

Simuleringsrapport – Fase 2

Banestrømforsyningen på Dovrebanen

Jernbaneverket Region Nord



Eks. 1

Domebanen

621.332.3

Prosjektnr.: **199840**
Saksref.: **00/114 JI 760**
Prosjektnavn: **Hovedplan for Banestrømforsyningen på Dovrebanen, fase 2**
Simuleringsrapport
Oppdragsgiver: **Jernbaneverket Region Nord**
Rapport nr.: **1**

Sammendrag

Tidligere hovedplaner fra 1994 og 1996 anbefaler statiske omformere, kompaktomformere og forsterkningsledning på ulike deler av Dovrebanen. "Landsdekkende kraftsystemplan" fra 1999 anbefaler nye undersøkelser på bakgrunn av endrede ruteplaner og nytt traksjonsmateriell. Denne simuleringsrapporten danner grunnlag for ny hovedplan for Dovrebanen på bakgrunn av anbefalingene i "Landsdekkende kraftsystemplan".

I utredningene angående fremtidig trafikk på Dovrebanen er det fra CargoNet (tidligere NSB Gods) uttrykt ønske om å kjøre med store godstog med en lastvekt på 1250 tonn. For disse togene forutsettes det multiple EI16 lokomotiver. Simuleringene i fase 1 for "Hovedplan Banestrømforsyningen på Dovrebanen", ferdig 01.11.01 ble 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 en såkalt kapasitetsoptimal ruteplan utarbeidet av Hovedkontoret ble gjort. For å kunne kjøre med disse godstogene krevdes det omfattende forsterkninger av omformerstasjonene, samt bygging av ny omformerstasjon på Hjørkinn.

På grunn av at forsterkningstiltakene ville bli så omfattende og fordi et nytt system for banestrømforsyningen med autotransformatorer (AT-system) ikke vil gi behov for nye omformerstasjoner, samt at innføring av moderne lokomotiver ville gi andre belastningsforhold, ble det besluttet å utføre en fase 2 for Hovedplanen.

Foreliggende simuleringer for fase 2 av Hovedplan for banestrømforsyningen for Dovrebanen skal vise behovet for forsterkning av banestrømforsyningen på lang sikt. Det er derfor simulert med moderne lokomotiver for godstogene. Både konvensjonelt system (som dagens med utvidelser) og innføring av AT-system er simulert. For simuleringer med AT-system er Rudshøgda og Otta omformere fjernet. Det er også gjort en simulering med doble EI16 lokomotiver med pådragsbegrensning for godstogene og AT-system. Tabellen nedenfor viser de laveste spenningene med konvensjonelt- og AT-system:

Strekning	Simulering 2 med forsterkninger og konvensjonelt system		Simulering 1 med AT-system		Simulering 1b med AT-system og dobbel EI16 med pådragsbegrensning	
	Laveste spenning	Sted fra Oslo	Laveste spenning	Sted fra Oslo	Laveste spenning	Sted fra Oslo
	[kV]	[km]	[kV]	[km]	[kV]	[km]
Fåberg –Fron	12,7	218,0	14,2	218,1	13,2	218,1/212,9
Fron – Otta - Dombås	15,1	313,4	14,3	298,0	12,9	297,8
Dombås – Oppdal	11,5	379,4	14,1	382,4	13,0	382,1
Oppdal - Lundamo	11,7	482,1	14,4	485,2	13,2	491,0

Simuleringene viser at moderne lokomotiver vil belaste banestrømforsyningen betydelig mindre enn doble EI16 lokomotiver med pådragsbegrensning. Men det skal understrekes at laveste spenning med moderne lokomotiver er meget kortvarig. Dessuten viser simuleringene at spenningen i et AT-system blir betydelig stivere enn i et konvensjonelt system. Den eneste måten et konvensjonelt system kan oppnå tilsvarende stiv spenning på er ved å sette inn nye omformere på Rudshøgda, Otta, Hjørkinn og Garli. Disse omformerne gjør at det blir ca 40km mellom hver omformerstasjon. De nye omformerstasjonene kan ha et aggregat på 5,8 eller 7,0MVA (forutsatt moderne lokomotiver, som EG3100).

Simuleringen med doble E116 lokomotiver med pådragsbegrensning og AT-system er også meget interessant fordi den viser så gode spenningsforhold. Simuleringen viser at utbygging av AT-system kan tillate drift både med doble E116 og moderne lokomotiver (EG3100). Det finnes svært mange Rc lokomotiver i Sverige (tilsvarende de norske E116) og om det er aktuelt å kjøre disse og doble E116 i flere år fremover kan et AT-system være en god løsning. Selv om spenningen kommer under 13,5kV noen få ganger med doble E116, må dette kunne tillates siden dette vil være i en overgangsperiode.

Tabellen nedenfor viser nødvendig installert ytelse i omformerstasjonene med konvensjonelt system for banestrømforsyningen og med AT-system. Også installert ytelse med doble E116 lokomotiver med pådragsbegrensning og AT-system er vist. Som en ser må spesielt omformerytelsen med doble E116 lokomotiver være stor.

Omformerstasjon	Med konvensjonelt system	Med AT- eller ATBT-system	Med AT- eller ATBT-system og doble EL16 med pådragsbegrensning
	[MVA]	[MVA]	[MVA]
Fåberg	2 x 5,8	2 x 5,8	2 x 7,0
Fron	2 x 5,8	2 x 5,8	2 x 10,0
Otta	1 x 5,8	-	-
Dombås	2 x 7,0	2 x 7,0	2 x 10,0
Oppdal	2 x 7,0	2 x 7,0	2 x 10,0
Lundamo	2 x 7,0	2 x 7,0	2 x 10,0
Stavne	2 x 7,5	2 x 7,5	2 x 7,5

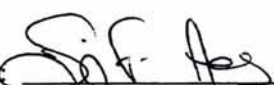
Behovet for store omformere med doble E116 (eller Rc) lokomotiver vil bli vanskelig å tilfredsstille, men så omfattende vil behovet bli for å oppfylle redundanskriteriet. Dette sier at om et aggregat faller ut, skal det gjenværende ikke overbelastes og spenningen på kontaktledningen skal heller ikke komme under 12,0kV.

Hvis en funksjon som forhindrer overbelastning settes inn sammen med spenningsregulatoren, kan mindre aggregater installeres. Om et aggregat i en stasjon faller ut kan denne funksjonen forhindre at belastningen av det gjenværende gir skadelig oppvarming. Tabellen nedenfor viser antatt nødvendig omformerytelse om dette skal tilfredsstilles. For et konvensjonelt system for banestrømforsyningen er det ikke så sannsynlig at en slik funksjon kan gi noen endring av behovet for installert ytelse.


Omformerstasjon	Med AT- eller ATBT- system	Med AT- eller ATBT- system og doble EL16 med pådragsbegrensning
	[MVA]	[MVA]
Fåberg	2 x 5,8	2 x 5,8
Fron	2 x 5,8	2 x 5,8
Otta	-	-
Dombås	2 x 5,8	2 x 7,0
Oppdal	2 x 5,8	2 x 7,0
Lundamo	2 x 7,0	2 x 7,0
Stavne	2 x 7,5	2 x 7,5

Forsidefoto: Hans Martin Lie, Dombås; Sørgående godstog trukket av EL 16.2213 og EL 16.2212 sør for gamle Vålåsjo stasjon den 27.06.1998.

For BanePartner
Prosjektansvarlig (PA): Siri Fredriksen Aas

Signatur: 

Prosjektleder (PL): Anna Sofie Mørland

Signatur: 

Rapport utarbeidet av: Frank Martinsen

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
2.4	Belastning for filterimpedanser.....	7
2.5	Belastning av sugetransformatorer	7
2.6	Belastning av autotransformatorer.....	8
3	INNDATA FOR SIMULERINGENE.....	9
3.1	Avgrensning av simuleringsområde	9
3.2	Omformerstasjoner	9
3.3	Spenningsregulering	10
3.4	Matende trefasenett.....	10
3.5	Kontaktledningssystem	11
3.6	AT og ATBT-system	11
3.7	Lok og vognmateriell.....	13
3.8	Banedata	14
3.9	Gradienter og kurver (vertikal og horisontalkurvatur)	14
3.10	Ruteplan.....	14
3.11	Hastighetsprofil	15
4	SIMULERINGSRESULTATER	16
4.1	Simulering 0a med nåværende strømforsyning og togtrafikk om natten ordinær ruteplan R149.1.....	16
4.1.1	Spenningen på kontaktledningen for tog Fåberg - Fron Spenningen på kontaktledningen for tog Fåberg – Fron	16
4.1.2	Spenningen på kontaktledningen for tog Fron – Otta - Dombås	17
4.1.3	Spenningen på kontaktledningen for tog Dombås – Oppdal	18
4.1.4	Spenningen på kontaktledningen for tog Oppdal - Lundamo	20
4.1.5	Belastning av omformere	21
4.1.6	Belastning av kontaktledning sugetransformatorer og filterimpedanser.....	23
4.2	Simulering 0 med nåværende strømforsyning og kapasitetsoptimal ruteplan	25

4.2.1	Spenningen på kontaktledningen for tog Fåberg – Fron	25
4.2.2	Spenningen på kontaktledningen for tog Fron – Otta - Dombås	26
4.2.3	Spenningen på kontaktledningen for tog Dombås - Oppdal	27
4.2.4	Spenningen på kontaktledningen for tog Oppdal - Lundamo	28
4.2.5	Belastning av omformere	30
4.2.6	Belastningen av kontaktledningsnettet, sugetransformatorer og filterimpedanser	33
4.3	Simulering 0b med nåværende banestrømforsyning og kapasitetsoptimal ruteplan lokomotiver med redusert effektopptak ved lave spenninger	35
4.3.1	Spenningen på kontaktledningen for tog Dombås – Oppdal	35
4.3.2	Spenningen på kontaktledningen for tog Oppdal - Lundamo	36
4.4	Simulering 2 med forsterket konvensjonell banestrømforsyning og kapasitetsoptimal ruteplan	38
4.4.1	Spenningen på kontaktledningen for tog Fåberg - Fron	38
4.4.2	Spenningen på kontaktledningen for tog Fron – Otta – Dombås	39
4.4.3	Spenningen på kontaktledningen for tog Dombås - Oppdal	40
4.4.4	Spenningen på kontaktledningen for tog Oppdal - Lundamo	41
4.4.5	Belastning av omformere	42
4.4.6	Belastningen av kontaktledningsnettet, sugetransformatorer og filterspoler	45
4.5	Simulering 1 med AT-system og kapasitetsoptimal ruteplan	48
4.5.1	Spenningen på kontaktledningen for tog Fåberg - Fron	48
4.5.2	Spenningen på kontaktledningen for tog Fron - Dombås	49
4.5.3	Spenningen på kontaktledningen for tog Dombås – Oppdal	50
4.5.4	Spenningen på kontaktledningen for tog Oppdal - Lundamo	51
4.5.5	Belastning av omformere	52
4.5.6	Belastning av autotransformatorer	55
4.5.7	Belastning av avgangene til kontaktledningsanlegget og negativleder	59
4.5.8	Tomgangsstrømmer i kontaktledningen	61
4.6	Simulering 1b med doble EI16 lokomotiver med pådragsbegrensning og AT-system	64
4.6.1	Spenningen på kontaktledningen for tog Fåberg - Fron	64
4.6.2	Spenningen på kontaktledningen for tog Fron - Dombås	65
4.6.3	Spenningen på kontaktledningen for tog Dombås - Oppdal	66
4.6.4	Spenningen på kontaktledningen for tog Oppdal – Lundamo	67
4.6.5	Belastning av omformere	68
4.6.6	Belastning av autotransformatorer	70
4.6.7	Belastning av avganger til kontaktledningsanlegget	72
4.7	Simulering 3 med ATBT-system	74
4.7.1	Spenningen på kontaktledningen for tog Dombås - Oppdal	74
4.7.2	Spenningen på kontaktledningen for tog Oppdal – Lundamo	75
4.7.3	Belastning av omformere	76
4.7.4	Belastning av autotransformatorer	76
5	OPPSUMMERING	78
5.1	Spenningen på kontaktledningen	78
5.2	Belastning av omformere	78
5.3	Belastning av autotransformatorer	80
5.4	Belastningen av kontaktledningen	80
6	DISKUSJON OVER FORHOLD VEDRØRENDE MODELLER OG SIMULERING	81

6.1.1	Togvarme.....	81
6.1.2	Tunneler og horisontalkurvatur	81
6.1.3	Kjøremønster for lokomotivfører og 2 sekunders strøm.....	81
6.1.4	Lastfordeling med AT-system	81
6.1.5	Dimensjonerende ruteplan	82
6.1.6	Reduksjon av energitap med AT-system.....	83
6.1.7	Optimal oppheng av lederne i et AT-system	83
6.1.8	Avstanden mellom autotransformatorene i et AT-system.....	84
6.1.9	Kriterier for å planlegge fremtidig banestrømforsyning med hensyn på spenningen	84
6.1.10	Redundanskriteriet for omformere og betydningen for driften.....	86
6.1.11	Valg av størrelse for autotransformatorene.....	87
6.1.12	Valg av AT- eller ATBT-system	88
6.1.13	Avviksituasjon	88
7	KONKLUSJON.....	89
7.1	Moderne lokomotiver for godstog gir mindre effektopptak	89
7.2	En funksjon som forhindrer overbelastning av omformere kan gi bedre utnyttelse av aggregatene	89
7.3	Anbefalt størrelse for omformeraggregater	90
7.4	AT-system anbefales som fremtidens banestrømforsyning.....	91
8	REFERANSEDOKUMENTER	93
9	VEDLEGG	94

1 INNLEDNING

Simulering av banestrømforsyningen på Dovrebanen fase 2 utføres på oppdrag av Jernbaneverket Region Nord. Region Øst er ikke med i denne fasen. Bakgrunnen for prosjektets fase 2 er å bestemme hvilke forsterkninger og hvilken type system for banestrømforsyning som det vil være best å satse på i fremtiden.

I henhold til regelverket (JD 546) skal ruteplaner som benyttes ved dimensjonering av banestrømforsyningen godkjennes av Hovedkontoret. For dette prosjektet er det godkjent en ruteplan tilsvarende dagens togtrafikk, ruteplan R 149.1 gjeldende for 11.juni 2000. Det er tatt utgangspunkt i togtrafikken den 21.juni 2000 og de togene som gikk denne alminnelige ukedagen. Videre er det godkjent en såkalt kapasitetsoptimal ruteplan. Denne er benyttet for de fleste simuleringene i denne Hovedplanens fase 2 fordi den gir flere tog som trafikkerer strekningen samtidig og flere krysninger.

Simuleringene som er beskrevet i denne rapporten skal danne grunnlaget for fase 2 i Hovedplanen for Dovrebanen. Det er flere grunner til at en ny hovedplan utarbeides:

- Finne ut hvordan moderne type lokomotiver for godstog med 50% større lastvekt vil belaste banestrømforsyningen.
- Sammenligne et system med konvensjonell banestrømforsyning og såkalt AT-system.
- Bestemme hva som skal gjøres med de midlertidige omformerne på Otta og Rudshøgda.
- Kartlegge tiltak som må gjøres for å tillate godstransport med 50% tyngre godstog og doble E116 lokomotiver på kort og mellomlang sikt.

I forrige hovedplan fra 1993 ble det foreslått tiltak for banestrømforsyningen i Garli området. Det ble foreslått kompaktomformer eller forsterkningsledning. Simuleringene som ble gjort i denne Hovedplanens fase 1 inkluderer disse tiltakene.

Tiltakene med kompaktomformer eller forsterkningsleder var ikke tilstrekkelig. Med doble E116 lokomotiver og 50% større lastvekt viste det seg at meget store forsterkninger måtte gjøres. Dette inkluderer nye omformerstasjoner og forsterkninger av de eksisterende. For å planlegge tiltak på kort og mellomlang sikt vil det derfor være mest samfunnsøkonomisk riktig å planlegge disse tiltakene med hensyn på hvordan banestrømforsyningen helst bør være i fremtiden.

De tiltakene som peker seg ut er bygging av nye omformerstasjoner eller utbygging av AT-system. Bygging av AT-system er meget kostbart og kan bare gjøres samtidig med at kl-anlegget på Dovrebanen skiftes ut. Simuleringene som er beskrevet i denne rapporten ser spesielt på disse to tiltakene.

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 og CargoNet.

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 etc.), 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 må ikke matestasjoner, kontaktledning, sugetransformatorer, filterimpedanser, etc. overbelastes.

2.1 Krav til spenning

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

Spenningen på strømtager må ikke underskride en gitt verdi. Nedre grense er i henhold til IEC publikasjon nr. 60850, satt til 12,0kV, men spenninger ned til 11,0kV kan tillates kortvarig, men ikke lenger enn 10 minutter.

Jernbaneanleggets nedre grense er satt til 13,5kV ved prosjektering av nye anlegg for forsterkning av banestrømforsyningen. Dette 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. Men for denne regelen er det ikke spesifisert noe om å tillate spenningen å komme lavere for en kortere tid.

Fra CENELEC foreligger det et forslag til en ny norm vedrørende spenning for togene, denne er kalt: "Railway applications – Supply voltages of traction systems". Denne normen er ikke vedtatt enda, og går under betegnelsen DRAFT prEN50163 og vil erstatte tidligere norm fra 1995. Frist for innsigelser fra medlemslandene for denne normen er 2002-06-21, slik at endringer kan komme. Følgende forslaget gjelder for spenningen for togene:

I anlegg for 15,0kV er laveste permanente spenning 12,0kV ($U_{\min1}$) mens laveste ikke-permanente spenning er 11,0kV ($U_{\min2}$). Under normal drift må spenningen ikke underskride $U_{\min1}$ mens den kan komme ned mellom $U_{\min2}$ og $U_{\min1}$ ved unormal drift, men ikke lenger enn 2 minutter. Dette skal ikke forårsake noen skader eller feil.

Normal drift defineres som at trafikken går etter ruteplanen og togtrafikken er slik at faste installasjoner er dimensjonert for å gi tilstrekkelig effekt. Unormal drift vil si alle andre forhold en disse, som for eksempel uvanlig trafikkbelastning, eller endringer i de faste installasjoner.

Denne normen vil altså kreve at planleggingen av banestrømforsyningen ved simuleringer gjøres slik at spenningen ikke skal underskride 12,0kV.

Et annet krav som har sammenheng med matestasjonene gjelder:

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

Dette er et krav som gjelder for Jernbaneanlegget. Men selv om dette kravet er innført vil IEC og CENELEC's krav gjelde. Konsekvensen ved spenninger under 11,0kV er at lokomotivenes under spenningsvern griper inn og legger ut effektbryteren i lokomotivet.

2.2 Belastning av omformere

Tabell 2-1 nedenfor viser den tillatte belastningsgraden for roterende omformeraggregater. Av hensyn til redundans i strømforsyningen og nødvendig ytelse er det i de fleste omformerstasjoner installert to eller flere aggregater.

Tabell 2-1 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 er som følger:

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

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

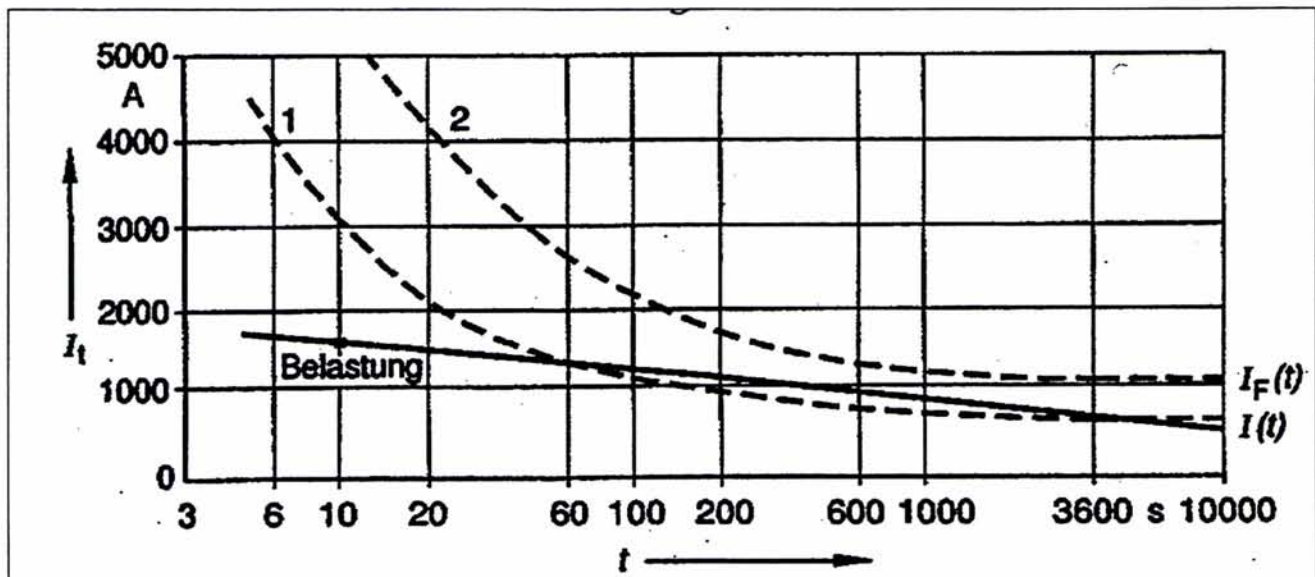
Maksimal verdiene er beregnet i ORIGIN ved at belastningen (i MVA eller kA) er integrert over den aktuelle tidsperioden, integralet får enheten MVAs eller kAs. Dette divideres deretter med aktuelle tidsperiode (1 time, 6 minutter eller 2 sekunder). Verdien en da får vil være ekvivalent med en kontinuerlig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

2.3 Kontaktledningens strømføringsevne

Kontaktledningen for hele strekningen på Dovrebanen er av typen Cu 100mm² kontaktråd og 50mm² bæreline. Figur 2-1, kurve 1 nedenfor viser denne type kontaktlednings strømføringsevne. Det er forutsatt følgende; at kontaktråden 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. Men en skal her være oppmerksom på at kurven gjelder ved 10% slitasje og at slitasjen på kontaktledningen på Dovrebanen kan være større.

Også ved bygging av nytt kontaktledningsanlegg vil denne typen materiell benyttes.



Figur 2-1 Kontaktledningens strømføringssevne, tid i sekunder

2.4 Belastning for filterimpedanser

Filterimpedansene på Dovrebanen er dimensjonert for 380A, de nyeste som er skiftet ut de siste årene er på 600A. Det har ikke lyktes å finne overbelastbarheten for enhetene på 380A, men i teknisk regelverk er strømbelastning for filterimpedanser på 600A oppgitt. Overbelastbarheten for filterimpedanser på 380A er estimert ved å se på den prosentvise tillatte overbelastningen av den på 600A. Dette er vist i tabell 2-2 nedenfor.

Tabell 2-2 Overbelastbarhet for filterimpedanser. Kalkulert tall i kursiv

Nominell Størrelse [A]	Belastning i 1 sek [A]	Belastning i 5 sek [A]	Belastning i 1 min [A]	Belastning i 5 min [A]	Belastning i 30 min [A]	Belastning i 2 timer [A]
600	20000	11800	3500	1600	950	800
380	-	7500	2200	1000	950	500

2.5 Belastning av sugetransformatorer

Sugetransformatorene på Dovrebanen er dimensjonert for nominell strøm på 250A, 380A og 600A.

Teknisk spesifisering for sugetransformatorer på 250A fra 1956, angir kravene for overbelastning for disse, se tabell 2-3. Videre angir teknisk spesifisering for sugetransformatorer fra 1998, overbelastbarheten for sugetransformatorer på 600A. For sugetransformator på 380A er overbelastbarheten beregnet ut fra prosentvis overbelastbarhet for enhetene på 250A og 600A. Der disse prosenttallene er forskjellige, er det minste tallet valgt.

Tabell 2-3 Overbelastbarhet og metningsgrense for sugetransformatorer. Kalkulert tall i kursiv

Nominell Størrelse [A]	Belastning i 1 sek [A]	Belastning i 5 sek [A]	Belastning i 1 min [A]	Belastning i 5 min [A]	Belastning i 30 min [A]	Belastning i 2 timer [A]	Metningsgrense
250	-	5000	1750	750	400	330	1500
380	-	7500	2200	1000	600	500	2200
600	20000	11800	3500	1600	950	800	3500

For treviklingssugetransformatorer som er aktuelle i et ATBT-system er nominelle strøm for disse ikke klargjort på nåværende tidspunkt. Det er ting som tyder på at disse kan være noe mindre enn dagens sugetransformatorer for konvensjonelt system med returleder. Anslagsvis kan enheter på 500A nominell ytelse være passende. Overbelastbarheten må forutsettes å være stor, både for tørrisolerte og oljefylte.

Når det gjelder metningsfenomener i sugetransformatorer og filterimpedanser, som er beskrevet i vedlegg 1, er ikke dette undersøkt spesielt. Det anbefales eventuelt at dette undersøkes enten ved beregninger eller målinger, eventuelt begge deler. Når det gjelder andre problemer som eventuelt kan oppstå i den øvrige installasjonen rundt sugetransformatorer og filterimpedanser er ikke dette kommentert her. Dette bør vurderes av eksperter på de respektive fagområder.

2.6 Belastning av autotransformatorer

Belastbarheten for autotransformatorene er gitt som generelle verdier for denne typen komponenter. Egne termiske beregninger for de størrelsene som er aktuelle er ikke utført fra fabrikanten. Verdiene nedenfor viser veiledende tall. Strømmen er referert 30,0kV spenningsnivå, dette er det samme som faktisk strømme i vikingene.

Tabell 2-4 Preliminære verdier for overbelastbarhet av autotransformatorer

AT-størrelse	Nominell strøm	2 sek	30 sek	90 sek	60 min
6MVA	200	6000	1500	500	260
3MVA	100	6000	1500	250	130

3 INNDATA FOR SIMULERINGENE

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

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. For Hovedplanens fase 2 er det kun Jernbaneverket Region Nord som er oppdragsgiver, derfor er bare resultater fra simuleringene som gjelder strekningen fra Fåberg og nordover presentert.

3.2 Omformerstasjoner

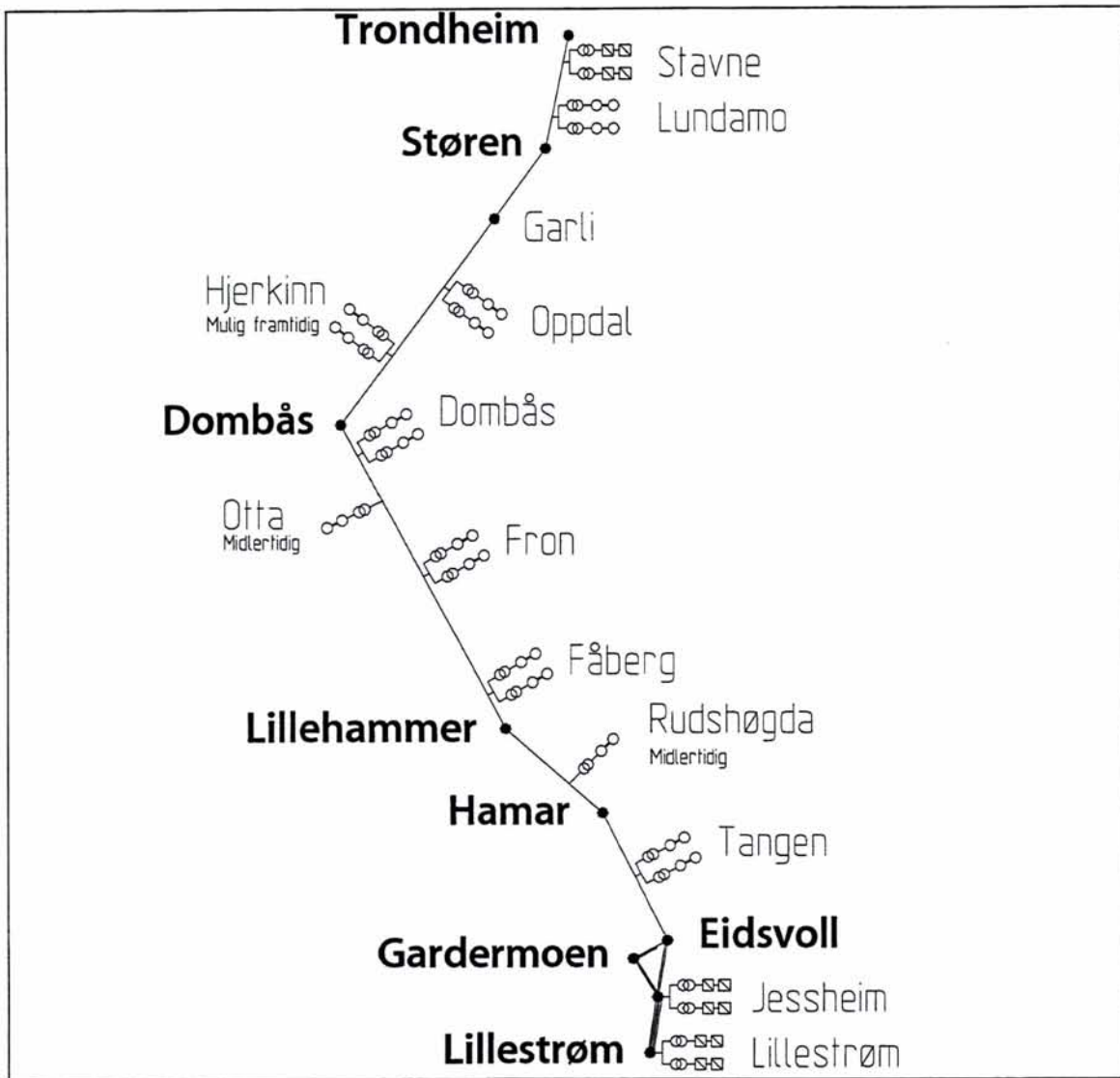
Omformerstasjoner er modellert med følgende aggregater for simuleringene uten forsterkningstiltak, se tabell 3-1. Videre viser figur 3-1 geografisk plassering av omformerstasjonene.

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	16,0	11,6	1250
Fron	258,70	Roterende	2 x 5,8	16,0	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	16,0	11,6	1250
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.

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



Figur 3-1 Plassering av dagens og eventuelle nye omformerstasjoner som er beskrevet i denne simuleringsrapporten.

3.3 Spenningsregulering

De statiske omformerne på Lillestrøm, Jessheim, Garli og Stavne er i simuleringen innstilt til å gi ut 16,5kV uavhengig av belastning. Roterende 3,1MVA aggregater på Rudshøgda og Otta er innstilt til å gi en fallende spenningskarakteristikk, med tomgangsspenning 16,2kV og 15,6kV ved full belastning. Resterende aggregater er innstilt til tomgangsspenning 16,5kV fallende til 16,3kV ved full belastning. I simulering der Otta og Rudshøgda får øket ytelsen til 5,8MVA endres spenningskarakteristikken slik at den blir lik for alle de roterende aggregatene fra 16,5kV fallende til 16,3kV.

3.4 Matende trefasenett

Hver omformerstasjon er forsynt fra det regionale/lokale forsyningsnettet der normal tilførselsspenning er i området 11 – 66 kV, 50 Hz. De enkelte forsyningsnett er i sin tur forsynt fra og knyttet sammen via det overliggende sentralnettet på 300kV og 400kV spenningsnivå. Dette fører til at forsyningsspenningene til alle omformerstasjoner er synkron 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 elverk.

3.5 Kontaktledningssystem

Kontaktledningssystemet for simuleringene med konvensjonelt system 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

For kl-anlegg med returleder er impedansen ca 0,2+j0,19 Ω /km.

3.6 AT og ATBT-system

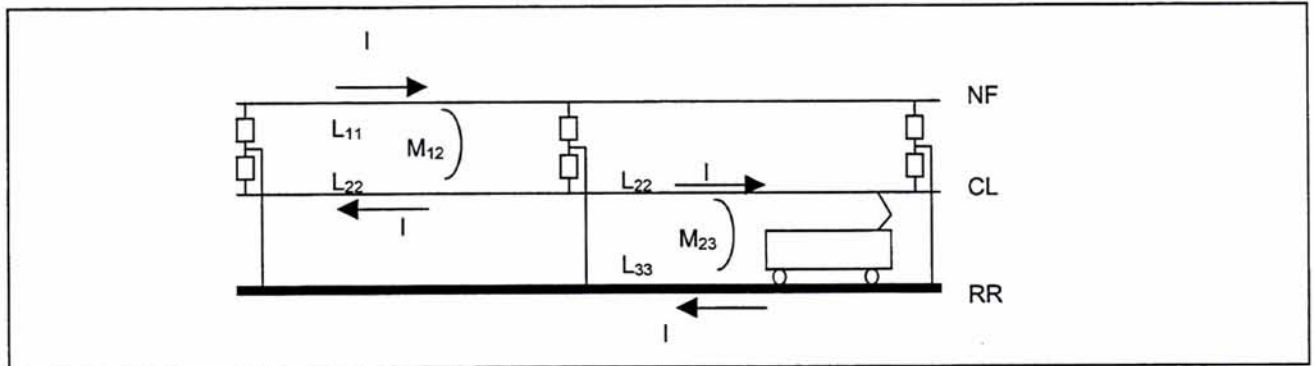
Når det gjelder simuleringer for AT-system er impedansen beregnet i et spesielt program for formålet, dette er utført av Balfour Beatty. Til grunn for beregningene ligger en tenkt konfigurasjon for opphenget av KL og negativleder, se vedlegg 1. Andre konfigurasjoner av lederne er mulig, for eksempel kan negativlederen plasseres mellom isolatorene til utliggeren. Dette vil gi mindre impedans, men sannsynligvis noe vanskeligere forhold for monteringen og vedlikehold.

Det er vanlig å utføre beregninger for å optimalisere opphenget av lederne, dermed kan en redusere impedansen mest mulig. De innbyrdes avstander vil imidlertid ikke endre impedansen så mye at det er sannsynlig at det vil få konsekvenser for spenninger og effektflyt i simuleringene.

Beregningene gir følgende impedans i AT-seksjonen der det ikke går tog; for kontaktledningen (CL) $Z_{CL} = 0,14 + j0,09 \Omega$ og for negativlederen (NF) $Z_{NF} = 0,12 + j0,13\Omega$. Denne impedansen er sammensatt av egen- og gjensidig induktans, se figur 3-2, der disse er betegnet L11, L22 og M12. Induktansen for negativlederen blir da $L_{NF} = L11 + M12$ og for kontaktledningen $L_{CL} = L22 + M12$.

I den seksjonen der toget går er impedansen beregnet til å bli; for kontaktledningen (CL) $Z_{CL} = 0,14 + j0,10 \Omega/\text{km}$ og for skinnene (RR) $Z_{RR} = 0,07 + j0,07\Omega/\text{km}$. I seksjonen uten tog er impedansen beregnet til; for kontaktledningen (CL) $Z_{CL} = 0,14 + j0,09 \Omega/\text{km}$ og for negativleder $Z_{NF} = 0,12 + j0,13\Omega/\text{km}$. Altså er det forskjellig impedans som gjelder for kontaktledningen alt etter om toget er i den aktuelle seksjonen eller ikke. Dette har igjen sin årsak i at kontaktlederen får gjensidig induktans fra negativlederen (NF) i seksjonen uten tog og gjensidig induktans fra skinnen i den seksjonen toget befinner seg.

I modellen i SIMPOW skal impedansen i ledere være ekvivalent som egenimpedanser, det er altså ikke mulig å inkludere gjensidig induktans for nærliggende ledere. Løsningen på dette problemet er valgt til å la reaktansen for kontaktledningen være som for seksjon uten tog. Det er jo tross alt i seksjonen uten tog at det meste av effekten overføres. Så settes den ekstra delen av reaktansen i kontaktledningen (dette blir ikke mer enn $j0,01\Omega/\text{km}$) som oppstår i seksjonen der toget er, ned i skinnen. Spenningsfallet blir jo det samme om reaktansen er i skinnen (returleder) eller i kontaktledningen (til-leder). På denne måten fås riktig induktans både for den seksjonen som toget befinner seg i og de andre.



Figur 3-2 Gjensidig- og selvinduktans i et AT-system. Innmatning fra en side (venstre)

Impedansene som er brukt i modellen i SIMPOW er som følger:

$$Z_{CL} = 0,14 + j0,09 \Omega/\text{km}$$

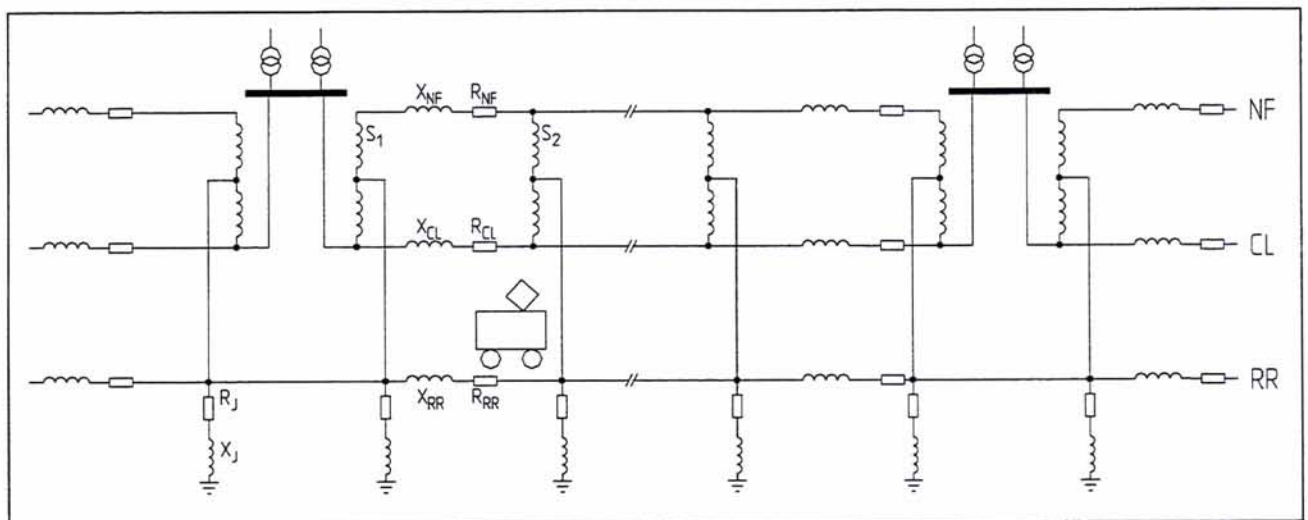
$$Z_{NF} = 0,12 + j0,13 \Omega/\text{km}$$

$$Z_{RR} = 0,07 + j0,08 \Omega/\text{km}$$

Når det gjelder ATBT-system er ikke modeller for sugetransformatorer (BT) inkludert.

Figur 3-3 viser ekvivalentskjemaet for kl-anlegget med AT-system slik som det er modellert i SIMPOW. Autotransformatorene (S_1 og S_2) er modellert som ideelle transformatorer uten metning eller magnetiseringstap. Impedansen mellom skinne og jord R_j og X_j er satt til meget høye verdier, unntatt de impedansen nærmest transformatorene for utmatning som er satt til meget små verdier. I virkeligheten vil impedansen mott jord ha en verdi som gir en hvis avledning mott jord. Denne returstrømmen i jord er altså ignorert i modellen av banestrømforsyningen, fordi disse strømmene er små og spiller liten eller ingen rolle for lastflyt og spenningsfall på kontaktledningen.

