra ingeniører, arkitekter og økonomer både knyttet til banens infrastruktur med banenett og stasjoner/knutepunkt, drift- og vedlikeholdsplanlegging og til rullende materiell og transportplanlegging. Ved større prosjekter inngår vi samarbeidsavtaler med underleverandører etter behov.

Dyktige medarbeidere som "kan bane" gjør BanePartner til en attraktiv og konkurransedyktig samarbeidspartner. Dette gjelder både ved begrensede oppgaver med krav til spesialkompetanse og ved store, tverrfaglige prosjekter. Vi har ca. 150 ansatte (april 2001), hvorav 9 er knyttet til vår avdeling i Trondheim.

BanePartner utfører oppdrag både for Jernbaneverket og andre oppdragsgivere hvorav transportutøvere som NSB BA med datterselskaper og AS Oslo Sporveier, utstyrsleverandører, rådgivende ingeniørfirmaer og entreprenører er de viktigste. For oppdrag i utlandet har vi inngått samarbeid med tilsvarende enheter innen jernbaneinfrastruktur i Norden og dannet RailTeam - Nordic Railway & Transport Consultants.

Vi benytter
settes i fok
9001.

Jernbaneverket
Biblioteket

m for gjennomføring av alle typer oppdrag. Kvalitet
ter eget utarbeidet kvalitetssystem basert på ISO



09TU09980
71594419

BanePartner
Stortorvet 7
Pb. 1162 Sentrum
0107 Oslo

BanePartner
Avdeling Trondheim
Pirsenteret
7462 Trondheim

Telefon:
22 45 61 00
Telefaks:
22 45 61 10

E-post:
banepartner@jbn.no
Web:
www.banepartner.com

Reg.nr.:
NO 982 954 932 MVA
Bankgiro:
7694.05.01977

BanePartner er en
forretningsenhet i
 Jernbaneverket