Mellom hver autotransformatorer er det ca. 10,0km og hver enhet er valgt til 3,0MVA. Erfaring fra Banverket i Sverige tilsier at dette er en passende avstand, og det er antatt å være passende også for norske forhold. Autotransformatorene for utmatning, ved omformerstasjonene er valg til 6,0MVA. Simuleringene vil vise om dette er riktig valg av størrelser. Om avstanden mellom hver autotransformator senere skulle vise seg å kunne økes eller minkes, vil ytelsen for enhetene kunne bli henholdsvis større eller mindre. Men det er nok helst om avstanden kan endres med flere kilometer at dette får betydning.



Figur 3-3 Ekvivalentskjema for AT-systemet slik som det er modellert i SIMPOW

– **Fjerntog**

Fjerntog mellom Oslo og Trondheim trekkes av E118 lokomotiver med 7 eller 8 vogner av type B7, maksimalt effektuttak 7,22MW. Det er også motorvogner av type 73 enkle sett (Signatur), maksimalt effektuttak 3,9MW. Nattoget trekkes av E118 lokomotiver med maksimalt effektuttak 7,1MW.

3.8 Banedata

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

3.9 Gradienter og kurver (vertikal og horisontalkurvatur)

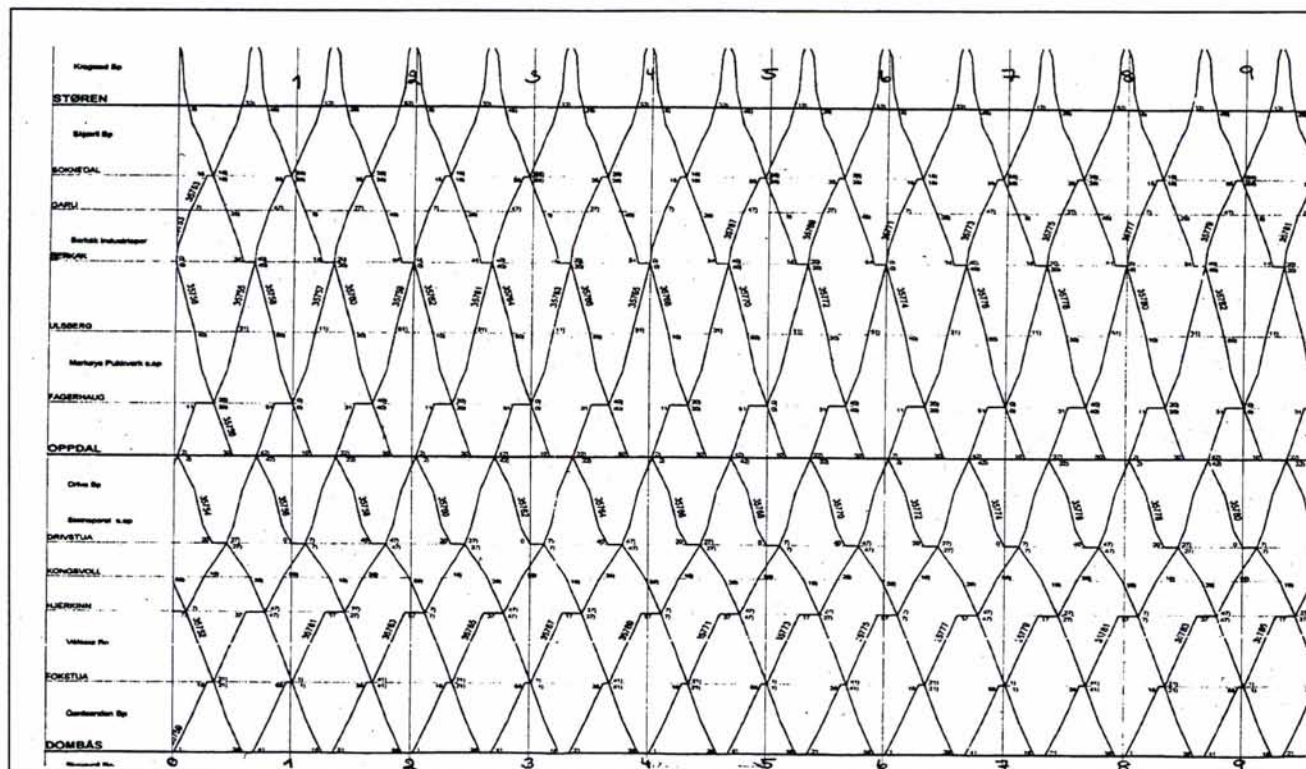
Disse data er hentet fra banedatabanken. Data for horisontale kurver er ikke benyttet i studien siden disse vil øke mengden av inndata uforholdsmessig mye uten å gi noen særlig innvirkning på resultatet.

3.10 Ruteplan

Ruteplan R149.1 gjeldende fra 11. juni 2000 er benyttet. Ruter for en alminnelig hverdag er benyttet fordi dette gir tette trafikk. For de fleste simuleringer er kapasitetsoptimal ruteplan benyttet. Dette er en ruteplan der maksimalt antall godstog trafikkerer Dovrebanen. Denne ruteplanen er laget slik at samme antall tog går i hver retning og det er 40 minutter mellom hvert tog, se figur 3-5. I denne ruteplanen vil det oppstå krysninger på mange flere stasjoner enn hva ruteplan R149.1 legger opp til.

Det er av praktiske årsaker vanskelig å lage et vedlegg for hele denne ruteplanen, men figuren viser i alle fall prinsippet. Stasjonene der togene krysser er: Minnesund, Espa, Ottestad, Hamar, Jessnes, Moelv, Bergseng, Fåberg, Tretten, Fåvang, Hundorp, Kvam, Otta, Brennhaug, Dombås, Fokstua, Hjerkin, Drivstua, Oppdal, Fagerhaug, Berkåk, Soknedal, Hovin, Søberg og Heimdal. Krysningene skjer ved at det ene toget venter på det andre som kjører forbi. Ved Hamar og Dombås gjør alle togene en stopp.

I den kapasitetsoptimale ruteplanen gjør togene betydelig mange flere stopp enn i den ordinære, der mange de fleste godstog bare får noen meget få stopp. Det er sannsynlig at det er krysningene som kommer til å gi de laveste spenningene i simuleringen. (Stedene med lav spenning er oppgitt og dette kan sammenlignes med stasjonslisten ovenfor og deres kilometeravstand fra Oslo).



Figur 3-5 Utsnitt av grafisk ruteplan for kapasitetsoptimal ruteplan

3.11 Hastighetsprofil

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

- Godstogene holder normalhastighet, men har 90km/t som maksimal hastighet.
- Lokaltog (type 72) holder pluss-hastighet, men har 130km/t som maksimal hastighet på Gardermobanen.
- Regionaltog og persontog med El18 holder pluss-hastighet, men har 160km/t som maksimal hastighet på Gardermobanen.
- Nattoget holder normalhastighet begrenset oppad til maks 100 km/t, men har 130km/t som maksimal hastighet på Gardermobanen.
- Flytoget holder maksimalt tillatt hastighet 200km/t på Gardermobanen
- Motorvogner av type 73 (Signatur) holder krengetoghastighet (maksimalt 130 km/t), men på Gardermobanen holder toget maksimal skiltet hastighet. Det er simulert med krengetoghastighet som var planlagt innført fra 2001.12.31, men som nå er utsatt til akslingene på Signaturtogene er skiftet.

4 SIMULERINGSRESULTATER

4.1 Simulering 0a med nåværende strømforsyning og togtrafikk om natten ordinær ruteplan R149.1

Simulering 0a omfatter togtrafikken med ruteplan R149.1 mellom klokken 21:00 og 06:30. Nedenfor er resultater for persontog, godstog og omformerstasjoner presentert. Ingen forsterkningstiltak er innført og dagens aggregater i omformerstasjonene er benyttet. Sammenligninger med simuleringer i fase 1 av Hovedplanen kan gjøres.

Simuleringen gjelder for eksisterende anlegg og IEC's og CENELEC's krav til laveste spenning for kontaktledningsanlegget er 12,0kV. Det vil bli påpekt når spenningen kommer under 12,0kV. For alle godstog er moderne lokomotiver, type EG3100 brukt.

4.1.1 Spenningen på kontaktledningen for tog Fåberg - Fron

I tabell 4-1 er laveste spenning for nattogene mellom Fåberg - Fron vist, spenningene ser ut til å være innenfor akseptable grenser. For godstogene er laveste spenning vist i tabell 4-2, heller ikke for godstogene oppstår det spenninger lavere enn det som kan aksepteres.

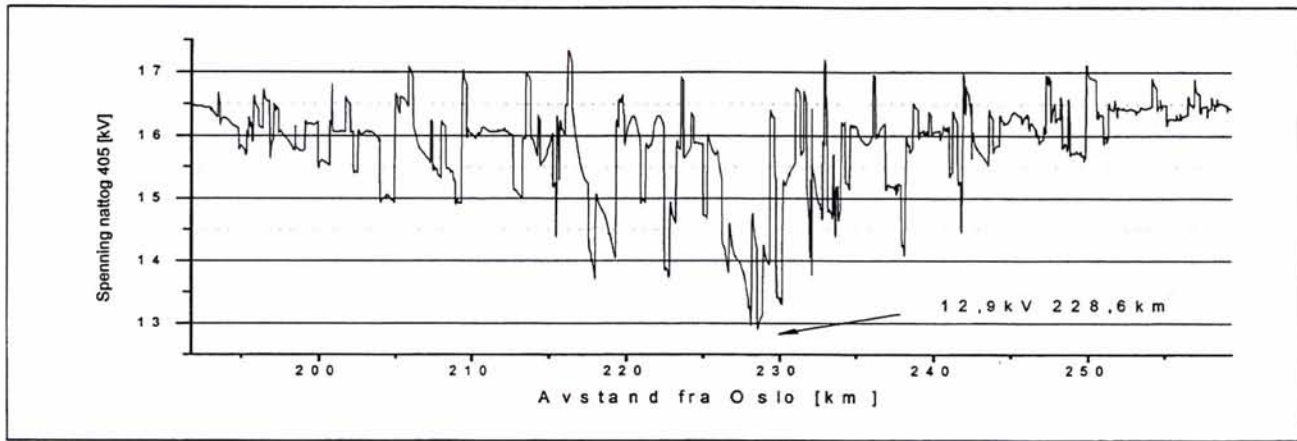
Tabell 4-1 Laveste spenning for passasjertog Fåberg – Fron. Ingen forsterkningstiltak. Moderne lokomotiver for godstogene og ordinær ruteplan

Tog nr.	Nattsimulering 0a - Ruteplan R149.1		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [time : minutt]
405	12,9	228,6	02:20
406	15,2	223,2	03:49

Tabell 4-2 Laveste spenning for godstog Fåberg – Fron. Ingen forsterkningstiltak. Moderne lokomotiver for godstogene og ordinær ruteplan

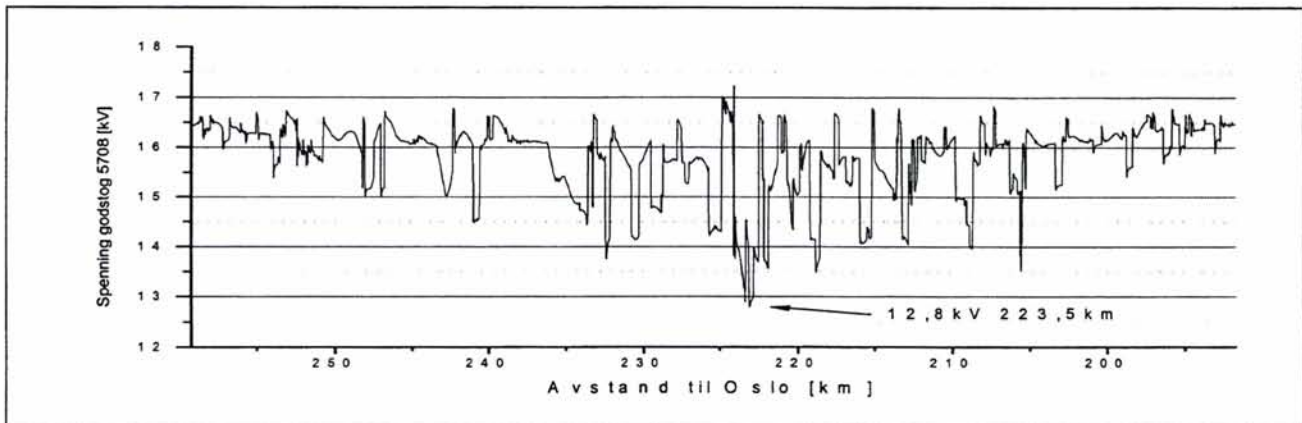
Tog nr.	Nattsimulering 0a - Ruteplan R149.1		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [time : minutt]
5253	14,5	223,9	00:31
5254	12,9	215,4	02:35
5701	14,5	223,4	22:29
5705	13,8	233,9	01:02
5708	12,8	223,5	02:07
5713	14,0	208,2	01:03
5716	13,5	232,2	01:42
5781	13,5	213,5	01:44
5792	14,6	230,3	04:15
5793	14,4	224,5	23:57

Figur 4-1 nedenfor viser spenningen på kontaktledningen for nattog 405 trukket av et E118 lokomotiv. En ser at spenningen er over 13,0kV, og under dette kommer den med bare noen få unntak. Faktisk er spenningen for det meste over 14,0kV store deler av strekningen.



Figur 4-1 Spenningen på kontaktledningen for nordgående nattog 405 Fåberg - Fron. Ordinær ruteplan. Nattsimulering uten forsterkningstiltak

For spenningen for sørgående godstog 5708 oppstår spenning under 13,0kV bare for meget kort tid, se figur 4-2. En ser at spenningen ellers ligger på et helt akseptabelt nivå, faktisk over 14,0kV på store deler av strekningen.



Figur 4-2 Spenningen på kontaktledningen for sørgående godstog 5708 Fron - Fåberg. Ordinær ruteplan. Nattsimulering uten forsterkningstiltak

4.1.2 Spenningen på kontaktledningen for tog Fron – Otta - Dombås

Tabell 4-3 og tabell 4-4 viser at spenningen for henholdsvis nattog og godstog kommer godt over akseptable verdier på hele denne strekningen.

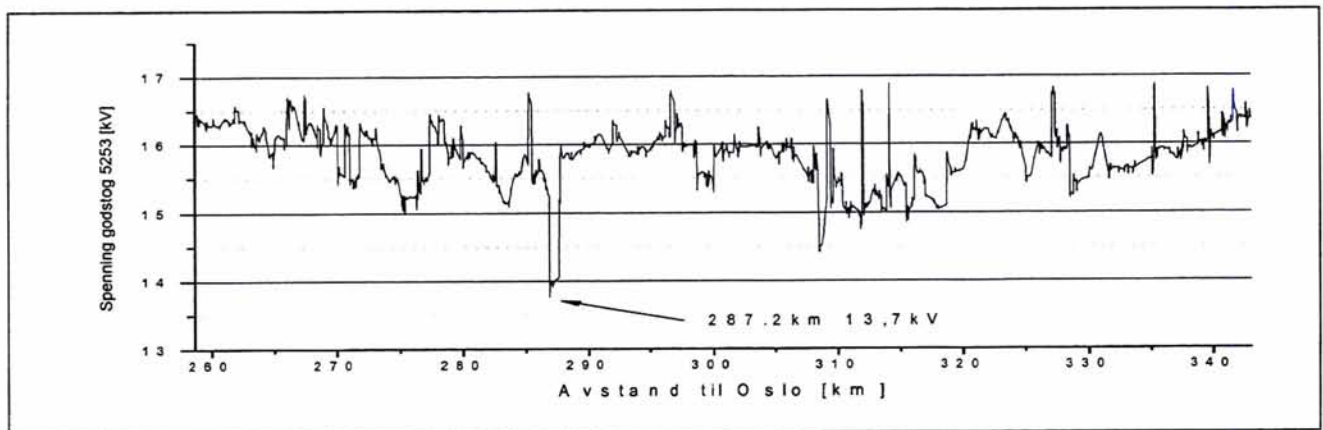
Tabell 4-3 Laveste spenning for nattog Fron – Otta - Dombås. Ingen forsterkningstiltak. Moderne lokomotiver for godstogene og ordinær ruteplan

Tog nr.	Nattsimulering 0a - Ruteplan R149.1		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [time : minutt]
405	14,9	296,7	03:20
406	14,3	284,5	02:58

Tabell 4-4 Laveste spenning for godstog Fron – Otta - Dombås. Ingen forsterkningstiltak. Moderne lokomotiver for godstogene og ordinær ruteplan

Tog nr.	Nattsimulering 0a - Ruteplan R149.1		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [time : minutt]
5251	14,3	307,8	01:35
5253	13,7	287,2	01:19
5254	14,2	311,3	00:58
5701	14,0	317,8	23:43
5705	14,4	287,0	01:41
5708	14,0	275,3	01:12
5713	14,2	312,4	02:41
5716	14,2	327,1	23:54
5781	13,9	313,2	03:21
5792	14,1	306,2	03:16
5793	14,1	318,8	01:12

Som en illustrasjon på den gunstige spenningene på denne strekningen er spenningen på godstog 5253 valgt ut, se figur 4-3. Her kan en faktisk se at spenningen holder seg over 15,0kV på en stor del av strekningen. Et markert spenningsfall kommer ved km 287,2 der spenningen plutselig faller til 13,7kV.



Figur 4-3 Spenningen på kontaktledningen for sørgående godstog 5253 Fron – Otta - Dombås. Ordinær ruteplan. Nattsimulering uten forsterkningstiltak

4.1.3 Spenningen på kontaktledningen for tog Dombås – Oppdal

Nedenfor viser tabell 4-5 og tabell 4-6 laveste opptredende spenninger for henholdsvis nattog og godstogene på strekningen Dombås - Oppdal. Tidligere simuleringer [1] har vist lave spenninger på denne strekningen, flere godstog fikk spenninger under 12,0kV. Dette gjelder simulering som var utført med doble El16 lokomotiver uten pådragsbegrensning og uten forsterking av omformerne. Nå blir altså spenningen ikke noe sted lavere enn 13,2kV selv uten noen tiltak i banestrømforsyningen.

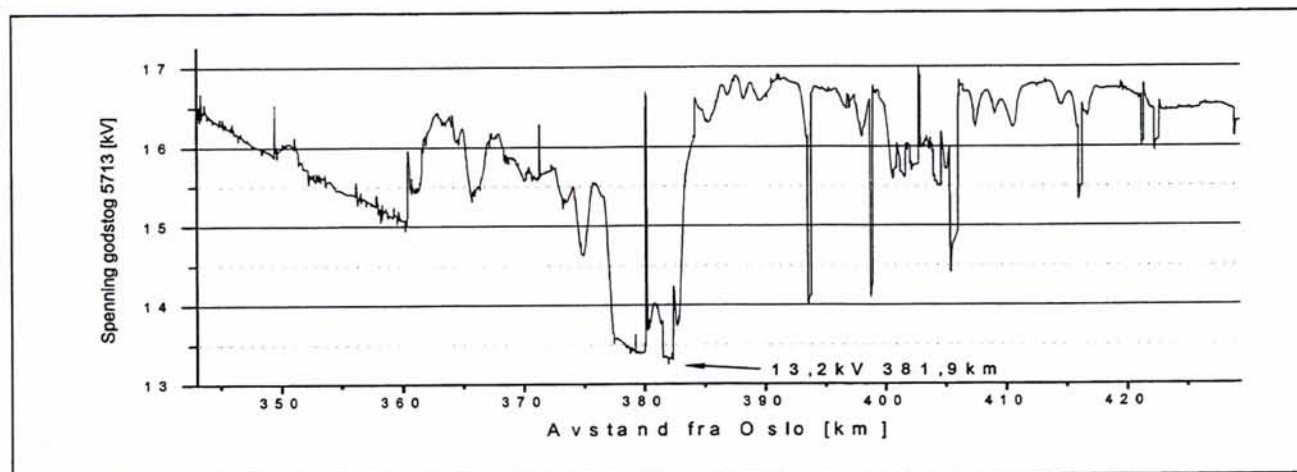
Tabell 4-5 Laveste spenning for nattog Dombås - Oppdal. Ingen forsterkningstiltak. Moderne lokomotiver for godstogene og ordinær ruteplan

Tog nr.	Nattsimulering 0a - Ruteplan R149.1		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [time : minutt]
405	14,5	379,5	04:45
406	13,7	398,8	01:02

Tabell 4-6 Laveste spenning for godstog Dombås - Oppdal. Ingen forsterkningstiltak. Moderne lokomotiver for godstogene og ordinær ruteplan

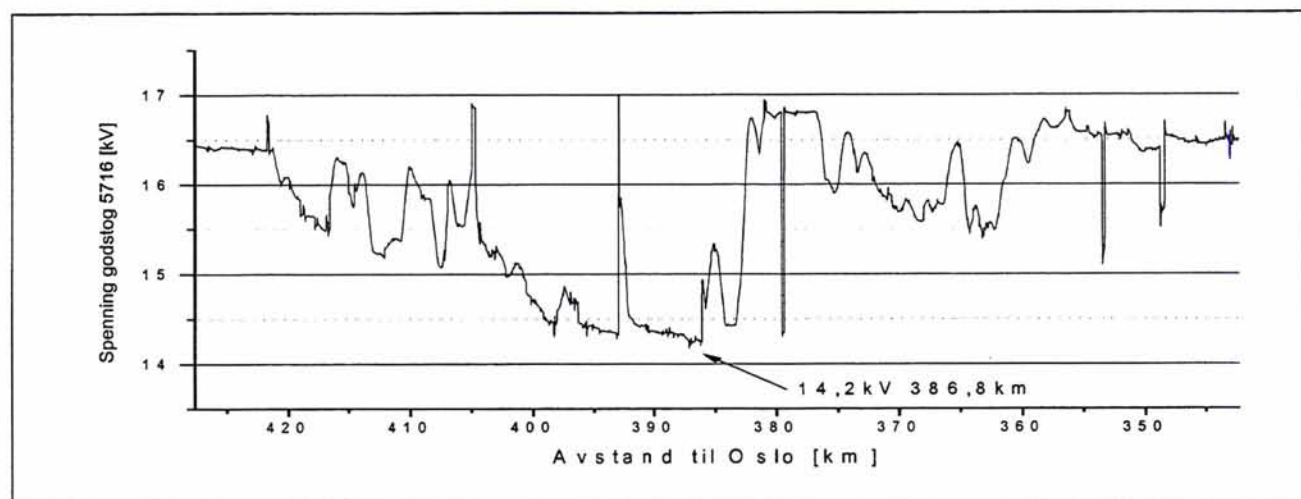
Tog nr.	Nattsimulering 0a - Ruteplan R149.1		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [time : minutt]
5701	13,8	405,5	00:51
5705	14,0	381,8	03:00
5708	14,3	388,6	23:32
5713	13,2	382,6	04:11
5716	14,2	386,8	23:00
5781	14,0	394,1	04:35
5792	13,8	379,4	01:51
5793	14,3	382,9	02:20

Nedenfor i figur 4-4 er spenningen for godstog 5713 Dombås – Oppdal vist for å illustrere forbedringen av spenningen på strømvaktakeren. En ser at spenningen minker i stigningen opp mot Hjerkin, ved km ca. 382, for deretter å stige når det bratteste punktet er passert. Ellers legger en merke til at spenningen er over 14,0kV over det meste av strekningen.



Figur 4-4 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 5713 Dombås - Oppdal. Ordinær ruteplan. Nattsimulering uten forsterkningstiltak

Figur 4-5 viser spenningen for sørgående godstog 5716 fra Oppdal til Dombås. Spenningen for dette toget er ikke noe sted under 14kV. Dette er et mye bedre resultat sammenlignet med tidligere simuleringer i fase 1 som viste at spenningen for dette toget kom på under 13,0kV over store deler av strekningen.



Figur 4-5 Spenningen på kontaktledningen for sørgående godstog 5716 Oppdal - Dombås. Ordinær ruteplan. Nattsimulering uten forsterkningstiltak

4.1.4 Spenningen på kontaktledningen for tog Oppdal - Lundamo

Tabell 4-7 og tabell 4-8 viser laveste spenning for henholdsvis passasjertog og godstog på strekningen Oppdal -Lundamo. Tabellene viser at spenningen for samtlige tog holder meget akseptable nivåer.

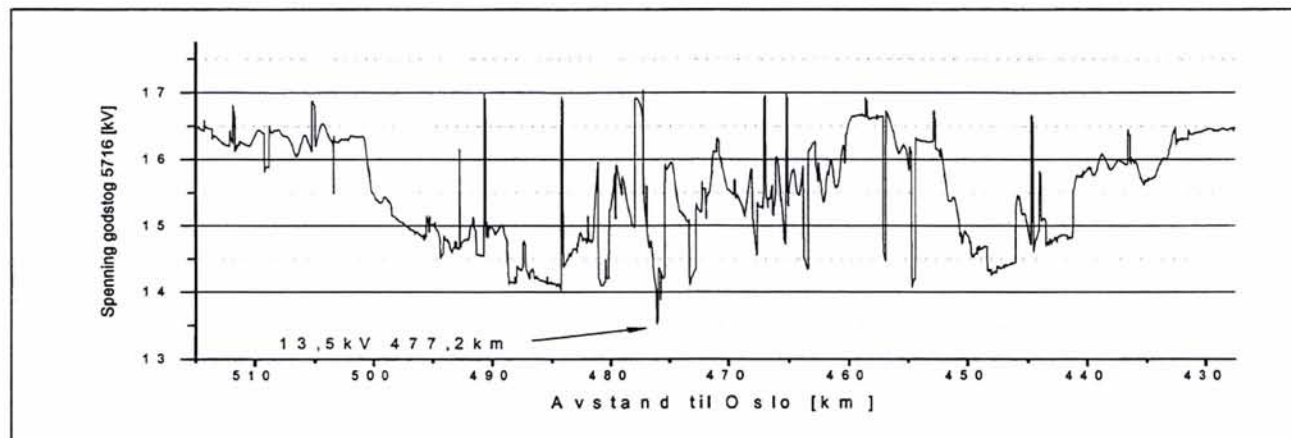
Tabell 4-7 Laveste spenning for passasjertog Oppdal - Lundamo. Ingen forsterkningstiltak. Moderne lokomotiver for godstogene og ordinær ruteplan

Tog nr.	Nattsimulering 0a - Ruteplan R149.1		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [time : minutt]
47	13,8	481,0	21:51
405	14,8	465,5	05:54
406	14,6	472,7	00:00

Tabell 4-8 Laveste spenning for passasjertog Oppdal - Lundamo. Ingen forsterkningstiltak. Moderne lokomotiver for godstogene og ordinær ruteplan

Tog nr.	Nattsimulering 0a - Ruteplan R149.1		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [time : minutt]
5701	14,1	485,0	01:58
5705	14,2	467,6	04:04
5708	14,0	487,6	22:16
5713	14,2	469,0	05:19
5716	13,5	477,2	21:49
5781	13,8	484,8	05:45
5792	14,3	462,8	00:51
5793	13,3	468,8	03:23

Figur 4-6 nedenfor viser spenningen på sørgående godstog 5716 som går opp de bratte stigningene fra Støren mot Oppdal. En ser at spenningen bare med et tilfelle kommer under 14,0kV.



Figur 4-6 Spenningen på kontaktledningen for sørgående godstog 5716 Lundamo - Oppdal. Ordinær ruteplan. Nattsimulering uten forsterkningstiltak

4.1.5 Belastning av omformere

I tabell 4-9 nedenfor er det vist belastning på omformerne. Med moderne type lokomotiver for godstogene kan en se at belastningen er betydelig redusert i forhold til tidligere simuleringer [1] med doble El16 lokomotiver. Av tabellen ser en at det kun er Rudshøgda og Otta omformere som er noe høyt belastet med hensyn på 2 sekunders strømverdi. Ellers er alle belastningsverdiene innenfor slike grenser at utfall av et aggregat ikke skal kunne føre til utfall av det andre aggregater.

Tabell 4-9 Belastning av omformere med dagens banestrømforsyning, ordinær ruteplan og moderne lokomotiver (EG3100) for godstogene

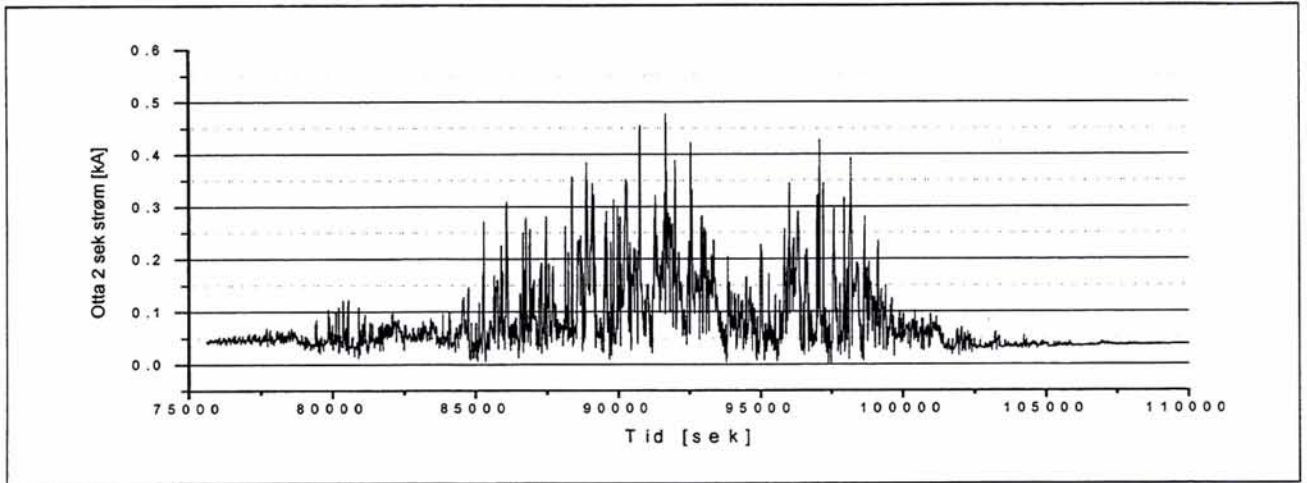
Omformer	Innsatt ytelse Effekt	Simulering 0a - Ruteplan 149.1								
		Effekt						Strøm [kA]		
		1 time			6 minutter			2 sekunder		
		[MVA]	[MVA]	[%]	[kl]	[MVA]	[%]	[kl]	[kA]	[%]
Fåberg	2 x 5,8	4.65	40	00:50	6.08	38	00:50	0.986	79	02:31
Fron	2 x 5,8	6.34	55	01:50	8.44	52	01:47	1.048	84	01:33
Otta	3,1	2.73	91	01:59	4.04	84	01:32	0.478	106	01:27
Dombås	5,8 + 7,0	7.39	57	01:59	11.51	61	01:51	0.966	67	01:50
Oppdal	2 x 5,8	4.79	41	23:08	9.01	56	22:50	0.801	64	01:01
Lundamo	2 x 7,0	3.85	26	22:22	6.69	30	22:15	0.647	39	05:41
Stavne	2 x 7,5	2.55	17	22:17	5.00	-	21:26	0.515	57	23:41

Fåberg, Fron, Oppdal, Lundamo og Stavne

For disse omformerstasjonene er belastningsgraden helt innenfor akseptable grenser, endog er Fåberg og Lundamo spesielt lite belastet.

Otta

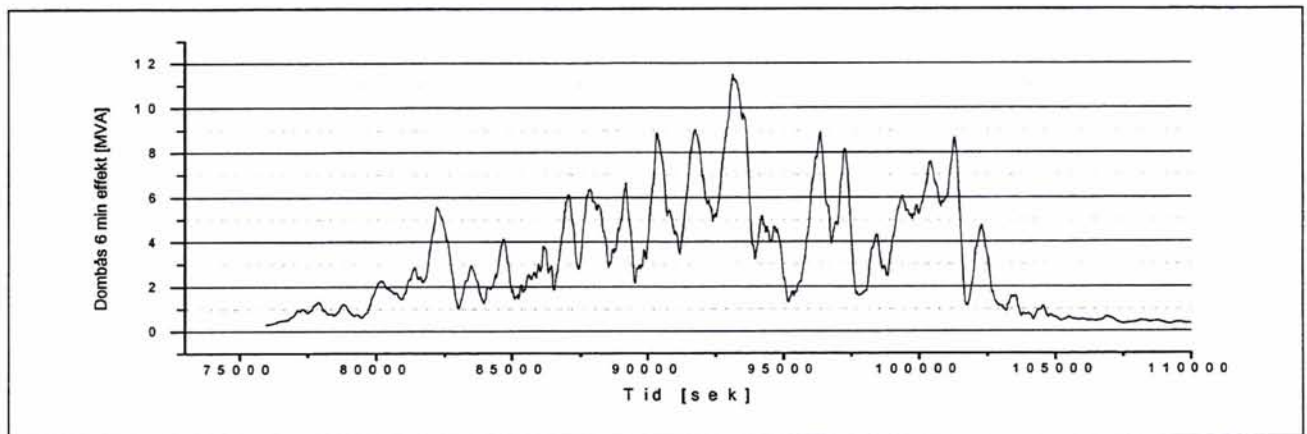
Otta omformer får en strøm som bare et meget lite øyeblikk kommer over nominell 2 sekunders verdi på 450A, se figur 4-7. 2 sekunders strømverdi for omformereren er en usikker størrelse som nok blir en del større i simuleringene enn i virkeligheten.



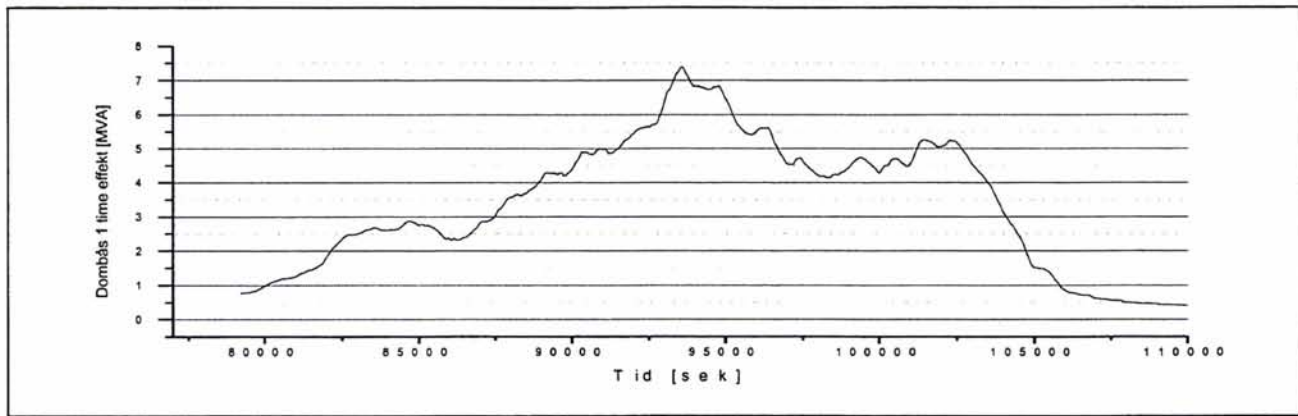
Figur 4-7 Total 2 sekunders strøm fra Otta omformer. Simulering med ordinær ruteplan, dagens banestrømforsyning og EG3100 lokomotiver. 80000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 22:13

Dombås

Belastningen for Dombås omformer er vist nedenfor i figur 4-8 og figur 4-9 for henholdsvis 6 minutters og 1 times effekt.



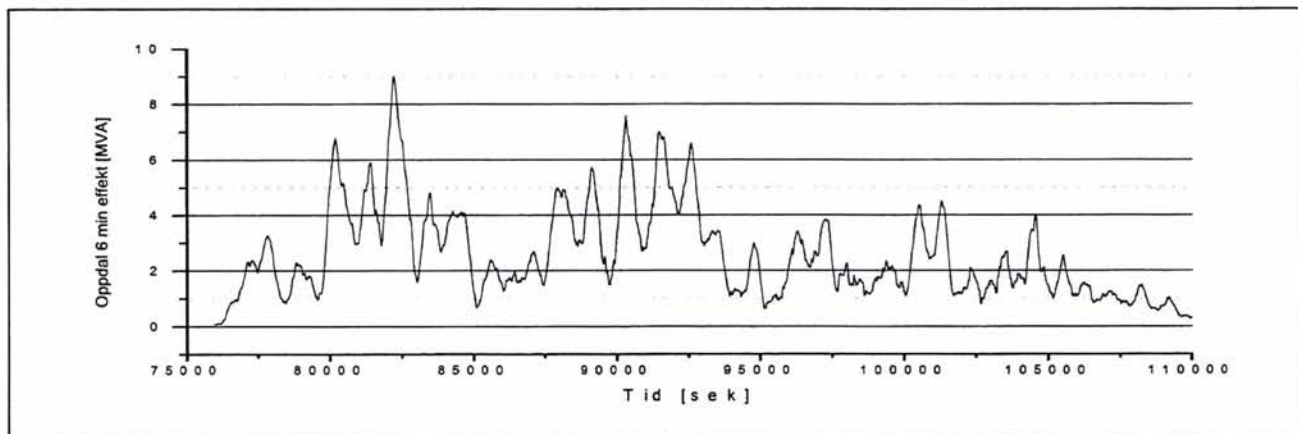
Figur 4-8 Total 6 minutters effekt fra Dombås omformer ($S_{6min} = 19,0MVA$). Simulering med ordinær ruteplan, dagens banestrømforsyning og EG3100 lokomotiver. 80000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 22:13



Figur 4-9 Total 1 times effekt fra Dombås omformer ($S_{1time} = 12,8MVA$). Simulering med ordinær ruteplan, dagens banestrømforsyning og EG3100 lokomotiver. 80000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 22:13

Oppdal

Nedenfor viser figur 4-10 at Oppdal omformer får en belastning for sin 6 minutters verdi som ligger langt under dens nominelle verdi.



Figur 4-10 Total 6 minutters effekt fra Oppdal omformer ($S_{6min} = 16,0MVA$). Simulering med ordinær ruteplan, dagens banestrømforsyning og EG3100 lokomotiver. 80000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 22:13

4.1.6 Belastning av kontaktledning sugetransformatorer og filterimpedanser

Nedenfor viser tabell 4-10 belastningen av de avgangene fra omformerstasjonene med høyest strøm. Det er tatt med verdier for strømmene som er interessante for kontaktledningen, for noen avganger er størrelser som er aktuelle for sugetransformatorer og filterimpedanser også inkludert.

For kontaktledningen er 6 minutters verdien en størrelse som i tidligere simuleringer ofte har blitt oversteget, men her er denne verdien godt under 800A for samtlige avganger. Når det gjelder sugetransformatorer og impedansespoler er overbelastbarheten høy, unntatt de sugetransformatorene på 250A nordover fra Fåberg der muligheten for overbelastning ikke er fullt så god. Men tabellen viser at for avgangen nordover fra Fåberg bir strømmen ikke høyere enn at det må holde med god margin.

Tabell 4-10 Belastning på omformeravganger til kontaktledning, sugetransformatorer og filterimpedanser

Omformer- avgang	Simulering 0a							
	Strøm [kA]							
	1 sek	5 sek	10 sek	1 min	5 min	6 min	30 min	2 timer
Fåberg nord	0,76	0,75	0,75	0,61	0,43	0,40	0,30	0,24
Fron sør	0,82	0,81	0,80	0,61	0,43	0,43	0,32	0,29
Dombås sør	0,85	-	0,83	0,63	-	0,63	-	-
Dombås nord	0,72	-	0,70	0,70	-	0,61	-	-
Oppdal sør	0,68	-	0,68	0,61	-	0,41	-	-

4.2 Simulering 0 med nåværende strømforsyning og kapasitetsoptimal ruteplan

Simulering med dagens banestørforsyning uten noen forsterkninger og innføring av moderne lokomotiver for godstog er også utført. Ved at den kapasitetsoptimale ruteplanen benyttes vil belastningen for de fleste omformerne bli større enn ved ordinær ruteplan. Dette vil gi margin for større belastning i fremtiden.

Et annet viktig forhold er at den kapasitetsoptimale ruteplanen også sier noe hvorledes belastningen av omformerne kan bli ved en avviksituasjon. Dessuten om lave spenninger kan forventes å oppstå ved noen av de stasjonene der krysninger kan skje, men som den ordinære ruteplanen ikke legger opp til.

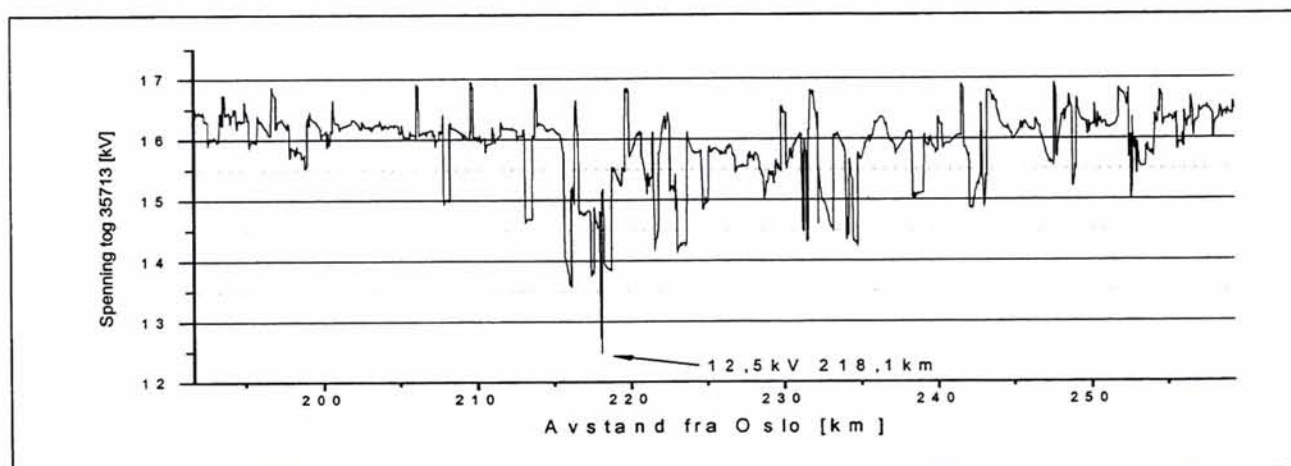
En større avviksituasjon kan være at de nord og sørgående godstogene fr krysningen mellom Dombås og Oppdal istedenfor mellom Ringeby og Dombås som i den ordinære ruteplanen. Dette området med stor krysningshyppighet er kjent som krysningsbeltet. Et slikt avvik vil gi større belastning av Oppdal omformer. Mer om diskusjon rundt ruteplaner i avsnitt 6.1.5.

4.2.1 Spenningen på kontaktledningen for tog Fåberg – Fron

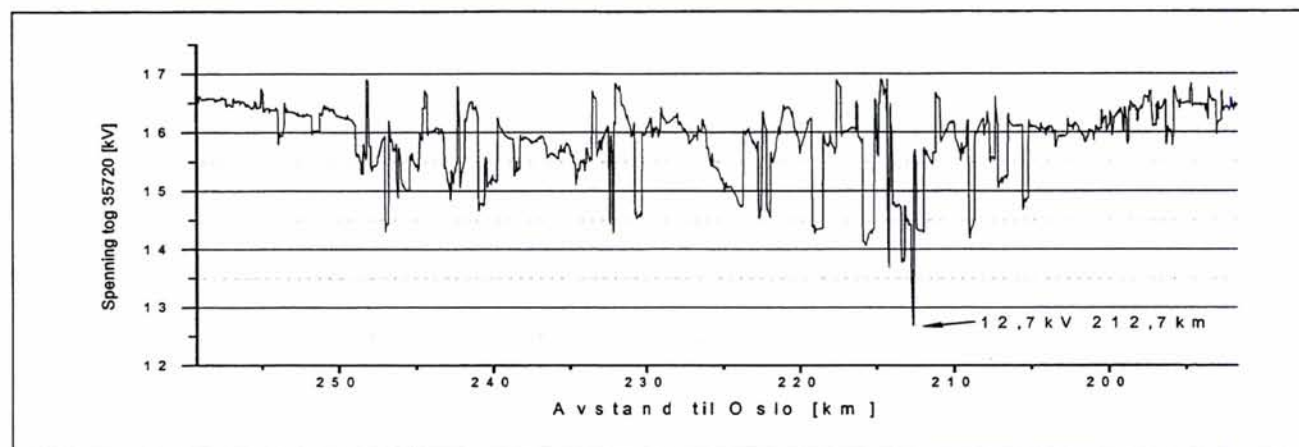
I tabell 4-11 nedenfor er laveste spenning for godstog i srlig og nordlig retning på strekningen Fåberg – Fron vist. Som figur 4-11 viser kommer spenningen for godstog 35713 ned mot 12,5kV for en meget kort tid ved km 218,1. For det meste av distansen er spenningen over 14,0kV, noe som er meget akseptabelt. Den samme tendensen med høy spenningen sees for det sørgående godstoget, se figur 4-11. Også for dette toget er spenningen over 14,0kV det meste av distansen og bare i meget kort tid kommer spenningen ned mot 12,7kV.

Tabell 4-11 Laveste spenning for godstog Fåberg - Fron. Ingen forsterkningstiltak. Moderne lokomotiver for godstogene og kapasitetsoptimal ruteplan

Tog nr.	Simulering 0 – Kapasitetsoptimal ruteplan		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [time : minutt]
35713	12,5	218,1	10:21
35720	12,7	212,7	11:03



Figur 4-11 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 35713 Fåberg - Fron. Kapasitetsoptimal ruteplan. Simulering uten forsterkningstiltak



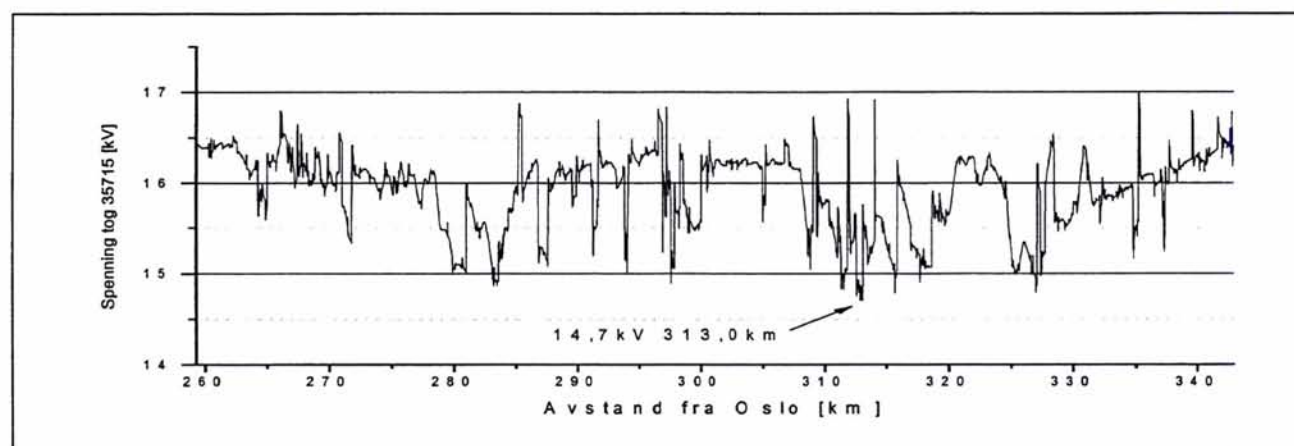
Figur 4-12 Spenningen på kontaktledningen for sørgående godstog 35720 Fron - Fåberg. Kapasitetsoptimal ruteplan. Simulering uten forsterkningstiltak

4.2.2 Spenningen på kontaktledningen for tog Fron – Otta - Dombås

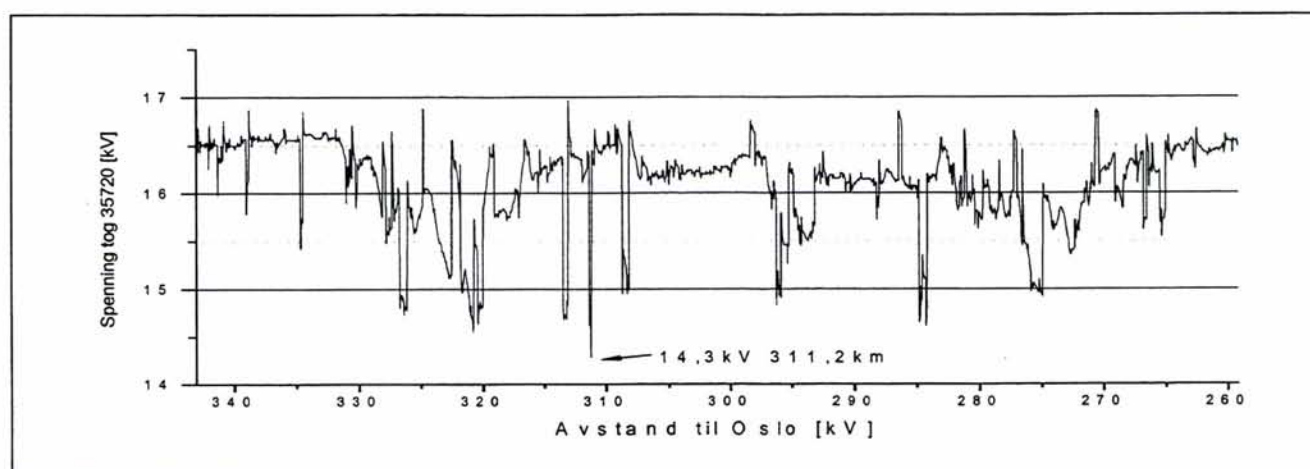
Spenningen på distansen Fron –Otta – Dombås holder meget høy verdi, som tabell 4-11 viser kommer ikke spenningen under 14,0kV for verken for sør- eller nordgående godstog. Figur 4-14 viser at spenningen faktisk bare av og til kommer under 15,0kV. Tidligere simuleringer [1] viste at spenningen på denne strekningen kom ned til 12,9kV. Forbedringen med moderne lokomotiver betyr altså mye.

Tabell 4-12 Laveste spenning for godstog Fron – Otta - Dombås. Ingen forsterkningstiltak. Moderne lokomotiver for godstogene. Kapasitetsoptimal ruteplan

Tog nr.	Simulering 0 – Kapasitetsoptimal ruteplan		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [time : minutt]
35713	14,7	313,0	12:37
35720	14,3	311,2	11:28



Figur 4-13 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 35713 Fron - Dombås. Kapasitetsoptimal ruteplan. Simulering uten forsterkningstiltak



Figur 4-14 Spenningen på kontaktledningen for sørgående godstog 35720 Dombås - Fron. Kapasitetsoptimal ruteplan. Simulering uten forsterkningstiltak

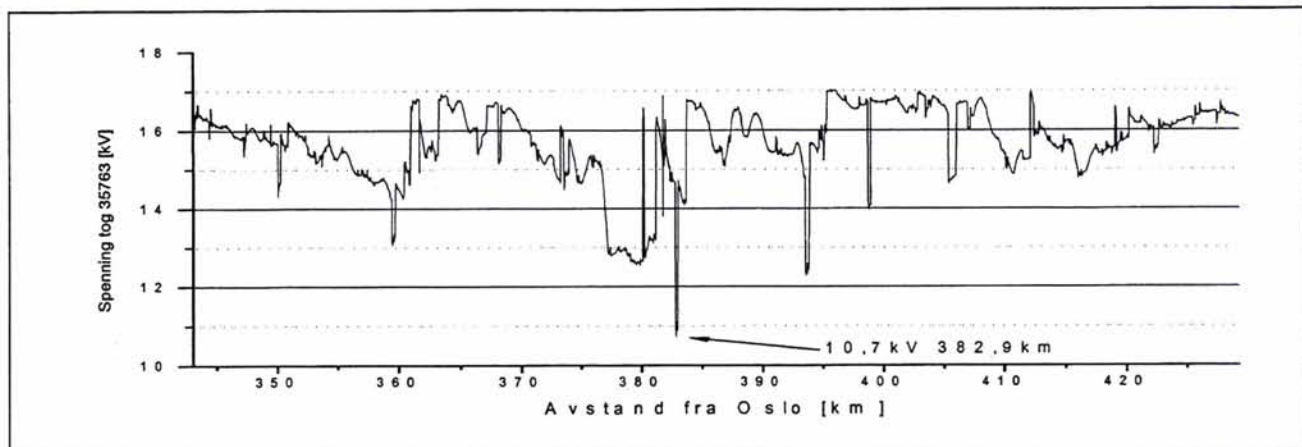
4.2.3 Spenningen på kontaktledningen for tog Dombås - Oppdal

For strekningen Dombås – Oppdal oppstår de laveste spenningene i simuleringen med kapasitetsoptimal ruteplan. Tabell 4-13 viser at spenningen kommer helt ned mot 10,7kV ved Hjerkin (km 382,7) der de to togene krysser.

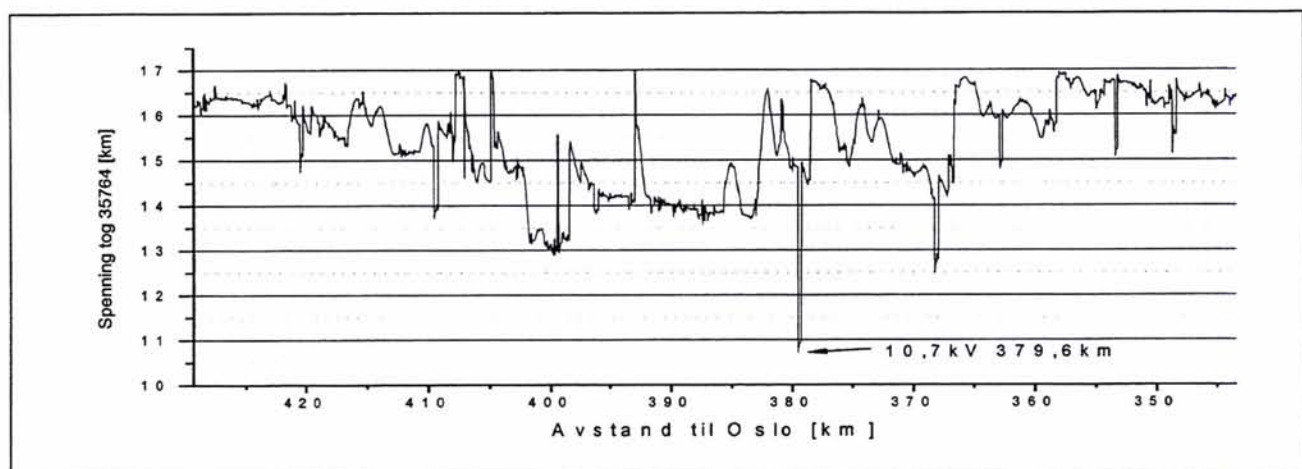
Også tidligere simuleringer [1] med kapasitetsoptimal ruteplan og doble E16 lokomotiver viste lave spenninger ved Hjerkin når togene krysser. Krysningen skjer ved at det er det nordgående toget (tog 35763) som venter, og som dermed skal akselerere ut fra Hjerkin i oppoverbakke. Figur 4-15 og figur 4-16 viser at spenningen kommer ned mot 10,7kV for en meget kort periode for begge togene. Dette er lavere spenning enn det som kan aksepteres, spenning er lavere enn hva normene angir og det er stor sannsynlighet for at underspenningsvernet i lokomotivet løser ut. Men en skal også legge merke til at spenningen holder seg over 14,0kV på det meste av distansen for begge togene.

Tabell 4-13 Laveste spenning for godstog Dombås - Oppdal. Ingen forsterkningstiltak. Moderne lokomotiver for godstogene. Kapasitetsoptimal ruteplan

Tog nr.	Simulering 0 – Kapasitetsoptimal ruteplan		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [time : minutt]
35763	10,7	382,9	11:08
35764	10,7	379,6	13:08



Figur 4-15 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 35763 Dombås - Oppdal. Kapasitetsoptimal ruteplan. Simulering uten forsterkningstiltak



Figur 4-16 Spenningen på kontaktledningen for sørgående godstog 35764 Oppdal - Dombås. Kapasitetsoptimal ruteplan. Simulering uten forsterkningstiltak

4.2.4 Spenningen på kontaktledningen for tog Oppdal - Lundamo

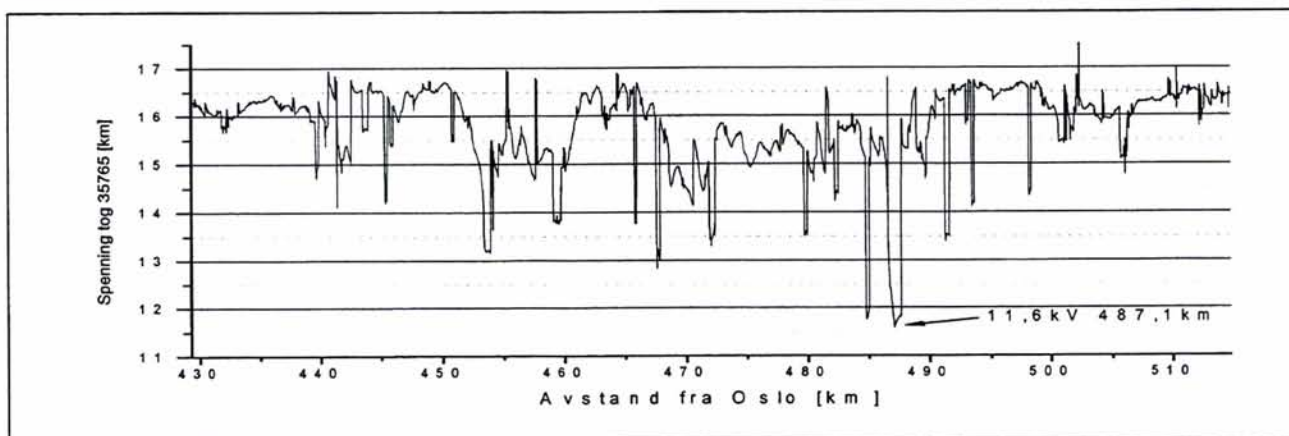
Laveste spenning for togene på strekningen Oppdal – Lundamo er vist i tabell 4-14 nedenfor. Det er på denne strekningen, samt strekningen Dombås – Oppdal, at de laveste spenningene oppstår.

Nordgående godstog 35765 får sin laveste spenning ved km 487,1 når det akselererer ut fra Soknedal (ved km 486,6) etter krysning med sørgående godstog. Det sørgående godstoget 35766 får sin laveste spenning ved km 482,7 rett etter krysningen.

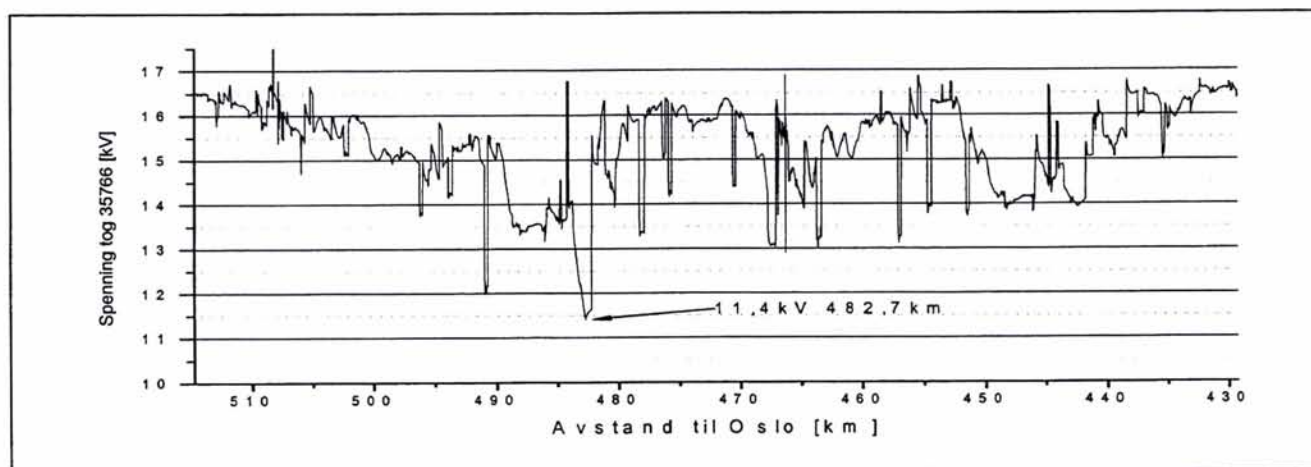
Det er tog 35766 som får spenning under 12kV over lengst distanse, se figur 4-18, men forskjellen fra det nordgående toget er ikke stor. Begge togene får en spenning under 12kV over en strekning på ca 1km.

Tabell 4-14 Laveste spenning for godstog Oppdal - Lundamo. Ingen forsterkningstiltak. Moderne lokomotiver for godstogene. Kapasitetsoptimal ruteplan

Tog nr.	Simulering 0 – Kapasitetsoptimal ruteplan		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [time : minutt]
35765	11,6	487,1	13:18
35766	11,4	482,7	12:02



Figur 4-17 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 35765 Oppdal - Lundamo. Kapasitetsoptimal ruteplan. Simulering uten forsterkningstiltak



Figur 4-18 Spenningen på kontaktledningen for sørgående godstog 35766 Lundamo - Oppdal. Kapasitetsoptimal ruteplan. Simulering uten forsterkningstiltak

Spenningen for togene i denne simuleringen kommer helt ned til 10,7kV for distansen Dombås - Oppdal, mens simuleringen med doble E116 lokomotiver bare kom ned mot 11,9kV. På distansen Oppdal – Lundamo kommer spenningen ned mot 11,6kV mens simuleringen med doble E116 bare kom ned til 11,9kV. Dette virker paradoksalt; hvordan kan de moderne lokomotivene (EG3100) som trekker mindre effekt enn doble E116 lokomotiver, trekke spenningen enda lenger ned?

Forklaringen er nok at de moderne lokomotivene riktignok har et mindre effektopptak enn summen av doble E116 lokomotiver, men på grunn av dette vil de også trekke stor effekt over lenger tid (eller større tilbakelagt strekning). De moderne lokomotivene med mindre installert ytelse og en annen trekraftkurve vil dermed trenge lengere tid på å akselerere opp til ønsket hastighet. Det oppstår dermed oftere sammenlagringer der togene til sammen trekker større

effekt enn i simuleringen med doble El16 lokomotiver. De lave spenningene som oppstår på distansene Dombås – Oppdal og Oppdal – Lundamo skjer i begge tilfellene ved akselerasjon.

4.2.5 Belastning av omformere

Tabell 4-15 viser belastningen av omformerne med dagens installerte ytelser. Legg merke til hvorledes maksimal effekt og strøm gjentar seg med 40 minutters mellomrom. Tangen omformer er lite belastet og det er mulighet for at denne kan erstattes med to aggregater på 5,8MVA, det er da mulig å flytte denne til Dombås eller Oppdal der det er behov for større omformere.

Tabell 4-15 Belastning av omformere med dagens banestrømforsyning, kapasitetsoptimal ruteplan og moderne lokomotiver (EG3100) for godstogene

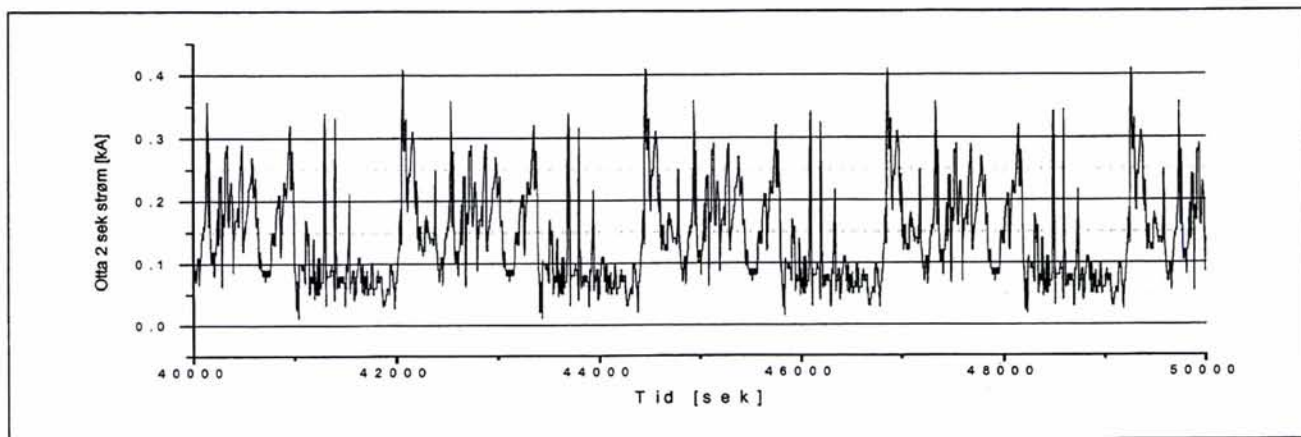
Omformer	Innsatt yttelse Effekt	Simulering 0 Kapasitetsoptimal ruteplan								
		Effekt						Strøm [kA]		
		1 time			6 minutter			2 sekunder		
		[MVA]	[MVA]	[%]	[kl]	[MVA]	[%]	[kl]	[kA]	[%]
Fåberg	2 x 5,8	6,28	54	09:23 10:03 10:43	7,85	49	09:20 10:00 10:40	0,81	65	09:20 10:00 10:40
Fron	2 x 5,8	6,40	55	09:23 10:03 10:43	8,93	56	08:36 09:46 10:26	0,81	65	09:08 09:48 10:28
Otta	3,1	2,42	78	12:55 13:35 14:15	3,25	68	08:24 09:14 09:54	0,41	91	10:21 11:01 11:41
Dombås	5,8 + 7,0	7,43	58	09:25 10:05 10:45	10,78	57	11:55 12:35 13:15	1,05	72	12:10 12:50 13:30
Oppdal	2 x 5,8	8,45	72	10:54 11:34 12:14	11,67	73	12:38 13:18 13:58	1,18	94	11:56 12:36 13:16
Lundamo	2 x 7,0	6,56	46	11:21 12:01 12:41	10,83	49	11:20 12:00 12:40	0,94	57	11:53 12:33 13:13
Stavne	2 x 7,5	4,89	32	11:29 12:09 12:49	7,82		10:41 11:21 12:01	0,67	73	11:57 12:37 13:17

Fåberg, Fron, Lundamo og Stavne

Disse er belastet innenfor akseptable grenser. En legger merke til at spesielt Fåberg og Lundamo omformere er belastet noe mer nå enn i simuleringen med ordinær ruteplan.

Otta

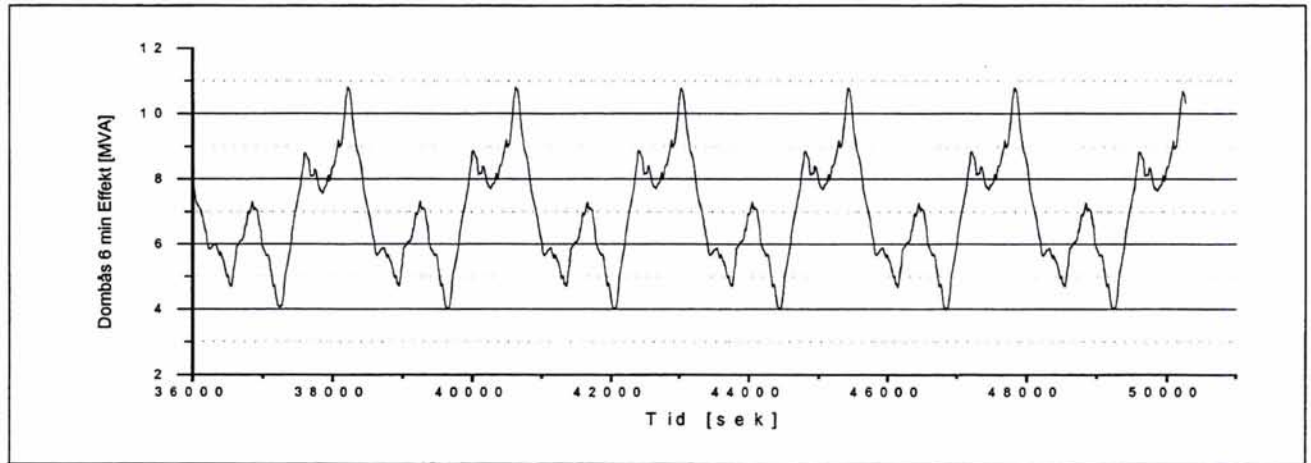
Otta er forholdsvis mye belastet, men et aggregater på 3,1MVA er nok passende størrelse. Som avsnitt 4.2.2 viser er ikke spenningen ved Otta spesielt lav. Om omformeren på Otta faller ut vil spenningen høyst sannsynlig ikke komme under 12,0kV. Imidlertid er det ikke noe krav i regelverket for minste spenning om en omformer med bare et aggregat faller ut.



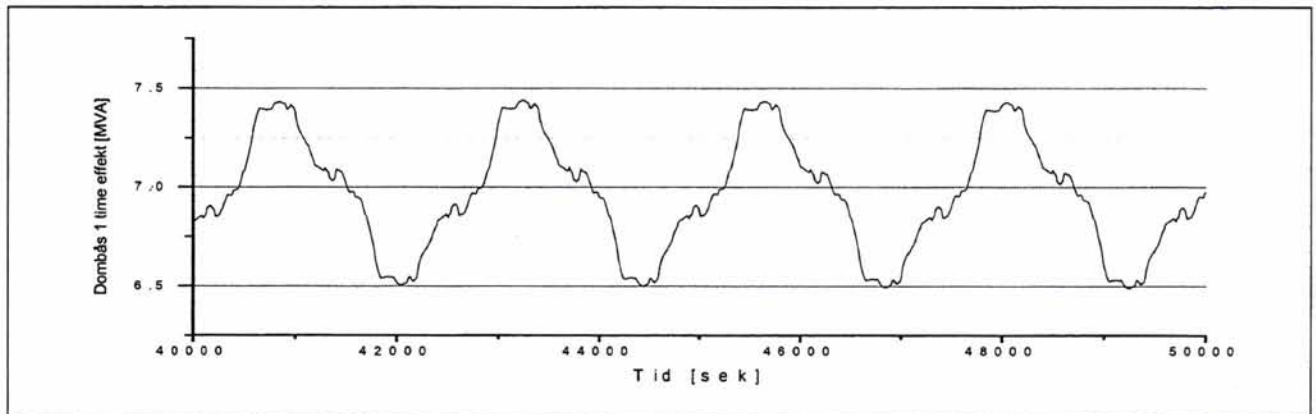
Figur 4-19 Total 2 sekunders strøm fra Otta omformer. Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan, dagens banestrømforsyning og EG3100 lokomotiver. 40000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 11:07

Dombås

Når det gjelder Dombås omformer er belastningsgraden 58% og 57% for henholdsvis 1 time og 6 minutters effekt, se tabell 4-15. Dette er ikke spesielt stor belastningsgrad, men hvis aggregatet på 7,0MVA faller ut, og det på 5,8MVA står igjen, er det usannsynlig at spenningsregulatoren vil styre effekten så mye ned at aggregatet forhindres fra å bli overbelastet. Dombås omformer bør derfor forsterkes med to aggregater på 7,0MVA. Figur 4-20 og figur 4-21 viser effekten fra Dombås omformer.



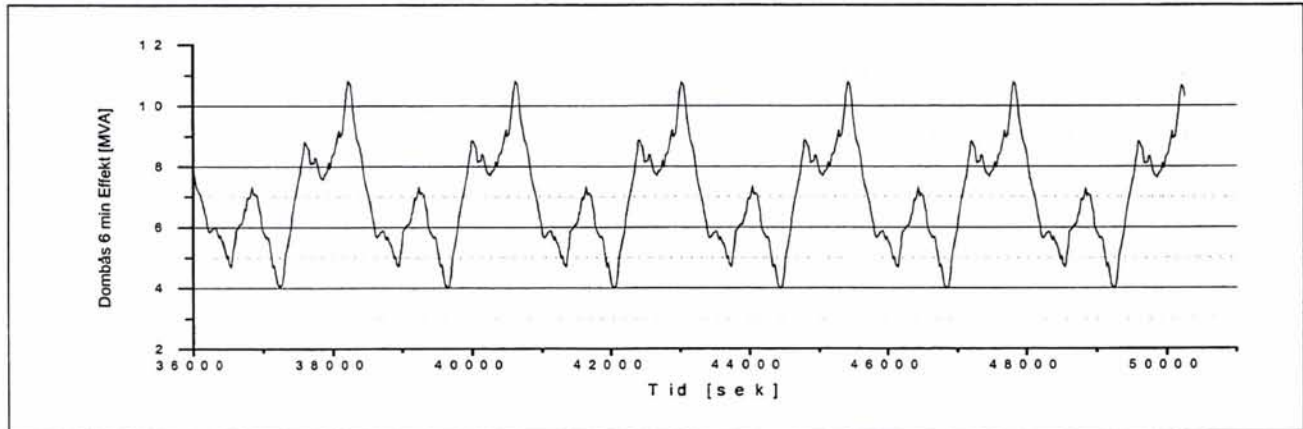
Figur 4-20 Total 6 minutters effekt fra Dombås omformer. Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan, dagens banestrømforsyning og EG3100 lokomotiver. 36000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 10:00



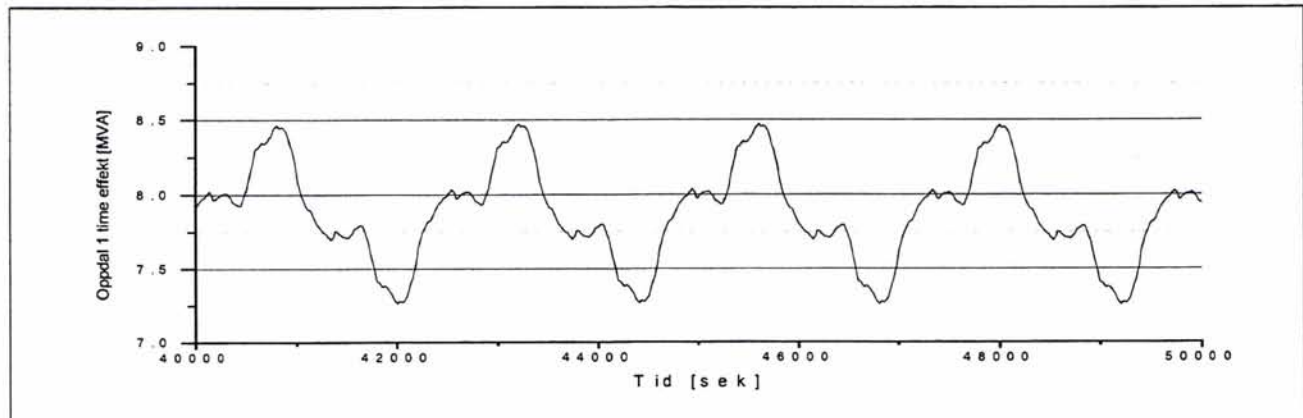
Figur 4-21 Total 1 times effekt fra Dombås omformer. Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan, dagens banestrømforsyning og EG3100 lokomotiver. 40000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 11:07

Oppdal

Oppdal omformer er belastet 72% og 73% for henholdsvis 1 time og 6 minutters effekt, se tabell 4-15. Om det ene aggregatet faller ut er det meget sannsynlig at det andre aggregatet vil falle for overlast. Oppdal omformer bør derfor forsterkes med to aggregater på 7,0MVA. Figur 4-22 og figur 4-23 viser belastningen på Oppdal omformer.



Figur 4-22 Total 6 minutters effekt fra Oppdal omformer. Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan, dagens banestrømforsyning og EG3100 lokomotiver. 36000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 10:00



Figur 4-23 Total 1 times effekt fra Oppdal omformer. Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan, dagens banestrømforsyning og EG3100 lokomotiver. 40000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 11:07

4.2.6 Belastningen av kontaktledningsnett, sugetransformatorer og filterimpedanser

Tabell 4-16 viser at belastningen for kontaktledningen ikke ved noen tidspunkter er for stor (1sek, 10sek, 1min og 6min), belastningen er godt innenfor akseptable grenser. Tidligere simuleringer [1] med doble El16 lokomotiver viste at store strømmer opptrådte på kontaktledningen nordover fra Dombås omformer. Også i denne simuleringen er det store strømmer her, men godt under hva som kan aksepteres innenfor 6 minutters verdien. For belastningen i 30 minutter og 2 timer er belastningen godt under 600A, som er nominell strøm for kontaktledningen, for samtlige avganger.

For filterimpedansene som er på 380 og 600A vil det ikke kunne oppstå overbelastning (verdier for 1 sek, 5sek, 1min, 5min, 30min og 2 timer). Selv om ikke alle disse verdiene er beregnet viser de nærmeste verdiene som er beregnet, at strømmen er langt under grensene som gjelder overbelastning av disse komponentene.

Når det gjelder sugetransformatorene finnes det 15 enheter på 250A rett nord for Fåberg. De fleste sugetransformatorene på Dovrebanen er på 380A og der de er skiftet ut er det satt inn enheter på 600A. Enhetene på 380A og 600A har en høy overbelastbarhet og ser ikke ut til å kunne bli overbelastet noe sted. For enhetene på 250A nord for Fåberg ser det ut til å oppstå belastninger noe nært opp til grensen for 2 times verdien, denne er nominelt på 330A, mens belastningen her kommer opp mot 310A.

Tabell 4-16 Belastning på omformeravganger for kontaktledning, sugetransformatorer og filterimpedanser

Omformer- avgang	Simulering 0							
	Strøm [kA]							
	1 sek	5 sek	10 sek	1 min	5 min	6 min	30 min	2 timer
Fåberg nord	0,92	0,92	0,91	0,74	0,43	0,42	0,31	0,28
Fron sør	0,87	0,87	0,87	0,64	0,49	0,48	0,30	0,27
Fron nord	0,66	-	0,61	0,49	-	0,35	-	-
Otta sør	0,68	-	0,64	0,69	-	0,24	-	-
Otta nord	0,57	-	0,54	0,44	-	0,32	-	-
Dombås sør	0,81	-	0,80	0,52	-	0,41	-	-
Dombås nord	0,97	0,96	0,94	0,71	0,63	0,60	0,42	0,37
Oppdal sør	1,03	1,03	1,02	0,84	0,68	0,68	0,45	0,36
Oppdal nord	1,14	1,13	1,11	0,97	0,62	0,60	0,43	0,35
Lundamo sør	0,97	-	0,96	0,77	-	0,58	-	-

4.3 Simulering 0b med nåværende banestrømforsyning og kapasitetsoptimal ruteplan lokomotiver med redusert effektopptak ved lave spenninger

Simulering 0 med dagens banestrømforsyning, kapasitetsoptimal ruteplan og moderne lokomotiver viste meget lave spenninger for strekningen Dombås – Oppdal. Her kom spenningene under 11,0kV, noe som ikke kan aksepteres. Det er derfor gjort en simulering der togene gies en større begrensning for effektopptaket når spenningen blir lav. En slik begrensning vil nok være realistisk når slike tog skal tilpasses norske forhold med store stigninger og en banestrømforsyning som er generelt svak sammenlignet med andre land.

Begrensningen av effektopptaket er gjort ved at lokomotivene trekker konstant strøm mellom 12,0 og 13,5kV, dermed vil effekten synke proporsjonalt med fallende spenning. Ved 10,5kV trekker lokomotivet ikke lenger effekt. Uten denne begrensningen ville lokomotivene slutte å trekke effekt først ved 10,0kV.

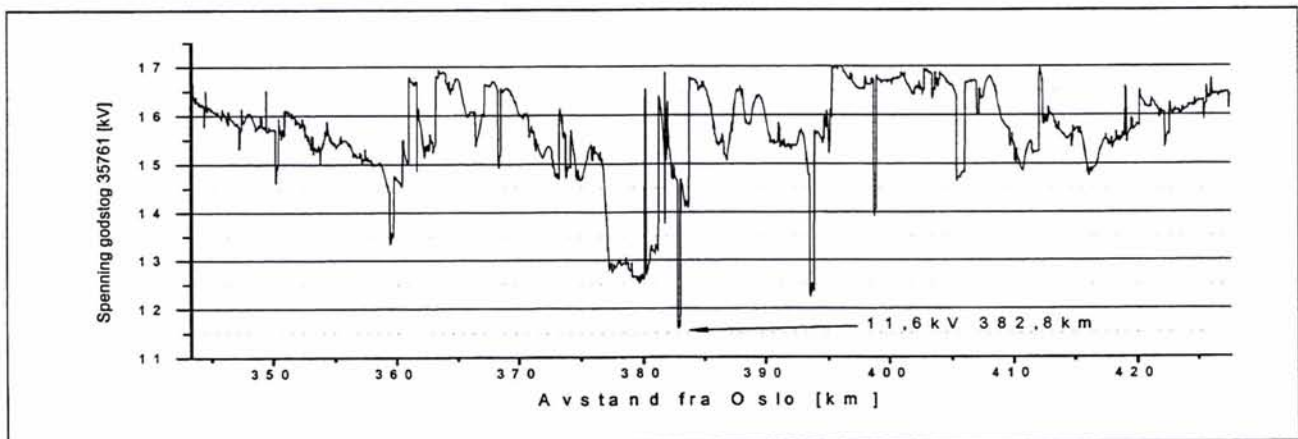
Bare spenningene for togene er beskrevet og ikke belastningen av omformerne. Det er usannsynlige at denne effektbegrensningen på lokomotivene vil spille noen større rolle for effektopptaket og belastningen av omformerne.

4.3.1 Spenningen på kontaktledningen for tog Dombås – Oppdal

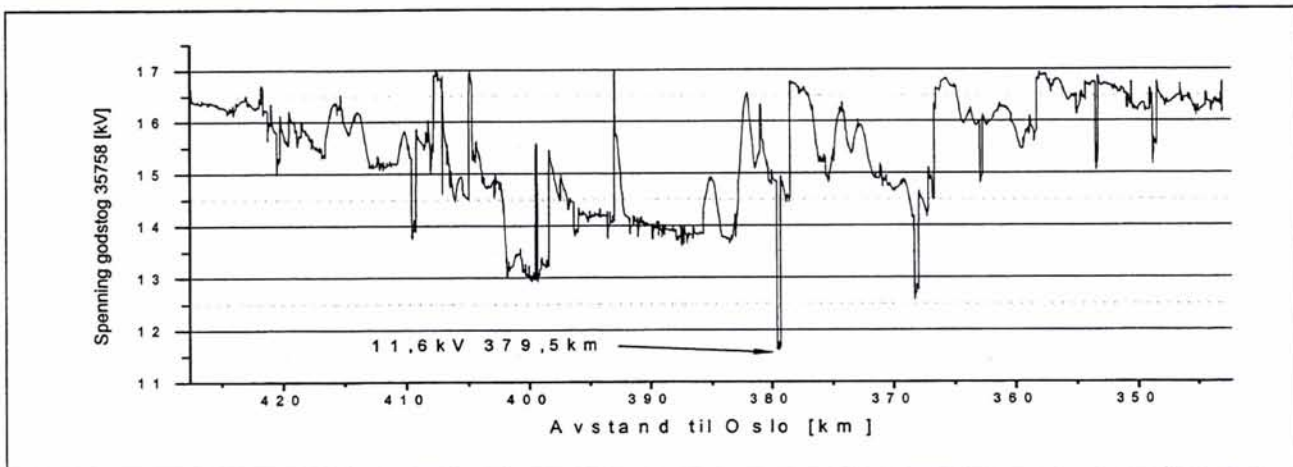
I tabell 4-17 er vist spenningen på strekningen Dombås – Oppdal når lokomotiv EG3100 er gitt en begrensning i effektopptaket ved lave spenninger. I avsnitt 4.2.3 ble det vist at laveste spenning kom ned til 10,7kV på denne strekningen, på samme sted er spenningen nå 11,6kV. Med andre ord er spenningen nå innenfor akseptable grenser. Figur 4-24 og figur 4-25 viser at spenningen bare for en meget kort periode (noen få sekunder) kommer under 12,0kV.

Tabell 4-17 Belastning av omformere med dagens banestrømforsyning, kapasitetsoptimal ruteplan og moderne lokomotiver (EG3100) for godstogene. Lokomotiver med mindre effektopptak ved lave spenninger

Tog nr.	Simulering 0b med EG3100 med redusert effektopptak		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [time : minutt]
35761	11,6	382,8	10:28
35758	11,6	379,5	11:08



Figur 4-24 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 35761 Dombås - Oppdal. Kapasitetsoptimal ruteplan. Simulering uten forsterkningstiltak. Lokomotiver med mindre effektopptak ved lave spenninger



Figur 4-25 Spenningen på kontaktledningen for sørgående godstog 35758 Oppdal - Dombås. Kapasitetsoptimal ruteplan. Simulering uten forsterkningstiltak. Lokomotiver med mindre effektopptak ved lave spenninger

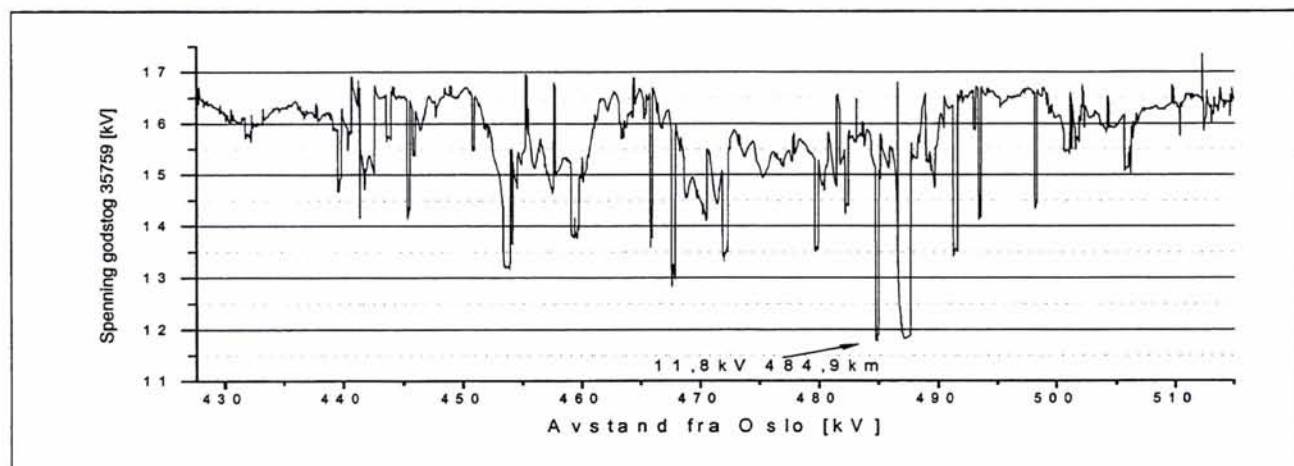
4.3.2 Spenningen på kontaktledningen for tog Oppdal - Lundamo

Nedenfor viser tabell 4-18 laveste spenning på strekningen Oppdal – Lundamo når lokomotivene gies en begrensning av effektopptaket ved lave spenninger. I avsnitt 4.2.4 ble det vist at spenningen kom ned mot 11,6 og 11,4kV for henholdsvis nord- og sørgående godstog. Forbedring er på bare 0,2kV, men spenningen her er uansett ikke så lav at det kan betegnes som kritisk.

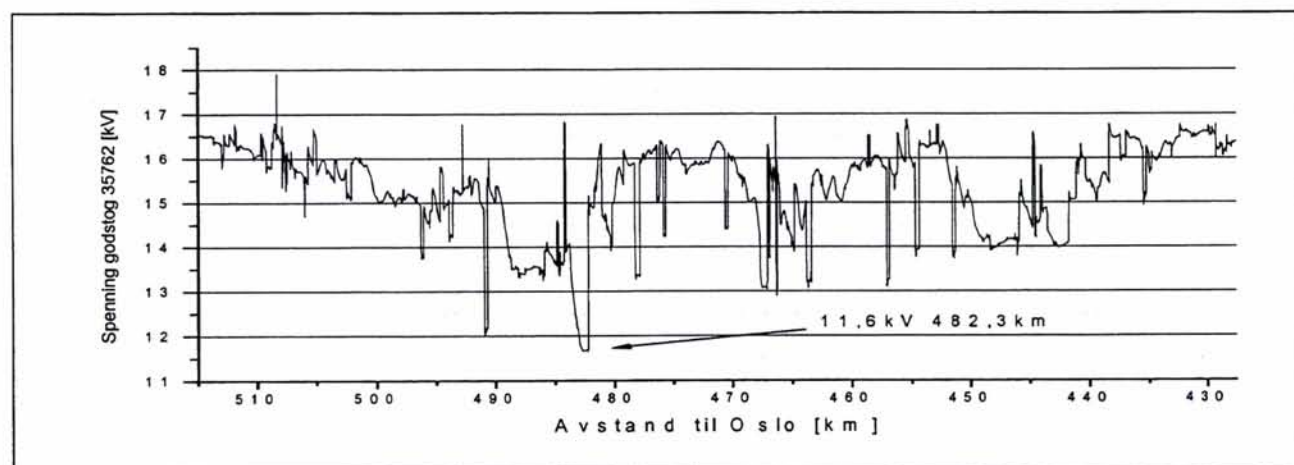
Spenning under 12,0kV er ikke tillatt over lengre tid, i følge IEC nr 60850. For det sørgående godstoget 35759 er spenningen under 12,0kV på en avstand av ca 710m. Ved videre undersøkelse av resultatene i ORIGIN viser det seg at tiden dette tar er 35 sekunder, altså så kort tid at det kan tillates i følge denne normen.

Tabell 4-18 Laveste spenning for godstog Oppdal - Lundamo. Ingen forsterkningstiltak. Lokomotiver med mindre effektopptak ved lave spenninger. Kapasitetsoptimal ruteplan.

Tog nr.	Simulering 0b		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [time : minutt]
35759	11,8	484,9	11:13
35762	11,6	482,3	10:40



Figur 4-26 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 35759 Oppdal - Lundamo. Kapasitetsoptimal ruteplan. Simulering uten forsterkningstiltak. Lokomotiver med mindre effektopptak ved lave spenninger



Figur 4-27 Spenningen på kontaktledningen for sørgående godstog 35762 Lundamo - Oppdal. Kapasitetsoptimal ruteplan. Simulering uten forsterkningstiltak. Lokomotiver med mindre effektopptak ved lave spenninger

4.4 Simulering 2 med forsterket konvensjonell banestrømforsyning og kapasitetsoptimal ruteplan

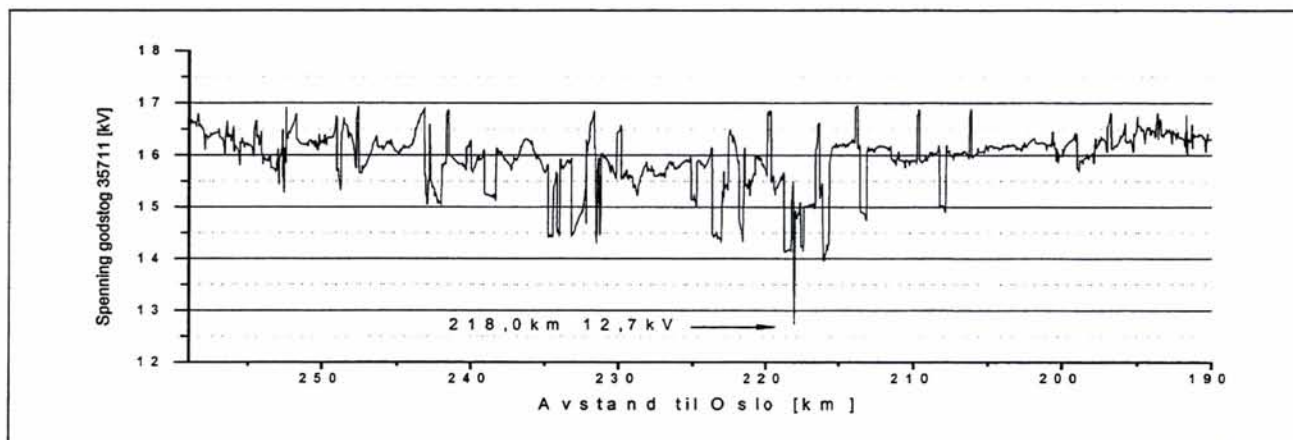
I simulering 2 er Rudshøgda og Otta omformere utvidet til et aggregat på 5,8MVA, Oppdal og Dombås er utvidet til 2 x 7,0MVA ellers er alle omformere som før. Det er ikke innført noen andre forsterkningstiltak enn dette. Det er satt inn en modell for EG3100 lokomotivene som gir lavere effekt ved lave spenninger på samme måte som i simulering0b.

4.4.1 Spenningen på kontaktledningen for tog Fåberg - Fron

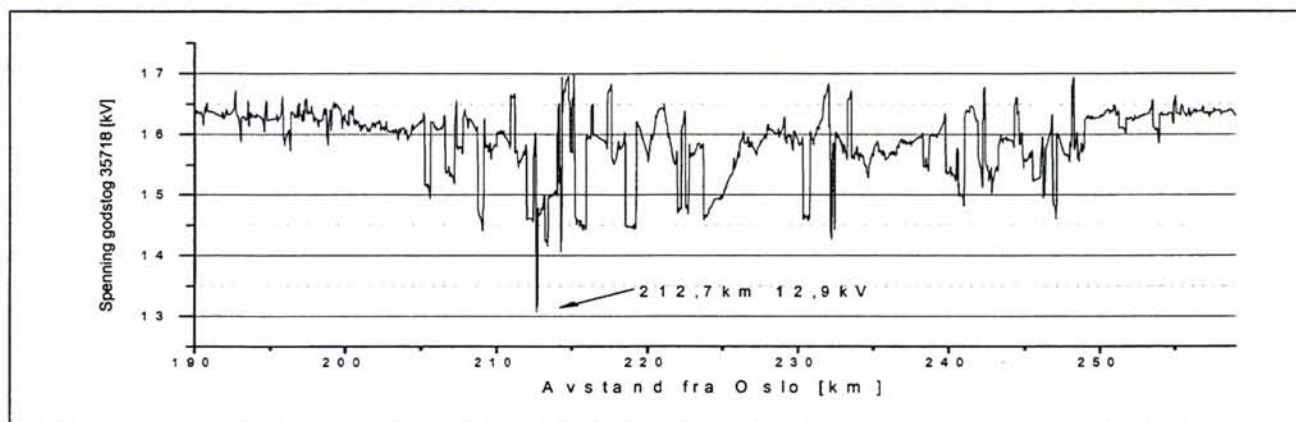
Laveste spenning på strekningen Fåberg – Fron er noe høyere nå enn i simulering 0 der togene ikke hadde så stor effektbegrensning ved lave spenninger.

Tabell 4-19 Laveste spenning for godstog Fåberg - Fron. Forsterkning av omformere og utfall av et aggregat på Oppdal. Lokomotiver med mindre effektopptak ved lave spenninger. Kapasitetsoptimal ruteplan

Tog nr.	Simulering 2		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [time : minutt]
35711	12,7	218,0	10:21
35718	12,9	212,7	11:03



Figur 4-28 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 35711 Fåberg - Fron. Kapasitetsoptimal ruteplan. Simulering med forsterkningstiltak og utfall av et aggregat på Oppdal



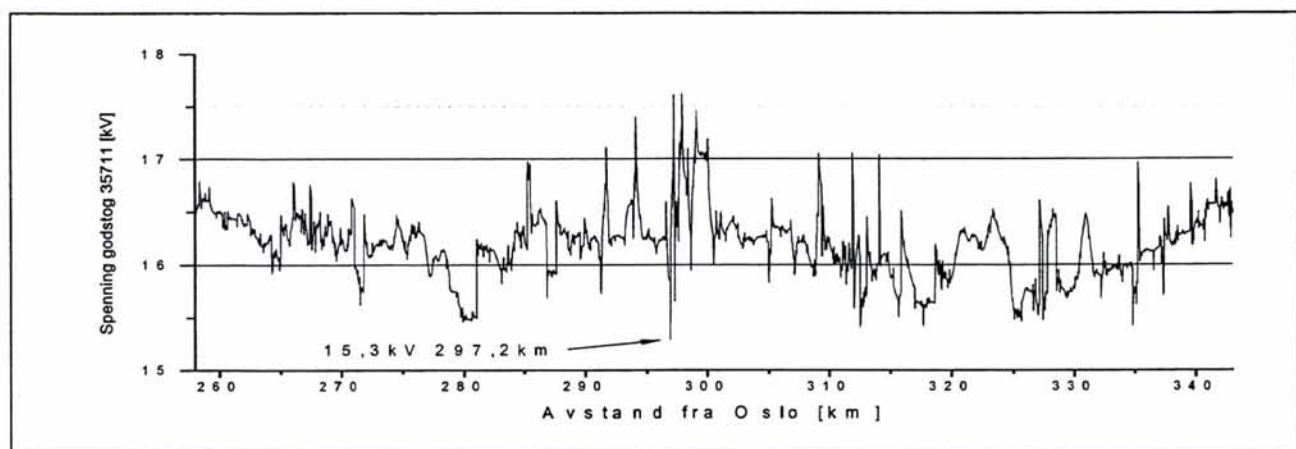
Figur 4-29 Spenningen på kontaktledningen for sørgående godstog 35718 Fåberg - Fron. Kapasitetsoptimal ruteplan. Simulering med forsterkningstiltak og utfall av et aggregat på Oppdal

4.4.2 Spenningen på kontaktledningen for tog Fron – Otta – Dombås

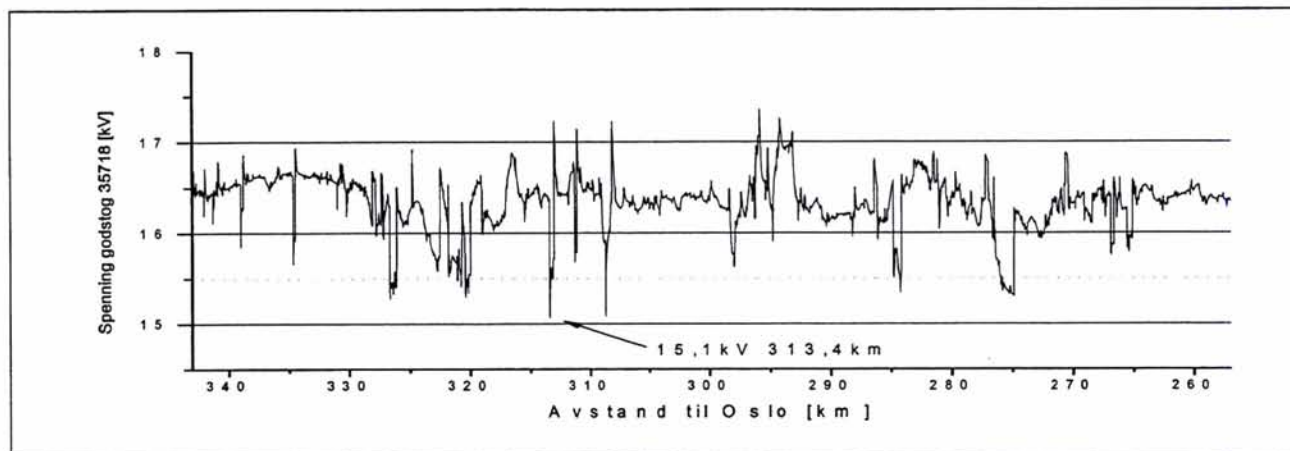
Med utvidelse av Otta omformer til et aggregat på 5,8MVA er spenningen blitt en del forbedret i forhold til tidligere simulering 0b, der et aggregat på 3,1MVA var installert på Otta, se tabell 4-20. Laveste spenning i simulering 0b var 14,3kV på denne strekningen, og den er nå 15,1kV nå.

Tabell 4-20 Laveste spenning for godstog Fron – Otta - Dombås. Forsterkning av omformere og utfall av et aggregat på Oppdal. Lokomotiver med mindre effektopptak ved lave spenninger. Kapasitetsoptimal ruteplan

Tog nr.	Simulering 2		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [time : minutt]
35711	15,3	297,2	12:20
35718	15,1	313,4	11:29



Figur 4-30 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 35711 Fron – Otta - Dombås. Kapasitetsoptimal ruteplan. Simulering med forsterkningstiltak og utfall av et aggregat på Oppdal



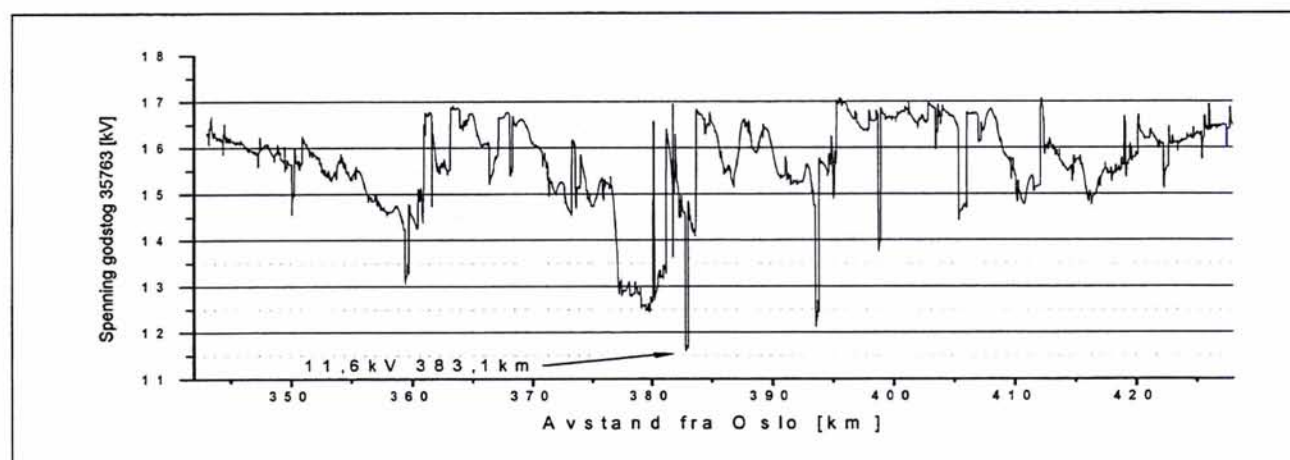
Figur 4-31 Spenningen på kontaktledningen for sørgående godstog 35718 Dombås - Otta - Fron. Kapasitetsoptimal ruteplan. Simulering med forsterkningstiltak og utfall av et aggregat på Oppdal

4.4.3 Spenningen på kontaktledningen for tog Dombås - Oppdal

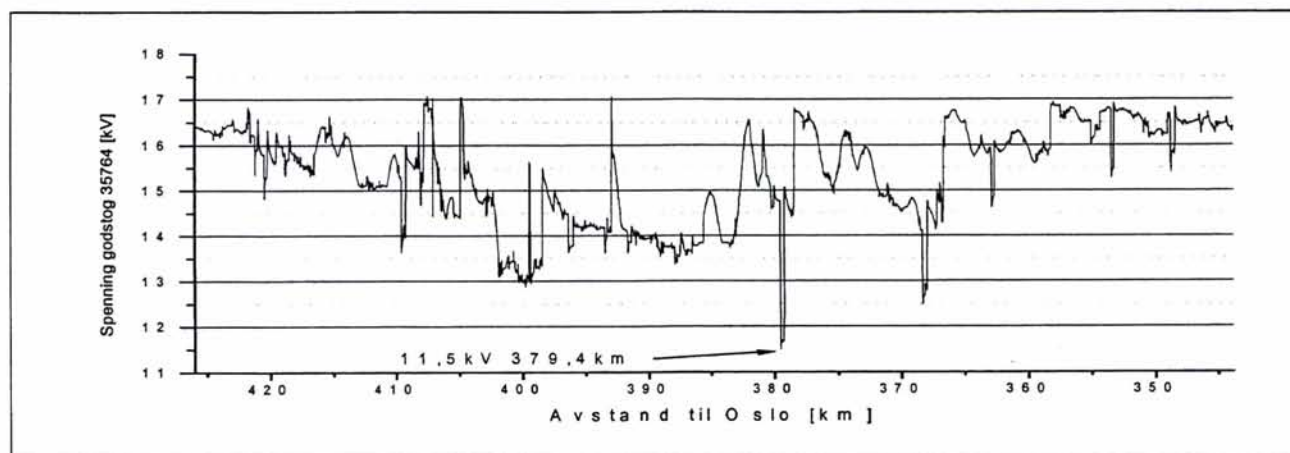
Laveste spenning på strekningen Dombås – Oppdal kommer under 12,0kV bare et kort øyeblikk for begge godstogene, se tabell 4-21. Bortsett fra et stort spenningsfall for begge togene, ligger spenningen på resten av strekningen på meget akseptable verdier, se figur 4-32 og figur 4-33. Spesielt med tanke på at et aggregat i Oppdal omformer er utkoblet er dette gode resultater, men at det nå er to aggregater på 7,0MVA i Dombås omformer har nok noe å si for forbedringen.

Tabell 4-21 Laveste spenning for godstog Dombås - Oppdal. Forsterkning av omformere og utfall av et aggregat på Oppdal. Lokomotiver med mindre effektopptak ved lave spenninger. Kapasitetsoptimal ruteplan

Tog nr.	Simulering 2		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [time : minutt]
35763	11,6	383,1	11:08
35764	11,5	379,4	13:08



Figur 4-32 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 35763 Dombås - Oppdal. Kapasitetsoptimal ruteplan. Simulering med forsterkningstiltak og utfall av et aggregat på Oppdal



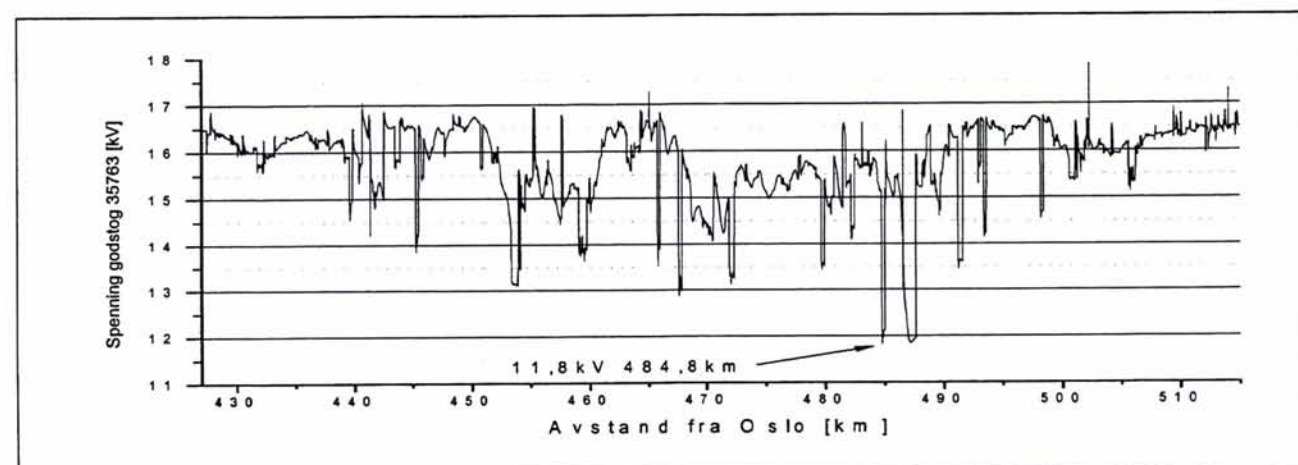
Figur 4-33 Spenningen på kontaktledningen for sørgående godstog 35764 Oppdal - Dombås. Kapasitetsoptimal ruteplan. Simulering med forsterkningstiltak og utfall av et aggregat på Oppdal

4.4.4 Spenningen på kontaktledningen for tog Oppdal - Lundamo

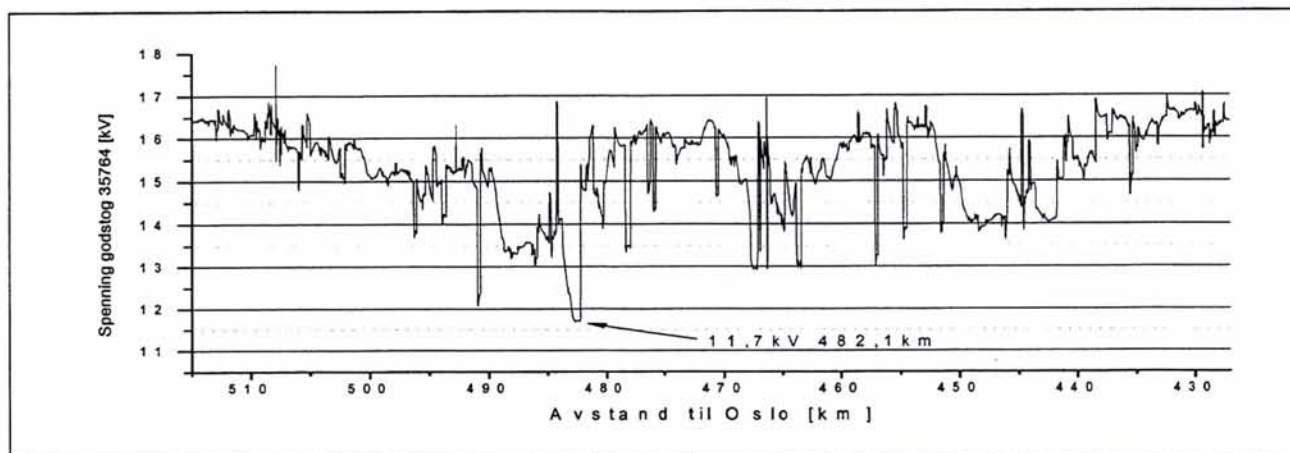
Tabell 4-22 viser laveste spenning for godstog i begge retninger på strekningen Oppdal – Lundamo. Sammenlignes laveste spenning her med resultatet fra simulering 0b, se tabell 4-18, ser en at forskjellen er liten, selv om et aggregat nå er koblet ut i Oppdal. Kanskje ville en ha forventet en noe mindre verdi for laveste spenning. Uansett vil nok ikke forsterkningen med to aggregater på 7,0MVA istedenfor 5,8MVA i Oppdal gjøre så stort utslag på laveste spenning, da dette er en lang strekning med stor stigning.

Tabell 4-22 Laveste spenning for godstog Oppdal - Lundamo. Forsterkning av omformere og utfall av et aggregat på Oppdal. Lokomotiver med mindre effektopptak ved lave spenninger. Kapasitetsoptimal ruteplan

Tog nr.	Simulering 2		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [time : minutt]
35763	11,8	484,8	12:34
35764	11,7	482,1	11:20



Figur 4-34 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 35763 Oppdal - Lundamo. Kapasitetsoptimal ruteplan. Simulering med forsterkningstiltak og utfall av et aggregat på Oppdal



Figur 4-35 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 35764 Lundamo - Oppdal. Kapasitetsoptimal ruteplan. Simulering med forsterkningstiltak og utfall av et aggregat på Oppdal

4.4.5 Belastning av omformere

Nedenfor viser tabell 4-23 belastningen av omformerne for simulering 2. Med de nye aggregatene installert blir belastningen for Otta og Dombås innenfor akseptable grenser, men ved at det ene aggregatet på Oppdal er koblet ut blir belastningen på det gjenværende noe stor. Men en overbelastning på 11% for timesverdien er ikke meget. Overbelastning for 6 minutters verdiene er allikevel mer kritisk, denne belastningen er innenfor grenser som ikke gir overtemperatur og utfall av aggregatet.

Dette resultatet kan sammenlignes med tabell 4-15 som viser belastningen av omformerne med dagens installerte ytelser. Forskjellen i belastningen er ikke stor. Som ventet leverer Oppdal omformer mindre effekt ved utfall av et aggregat, og Lundamo omformer må levere mer. Dombås omformer leverer nesten den samme effekten. Størst endring oppstår for Otta omformer som nå leverer dobbelt så mye som før. Dette har nok sammenheng med at økt ytelse på Otta fører til bedre spenning for togene, som dermed trekker mer effekt, se avsnitt 4.4.2. Belastningsgraden for Otta omformer er litt over 70%, dermed skulle et aggregat på 5,8MVA være tilstrekkelig.

Selv om aggregatet i Otta omformer skulle falle ut er det tvilsomt at spenningen skulle kunne komme ned under 12,0kV. Se tabell 4-12 som viser at spenningen på distansen Fron – Otta – Dombås bare kommer ned mot 14,3kV i simulering 0, med et aggregat på 3,1MVA på Otta. Det er også sannsynlig at utfall av andre omformere ikke gir spenninger under 12,0kV på noen av de andre strekningene.

Tabell 4-23 Belastning av omformere med forsterket konvensjonell banestrømforsyning, utfall av et aggregat på Oppdal, kapasitetsoptimal ruteplan og moderne lokomotiver (EG3100) for godstogene

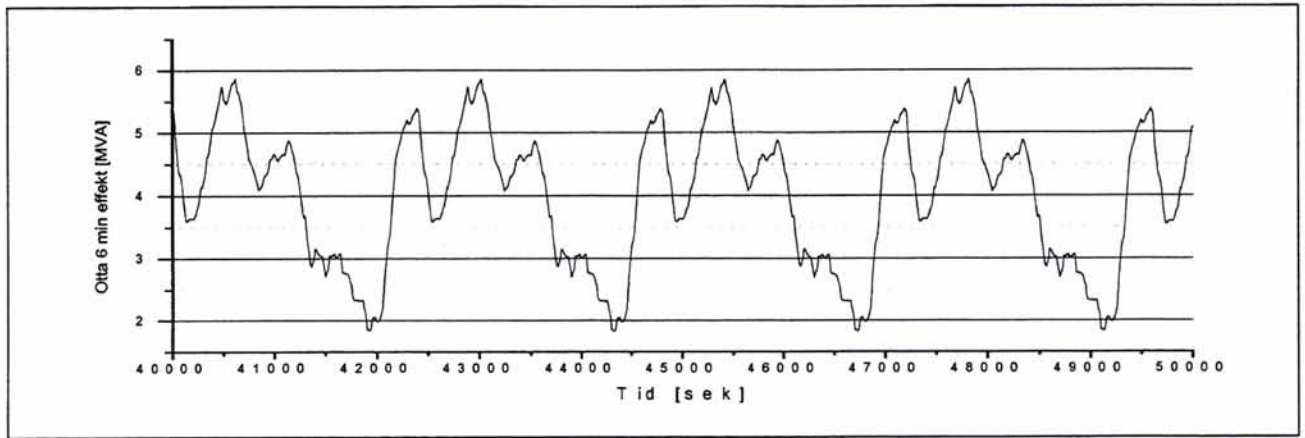
Omformer	Innsatt ytelse	Simulering 2 Kapasitetsoptimal ruteplan								
	Effekt	Effekt						Strøm [kA]		
		1 time			6 minutter			2 sekunder		
		[MVA]	[MVA]	[%]	[kl]	[MVA]	[%]	[kl]	[kA]	[%]
Fåberg	2 x 5,8	6,07	52	09:23 10:03 10:43	7,43	46	09:20 10:00 10:40	0,953	76	09:20 10:00 10:40
Fron	2 x 5,8	6,12	53	09:23 10:03 10:43	8,58	54	08:36 09:46 10:26	0,844	68	09:08 09:48 10:28
Otta	5,8	4,27	74	12:55 13:35 14:15	5,86	73	08:24 09:14 09:54	0,757	61	10:21 11:01 11:41
Dombås	2 x 7,0	7,42	53	09:25 10:05 10:45	10,54	48	11:55 12:35 13:15	1,057	64	12:10 12:50 13:30
Oppdal	Utfall: 7,0	7,76	111	10:54 11:34 12:14	10,80	68	12:38 13:18 13:58	1,111	67	11:56 12:36 13:16
Lundamo	2 x 7,0	7,28	52	11:21 12:01 12:41	11,94	54	11:20 12:00 12:40	1,016	62	11:53 12:33 13:13
Stavne	2 x 7,5	5,19	54	11:29 12:09 12:49	8,04	-	10:41 11:21 12:01	0,700	77	11:57 12:37 13:17

Fåberg, Fron, Dombås, Lundamo og Stavne

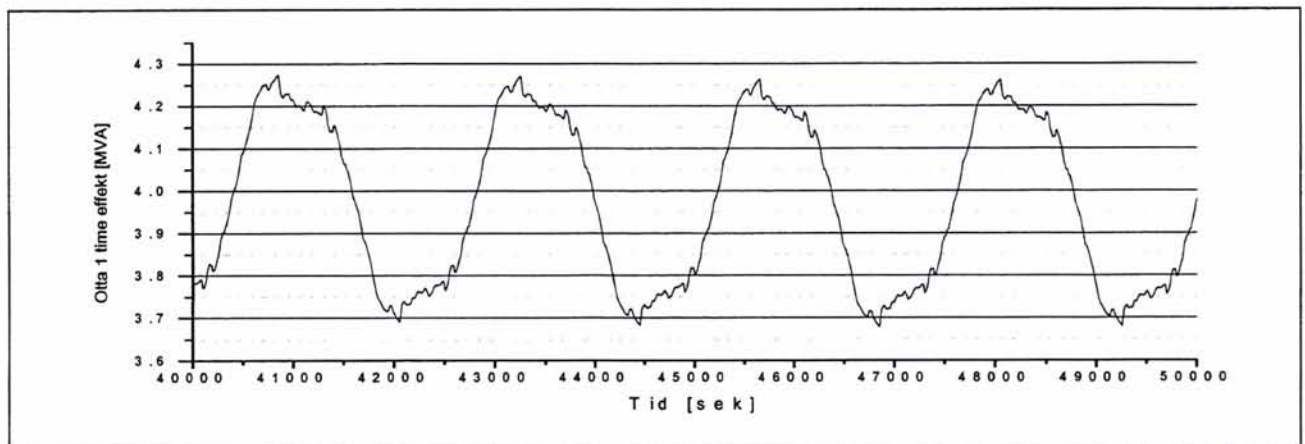
For disse omformerne er belastningen helt innenfor akseptable grenser. Selv om et aggregat er ute på Oppdal blir ikke belastningen på aggregatene på Dombås og Lundamo spesielt stor.

Otta

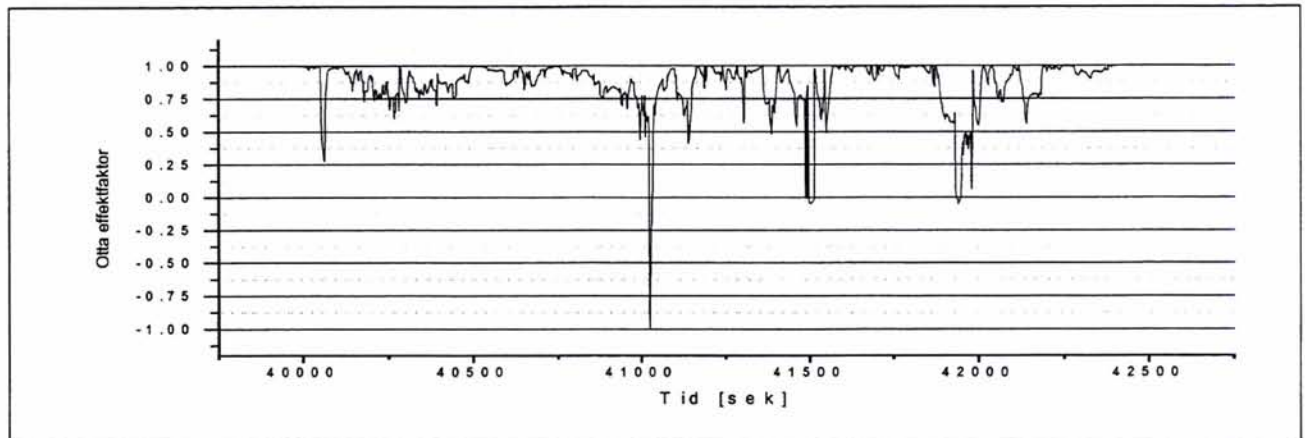
Figur 4-36 og figur 4-37 viser henholdsvis 6 minutters og timesverdi for Otta omformer. Når en liten omformer som Otta står sammen med andre store omformere kan det bli problemer med levering av aktiv effekt. Erfaring tilsier at en liten omformer gir mye reaktiv effekt, men lite aktiv effekt, dette er undersøkt spesielt her. Figur 4-38 viser effekt faktoren innenfor en periode på 40 minutter (periodetid for belastningen), her legger en merke til at den holder seg mellom 0,75 og 1,0 det meste av tiden.



Figur 4-36 Total 6 minutters effekt fra Otta omformer ($S_{6min} = 8,0MVA$). Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan, forsterket konvensjonell banestrømforsyning og utfall av et aggregat på Oppdal. 40000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 11:07



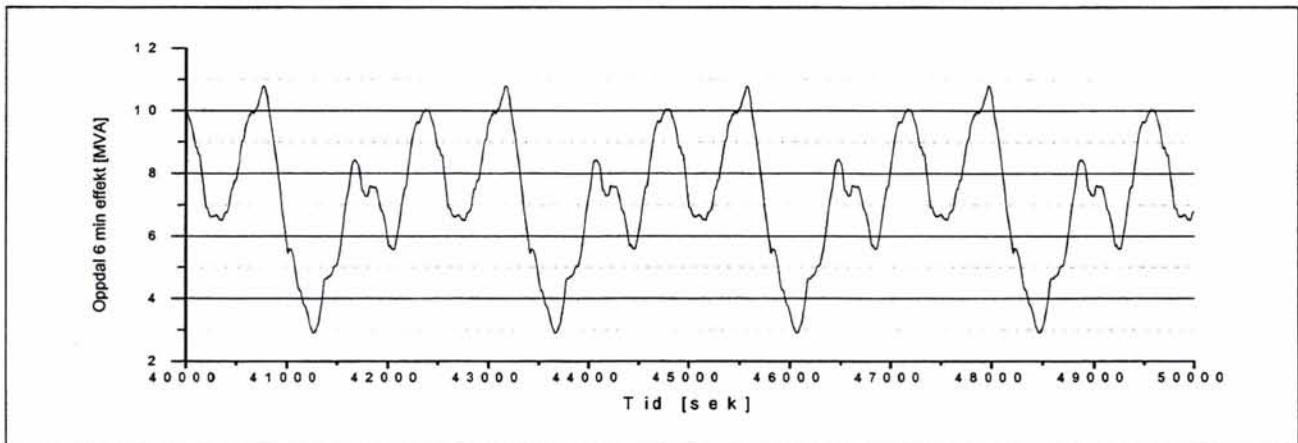
Figur 4-37 Total times effekt fra Otta omformer ($S_{1time} = 7,0MVA$). Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan, forsterket konvensjonell banestrømforsyning og utfall av et aggregat på Oppdal. 40000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 11:07



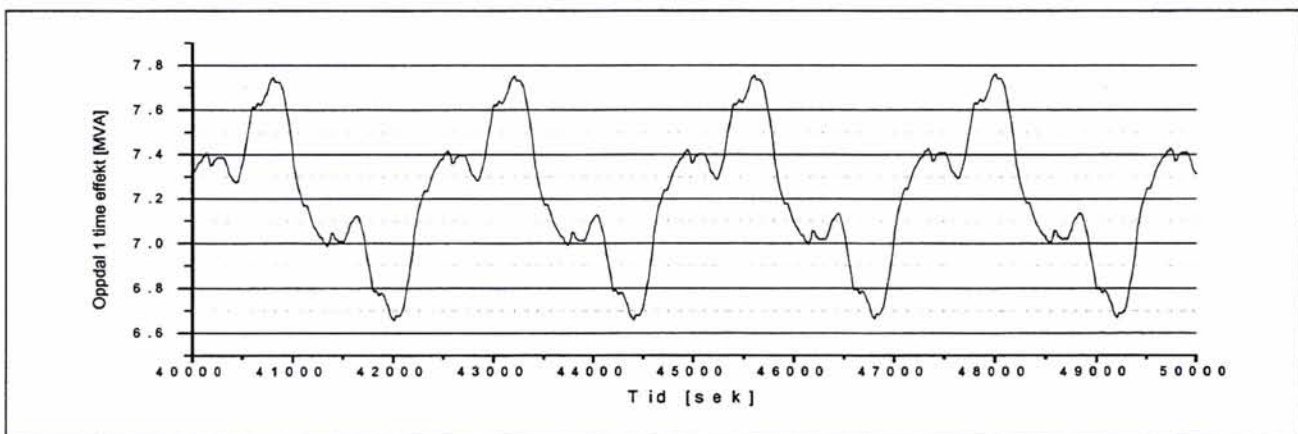
Figur 4-38 Effektfaktoren for Otta omformer som funksjon av tiden. Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan, forsterket konvensjonell banestrømforsyning og utfall av et aggregat på Oppdal. 40000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 11:07

Oppdal

Nedenfor viser Figur 4-39 og figur 4-40 belastningen på det gjenværende aggregatet i Oppdal omformer. Som en ser er belastningen store deler av tiden over 7,0MVA som er maksimalt tillatte belastning. For den beregnede timesbelastningen er variasjonen av effekten liten.



Figur 4-39 Total 6 minutters effekt fra Oppdal omformer ($S_{6\text{min}} = 11,0\text{MVA}$). Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan, forsterket konvensjonell banestrømforsyning og utfall av et aggregat på Oppdal. 40000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 11:07



Figur 4-40 Total times effekt fra Oppdal omformer ($S_{1\text{time}} = 7,0\text{MVA}$). Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan, forsterket konvensjonell banestrømforsyning og utfall av et aggregat på Oppdal. 40000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 11:07

4.4.6 Belastningen av kontaktledningsnettet, sugetransformatorer og filterspoler

For simuleringen med utfall av Oppdal omformer er avgangen fra Dombås omformer av størst interesse, fordi tidligere simuleringer har vist at denne avgangen blir spesielt mye belastet. Derfor er 5 sekunders, 5 og 30 minutters og 2 timers verdier av strømmen beregnet bare for denne avgangen. For verdiene som gjelder for kontaktledningen er alle verdiene godt innenfor grenseverdien, også 6 minutters verdiene for samtlige avganger. Avganger for de andre omformerne er undersøkt tidligere i simulering 0 under neste like forhold, uten at ugunstige belastningsnivåer ble avdekket.

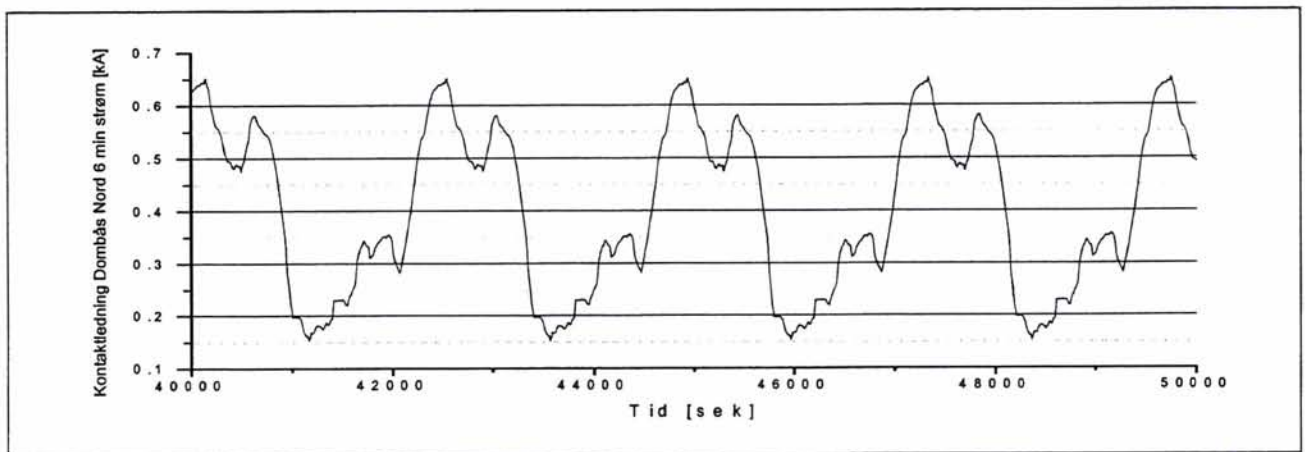
For filterimpedanser på 380A (eller 600A) og sugetransformatorer på 380A (eller 600A når disse skiftes ut) er belastningsstrømmen innenfor akseptable grenser. Bare om det på avgangen fra Dombås omformer og nordover skulle være noen sugetransformatorer på 250A ville det bli problemer med overbelastning for 2 timesverdien.

Tabell 4-24 Belastning på omformeravganger for kontaktledning, sugetransformatorer og filterimpedanser. Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan og moderne lokomotiver (EG3100)

Omformer-avgang	Simulering 2							
	Strøm [kA]							
	1 sek	5 sek	10 sek	1 min	5 min	6 min	30 min	2 timer
Otta nord	0,602	-	0,565	0,452	-	0,380	-	-
Dombås sør	0,684	-	0,667	0,463	-	0,364	-	-
Dombås nord	0,968	0,966	0,947	0,747	0,661	0,654	0,477	0,424
Oppdal sør	0,755	-	0,730	0,556	-	0,409	-	-
Oppdal nord	0,879	-	0,851	0,755	-	0,545	-	-
Lundamo sør	0,892	-	0,875	0,757	-	0,600	-	-

Dombås

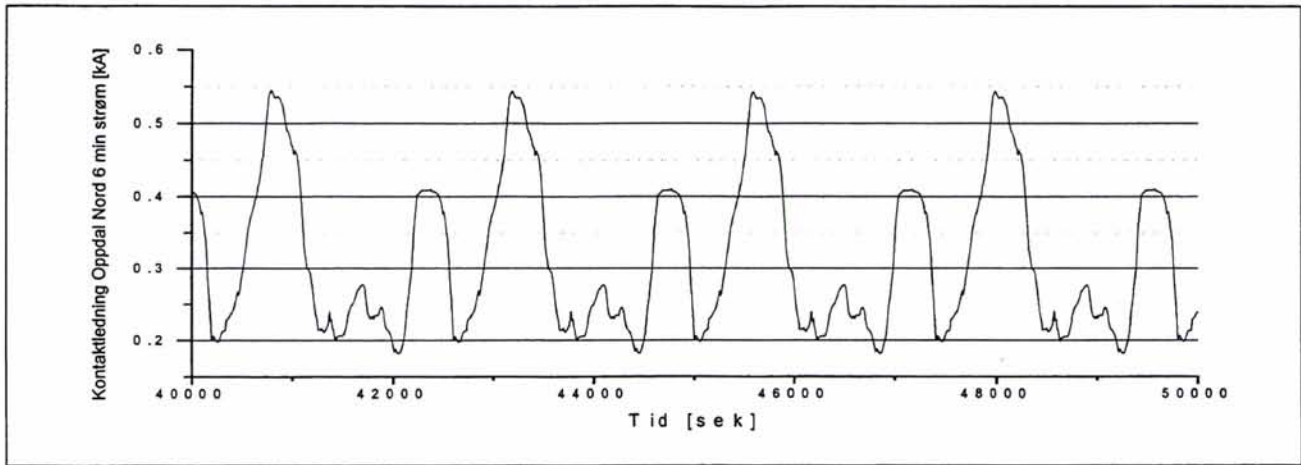
Nedenfor viser figur 4-41 strømmen på avgangen i nordlig retning fra Dombås omformer for 6 minutters verdien. Strømmen på denne avgangen får nokså høye verdier når et aggregat i Oppdal omformer er lagt ut. Men en kan også se at det er lange perioder der strømmen er lav.



Figur 4-41 Kontaktledningens 6 minutters strøm fra Dombås omformer på nordlig avgang. Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan, forsterket konvensjonell banestrømforsyning og utfall av et aggregat på Oppdal. 40000sekunder på grafen tilsvarer klokken 11:07

Oppdal

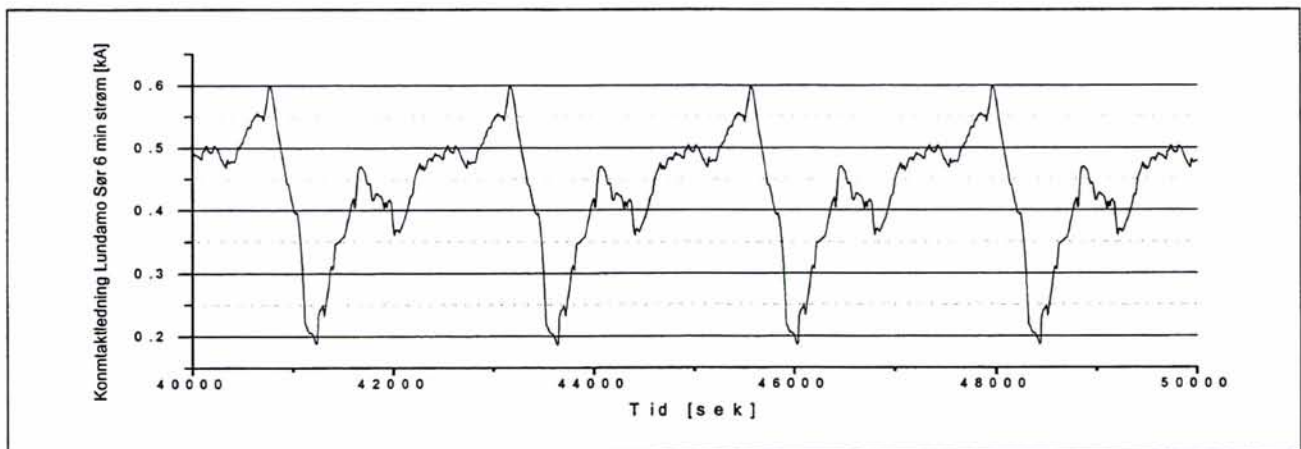
For Oppdal viser det seg at strømmen på kontaktledningen har lengre perioder med liten strøm. Se figur 4-42 som viser 6 minutters verdi for strømmen i nordlig retning. Om begge aggregatene hadde vært innkoblet hadde nok denne strømmen vært noe høyere.



Figur 4-42 Kontaktledningens 6 minutters strøm fra Oppdal omformer på nordlig avgang. Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan, forsterket konvensjonell banestrømforsyning og utfall av et aggregat på Oppdal. 40000sekunder på grafen tilsvarer klokken 11:07

Lundamo

Nedenfor viser figur 4-43 strømmen for 6 minutters verdier på kontaktledningen i nordlig retning fra Lundamo, der det blir stor strøm i denne situasjonen. Strømmen på denne avgangen ser ut til å ha tendens mot noe større verdier enn på de andre som er illustrert, allikevel er strømmen under høyeste tillatte verdi.



Figur 4-43 Kontaktledningens 6 minutters strøm fra Lundamo omformer på nordlig avgang. Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan, forsterket konvensjonell banestrømforsyning og utfall av et aggregat på Oppdal. 40000sekunder på grafen tilsvarer klokken 11:07

4.5 Simulering 1 med AT-system og kapasitetsoptimal ruteplan

Simuleringer med AT-system er gjort med økninger av ytelsen til omformer slik som simuleringene med konvensjonelt kl-system og moderne lokomotiver viste nødvendigheten av. Det vil si en økning av Dombås og Oppdal til aggregater på 2 x 7,0MVA. Omformerne på Rudshøgda og Otta er fjernet.

Når det gjelder Tangen omformer er det sannsynlig at denne kan reduseres til aggregater på 2 x 5,8MVA, istedenfor dagens 2 x 7,0MVA, disse aggregatene kan da settes inn på Oppdal. Siden denne omformeren er utenfor området som denne Hovedplanen omfatter er resultatbehandling for denne utelatt.

I simuleringen er den enkleste typen av AT-system modellert, det vil si et anlegg uten treviklings-sugetransformatorer og bare negativleder, kontaktledning og returleder i skinnene. Det er ca 10,0km mellom hver autotransformator og det er benyttet to ulike størrelser; 6,0MVA for enhetene for utmating ved omformerstasjonene og 3,0MVA for de mellomliggende enhetene.

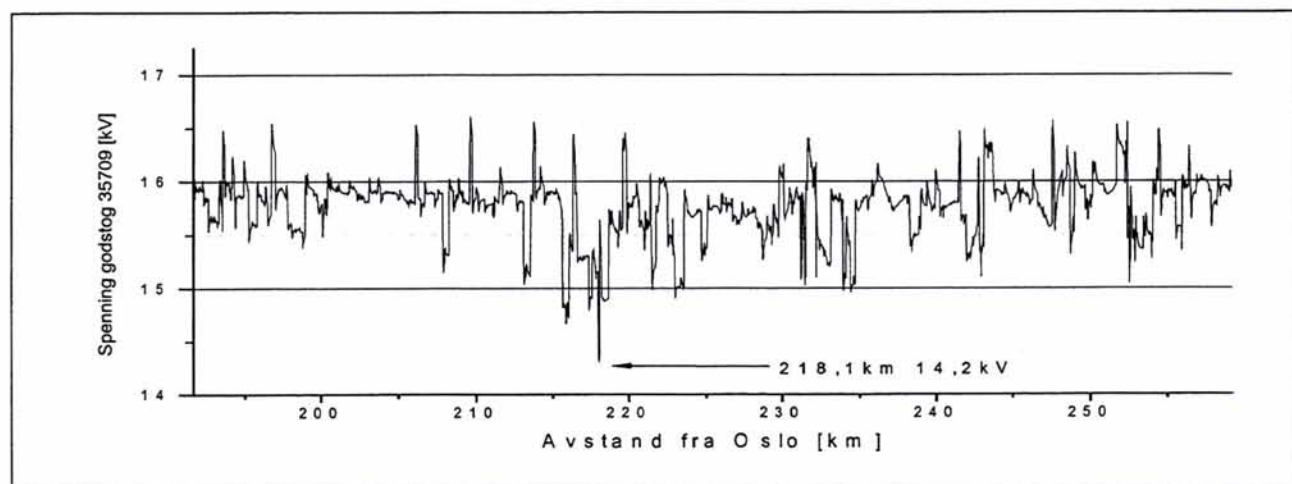
I simuleringen med AT-system er det ikke satt den samme begrensingen i togmodellene for effektopptaket ved lave spenninger som i simuleringen med konvensjonelt kl-system. Utbygging av AT-system er et forsterkningstiltak og spenningen skal ikke understige 13,5kV.

4.5.1 Spenningen på kontaktledningen for tog Fåberg - Fron

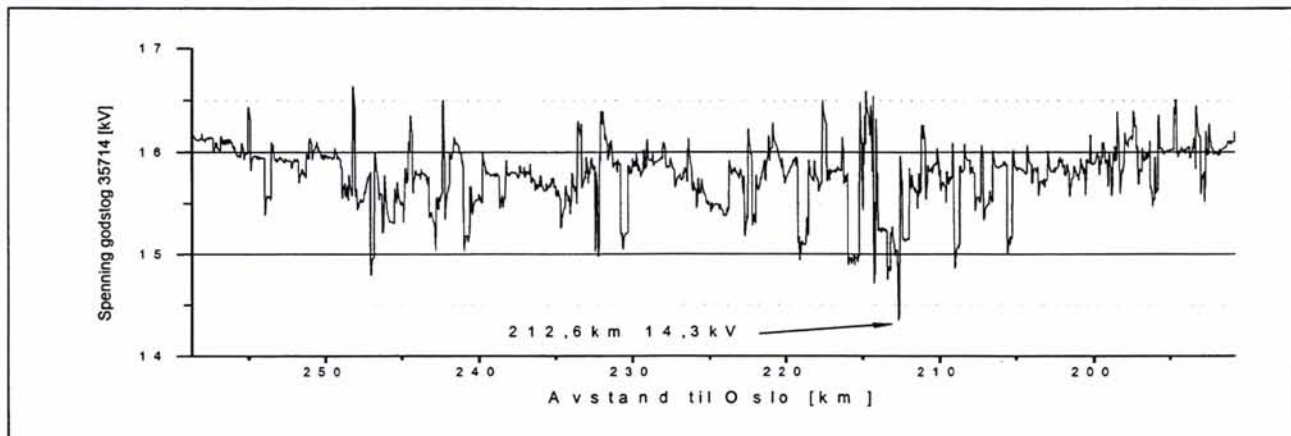
Nedenfor er det i tabell 4-25 vist laveste opptredende spenning på strekningen Fåberg – Fron med AT-system. Laveste spenning er 14,2kV for nordgående godstog. Videre viser figur 4-44 og figur 4-45 at de laveste spenningsverdiene oppstår bare som meget kortvarige spenningsfall. Dette er bemerkelsesverdig i forhold til alle tidligere simuleringer, spenningen er nå bare noen meget få steder under 15,0kV, og dette i meget kort tid.

Tabell 4-25 Laveste spenning for godstog Fåberg – Fron med AT-system. Kapasitetsoptimal ruteplan

Tog nr.	Simulering 1 – Kapasitetsoptimal ruteplan		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [time : minutt]
35709	14,2	218,1	10:21
35714	14,3	212,6	11:03



Figur 4-44 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 35709 Fåberg - Fron. Kapasitetsoptimal ruteplan og AT-system.



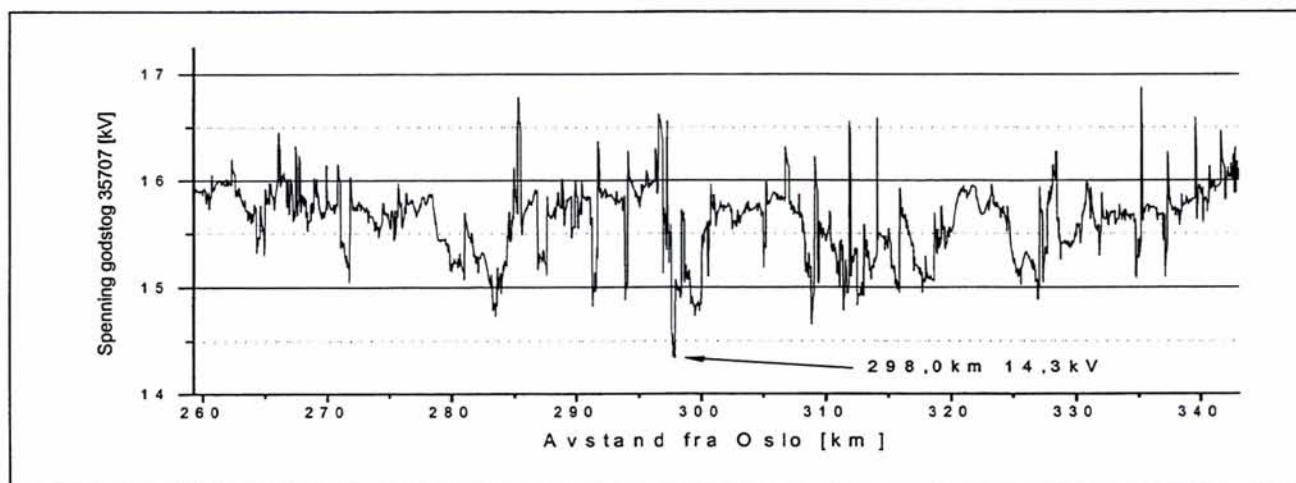
Figur 4-45 Spenningen på kontaktledningen for sørgående godstog 35714 Fron - Fåberg. Kapasitetsoptimal ruteplan og AT-system.

4.5.2 Spenningen på kontaktledningen for tog Fron - Dombås

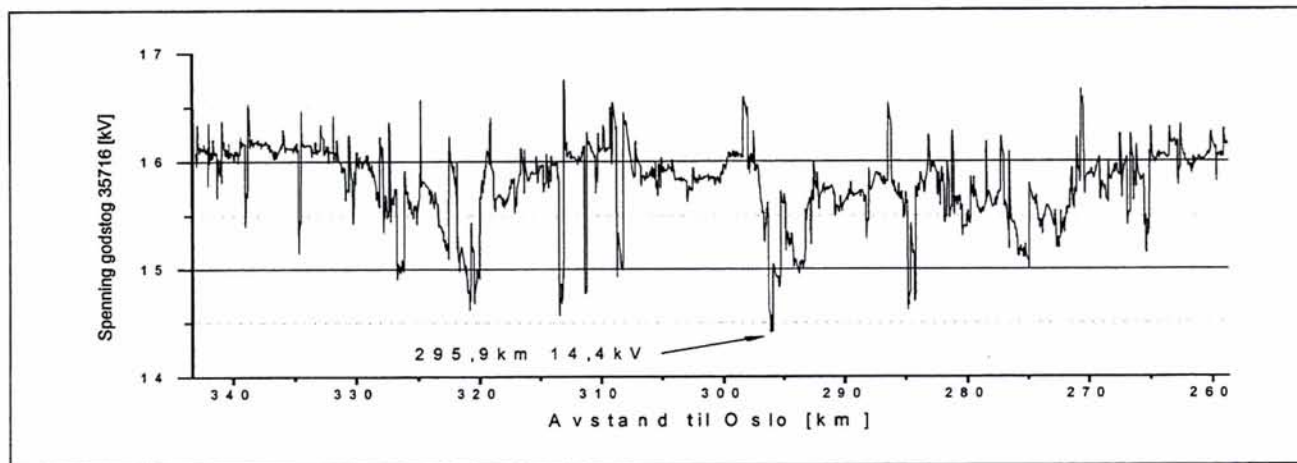
Nedenfor viser tabell 4-26 laveste spenning på strekningen Fron – Dombås. Den laveste spenningen på 14,3kV oppstår når togene krysser og akselererer ut fra Otta. Igjen er laveste spenning bemerkelsesverdig høy, og Figur 4-46 og Figur 4-47 viser at spenningen bare unntaksvis kommer under 15kV. Spenningsfallet fra omformereren og midt ut på linjen er altså knapt mer en ca 1kV.

Tabell 4-26 Laveste spenning for godstog Fron - Dombås med AT-system. Kapasitetsoptimal ruteplan

Tog nr.	Simulering 1 – Kapasitetsoptimal ruteplan		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [time : minutt]
35707	14,3	298,0	11:01
35716	14,4	295,9	10:22



Figur 4-46 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 35707 Fron - Dombås. Kapasitetsoptimal ruteplan og AT-system



Figur 4-47 Spenningen på kontaktledningen for sørgående godstog 35707 Dombås - Fron. Kapasitetsoptimal ruteplan og AT-system

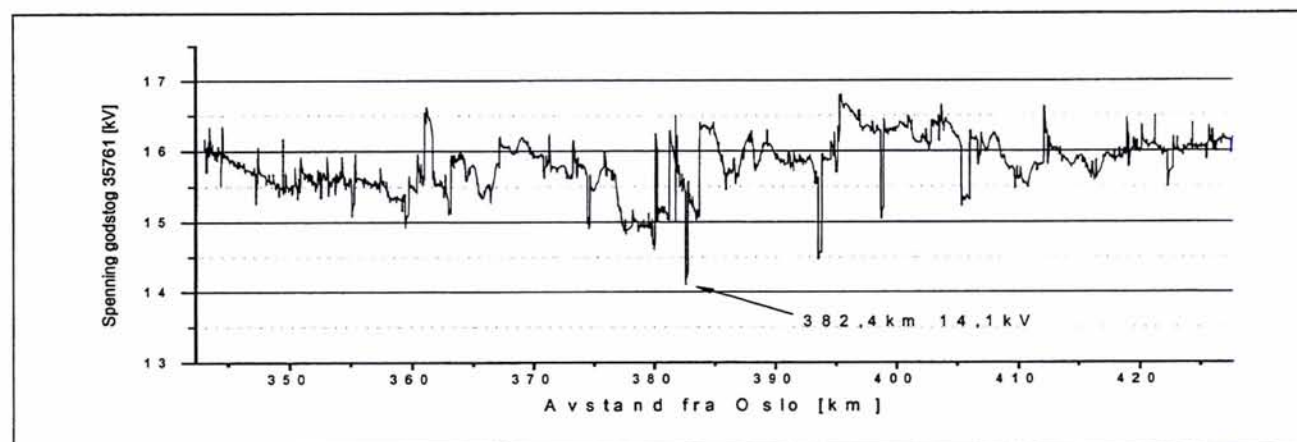
4.5.3 Spenningen på kontaktledningen for tog Dombås – Oppdal

Strekningen Dombås – Oppdal er den som i tidligere simuleringer har vist seg å gi lavest spenning for togene. I tabell 4-27 nedenfor kan en se at heller ikke her kommer spenningen lavere enn 14,1kV, dette skjer ved krysning og akselerasjon ut fra Hjerkin. Dette viser en meget god forbedring i forhold til simulering 0, se avsnitt 4.2.4 og 4.3.2, der spenningen kom under 12,0kV på samme sted.

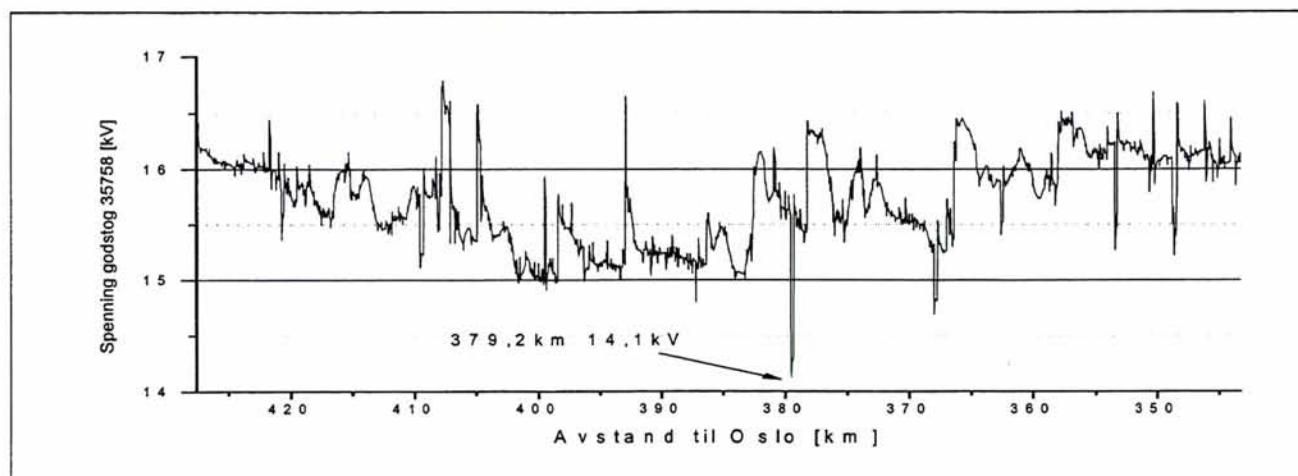
Figur 4-48 og figur 4-49 viser at et markert spenningsfall opptrer for begge togene ved Hjerkin, men dette er meget kortvarig og ned mot en spenning som er helt akseptabel. Selv på denne strekningen som før har gitt lave spenninger, er verdiene nå overveiende over 15,0kV.

Tabell 4-27 Laveste spenning for godstog Dombås – Oppdal med AT-system. Kapasitetsoptimal ruteplan

Tog nr.	Simulering 1 – Kapasitetsoptimal ruteplan		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [time : minutt]
35761	14,1	382,4	10:28
35758	14,1	379,2	10:28



Figur 4-48 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 35761 Dombås - Oppdal. Kapasitetsoptimal ruteplan og AT-system



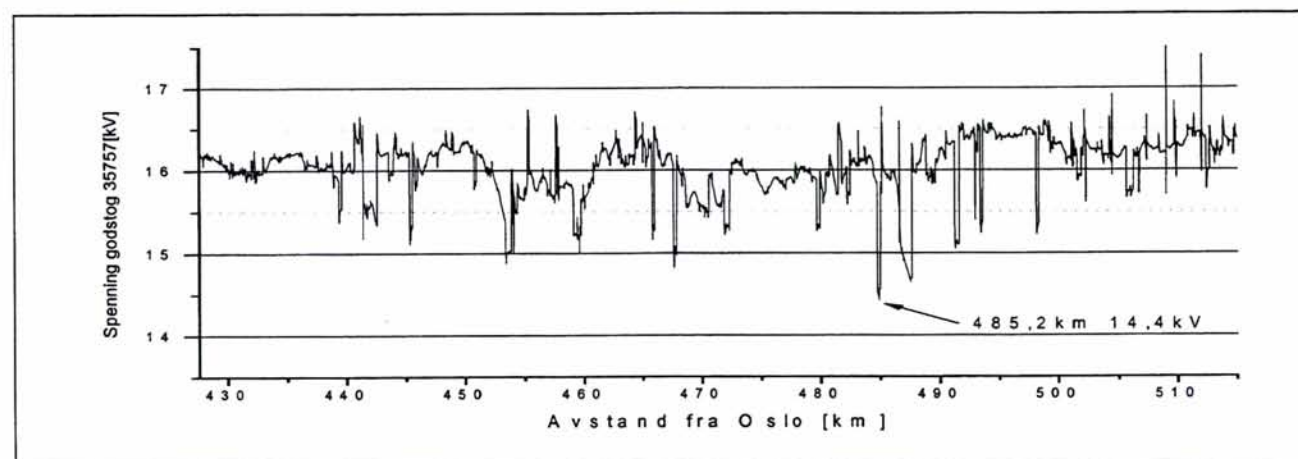
Figur 4-49 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 35758 Oppdal - Dombås. Kapasitetsoptimal ruteplan og AT-system

4.5.4 Spenningen på kontaktledningen for tog Oppdal - Lundamo

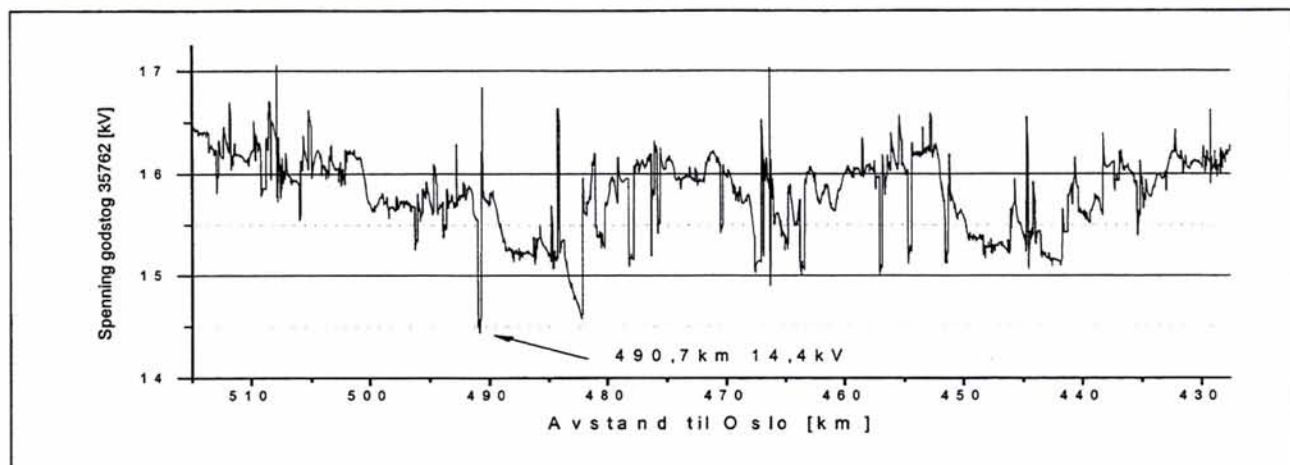
Strekningen Oppdal – Lundamo har vist seg å gi lave spenninger for togene i alle tidligere simuleringer, men tabell 4-28 viser en laveste spenning så høyt som 14,4kV. Videre viser igjen diagrammet for spenningen at denne bare over korte distanser kommer under 15,0kV, se figur 4-50 og figur 4-51. Nordgående godstog 35757 viser en tendens til noe høyere spenning, men det er jo rimelig når dette toget for det meste går i nedoverbakke og mater effekt inn på linjen det meste av distansen.

Tabell 4-28 Laveste spenning for godstog Oppdal – Lundamo med AT-system. Kapasitetsoptimal ruteplan

Tog nr.	Simulering 1 – Kapasitetsoptimal ruteplan		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [time : minutt]
35757	14,4	485,2	10:34
35762	14,4	490,7	10:40



Figur 4-50 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 35757 Oppdal - Lundamo. Kapasitetsoptimal ruteplan og AT-system



Figur 4-51 Spenningen på kontaktledningen for sørgående godstog 35762 Lundamo - Oppdal. Kapasitetsoptimal ruteplan og AT-system

4.5.5 Belastning av omformere

Tabell 4-29 nedenfor viser belastningen av omformerne ved simulering med AT-system og kapasitetsoptimal ruteplan. En kan se at belastningstoppene med 40 minutters mellomrom nå er forskjøvet en del sammenlignet med simulering 2. Dette har muligens sammenheng med at flere omformere nå er fjernet.

Som tabellen viser er belastningsgraden noe over 50% for alle omformerne. Ingen omformer er så mye belastet at det er rimelig å anta at det gjenværende aggregatet blir overbelastet om et aggregat faller ut i en stasjon. For noen få omformere er det vist grafer for belastningen for 1 times og 6 minutters verdi.

Tabell 4-29 Belastning av omformerne med AT-system og kapasitetsoptimal ruteplan

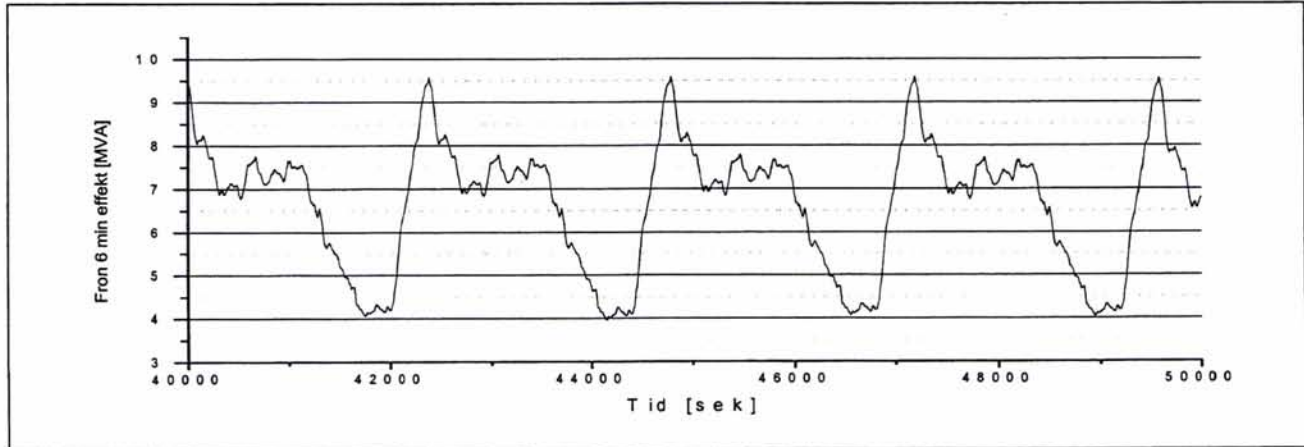
Omformer	Innsatt ytelse Effekt	Simulering 1 - Kapasitetsoptimal Ruteplan								
		Effekt						Strøm		
		1 time			6 minutter			2 sekunder		
		[MVA]	[MVA]	[%]	[kl]	[MVA]	[%]	[kl]	[A]	[%]
Fåberg	2 x 5,8	6,70	58	11:23 12:03 12:43	7,90	49	11:25 12:05 12:45	915	73	11:20 12:00 12:40
Fron	2 x 5,8	7,03	60	11:20 12:00 12:40	9,58	60	11:07 11:47 12:27	930	74	11:01 11:41 12:21
Dombås	2 x 7,0	7,73	55	11:21 12:01 12:41	11,23	51	11:17 11:57 12:37	1200	73	10:50 11:30 12:10
Oppdal	2 x 7,0	7,60	54	11:20 12:00 12:40	9,98	45	11:20 12:00 12:40	1010	61	11:06 11:46 12:26
Lundamo	2 x 7,0	6,75	48	11:21 12:01 12:41	10,58	48	11:19 11:59 12:39	960	58	11:16 11:56 12:36
Stavne	2 x 7,5	5,43	36	11:30 12:10 12:50	7,81	-	11:21 12:01 12:41	677	75	10:49 11:29 12:09

Fåberg, Lundamo og Stavne

For disse omformerne blir belastningen moderat.

Fron

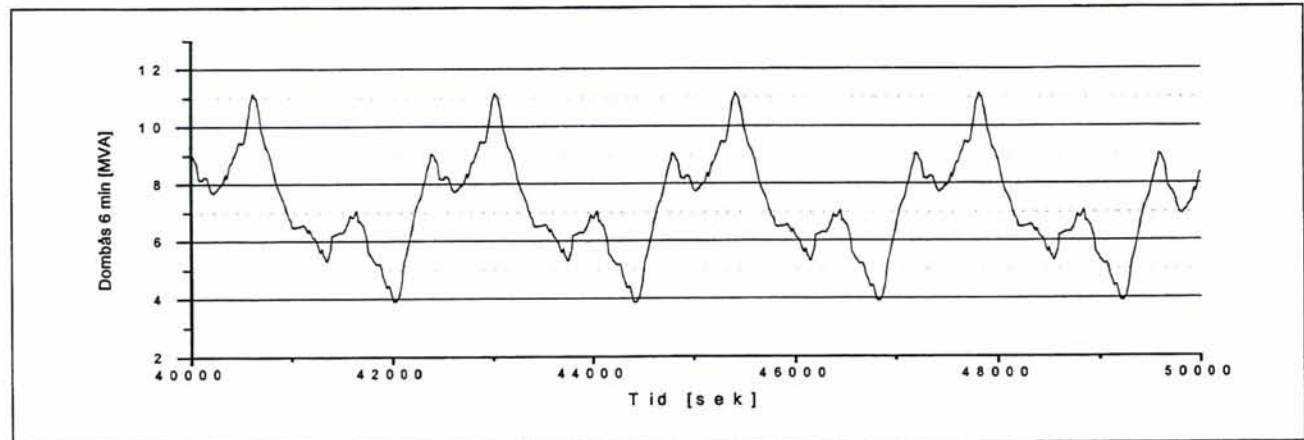
Belastningen for Fron omformer er illustrert med dens 6 minutters verdi, se figur 4-52. Fordi den kapasitetsoptimal ruteplanen gir en meget tett togtrafikk kommer effekten ikke lavere enn ca. 4,0 MVA.



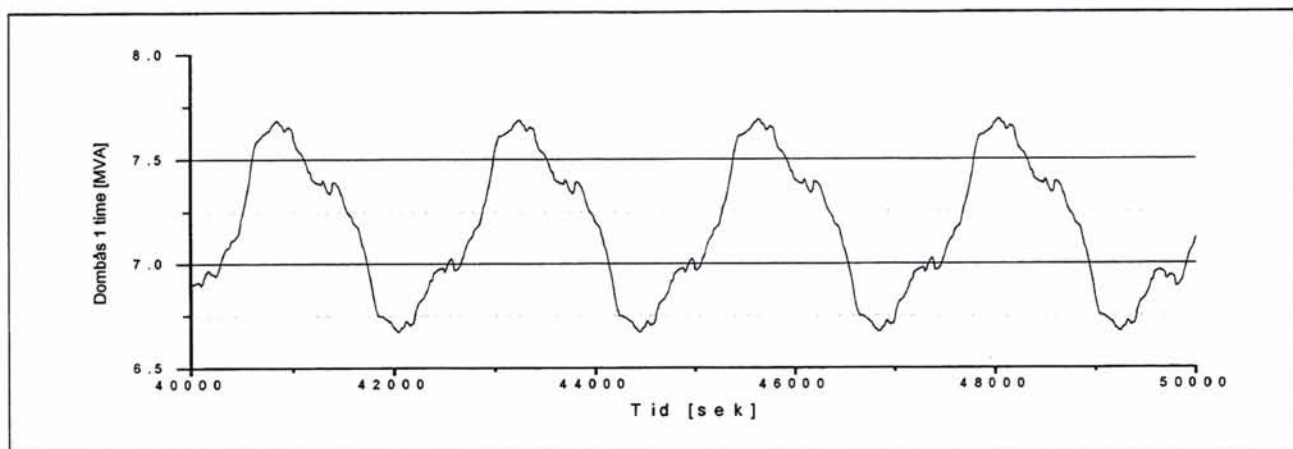
Figur 4-52 Total 6 minutters effekt fra Fron omformer ($S_{6\text{min}} = 16,0\text{MVA}$). Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan og AT-system. 40000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 11:07

Dombås

Belastningen for Dombås omformer er vist nedenfor for dens 6 minutters og 1 times verdi, se henholdsvis figur 4-53 og figur 4-54. Legg merke til at spesielt 1 times verdien varierer innenfor et meget lite område.



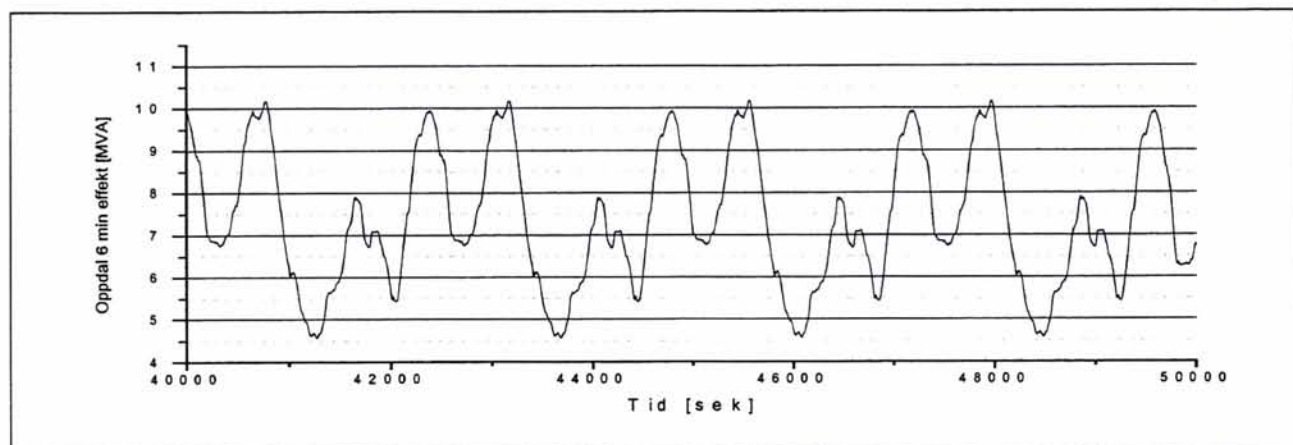
Figur 4-53 Total 6 minutters effekt fra Dombås omformer ($S_{6\text{min}} = 22,0\text{MVA}$). Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan og AT-system. 40000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 11:07



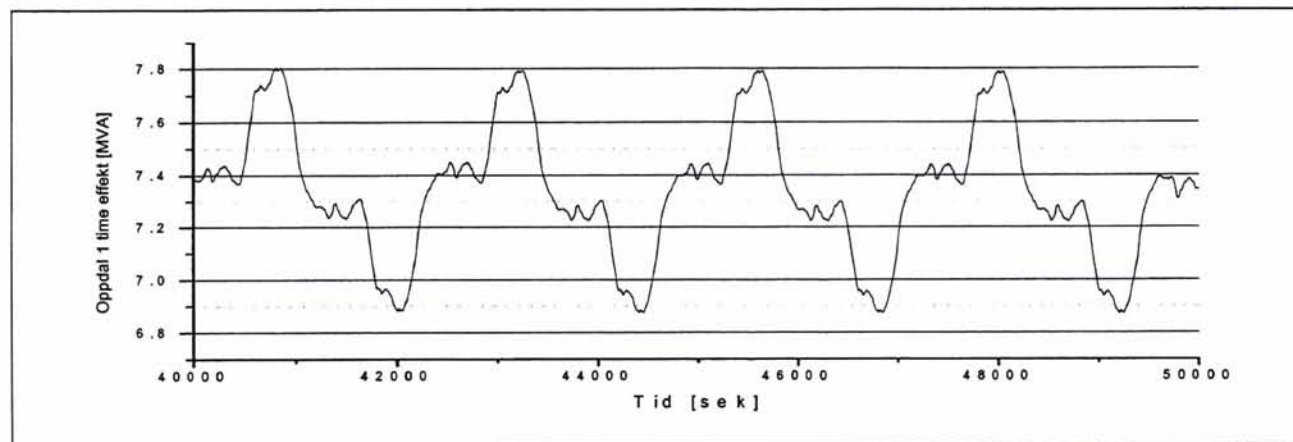
Figur 4-54 Total 1 times effekt fra Dombås omformer ($S_{1time} = 16,0MVA$). Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan og AT-system. 40000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 11:07

Oppdal

For Oppdal omformer viser figur 4-55 og figur 4-56, henholdsvis 1 times og 6 minutters total effekt fra omformeren. Også for denne omformeren blir forskjellen på høyeste og laveste verdi for 1 times effektverdi nokså liten.



Figur 4-55 Total 6 minutters effekt fra Oppdal omformer ($S_{6min} = 22,0MVA$). Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan og AT-system. 40000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 11:07



Figur 4-56 Total 1 times effekt fra Oppdal omformer ($S_{1time} = 14,0MVA$). Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan og AT-system. 40000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 11:07

4.5.6 Belastning av autotransformatorer

Nedenfor er belastningen av samtlige autotransformatorer vist, se tabell 4-30 til tabell 4-33. Det er satt inn autotransformatorer på 6,0MVA for utmating ved omformerstasjoner og 3,0MVA mellom stasjonene. I tabellene er AT1 og AT10 (AT1 til AT8 for strekningen Fåberg – Fron) utmatetransformatorer. Autotransformatorene er konstruert for å kunne utsettes for meget store overbelastningsstrømmer. Se tabell 2-4 for belastningsgrenser for autotransformatorene.

Fordi det tar lang tid å resultatbehandlingen strømmene er ikke 2, 30, 90 sekunders verdier, samt 60 minutters verdier beregnet for alle enhetene. To av de mest belastede enhetene, samt noen tilfeldig utvalgte autotransformatorer er valgt ut.

Fåberg - Fron

Av tabell 4-30 kan en se at belastningsstrømmen er helt moderat i forhold til installert ytelse. Registrerte strømmer for 2, 30 og 90 sekunders strøm er langt innenfor grensene.

Tabell 4-30 Belastning på autotransformatorer for strekningen Fåberg - Fron Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan og AT-system

Simulering 1 - Kapasitetsoptimal ruteplan					
AT – Plassering	Strøm [A]				
	Maks	2 sek	30 sek	90 sek	60 min
Fåberg - Fron AT 1	410	407	304	276	136
Fåberg - Fron AT 2	157	156	148	111	36
Fåberg - Fron AT 3	214	213	164	127	50
Fåberg - Fron AT 4	232	229	179	131	50
Fåberg - Fron AT 5	191	-	-	-	-
Fåberg - Fron AT 6	181	-	-	-	-
Fåberg - Fron AT 7	213	-	-	-	-
Fåberg - Fron AT 8	276	263	206	174	97

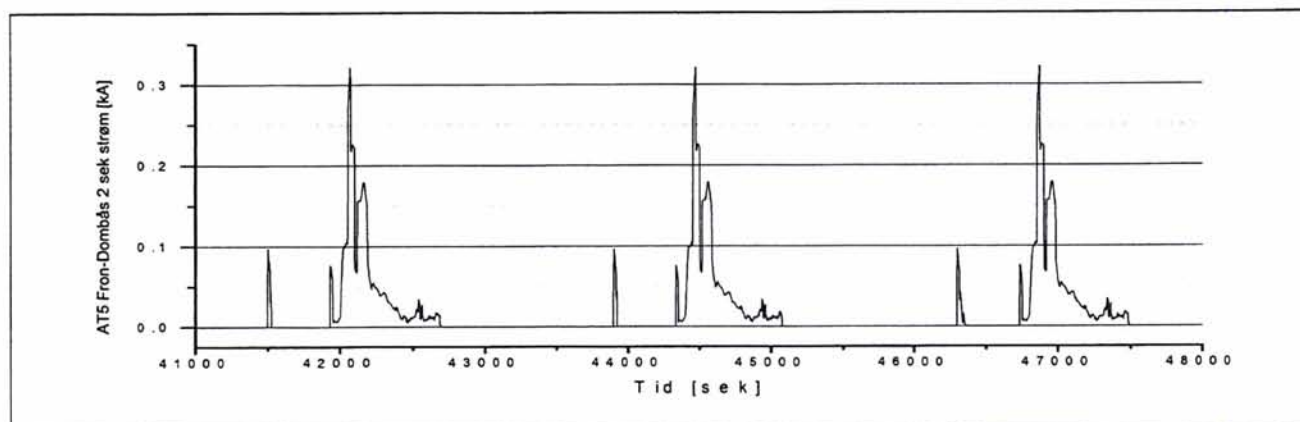
Fron -Dombås

Belastningen for autotransformatorene på strekningen Fron –Dombås er vist i tabell 4-31. Samtlige enheter ser ut til å være belastet med god margin innenfor grensene. Høyeste belastning for 90 sekunders verdien er 208A for enhet AT5, dette er en belastning på 83% av høyeste tillatte verdi.

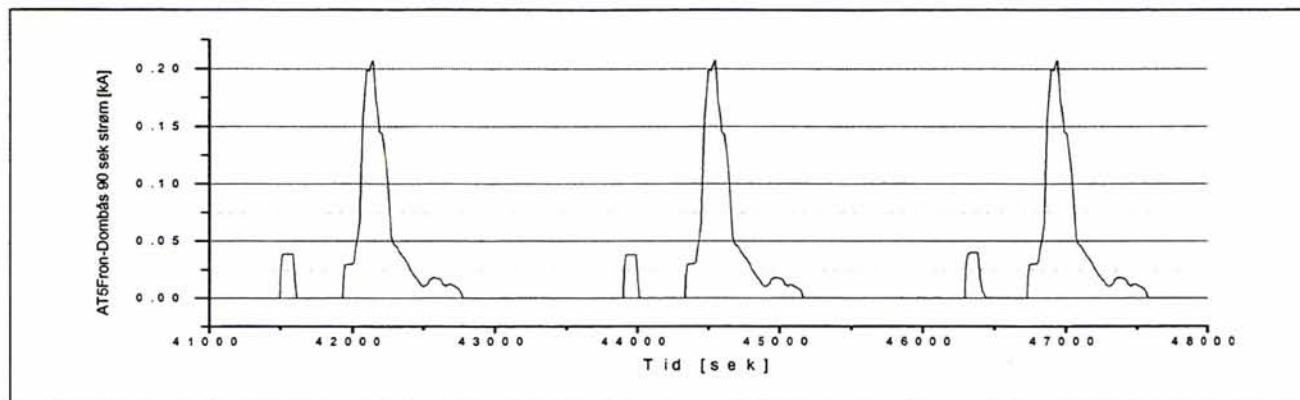
Tabell 4-31 Belastning på autotransformatorer for strekningen Fron - Dombås Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan og AT-system

Simulering 1 - Kapasitetsoptimal ruteplan					
AT - Plassering	Strøm [A]				
	Maks	2 sek	30 sek	90 sek	60 min
Fron - Dombås AT 1	362	342	299	237	145
Fron - Dombås AT 2	154	-	-	-	-
Fron - Dombås AT 3	201	200	198	177	50
Fron - Dombås AT 4	187	-	-	-	-
Fron - Dombås AT 5	325	322	275	208	58
Fron - Dombås AT 6	131	-	-	-	-
Fron - Dombås AT 7	183	183	168	145	72
Fron - Dombås AT 8	205	205	195	182	61
Fron - Dombås AT 9	177	-	-	-	-
Fron - Dombås AT 10	392	392	336	297	148

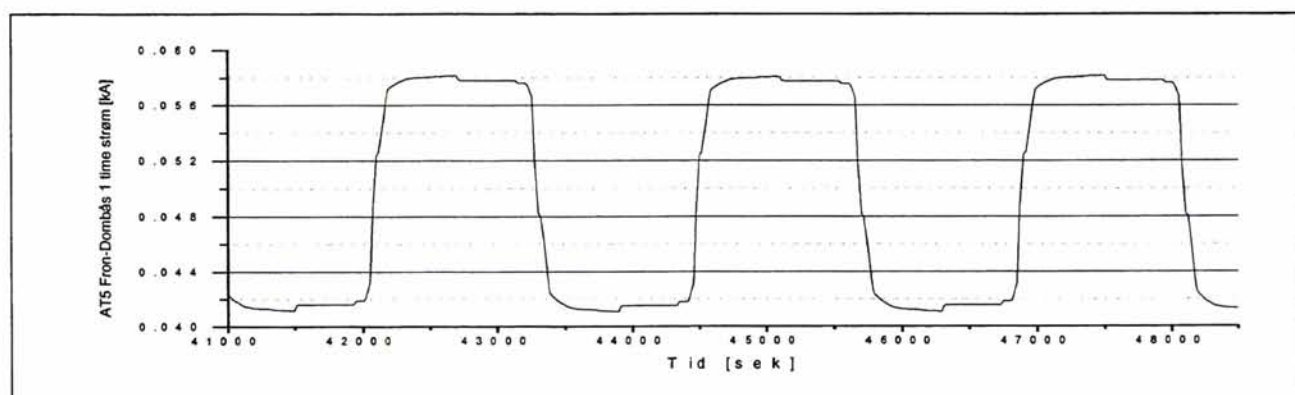
Nedenfor viser Figur 4-57 til Figur 4-59 belastningen for henholdsvis 2 og 90 sekunders, samt 1 times strøm. Belastningen er vist for en av autotransformatorens viklinger, men strømstyrken vil ha samme størrelse i begge viklingene. En ser at belastningen beregnet for 2 og 90 sekunders verdier er periodisk og at den over lengre tidsavsnitt er null. For timesverdien ser en at belastningen ikke går mot null, men varierer innenfor et nokså lite område. (Men dette er en beregnet verdi, reelt går strømmene mot null slik som vist for de kortere tidsintervallene.)



Figur 4-57 Belastning for autotransformator AT5 Fron - Dombås 2 sekunders strøm. Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan og AT-system. 41000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 11:23

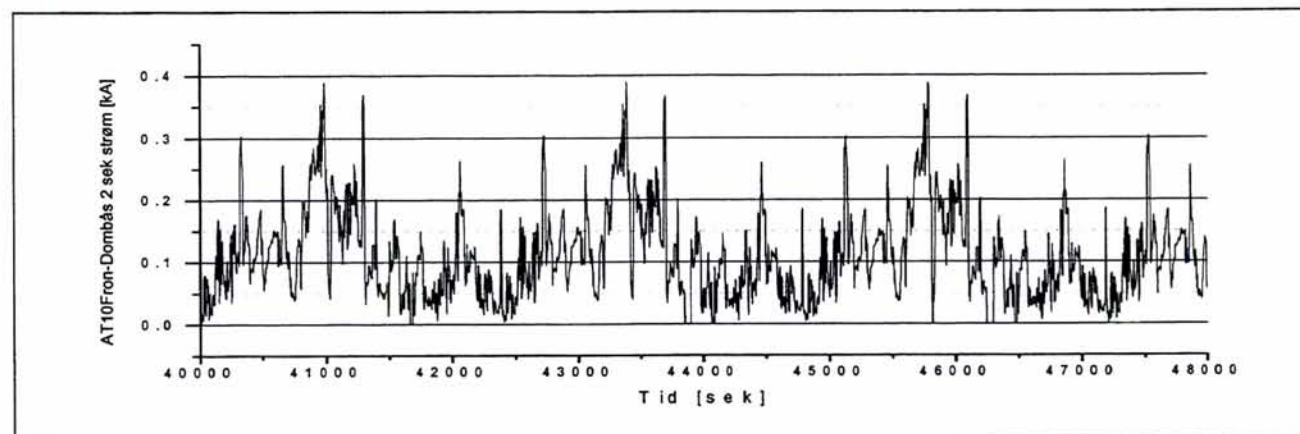


Figur 4-58 Belastning for autotransformator AT5 Fron – Dombås 90 sekunders strøm. Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan og AT-system. 41000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 11:23

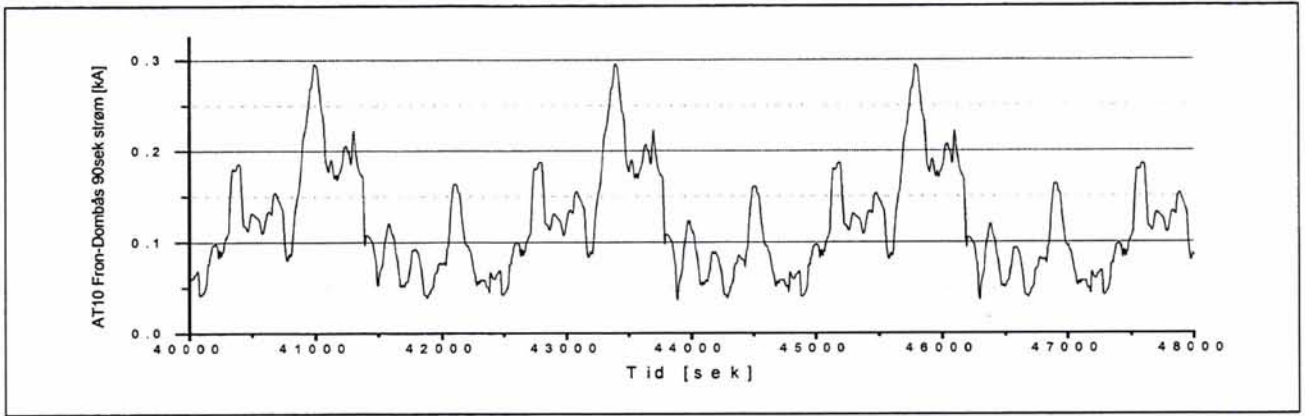


Figur 4-59 Belastning for autotransformator AT5 Fron – Dombås 1 times strøm. Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan og AT-system. 41000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 11:23

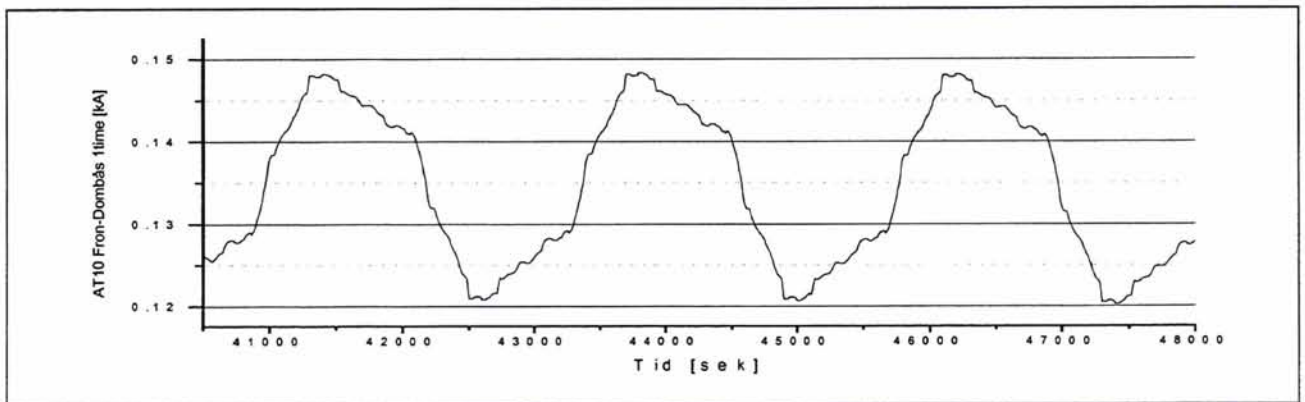
Nedenfor viser figur 4-60 til figur 4-62 belastningsverdiene for 2 sekunders, 90 sekunders og 1 times verdien av strømmen for autotransformator AT10. Dette er en autotransformator for utmating i sørlig retning ved Dombås omformer. Den har en ytelse på 6,0MVA og en nominell strøm på 200A. Belastningen for 30 sekunder kunne også vært vist, men denne er veldig lik kurven for 2 sekunders verdien. Som en kan se av 2 sekunders verdien er strømmen bare noen korte perioder nede mot null. Likeledes er det også bare for korte perioder at strømmen kommer over 300A.



Figur 4-60 Belastning for autotransformator AT10 Fron – Dombås 2 sekunders strøm. Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan og AT-system. 40000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 11:07



Figur 4-61 Belastning for autotransformator AT10 Fron – Dombås 90 sekunders strøm. Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan og AT-system. 40000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 11:07



Figur 4-62 Belastning for autotransformator AT10 Fron – Dombås 1 time strøm. Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan og AT-system. 40000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 11:07

Dombås - Oppdal

Tabell 4-32 nedenfor viser at belastningen for autotransformatorene mellom Dombås og Oppdal er belastet innenfor sine grenser, men for 90 sekunders verdiene er belastningen noe høyere, for enhetene på 3,0MVA er belastningsprosenten mellom 49 og 75%.

På denne strekningen, men også på strekningen Oppdal – Lundamo, oppstår størst belastning på autotransformatorene på 3,0MVA. Tendensen ser ut til å være at spesielt 90 sekunders, gir noe stor belastningsgrad, men innenfor grensene. For enhetene på 6,0MVA (enhet AT1 og AT10) er belastningen helt akseptabel.

Tabell 4-32 Belastning på autotransformatorer for strekningen Dombås - Oppdal

Simulering 1 - Kapasitetsoptimal ruteplan					
AT - Plassering	Strøm [A]				
	Maks	2 sek	30 sek	90 sek	60 min
Dombås – Oppdal AT 1	359	360	294	264	144
Dombås – Oppdal AT 2	169	-	-	-	-
Dombås – Oppdal AT 3	221	221	211	188	64
Dombås – Oppdal AT 4	084	-	-	-	-
Dombås – Oppdal AT 5	318	318	189	172	66
Dombås – Oppdal AT 6	206	-	-	-	-
Dombås – Oppdal AT 7	197	196	193	183	80
Dombås – Oppdal AT 8	160	159	148	123	57
Dombås – Oppdal AT 9	180	-	-	-	-
Dombås – Oppdal AT 10	340	330	285	246	162

Oppdal – Lundamo

Tabell 4-33 viser at spesielt enhet AT7 blir belastet noe mye i forhold til oppgitt 90 sekunders verdi. Belastningsgraden blir 90%. Ellers ser det ut til at samtlige enheter blir belastet godt under maksimalverdiene.

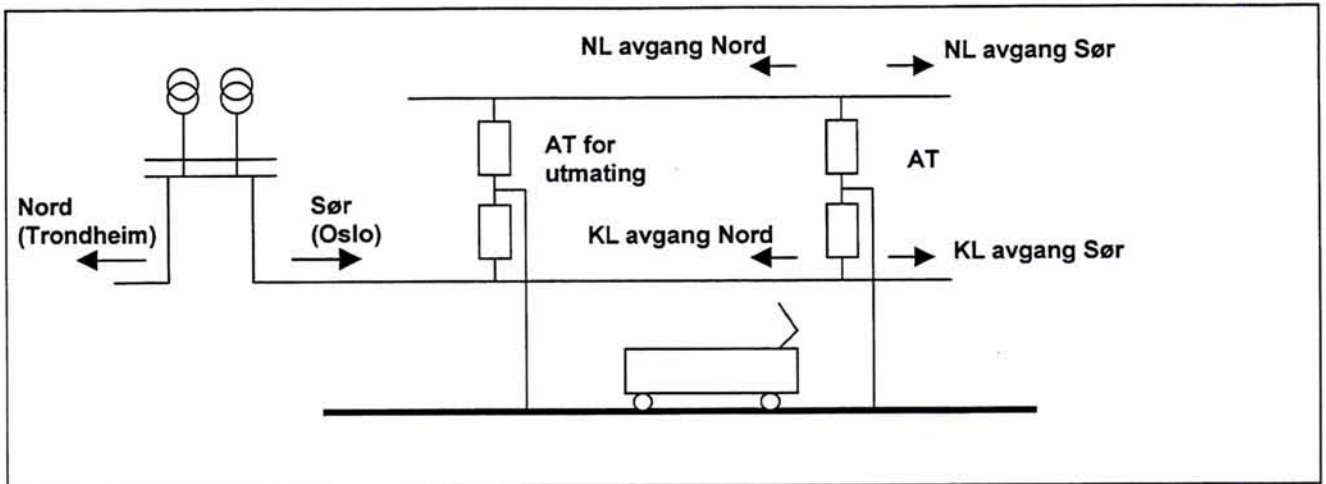
På strekningen Oppdal –Lundamo oppstår den høyeste verdien for autotransformatorer på 6,0MVA. Enhet AT10, som er for utmating ved Lundamo omformer, blir belastet 79% (med 260A som grense).

Tabell 4-33 Belastning på autotransformatorer for strekningen Oppdal - Lundamo

Simulering 1 - Kapasitetsoptimal ruteplan					
AT - Plassering	Strøm [A]				
	Maks	2 sek	30 sek	90 sek	60 min
Oppdal – Lundamo AT 1	364	362	343	309	147
Oppdal – Lundamo AT 2	166	-	-	-	-
Oppdal – Lundamo AT 3	200	-	-	-	-
Oppdal – Lundamo AT 4	197	-	-	-	-
Oppdal – Lundamo AT 5	244	243	151	133	52
Oppdal – Lundamo AT 6	124	123	111	89	38
Oppdal – Lundamo AT 7	304	304	266	224	85
Oppdal – Lundamo AT 8	191	-	-	-	-
Oppdal – Lundamo AT 9	164	-	-	-	-
Oppdal – Lundamo AT 10	398	391	332	294	205

4.5.7 Belastning av avgangene til kontaktledningsanlegget og negativleder

Nedenfor er det i tabell 4-34 vist strømmen på samtlige linjeavganger til utmate-transformatorene i sørlig og nordlig retning ved hver omformerstasjon. Figur 4-63 viser et enlinjeskjema for AT-systemet og utmating fra omformerstasjonen. Pilen til venstre i figuren viser strømmen fra omformerstasjonen på 15,0kV nivå som er undersøkt. Ingen av avgangene er høyt belastet for noen av verdiene. Når høyeste tillatte verdi for 6 minuttersverdien er 800A sees at verdiene kommer godt under denne verdien.



Figur 4-63 Enlinjeskjema for AT-systemet og strømmene som er undersøkt. Omformer-aggatene til venstre i figuren.

Tabell 4-34 Strøm i sør-/nordgående avgang fra omformere ved simulering med kapasitetsoptimal ruteplan og AT-system

Simulering 1 - Kapasitetsoptimal ruteplan					
Avgang	Strøm [kA]				
	Maks	1 sek	10 sek	1 min	6 min
Fåberg Nord	0,906	0,905	0,892	0,703	0,453
Fron Sør	0,797	0,777	0,735	0,532	0,439
Fron Nord	0,828	0,796	0,751	0,620	0,464
Dombås Sør	0,992	0,990	0,976	0,695	0,529
Dombås Nord	0,897	0,896	0,873	0,632	0,541
Oppdal Sør	0,840	0,839	0,811	0,661	0,489
Oppdal Nord	0,810	0,808	0,801	0,746	0,529
Lundamo Sør	0,892	0,883	0,876	0,706	0,543
Lundamo Nord	0,714	0,607	0,600	0,513	0,392
Stavne Sør	0,669	0,668	0,660	0,609	0,465
Stavne Nord	0,493	0,493	0,466	0,437	0,215

Tabell 4-35 nedenfor viser strøm ved noen få utvalgte AT-stasjoner, det er sett på strømmene for negativleder og kontaktledning, men ikke returstrøm i skinnene. Figur 4-63 illustrerer dette; pilene til høyre i figuren viser strømmen i nordlig og sørlig retning fra autotransformatorene som er undersøkt. For samtlige avganger kan en se at strømmen på kontaktledningen er større enn strømmen på negativlederen. Årsaken til dette er at negativlederen bare overfører strøm (effekt) mellom autotransformatorene mens kontaktledningen i tillegg overfører strøm til lokomotivene. Også her legger en merke til at belastningen er liten for samtlige avganger, det må vel sies å være bemerkelsesverdig at kontaktledningen blir så lavt belastet som dette.

Tabell 4-35 Strøm i sør-/nordgående avgang fra AT-stasjoner ved simulering med kapasitetsoptimal ruteplan og AT-system.

Simulering 1 - Kapasitetsoptimal ruteplan					
Avgang ved AT-stasjon	Strøm [kA]				
	Maks	1 sek	10 sek	1 min	6 min
Fåberg – Fron AT3					
KL avgang sør	0,491	-	-	-	-
KL avgang nord	0,695	0,694	0,587	0,454	0,284
NL avgang sør	0,410	-	-	-	-
NL avgang nord	0,327	-	-	-	-
Fron – Dombås AT2					
KL avgang sør	0,468	-	-	-	-
KL avgang nord	0,561	0,537	0,523	0,401	0,282
NL avgang sør	0,362	-	-	-	-
NL avgang nord	0,334	-	-	-	-
Fron – Dombås AT5					
KL avgang sør	0,379	-	-	-	-
KL avgang nord	0,611	0,609	0,574	0,352	0,210
NL avgang sør	0,317	-	-	-	-
NL avgang nord	0,313	-	-	-	-
Fron – Dombås AT8					
KL avgang sør	0,587	0,587	0,576	0,453	0,256
KL avgang nord	0,533	0,531	0,515	0,342	0,186
NL avgang sør	0,290	-	-	-	-
NL avgang nord	0,381	-	-	-	-
Dombås – Oppdal AT9					
KL avgang sør	0,570	0,570	0,556	0,522	0,322
KL avgang nord	0,487	-	-	-	-
NL avgang sør	0,389	-	-	-	-
NL avgang nord	0,340	-	-	-	-
Oppdal – Lundamo AT2					
KL avgang sør	0,455	-	-	-	-
KL avgang nord	0,551	0,550	0,546	0,507	0,351
NL avgang sør	0,364	-	-	-	-
NL avgang nord	0,331	-	-	-	-
Oppdal – Lundamo AT7					
KL avgang sør	0,500	0,499	0,449	0,426	0,296
KL avgang nord	0,363	-	-	-	-
NL avgang sør	0,339	-	-	-	-
NL avgang nord	0,343	-	-	-	-
Oppdal – Lundamo AT8					
KL avgang sør	0,601	0,599	0,565	0,431	0,383
KL avgang nord	0,466	-	-	-	-
NL avgang sør	0,343	-	-	-	-
NL avgang nord	0,406	-	-	-	-

4.5.8 Tomgangsstrømmer i kontaktledningen

Ved innføring av AT-system vil den elektriske avstanden mellom omformerne blir mye lavere enn med konvensjonelt system. Spenningsvinkelforskjeller i overliggende nett kan føre til at aggregatene i forskjellige stasjoner får forskjellige polhjulsvinkel, selv om det ikke er noen tog på

linjen som gir opphav til dette. Når det oppstår forskjellige polhjulsvinkler i generatorene vil det utveksles effekt mellom aggregatene, selv i tomgang. Dette kan tenkes å gi problemer med effektfordelingen mellom aggregatene, i tillegg til at det oppstår uønskede tap i kl-systemet. Vinkelforskjeller i overliggende nett har sammenheng med koblinger i nettet, hvilke og hvor store kraftstasjoner som er innkoblet, hvilke linjer som er i drift, samt hvilken retning effektflyten går. Dermed denne "geografiske" faseforskyvningen variere over døgnet og over året.

Nedenfor viser tabell 4-36 strømmen i tomgang, altså uten togtrafikk, på kontaktledningen med et konvensjonelt system og med AT-system. Det er valgt å se på tilfellet der konvensjonelt system for banestrømforsyning er forsterket, det vil si simulering 2. Negativt fortegn indikerer effekt ut fra den aktuelle omformeravgangen.

Som rimelig er, går den samme strømmen ut ved en nordlig avgang som inn ved den sørlige inngangen på nabostasjoner. Med andre ord utveksles det effekt mellom omformerstasjonene. Dette har sin årsak i forskjellig spenningsvinkel for overføringen i det overliggende kraftsystemet, som igjen gir forskjellig polhjulsvinkel for aggregatene i forskjellige omformerstasjoner. Når AT-system innføres blir impedansen mellom stasjonene mye mindre enn ved konvensjonelt system og det vil derfor være nødvendig å undersøke om strømmen som utveksles mellom stasjonene kan bli så stor at problemer oppstår. Slike problemer kan være altfor store tomgangsstrømmer eller problemer med lastfordelingen mellom stasjonene.

Det ser ut til at tomgangsstrømmen mellom stasjonene er en hel del lavere med konvensjonelt system enn med AT-system. Imidlertid er det i de nordlige og sørlige deler av nettet at forskjellen mellom effektutvekslingen er størst mellom et konvensjonelt og AT-system. En årsak til dette kan være at omformerne sør for Tangen er statiske omformere med konstant spenningskarakteristikk. Det samme gjelder for Stavne. Denne typen karakteristikk for spenningsregulatorerne kan gi store effektutvekslinger mellom omformerne. Her bør det muligens vurderes å endre spenningskarakteristikken slik at alle omformerne får fallende effekt/spenning – forhold. Bortsett fra dette er det ikke noe som skulle tilsi problemer på grunn av effektutveksling mellom stasjonene om et AT-system innføres.

Tabell 4-36 Strømmer på kontaktledningen i tomgang med konvensjonelt – og med AT-system

Avgang	Tomgangsstrøm og effekt					
	Med AT - system			Med konvensjonelt system		
	[A]	[MW]	[MVAR]	[A]	[MW]	[MVAR]
Tangen Sør	43,0	-0,182	-0,669	2,0	0,025	-0,021
Tangen Nord	16,0	0,077	-0,246	9,9	-0,098	0,131
Rudshøgda Sør	-	-	-	9,9	0,097	-0,131
Rudshøgda Nord	-	-	-	10,3	0,102	-0,137
Fåberg Sør	16,0	-0,078	0,245	10,3	-0,103	0,136
Fåberg Nord	18,0	0,175	-0,230	8,3	0,097	-0,097
Fron Sør	18,0	-0,177	0,229	8,3	-0,098	0,096
Fron Nord	7,5	0,120	-0,008	5,1	-0,048	0,068
Otta Sør	-	-	-	5,1	0,047	-0,069
Otta Nord	-	-	-	3,5	0,038	-0,044
Dombås Sør	7,5	-0,120	0,008	3,5	-0,038	0,044
Dombås Nord	15,4	0,241	-0,056	7,2	0,091	-0,077
Oppdal Sør	15,4	-0,243	0,055	7,2	-0,092	0,076
Oppdal Nord	30,4	0,308	0,382	7,2	0,090	-0,078
Lundamo Sør	30,4	-0,314	-0,387	7,3	-0,092	0,079
Lundamo Nord	38,0	0,176	-0,598	8,5	0,105	-0,093
Stavne Sør	38,0	-0,180	0,593	8,5	-0,105	0,092
Stavne Nord	0	0	0	0	0	0

4.6 Simulering 1b med doble E116 lokomotiver med pådragsbegrensning og AT-system

Det kan være interessant å se hvorledes doble E116 lokomotiver belaster et AT-system. Selv om disse lokomotivene er gamle, kan det tenkes at CargoNet eller eventuelle andre godstransportører, vil kunne ønske å kjøre disse enda i lang tid fremover. Det kan også tenkes at AT-system kan komme til å bli bygget noe tidligere enn om 10-15 år. Doble E116 lokomotiver er gitt pådragsbegrensning. Dette vil nok ikke være av betydning for togfremføringen. Skulle doble E116 lokomotiver trekke godstog uten pådragsbegrensning ville behovet for installert omformer ytelse nok bli meget stort.

Samme omformer størrelser er brukt i denne simuleringen som i den med AT-system og moderne lokomotiver. Kapasitetsoptimal ruteplan ligger til grunn for simuleringen. Spenninger under 13,5kV vil bli kommentert.

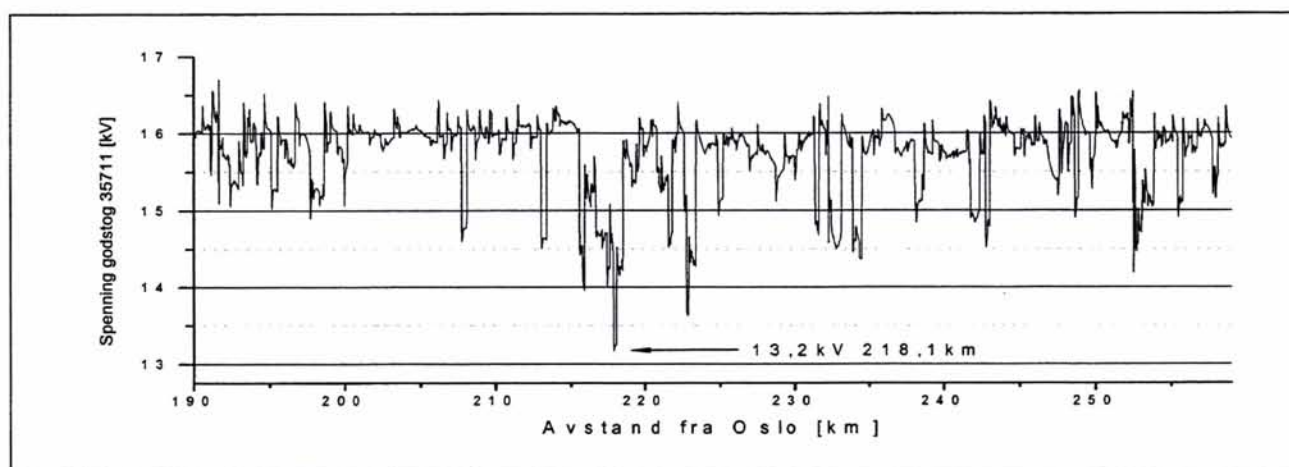
Med doble E116 lokomotiver trekkes det mer reaktiv effekt, det mates ikke ut effekt fra lokomotivene med regenerativ bremsing og det skjer ingen regulering av effektfaktoren avhengig av spenningen. Spenning under 13,5kV for doble E116 lokomotiver må kunne tillates selv om utbygging av AT- system er et forsterkningstiltak, lokomotivene vil jo uansett byttes ut med moderne materiell som viser bedre egenskaper.

4.6.1 Spenningen på kontaktledningen for tog Fåberg - Fron

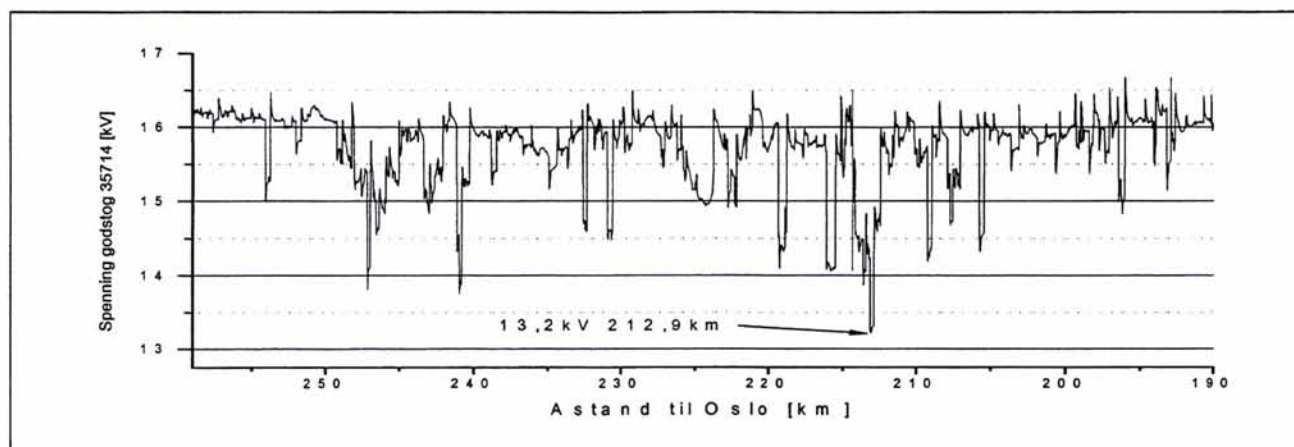
Nedenfor viser tabell 4-37 laveste spenning på strekningen Fåberg – Fron og Figur 4-64 og Figur 4-65 viser hvorledes spenningen på kontaktledningen blir på hele strekningen. Som en ser blir spenningen en hel del lavere enn for simulering med EG3100 lokomotiver.

Tabell 4-37 Laveste spenning for godstog Fåberg – Fron med AT-system. Kapasitetsoptimal ruteplan og doble E116 lokomotiver med pådragsbegrensning

Tog nr.	Simulering 1b – Kapasitetsoptimal ruteplan		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [time : minutt]
35711	13,2	218,1	10:21
35714	13,2	212,9	11:03



Figur 4-64 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 35711 Fåberg - Fron. Doble E116 lokomotiver med pådragsbegrensning, kapasitetsoptimal ruteplan og AT-system.



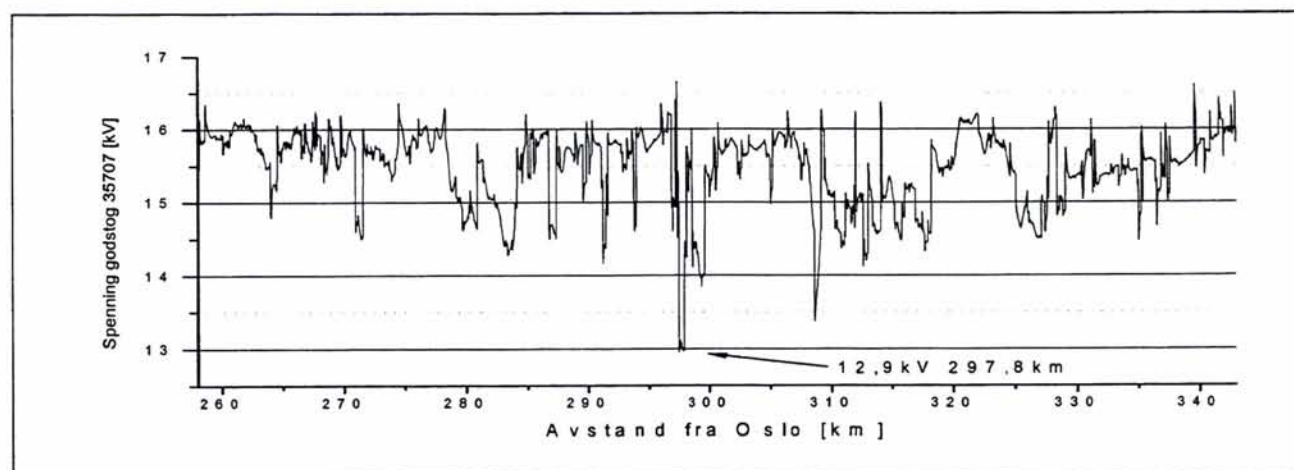
Figur 4-65 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 35714 Fron - Fåberg. Doble E116 lokomotiver med pådragsbegrensning, kapasitetsoptimal ruteplan og AT-system.

4.6.2 Spenningen på kontaktledningen for tog Fron - Dombås

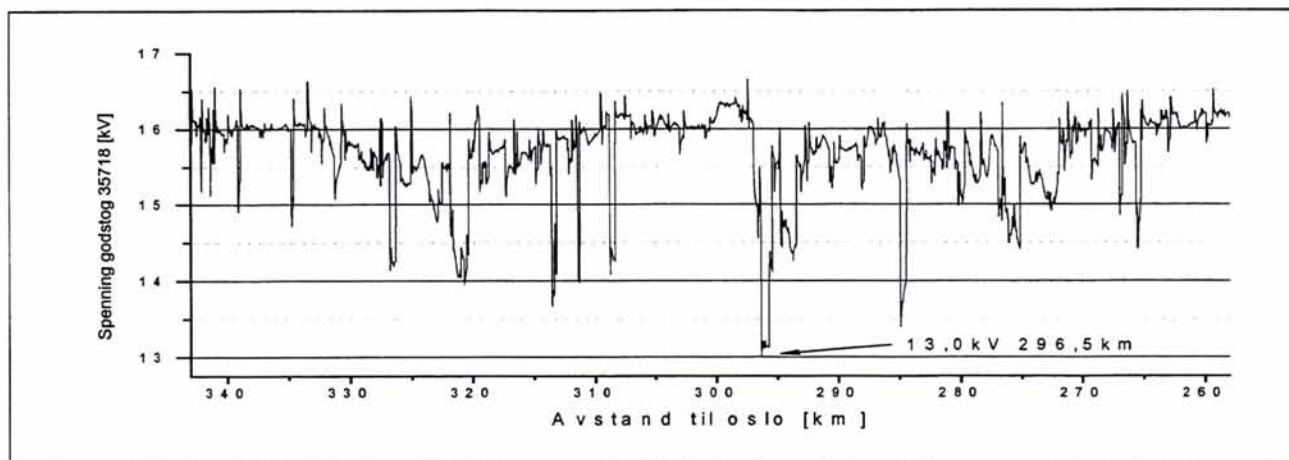
For strekningen Fron – Dombås kommer spenningen for doble E116 lokomotiver med pådragsbegrensning så vidt under 13,0kV, se figur 4-66. Ellers ligger spenningen over 14,0kV på store deler av strekningen. Simuleringen som ble gjort i Hovedplanens fase 1[1], med doble E116, viste omtrent de samme lave spenningene på denne distansen.

Tabell 4-38 Laveste spenning for godstog Fron – Dombås med AT-system. Kapasitetsoptimal ruteplan og doble E116 lokomotiver med pådragsbegrensning

Tog nr.	Simulering 1b – Kapasitetsoptimal ruteplan		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [time : minutt]
35707	12,9	297,8	11:01
35718	13,0	296,5	10:22



Figur 4-66 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 35707 Fron - Dombås. Doble E116 lokomotiver med pådragsbegrensning, kapasitetsoptimal ruteplan og AT-system.



Figur 4-67 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 35718 Dombås - Fron. Doble El16 lokomotiver med pådragsbegrensning, kapasitetsoptimal ruteplan og AT-system.

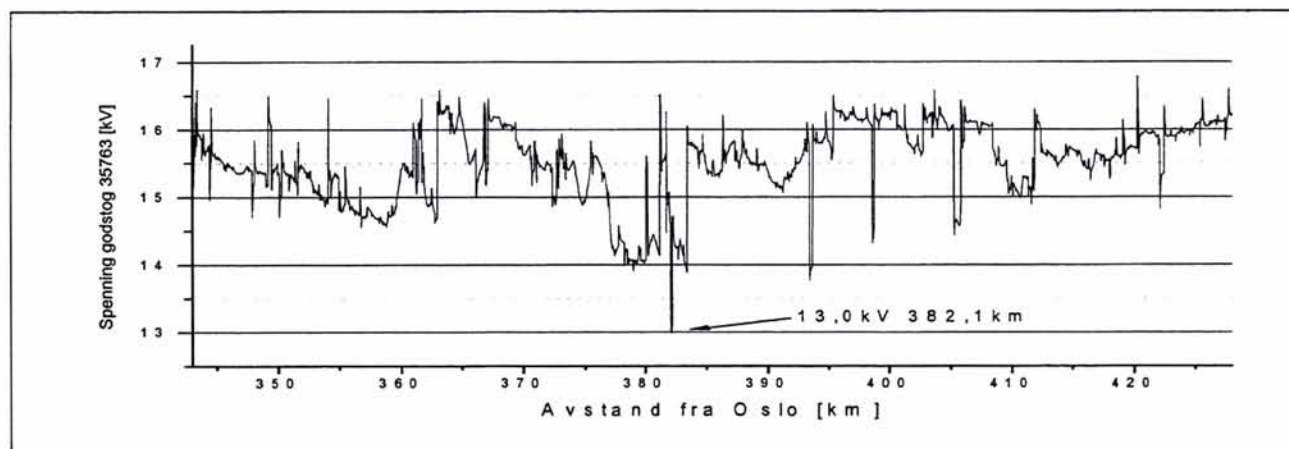
4.6.3 Spenningen på kontaktledningen for tog Dombås - Oppdal

Strekningen Dombås – Oppdal er den som bruker å gi lavest spenning, men simuleringen viser at laveste spenningen er over 13,0kV i denne simuleringen. Den laveste spenningen oppstår når nordgående godstog akselererer ut fra Hjerkin (km 381,7) etter kryssing med sørgående tog. Det er en del bratte stigninger som tog både fra sør og nord møter på denne strekningen, og en spenning som for det meste holder seg over 14,0kV må sies å være meget akseptabelt.

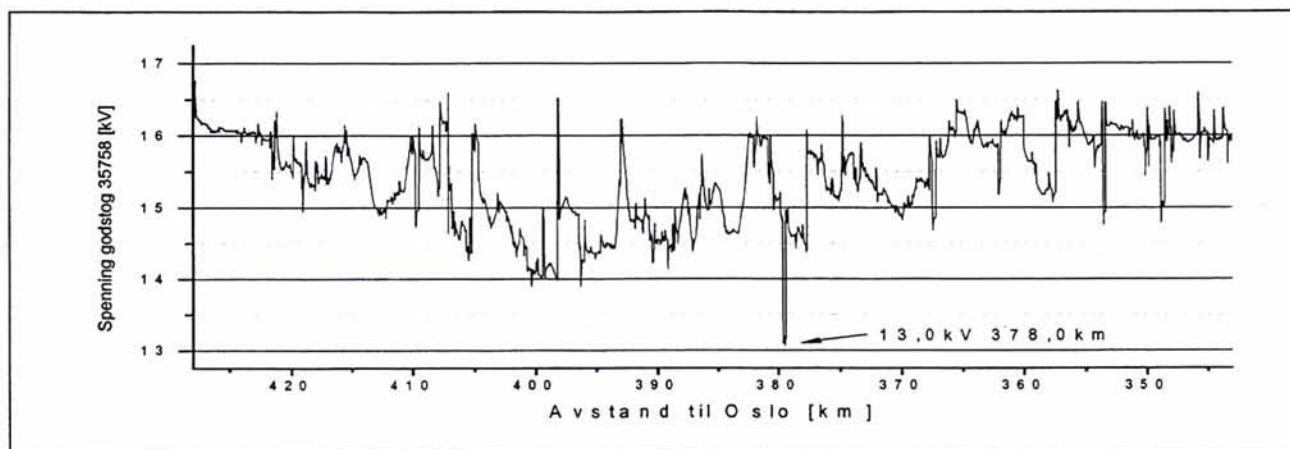
For denne strekningen er forbedringen av spenningen mer tydelig, simuleringen uten forsterkninger av banestrømforsyningen og doble El16 lokomotiver [1] viste spenninger under og rundt 13,0kV over store strekninger.

Tabell 4-39 Laveste spenning for godstog Dombås – Oppdal med AT-system. Kapasitetsoptimal ruteplan og doble El16 lokomotiver med pådragsbegrensning

Tog nr.	Simulering 1b – Kapasitetsoptimal ruteplan		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [time : minutt]
35763	13,0	382,1	10:28
35758	13,0	378,0	10:27



Figur 4-68 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 35763 Dombås - Oppdal. Doble El16 lokomotiver med pådragsbegrensning, kapasitetsoptimal ruteplan og AT-system.



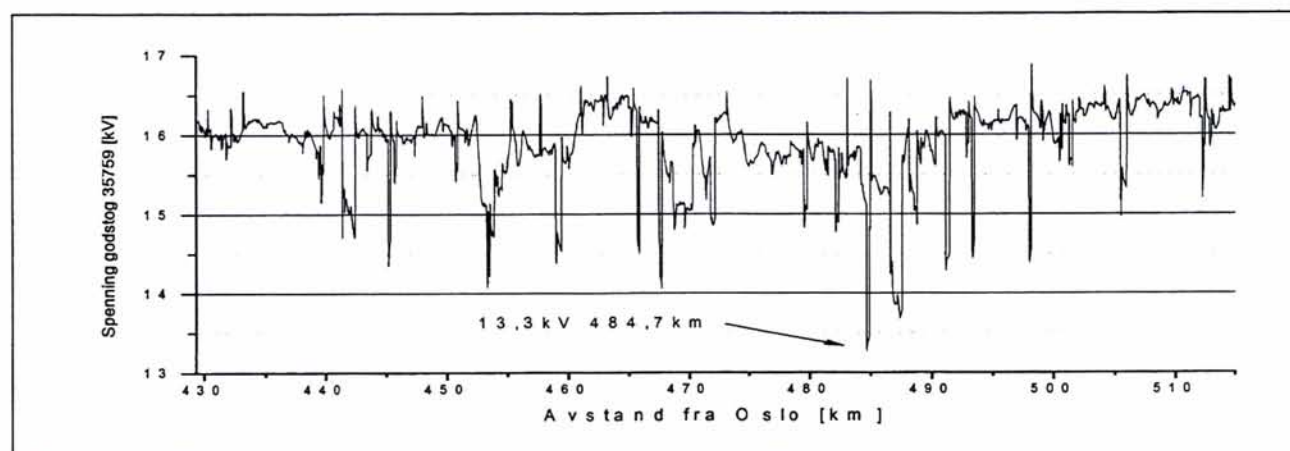
Figur 4-69 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 35758 Oppdal - Dombås. Doble E116 lokomotiver med pådragsbegrensning, kapasitetsoptimal ruteplan og AT-system.

4.6.4 Spenningen på kontaktledningen for tog Oppdal – Lundamo

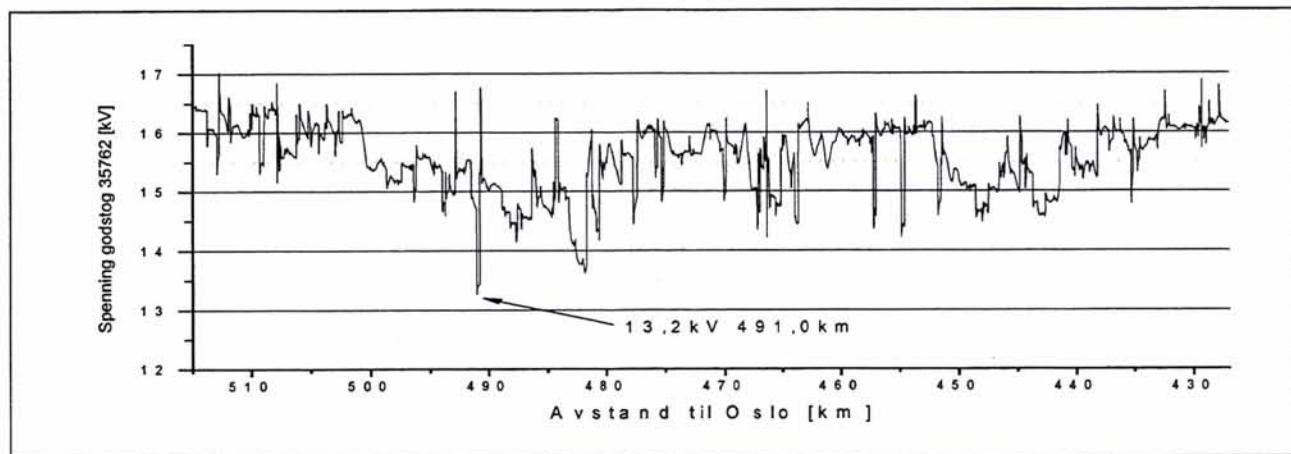
Selv ikke i den bratte stigningen opp fra Støren mot Oppdal får godstoget med doble E116 lokomotiver lavere spenning enn 13,2kV, se figur 4-71. Selv om spenningen dras ned hele veien i stigningene, spesielt fra km 505 til 480, holder spenningen seg for det meste over 14,0kV.

Tabell 4-40 Laveste spenning for godstog Oppdal – Lundamo med AT-system. Kapasitetsoptimal ruteplan og doble E116 lokomotiver med pådragsbegrensning

Tog nr.	Simulering 1b – Kapasitetsoptimal ruteplan		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [time : minutt]
35759	13,3	484,7	10:33
35762	13,2	491,0	10:40



Figur 4-70 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 35759 Oppdal - Lundamo. Doble E116 lokomotiver med pådragsbegrensning, kapasitetsoptimal ruteplan og AT-system.



Figur 4-71 Spenningen på kontaktledningen for sørgående godstog 35762 Lundamo - Oppdal. Doble E116 lokomotiver med pådragsbegrensning, kapasitetsoptimal ruteplan og AT-system.

4.6.5 Belastning av omformere

Samme ytelser for omformerne er brukt i denne simuleringen som ved simuleringen der alle godstog kjøres med EG3100 lokomotiver. Som tabell 4-41 viser blir samtlige omformere belastet så mye at om et aggregat i en omformerstasjon faller ut er det overveiende sannsynlig at det gjenværende aggregatet i samme stasjon også vil falle ut. Benyttes tommelfingerregelen om redundans ved utfall av et aggregat er det åpenbart at kraftige forsterkninger må til, samtlige stasjoner må få økt sin installerte ytelse med omtrent det dobbelte. Det vil si at alle stasjoner må ha omformere på 2 x 10,0MVA, unntagen Fåberg der omformere på 2 x 7,0MVA er tilstrekkelig.

En viktig forskjell fra denne simuleringen med doble E116 lokomotiver og AT-system og de samme lokomotivene med konvensjonelt system, er at selv om omformerne nå er hardt belastet blir ikke spenningen for lokomotivene så lav. Tidligere simuleringer med konvensjonelt system har jo vis at større omformere må til, slik at belastningsgraden kommer ned mot ca 50% for å gi akseptabel spenning for togene.

Tabell 4-41 Belastning av omformere med kapasitetsoptimal ruteplan, AT-system og El16 lokomotiver med pådragsbegrensning.

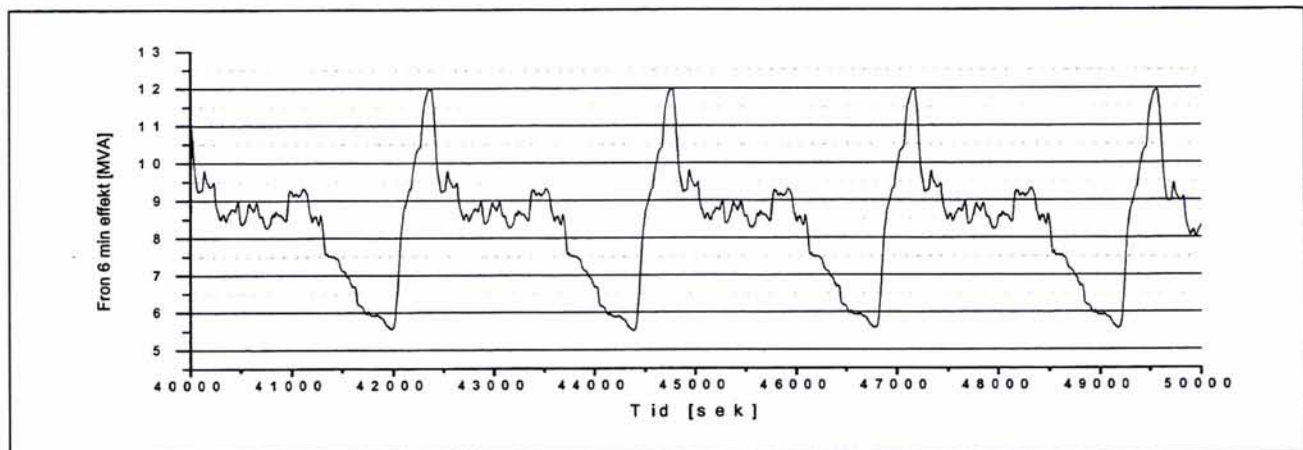
Omformer	Innsatt ytelse Effekt	Simulering 1b - Kapasitetsoptimal ruteplan								
		Effekt						Strøm		
		1 time			6 minutter			2 sekunder		
		[MVA]	[MVA]	[%]	[kl]	[MVA]	[%]	[kl]	[A]	[%]
Fåberg	2 x 5,8	8.38	72	11:23 12:03 12:43	10,0	62	11:25 12:05 12:45	1305	104	11:20 12:00 12:40
Fron	2 x 5,8	8.76	75	11:20 12:00 12:40	12.01	75	11:07 11:47 12:27	1590	127	11:01 11:41 12:21
Dombås	2 x 7,0	11.98	86	11:21 12:01 12:41	16.08	76	11:17 11:57 12:37	1598	97	10:50 11:30 12:10
Oppdal	2 x 7,0	11.08	79	11:20 12:00 12:40	14.33	65	11:20 12:00 12:40	1624	98	11:06 11:46 12:26
Lundamo	2 x 7,0	9.37	67	11:21 12:01 12:41	14.73	67	11:19 11:59 12:39	1380	84	11:16 11:56 12:36
Stavne	2 x 7,5	7.15	48	11:30 12:10 12:50	9.69	-	11:21 12:01 12:41	917	100	10:49 11:29 12:09

Fåberg, Oppdal, Lundamo og Stavne

Alle disse stasjonene, unntatt Stavne, er mye belastet. Utfall av et aggregat i en stasjon vil føre til at det gjenværende aggregatet står i fare for å bli overbelastet.

Fron

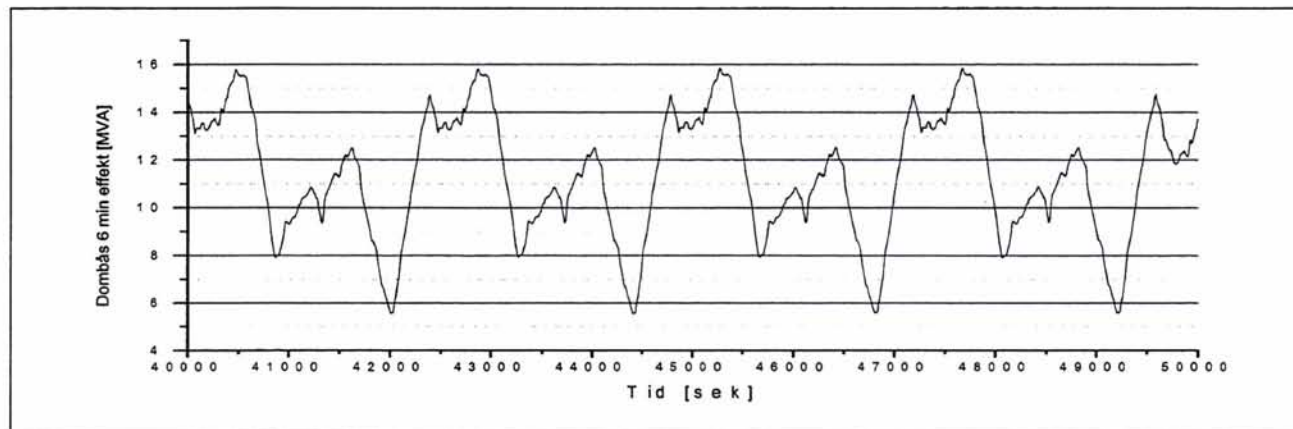
Omformeren er mye belastet og kriteriet vil ikke være oppfylt.



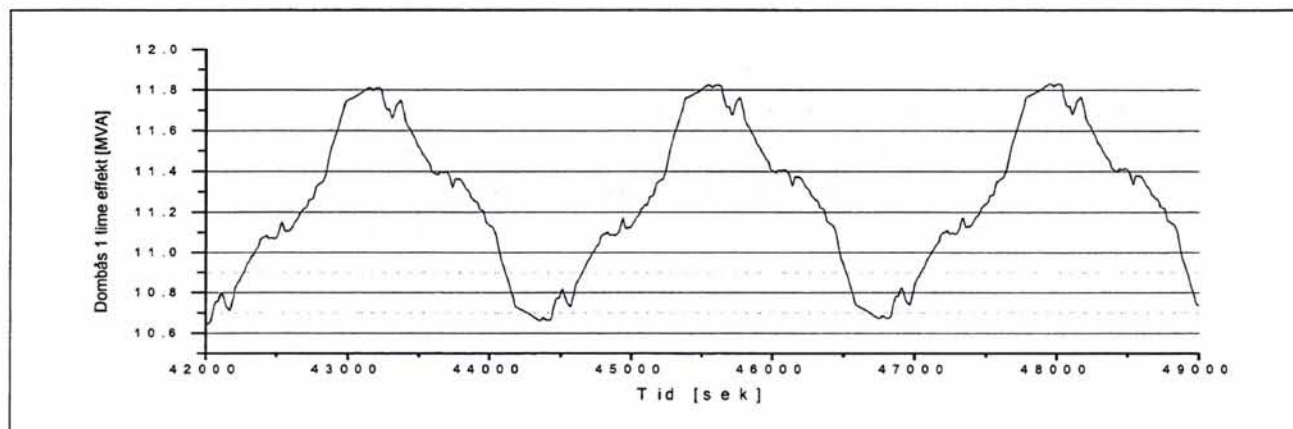
Figur 4-72 Total 6 minutters effekt fra Fron omformer ($S_{6min} = 16,0MVA$). Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan, doble El16 lokomotiver med pådragsbegrensning og AT-system. 40000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 11:07

Dombås

Se figur 4-74, legg merke til at 1 timesverdien for omformeren med den spesielle belastningen som kapasitetsoptimal ruteplan gir, har meget liten forskjell på minimal og maksimal effekt.



Figur 4-73 Total 6 minutters effekt fra Dombås omformer ($S_{6min} = 22,0MVA$). Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan, doble E116 lokomotiver med pådragsbegrensning og AT-system. 40000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 11:07



Figur 4-74 Total times effekt fra Dombås omformer ($S_{6min} = 14,0MVA$). Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan, doble E116 lokomotiver med pådragsbegrensning og AT-system. 42000 sekunder på grafen tilsvarer klokken 11:40

4.6.6 Belastning av autotransformatorer

Nedenfor viser tabell 4-42 til tabell 4-45 belastningen av autotransformatorene på strekningen fra Fåberg til Lundamo. Maksimalverdien er vist for samtlige enheter, men 2, 30 og 90 sekunders verdiene, samt 60 minutters verdien er vist for noen utvalgte enheter med høy maksimalverdi. Samme størrelser av autotransformatorer er brukt i denne simuleringen som i simulering 1 med EG3100 lokomotiver.

Fåberg - Fron

På denne strekningen er maksimalverdiene for strømmene relativt små, og for de autotransformatorene som varigheten av strømmen er beregnet for, fremviser simuleringen moderate verdier.

Tabell 4-42 Belastning av autotransformatorer Fåberg - Fron. Simulering med AT-system og kapasitetsoptimal ruteplan og doble E116 lokomotiver med pådragsbegrensning

Simulering 1b – Kapasitetsoptimal ruteplan					
AT – Plassering	Strøm [A]				
	Maks	2 sek	30 sek	90 sek	60 min
Fåberg - Fron AT 1	488	487	390	311	148
Fåberg - Fron AT 2	220	-	-	-	-
Fåberg - Fron AT 3	284	-	-	-	-
Fåberg - Fron AT 4	322	322	267	185	63
Fåberg - Fron AT 5	262	-	-	-	-
Fåberg - Fron AT 6	266	-	-	-	-
Fåberg - Fron AT 7	302	-	-	-	-
Fåberg - Fron AT 8	413	410	294	245	111

Fron – Dombås

På denne strekningen er det særlig enhet AT5 som får stor maksimalverdi, selv om 2 og 30 sekunders verdien er langt innenfor grensene, kommer 90 sekunders verdien en del over. For de andre enhetene ligger maksimumsverdiene nokså lavt.

Tabell 4-43 Belastning av autotransformatorer Fron - Dombås. Simulering med AT-system og kapasitetsoptimal ruteplan og doble E116 lokomotiver med pådragsbegrensning

Simulering 1b – Kapasitetsoptimal ruteplan					
AT – Plassering	Strøm [A]				
	Maks	2 sek	30 sek	90 sek	60 min
Fron – Dombås AT 1	426	426	375	286	176
Fron – Dombås AT 2	211	-	-	-	-
Fron – Dombås AT 3	272	-	-	-	-
Fron – Dombås AT 4	274	-	-	-	-
Fron – Dombås AT 5	451	449	433	296	76
Fron – Dombås AT 6	197	-	-	-	-
Fron – Dombås AT 7	265	-	-	-	-
Fron – Dombås AT 8	263	-	-	-	-
Fron – Dombås AT 9	222	-	-	-	-
Fron – Dombås AT 10	462	461	358	330	167

Dombås - Oppdal

På denne strekningen er stigningene og effektbehovet for togene stor og spesielt enheten AT7 blir belastet mye. Også denne gangen er det 90 sekunders verdien som er for høy.

Tabell 4-44 Belastning av autotransformatorer Dombås - Oppdal. Simulering med AT-system og kapasitetsoptimal ruteplan og doble El16 lokomotiver med pådragsbegrensning

Simulering 1b – Kapasitetsoptimal ruteplan					
AT – Plassering	Strøm [A]				
	Maks	2 sek	30 sek	90 sek	60 min
Dombås – Oppdal AT 1	456	453	328	311	185
Dombås – Oppdal AT 2	232	-	-	-	-
Dombås – Oppdal AT 3	248	-	-	-	-
Dombås – Oppdal AT 4	090	-	-	-	-
Dombås – Oppdal AT 5	437	436	290	226	086
Dombås – Oppdal AT 6	291	-	-	-	-
Dombås – Oppdal AT 7	300	300	293	281	107
Dombås – Oppdal AT 8	247	-	-	-	-
Dombås – Oppdal AT 9	262	-	-	-	-
Dombås – Oppdal AT 10	374	373	361	343	217

Oppdal – Lundamo

På strekningen Oppdal – Lundamo oppstår det igjen store strømmer for 90 sekunders verdiene for autotransformatoren AT7.

Tabell 4-45 Belastning av autotransformatorer Oppdal - Lundamo. Simulering med AT-system og kapasitetsoptimal ruteplan og doble El16 lokomotiver med pådragsbegrensning

Simulering 1b – Kapasitetsoptimal ruteplan					
AT – Plassering	Strøm [A]				
	Maks	2 sek	30 sek	90 sek	60 min
Oppdal – Lundamo AT 1	404	397	383	365	166
Oppdal – Lundamo AT 2	207	-	-	-	-
Oppdal – Lundamo AT 3	276	-	-	-	-
Oppdal – Lundamo AT 4	270	-	-	-	-
Oppdal – Lundamo AT 5	342	336	223	201	67
Oppdal – Lundamo AT 6	175	-	-	-	-
Oppdal – Lundamo AT 7	420	418	363	303	117
Oppdal – Lundamo AT 8	236	-	-	-	-
Oppdal – Lundamo AT 9	237	-	-	-	-
Oppdal – Lundamo AT 10	495	494	405	358	244?

4.6.7 Belastning av avganger til kontaktledningsanlegget

Når det gjelder strømmen for avgangene i nordlig og sørlig retning fra omformerstasjonene er det ingen av verdiene som kan sies å være spesielt store. Strømmene nedenfor gjelder for utmatningen fra omformerstasjonene på 15,0kV-nivå. Fordi AT-systemet overfører effekten på 30kV-nivå vil strømmen på kontaktledningen og negativlederen bli omtrent halvparten så stor. Da vil strømmen på kontaktledningen og negativlederen bli små, og langt under grensene for belastningsstrømmen. Derfor er ikke dette sett på her. Se avsnitt 4.5.7 som viser disse forholdene for simulering 1.

Tabell 4-46 Strøm i sør-/nordgående avgang fra omformere (på 15,0kV nivå) ved simulering med kapasitetsoptimal ruteplan, doble El16 lokomotiver med pådragsbegrensning og AT-system

Simulering 1b – Kapasitetsoptimal ruteplan					
Avgang	Strøm [kA]				
	Maks	1 sek	10 sek	1 min	6 min
Fåberg Nord	1,068	-	-	-	-
Fron Sør	1,323	-	-	-	-
Fron Nord	1,076	-	-	-	-
Dombås Sør	1,217	1,216	1,160	0,791	0,600
Dombås Nord	1,130	-	-	-	-
Oppdal Sør	1,210	1,210	1,186	0,780	0,653
Oppdal Nord	1,299	1,297	1,252	0,993	0,634
Lundamo Sør	1,399	1,398	1,265	0,827	0,680
Lundamo Nord	0,860	-	-	-	-
Stavne Sør	0,861	-	-	-	-
Stavne Nord	0,706	-	-	-	-

4.7 Simulering 3 med ATBT-system

Det er utført en enkel simulering som skal representere forholdene med ATBT-system. Dette er gjort ved at de fleste autotransformatorene er koblet ut. Det er bare en enhet innkoblet mellom hver omformerstasjon, i tillegg til enhetene for utmating ved hver av stasjonene. Simuleringen er gjort med kapasitetsoptimal ruteplan og moderne lokomotiver (EG3100).

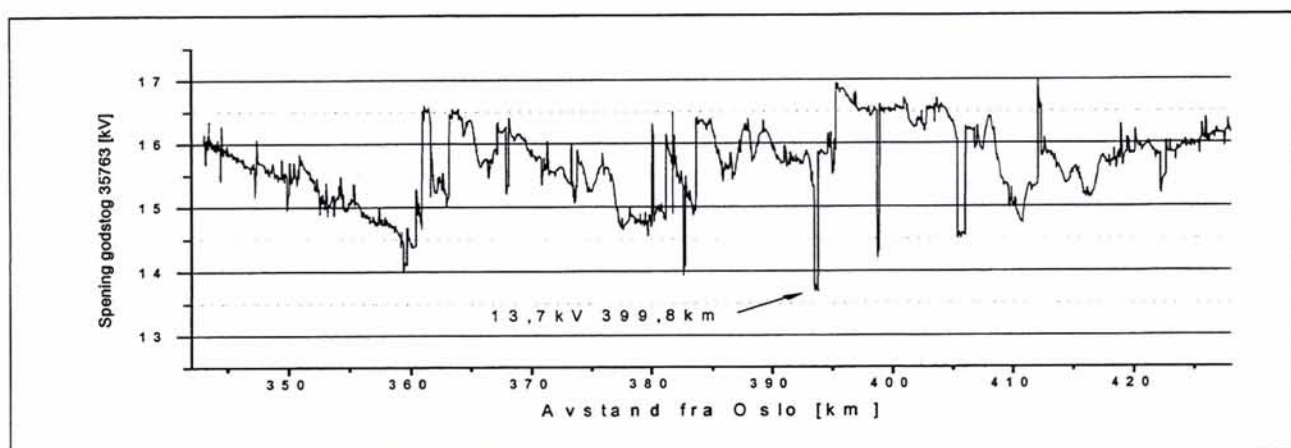
Treviklingsugetransformatorer med ca 3 til 6 km innbyrdes avstand er ikke tatt med i simuleringen. En modell for en slik enhet er ikke utviklet for SIMPOW. Det må nok antas at om denne enheten var inkludert ville nok forholdene for impedansen blitt litt endret i form av blant annet større serieimpedans. Når det gjelder fordelingen av strømmen i de tre lederne antas det å ha liten eller ingen betydning at sugetransformatorene ikke er inkludert. Totalt sett vil nok neglisjering av sugetransformatorer ha liten betydning for laveste målte spenning.

4.7.1 Spenningen på kontaktledningen for tog Dombås - Oppdal

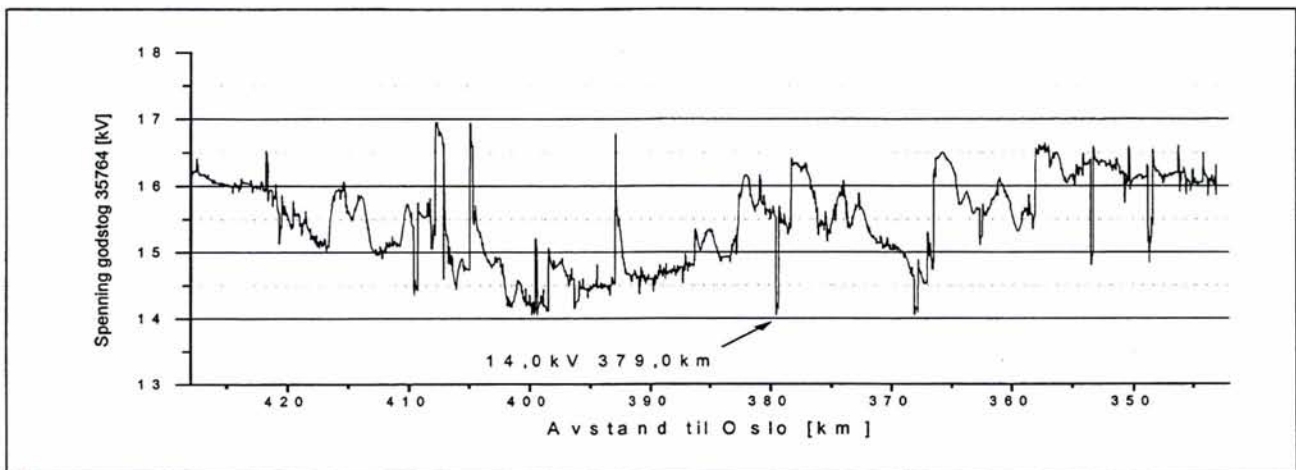
Nedenfor viser tabell 4-47 laveste spenning på strekningen Dombås- Oppdal etter at de fleste autotransformatorene er koblet ut for å simulere et ATBT-system. Laveste spenning for simulering 1 med AT-system, se avsnitt 4.5.3, ble 14,1kV, som er 0,4kV høyere enn denne simuleringen. Altså en nokså liten forskjell.

Tabell 4-47 Laveste spenning for godstog Dombås – Oppdal med ATBT-system. Kapasitetsoptimal ruteplan

Tog nr.	Simulering 3 – Kapasitetsoptimal ruteplan		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [time : minutt]
35763	13,7	399,8	11:20
35764	14,0	379,0	13:08



Figur 4-75 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 35763 Dombås - Oppdal. Kapasitetsoptimal ruteplan og ATBT-system



Figur 4-76 Spenningen på kontaktledningen for sørgående godstog 35764 Dombås - Oppdal. Kapasitetsoptimal ruteplan og ATBT-system

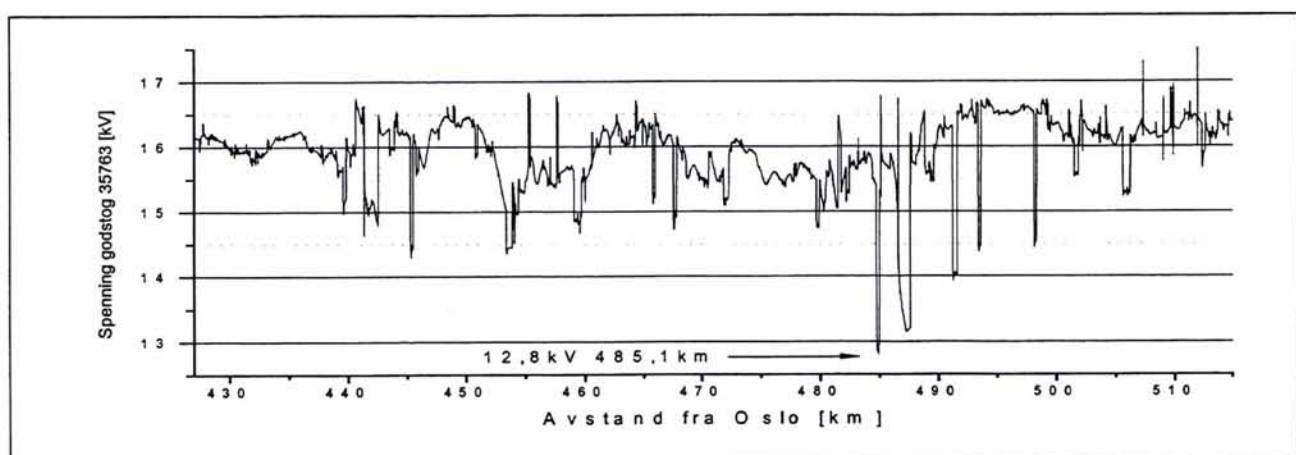
4.7.2 Spenningen på kontaktledningen for tog Oppdal – Lundamo

For strekningen Oppdal – Lundamo viser tabell 4-48 laveste simulerte spenning med ATBT-system. Laveste spenningen ble 12,8kV, dette ble en del lavere enn simulering 1 der laveste spenning ble 14,1kV, se avsnitt 4.5.4.

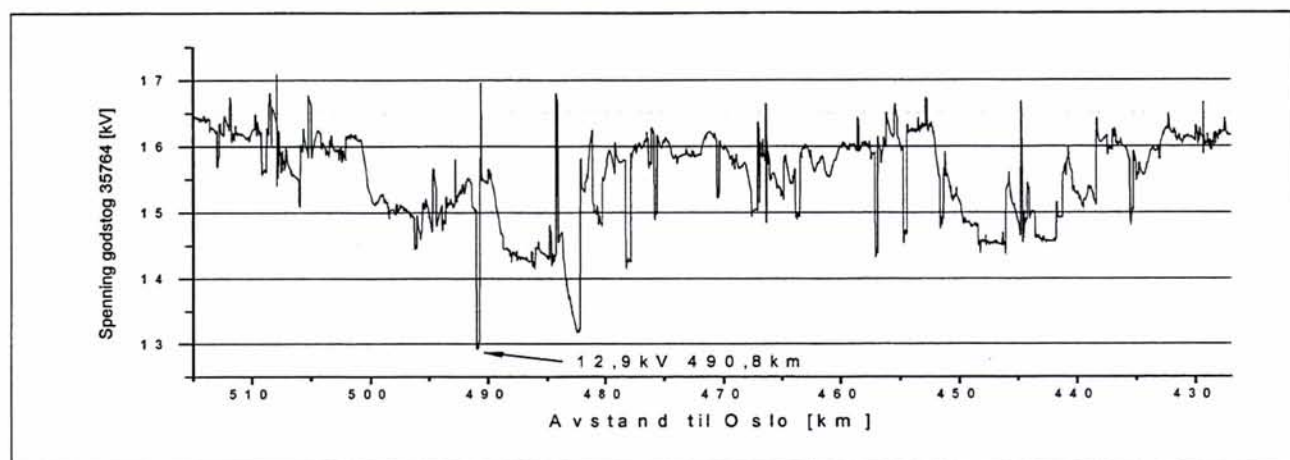
Autotransformatorene ble koblet ut slik at det på denne strekningen er 37,9km fra Oppdal og 47,4km Lundamo. Muligens ville spenningen blitt noe bedre om avstanden var mer lik. Men sannsynligvis ville nok to autotransformatorer på strekningen fått spenningen opp til omtrent samme nivå som med AT-system med 10km mellom hver enhet.

Tabell 4-48 Laveste spenning for godstog Oppdal – Lundamo med ATBT-system. Kapasitetsoptimal ruteplan

Tog nr.	Simulering 3 – Kapasitetsoptimal ruteplan		
	Umin [kV]	Sted [km]	Tidspunkt [time : minutt]
35763	12,8	485,1	12:34
35764	12,9	490,8	12:34



Figur 4-77 Spenningen på kontaktledningen for nordgående godstog 35763 Oppdal - Lundamo. Kapasitetsoptimal ruteplan og ATBT-system



Figur 4-78 Spenningen på kontaktledningen for sørgående godstog 35764 Lundamo - Oppdal. Kapasitetsoptimal ruteplan og ATBT-system

4.7.3 Belastning av omformere

Nedenfor viser tabell 4-49 belastningen av omformerne etter at de fleste av auto-transformatorene er koblet ut for å simulere et ATBT-system. Det ser ut til at endringene er små sammenlignet med simulering 1 med AT-system, se tabell 4-29. Simuleringen med ATBT-system viser en tendens til noe høyere effekt og strøm for samtlige omformere. Dette kan tyde på at det nå oppstår noe større overføringstap.

Tabell 4-49 Belastning av omformere med kapasitetsoptimal ruteplan og ATBT-system

Omformer	Simulering 3 - Kapasitetsoptimal Ruteplan								
	Effekt						Strøm [kA]		
	1 time			6 minutter			2 sekunder		
	[MVA]	[%]	[kl]	[MVA]	[%]	[kl]	[kA]	[%]	[kl]
Dombås	7.97	57	11:21	11.81	54	11:17	1.25	76	10:50
			12:01			11:57			11:30
			12:41			12:37			12:10
Oppdal	8.06	58	11:20	10.69	49	11:20	1.11	67	11:06
			12:00			12:00			11:46
			12:40			12:40			12:26
Lundamo	6.92	49	11:21	10.93	50	11:19	0.98	59	11:16
			12:01			11:59			11:56
			12:41			12:39			12:36

4.7.4 Belastning av autotransformatorer

Nedenfor er 2, 30 og 90 sekunders verdier, samt 60 minutters verdier, for samtlige autotransformatorer fra Dombås til Lundamo vist.

Dombås - Oppdal

Tabell 4-50 viser at med et ATBT-system med bare en autotransformator mellom omformerstasjonene vil utmateenhetene (AT1 og AT3) bli mindre belastet enn den på midten. Her ser det faktisk ut som om det kunne ha passet med en enhet på 6MVA midt mellom omformerne (enhet AT2) og enheter på 3MVA ved omformerstasjonene.

Tabell 4-50 Belastning av autotransformatorer Dombås - Oppdal med kapasitetsoptimal ruteplan og ATBT-system

Simulering 3 – Kapasitetsoptimal ruteplan					
AT – Plassering	Strøm [kA]				
	Maks	2 sek	30 sek	90 sek	60 min
Dombås - Oppdal AT 1	0,26	0,26	0,21	0,19	0,11
Dombås - Oppdal AT 2	0,49	0,49	0,34	0,33	0,17
Dombås - Oppdal AT 3	0,32	0,32	0,23	0,20	0,11

Oppdal - Lundamo

Nedenfor viser tabell 4-51 den samme tendensen for lastfordelingen mellom autotransformatorene. Men her ser det ut til at både enhet AT2 og AT3 bør være på rundt 6MVA, mens 3MVA er passelig for enhet AT1. I praksis vil en nok velge å standardisere dette slik at alle enheter for blir på 6 MVA.

Tabell 4-51 Belastning av autotransformatorer Oppdal – Lundamo med kapasitetsoptimal ruteplan og ATBT-system

Simulering 3 – Kapasitetsoptimal ruteplan					
AT – Plassering	Strøm [kA]				
	Maks	2 sek	30 sek	90 sek	60 min
Oppdal – Lundamo AT 1	0,30	0,30	0,24	0,20	0,11
Oppdal – Lundamo AT 2	0,36	0,36	0,35	0,31	0,15
Oppdal – Lundamo AT 3	0,34	0,32	0,28	0,25	0,16

5 OPPSUMMERING

5.1 Spenningen på kontaktledningen

Simuleringer med moderne lokomotiver (EG3100) for godstogene viste forbedrede spenningsforhold for alle strekninger. Unntaket er simuleringen med dagens banestrømforsyning og kapasitetsoptimal ruteplan uten noen forsterkningstiltak. Her viste det seg å oppstå kortvarige spenningsfall enda lavere enn de som ble registrert ved simulering med doble El16 lokomotiver med pådragsbegrensning [1]. Den overveiende tendens er at EG3100 lokomotivene gir betydelige høyere spenninger på kontaktledningen.

Nedenfor viser tabell 5-1 laveste spenning med forsterkninger av banestrømforsyningen, det er vist simuleringer med konvensjonelt system der omformere er forsterket og med AT-system. Av tabellen ser en at simuleringen med AT-system gir høyere spenninger for togene enn konvensjonelt system. Dette gjelder ikke for strekningen Fron – Otta – Dombås der spenningen blir meget høy etter at omformerer på Otta ble forsterket.

Tabell 5-1 Laveste spenning for godstog med kapasitetsoptimal ruteplan og moderne lokomotiver (EG3100). Sammenligning av forholdene med konvensjonelt og AT-system

Strekning	Simulering 2 med forsterkninger av konvensjonelt system		Simulering 1 med AT-system	
	Laveste spenning	Sted fra Oslo	Laveste spenning	Sted fra Oslo
	[kV]	[km]	[kV]	[km]
Fåberg – Fron	12,7	218,0	14,2	218,1
Fron – Otta - Dombås	15,1	313,4	14,3	298,0
Dombås – Oppdal	11,5	379,4	14,1	382,4
Oppdal - Lundamo	11,7	482,1	14,4	485,2

Det er utført simuleringer der det istedenfor moderne lokomotiver (EG3100) er benyttet doble El16 lokomotiver med pådragsbegrensning og AT-system. Som tabell 5-2 viser blir laveste spenning en del lavere, ca 1kV, med denne typen lokomotiver enn med de moderne (EG3100). Men det skal påpekes at disse spenningsfallene er meget kortvarige.

Tabell 5-2 Laveste spenning for godstog med kapasitetsoptimal ruteplan, doble El16 lokomotiver med pådragsbegrensning og AT-system

Strekning	Simulering 1b med AT-system	
	Laveste spenning	Sted fra Oslo
	[kV]	[km]
Fåberg – Fron	13,2	218,1 og 212,9
Fron – Otta - Dombås	12,9	297,8
Dombås – Oppdal	13,0	382,1
Oppdal - Lundamo	13,2	491,0

5.2 Belastning av omformere

Belastningen av omformerne viste ikke så stor forskjell for simuleringer med konvensjonelt- og AT-system. Samme størrelse er simulert for omformerne for de to systemene. Simuleringene viser at belastningsgraden på disse er helt innenfor aksept kriteriene. For simulering 2 med forsterket konvensjonelt system er Otta omformer økt fra dagens størrelse på 3,1MVA til 5,8MVA, dette ser ut til å gi en passe stor belastningsgrad. Siden omformerer på Otta er unødvendig i et AT-system, kan en si at dette systemet krever mindre installert ytelse.

Tabell 5-3 Belastning av omformere med simulering med godstog, kapasitetsoptimal ruteplan og EG3100 lokomotiver. Sammenligning av forholdene med konvensjonelt- og AT - system

Omformer- stasjon	Simulering 2 med forsterkninger og konvensjonelt system					Simulering 1 med AT - system				
	Innsatt	1 time		6 minutter		Innsatt	1 time		6 minutter	
		[MVA]	[MVA]	[%]	[MVA]		[%]	[MVA]	[MVA]	[%]
Fåberg	2 x 5,8	6,07	52	7,43	46	2 x 5,8	6,70	58	7,90	49
Fron	2 x 5,8	6,12	53	8,58	54	2 x 5,8	7,03	60	9,58	60
Otta	1 x 5,8	4,27	74	5,86	73	-	-	-	-	-
Dombås	2 x 7,0	7,42	53	10,54	48	2 x 7,0	7,69	55	11,14	51
Oppdal	1 x 7,0 ¹⁾	7,76	111	10,80	68	2 x 7,0	7,80	55	10,16	46
Lundamo	2 x 7,0	7,28	52	11,94	54	2 x 7,0	6,72	48	10,50	48
Stavne	2 x 7,5	5,19	54	8,04	-	2 x 7,5	5,43	36	7,81	-

¹⁾ Simuleringen er gjort med utfall av et aggregat (installert 2 x 7,0MVA)

Tabell 5-4 viser belastningen av omformerne Dombås, Oppdal og Lundamo når det er simulert med ATBT-system. Legg merke til at belastningen av omformerne har øket noe i forhold til simuleringen med AT-system.

Tabell 5-4 Belastning av omformere med simulering med kapasitetsoptimal ruteplan, EG3100 lokomotiver og ATBT-system.

Omformer- stasjon	Simulering 3 med ATBT-system				
	Innsatt	1 time		6 minutter	
		[MVA]	[MVA]	[%]	[MVA]
Dombås	2 x 7,0	7,97	57	11,81	54
Oppdal	2 x 7,0	8,06	58	10,69	49
Lundamo	2 x 7,0	6,92	49	10,93	50

Nedenfor viser tabell 5-5 resultatet av simulering med AT-system og doble E116 lokomotiver med pådragsbegrensning. Samme størrelse på aggregatene er benyttet her som i simulering 1 med moderne lokomotiver (EG3100). Som en ser er belastningsgraden så høy at aggregater på 2 x 10,0MVA ser ut til å være nødvendig i alle omformerstasjonene, unntatt Fåberg der 2 x 7,0MVA ser ut til å være passelig.

Tabell 5-5 Belastning av omformere med simulering med godstog, kapasitetsoptimal ruteplan, doble E116 lokomotiver med pådragsbegrensning og AT - system

Omformer- stasjon	Simulering med AT-system				
	Innsatt	1 time		6 minutter	
		[MVA]	[MVA]	[%]	[MVA]
Fåberg	2 x 5,8	8,38	72	10,00	62
Fron	2 x 5,8	8,76	75	12,01	75
Dombås	2 x 7,0	11,83	85	15,83	72
Oppdal	2 x 7,0	11,53	82	15,02	68
Lundamo	2 x 7,0	9,25	66	14,51	66
Stavne	2 x 7,5	7,15	48	9,69	-

5.3 Belastning av autotransformatorer

For autotransformatorene for utmating er det valgt enheter på 6,0MVA, mens det for enheter mellom omformerstasjonene er satt inn enheter på 3,0MVA. Belastningen av autotransformatorene ser ut til å være innenfor akseptable grenser med de valgene som er tatt når det gjelder nominell størrelser. For noen få enhetene ser det ut til at spesielt verdiene for 90 sekunders strøm er noe over høyeste tillatte verdier, dette gjelder for simulering 2b med doble E116 lokomotiver.

5.4 Belastningen av kontaktledningen

Ingen av simuleringene gir strømmer som kan være for store for kontaktledningen. Med den typen AT-system som er simulert blir strømmen på kontaktledningen mye mindre enn i et konvensjonelt anlegg.

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 kapitlet. Også resultater av simuleringene som kanskje ikke gir helt entydige svar i forhold til regelverk eller som gir muligheter for tolkninger er drøftet her.

6.1.1 Togvarme

For persontogene er togvarme lagt inn med konstante verdier for hvert tog lik 20kW for hver passasjervogn. Effektuttaket er ment å representere midlere effektuttak om vinteren. Dette effektuttaket er varierende, men selv med et større effektuttak vil dette utgjøre en liten del av det maksimale effektuttaket for toget. Togvarme utgjør på den annen side en ikke ubetydelig andel av det totale energiforbruket. Usikkerheten i belastningen antas å gi liten innvirkning på resultatene. Dette gjelder bare for simulering 0a med ruteplan R149.1, i de øvrige simuleringene med kapasitetsoptimal ruteplan og godstog er det selvfølgelig ingen togvarme.

6.1.2 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. På Dovrebanen er det få tunneller, og de er korte. Å utelate tunneller gir derfor ikke noe stort tap av informasjon.

I horisontalkurvene er det hastighetsbegrensninger for alle typer tog. Dette sammen med at vertikalkurvene gir så vidt mye større betydning for effekttopptaket, gjør at horisontalkurvatures betydning er neglisjerbar og derfor utelatt.

6.1.3 Kjøremønster for lokomotivfører og 2 sekunders strøm

Når simuleringer utføres med SIMTRAC vil "lokførerens" oppførsel være å holde skiltet hastighet og foreta akselerasjoner etter innleste parametre i modellen. I virkeligheten kan en lokfører ved kjøring i nedoverbakke utnytte fallet til å la toget akselerere av seg selv, istedenfor å øke pådraget hurtig når skiltingen tillater det. Dette og flere andre ting ved lokførerens personlige kjøremønster gjør at simuleringer og målte verdier kan bli forskjellige. Kjøremønsteret gir spesielt utslag for de korte belastningsstoppene. Dette fenomenet gjør seg spesielt gjeldende for 1 eller 2 sekunders verdien av strømmen for omformerne, kontaktledningen, autotransformatorer, sugetransformatorer og filterimpedanser, som kan bli store nettopp på grunn av hurtige akselerasjoner.

For 2 sekunders verdien av strømmen fra omformerne 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, fordi det antas at modellen for lokomotivene gir nokså mye større strømtopper enn virkeligheten.

6.1.4 Lastfordeling med AT-system

For modellene som er laget i SIMPOW for det overliggende nettet, er det tatt utgangspunkt i spenningsvinklene i overliggende kraftsystem på 300kV og 400kV nivå slik som Statnett har beregnet disse. Spenningsvinklene gjelder for en vinterdag med stor belastning av kraftsystemet, kraftstasjoner som vanligvis da er i drift er inkludert og normale koblinger i nettet gjelder. Også belastningen i regionale nett som forsyner omformerstasjonene har stor betydning for spenningsvinkelen. Samtlige linjer på 132kV og 66kV som forsyner omformerstasjonene er inkludert og for disse er belastningen til transformatorstasjonene, avgreninger etc. til de lokale elverkene inkludert. Her er det maksimale verdier for belastningene om vinteren som er benyttet.

Spenningsvinkelen i overliggende nett vil gi en dreining som kommer i tillegg til aggregatenes polhjulsinkel. Hvis det skulle oppstå store strømmer mellom stasjonene i tomgang, vil dette være et signal om at det flyter store effekter mellom omformerne på grunn av forskjellige spenningsvinkler mellom stasjonene. Noe som igjen er med på å gi problemer med spenningsregulatoren og fordeling av effekten. Når AT-system innføres vil den elektriske avstanden mellom stasjonene reduseres betraktelig og dermed kan effektutveksling lettere skje. Dette kan skape problemer når strekningen trafikkeres, for eksempel ved at enkelte omformere ikke leverer den effekten de har kapasitet til eller at enkelte omformere belastes mer enn naturlig selv med liten togtrafikk.

Tomgangsstrømmer mellom stasjonene er undersøkt for AT-systemet og sammenlignet med et konvensjonelt system. Resultatene viste noe større strømmer og effekter i tomgang mellom stasjonene med AT-system enn med konvensjonelt system.

Om endrede spenningsvinkler i andre belastnings-, koblings- og/eller driftssituasjoner for kraftstasjonene i det overliggende nettet kan komme til å gi endrede strømmer i tomgang er ikke undersøkt. Tross alt vil nok de største spenningsvinklene oppstå i en situasjon med stor belastning i overliggende nett, slik som simulert. Om dette skulle kunne bli annerledes er det overraskende om det skulle gi betydelig større strøm- og effektutveksling mellom omformerne og problemer for driften. Spesielt fordi simuleringene med konvensjonelt- og AT-system ikke viser noen tendenser som skulle tyde på ugunstig lastfordeling.

Utvekslingen av reaktiv effekt mellom omformerne fra Lundamo til Stavne og fra Tangen mot Lillestrøm i tomgang med AT-system, ble en del større enn ved konvensjonelt system. Dette kan ha sin forklaring i at spenningsreguleringen i de statiske omformerne har konstant karakteristikk, og den mindre impedansen i AT-systemet ble dette mer påtagelig. Erfaringsvis gir dette ofte noe mer ugunstig fordeling av reaktiv effekt mellom omformerne. Undersøkelse av om nye innstillinger av spenningsregulatoren er nødvendig bør vurderes.

6.1.5 Dimensjonerende ruteplan

Simuleringene med den såkalte kapasitetsoptimale ruteplanen gir tog i begge retninger med 40 minutters mellomrom. Den kapasitetsoptimale ruteplanen kan således representere en fremtidssituasjon der trafikkbehovet er stort og mange godstog kjører i begge retninger samtidig. Dette i motsetning til dagens situasjon med ruteplan R149.1, der godstogene kjører ut fra Alnabru sent på kvelden. Togene kjøres med relativt kort mellomrom, ofte under 30 minutters avstand og ved midnatt har alle togene kjørt ut fra Alnabru. Sørøver fra Trondheim og Dombås (tog fra Åndalsnes) går det et mindre antall tog med større avstand mellom på denne tiden av døgnet. Denne situasjonen er typisk for ruteplan R149.1. og har vært trenden for godstrafikken de siste årene. Karakteristisk for denne er at de nord- og sørgående godstogene krysser mellom Ringebu og Dombås. Dette området kalles for "krysningsbeltet".

Den kapasitetsoptimale ruteplanen kan i tillegg til å vise en fremtids situasjon med mange godstog i hver retning, også vise en situasjon der det oppstår en avvikssituasjon i dagens ruteplan. Hvis godstogene ut fra Trondheim blir forsinket, vil krysningsbeltet forflytte seg lenger nord, kryssningene mellom sør- og nordgående tog kan da komme til å skje for eksempel mellom Dombås og Oppdal. Hvis dette skjer vil sannsynligvis Oppdal omformer belastes betydelig mer enn i simulering 0a, og belastningen blir mer lik den i simulering 0.

Om krysningsbeltet (med ruteplan R149.1) forflyttes nordover vil det som sagt oppstå mange kryssninger mellom Dombås og Oppdal og da er det sannsynlig at spenningen her vil komme lavere enn i simulering 0a, se avsnitt 4.1.3. Med ruteplan R149.1 vil det bli bare en kryssning mellom to godstog på distansen Dombås - Oppdal, mens det med kapasitetsoptimal ruteplan oppstår tre kryssninger, hvorav den som gir laveste spenning skjer ved kryssning på Hjerkin. Her er det nordgående godstog som venter på Hjerkin stasjon, og som skal akselerere ut fra stasjonen i oppoverbakke. Også mellom Oppdal og Lundamo skjer det 4 kryssninger, mens det med ordinær ruteplan R149.1 ikke skjer noen kryssninger. Kryssningene som skjer med

kapasitetsoptimal ruteplan kommer mellom omformere med lang avstand fra hverandre og i store stigninger. Dette er nok hovedgrunnen til at kapasitetsoptimal ruteplan gir såpass mye lavere spenninger enn den ordinære.

Avviksituasjoner der krysningene legges til stasjoner mellom Dombås - Oppdal – Lundamo kan nok skje ofte. Det er derfor fornuftig å bruke den kapasitetsoptimale ruteplanen for å dimensjonere banestrømforsyningen for å unngå lave spenninger. Den ordinære ruteplanen gir større belastning på enkelte omformere, blant annet Dombås. Derfor må også ordinær ruteplan taes hensyn til ved dimensjonering av omformerne.

Ser en på den kapasitetsoptimale ruteplanen som en situasjon med avvikende krysninger vil dette naturligvis være en situasjon med togtrafikk som varer over relativt kort tid; sannsynligvis noen timer med dagens antall tog i nordlig og sørlig retning. Da vil ikke 1 times verdien av effekten for en omformer spille like stor betydning som hvis denne togtrafikken var vedvarende. Simulering 0a med ordinær ruteplan (R149.1) viser typisk at omformerne belastes hardt innenfor en avgrenset tid, og at maksimalverdien for effekten er relativt høyere enn middelbelastningen innenfor denne tiden. Dermed blir det viktigere å se på 6 minuttersverdiene for å oppfylle redundanskriteriet ved bestykning av omformere.

Spesielt for simulering 2 der et aggregat på Oppdal (opprinnelig 2 x 7,0MVA) var koblet ut kan en komme i tvil om hva som er riktig størrelse for omformerne, se avsnitt 4.4.5. For Oppdal omformer viste det seg at det gjenværende aggregatet ble belastet 111% for sin timesverdi. Dette er såpass mye at aggregatet sannsynligvis vil falle ut for overlast om denne togtrafikken skulle vare lenge og syklisk. Siden dagens ruteplaner gir en trafikk situasjon som er så intens anbefales det aggregater på 2 x 7,0MVA. Men om en slik syklisk og langvarig belastning skulle komme bør det vurderes aggregater på 2 x 10,0MVA i alle fall på Dombås og Oppdal.

6.1.6 Reduksjon av energitap med AT-system

Ved å innføre AT-systemet vil energitapet i kontaktledningsanlegget reduseres fordi effekten overføres med det dobbelte av spenningen i et konvensjonelt anlegg. Tommelfingerregelen sier da at tapene reduseres med 75%, men siden effekten overføres på 15,0kV på den seksjonen mellom to autotransformatorer der toget befinner seg blir forholdene mer komplisert. Dessuten vil effektfordelingen mellom omformerstasjonene ha en vis betydning, det samme vil spenningsfallet for overføringen ha.

ATBT-system vil også gi lavere tap enn konvensjonelt system, men blant annet fordi seksjonen der effekten overføres på 15,0kV er lenger, vil tapene med dette systemet bli større enn i et AT-system. For å kunne bestemme tapene i de aktuelle systemene må egne simuleringer gjøres. Men selv om dette ikke er gjort her, kan en allikevel si at tapene nok vil være en del mindre i et AT-system enn i et ATBT-system.

6.1.7 Optimal oppheng av lederne i et AT-system

Valg av tverrsnitt på lederne i kl-anlegget og plassering av negativlederen i forhold til skinner og kontaktledningen er med på å bestemme resistans og reaktans for AT-systemet. Modellen for kl-anlegget tok utgangspunkt i en enkel konfigurasjon for opphenget valgt ut fra en tommelfingerregel for hva som er gunstig. Imidlertid kan beregningsprogrammer som ser på impedansen i systemet avhengig av de geometriske forhold, optimalisere dette slik at impedansen blir så liten som mulig. Optimaliseringer med hensyn på magnetiske felter rundt kl-anlegget kan også gjøres. Ut fra beregningene og andre praktiske forhold velges innbyrdes avstander for lederne.

Om det i ettertid viser seg å være optimalt med litt andre avstander mellom lederne, eller andre tverrsnitt for lederne, vil nok dette til en viss grad påvirke impedansen. Men mest sannsynlig bare i meget liten grad gi andre spenninger for togene enn simuleringene har vist.

Hvis forholdene vedrørende de magnetiske feltene gies stor betydning kan andre varianter av AT-systemet redusere disse. Blant annet en ekstra leder innføres; for eksempel en positivleder som plasseres nært negativlederen. Men om en ekstra leder innføres vil prisen på anlegget øke betydelig. Forhold mellom øket pris og fordelene med reduksjon av magnetiske felter må overveies. For simuleringene i denne rapporten ble altså det enkleste systemet valgt.

Også praktiske forhold kan være av betydning for opphenget. Negativlederne kan plasseres mellom strekkstag og trykkstag for å gi lavere reaktans, men vil muligens gi mer tungvinte arbeidsforhold ved montering og ledningen vil være mer sårbar ved nedrivning av kontaktledningen. Muligens må også masten gjøres sterkere når så mye av vekten kommer på en side.

6.1.8 Avstanden mellom autotransformatorene i et AT-system

Det er forutsatt en lengde på 10,0km mellom hver autotransformator i modellen som er benyttet i simuleringene. I Sveige har Banverket valgt denne lengden, og det er sannsynlig at denne lengden er passende også i Norge. I tillegg til å transformere spenningen ned, har autotransformatorene den funksjonen at de trekker strømmen opp fra skinnene omtrent på samme måte som sugetransformatorer. Maksimal tillatelig lengde er blant annet et spørsmål om avledning av returstrømmen til jord. Egne simuleringer som ser på inntrenging og avledning i jorden, samt magnetiske felter kan gjøres for å finne optimal avstand mellom enhetene.

Om en enhet faller ut, blir det 20,0km mellom hver autotransformator, som gir større returstrøm i skinnene hvilket kan gi høye skrittspenninger, større belastning av gjenværende transformatorer, etc.

I tilfelle senere analyser av disse forholdene skulle vise at autotransformatorene kan ha større innbyrdes avstand vil nok dette ha liten innvirkning på spenningsforholdene og installert ytelse i enhetene. Da forutsatt at bare noen få kilometers endring av avstanden vil være mulig (grovt estimert innenfor intervallet 6,0 til 15,0km.)

Det har vært spekulert på om plassering av autotransformatorene bør gjøres slik at disse kommer så nært stigninger der togene trekker stor strøm, for å unngå spenningsfall på disse stedene. I modellen for simuleringene er imidlertid autotransformatoren plassert kun med det for øye å få nøyaktig samme avstand mellom dem mellom to omformerstasjoner. Av simuleringene ser en at spenningen allikevel er meget høy, derfor skulle dette ikke være noe nødvendig kriterium for plasseringen.

6.1.9 Kriterier for å planlegge fremtidig banestrømforsyning med hensyn på spenningen

Jernbaneverkets regelverk sier at ved planlegging av nye anlegg for forsterkning av banestrømforsyningen skal spenningen ikke komme lavere enn 13,5kV. Imidlertid skal ikke bytting av omformerenheter i eksisterende omformerstasjoner sees på som en forsterkning (se vedlegg 2). Dermed skal ikke denne grensen benyttes for utbygging av et konvensjonelt system, der bare forsterkning av omformere er foreslått. I tilfelle en utbygging av et AT-system vil dette bli definert som forsterkning av banestrømforsyningen og laveste spenning som kan tillates blir 13,5kV

For banestrømforsyningen vil normen IEC 60850 gjelde generelt og i denne er laveste tillatte permanente spenning satt til 12,0kV. For midlertidige spenningsfall kan en spenning ned mot 11,0kV tillates. Spenningen kan etter normen komme ned under 12,0kV i maksimalt 10 minutter. I forslaget til norm fra CENELEC (prEn50163) får ikke spenningen komme under 12,0kV ved normale driftsforhold.

Den mest åpenbare praktiske grunnen for ikke å tillate lave spenninger er at lokomotivenes vern vil koble ut høyspentbryteren for lokomotivet om spenningen kommer lavere enn 11,0kV, selv for en kort tid. Tendensen for moderne traksjonsmateriell er større ømfintlighet overfor spenningskvaliteten.

Ved en eventuell utbygging av et fremtidig konvensjonelt system kan det hende at CENELEC normen, hvis den blir vedtatt i den formen den har i utkastet, ikke tillater laveste spenning å komme lavere enn 12,0kV. Simulering 2, med utfall av et aggregat i Oppdal, har vist at spenningen bare noen meget få steder vil kunne komme under 12,0kV og da meget kortvarig. Det er sannsynlig at ved utfall av mateenheter andre steder vil heller ikke spenningen kunne komme under 11,0kV. Samtidig er det undersøkt at med de foreslåtte omformere, vil ikke kontaktledningen, sugetransformatorer eller filterimpedanser bli overbelastet.

I forslaget til norm fra CENELEC står det at spenningen ikke kan komme under 12,0kV ved normale forhold. Normale forhold er blant annet definert som at gjeldende ruteplan (som banestrømforsyningen er dimensjonert for å tilfredsstillte) holdes uten forsinkelser. Med ordinær ruteplan (R149.1) og moderne lokomotiver ser det ut til at togene får helt akseptable spenninger, også på strekningene Dombås – Oppdal og Oppdal – Lundamo. Denne ruteplanen legger opp til få eller ingen krysninger for godstogene på disse strekningene, og dette er sannsynligvis grunnen til at spenningen holder såpass høye verdier.

Hvis det i fremtiden skulle innføres en ruteplan der det blir noen flere krysninger på disse strekningene enn R149.1 legger opp til, kan disse legges så nært til omformerstasjonene på Dombås, Oppdal og Lundamo som mulig. Da kan spenninger under 12,0kV unngås. I en avvikssituasjon der krysninger legges til andre steder kan spenningen tillates å komme mellom 11,0 og 12,0kV. På denne måten må dimensjonerende ruteplan planlegges for en banestrømforsyning uten omformere på Hjerkin og Garli. Men dette er jo det omvendte av hva en ønsker; skal ruteplanen tilpasses banestrømforsyningen vil det bli en komplisert og lite fleksibel planlegging. Hvis det er ønskelig at noe i nærheten av kapasitetsoptimal ruteplan skal innføres, står enn i fare for at spenningen blir lavere enn det som kan tillates.

En forsterkning av banestrømforsyningen og bygging av nytt kontaktledningsanlegg for hele Dovrebanen vil bli et omfattende prosjekt med meget store kostnader. Det virker da mest hensiktsmessig å planlegge dette med gode marginer. Om 13,5kV i utgangspunktet settes som en nedre grense for spenningen synest ikke dette urimelig, viktigheten og levetiden på anleggene tatt i betraktning. Hvis en da har dette i minnet og ser på simulering 0 og 2 (med konvensjonelt anlegg), og ser bort fra de meget kortvarige øyeblikkene der spenningen kommer under 12,0kV, er det flere steder at spenningen kommer under 13,5kV over lengere tid. Spesielt gjelder dette på strekningen Dombås – Oppdal – Lundamo.

Fremtidige økning av hastighet er det som mest sannsynlig kan komme til å kreve ytterligere forsterkninger enn de som er foreslått og simulert. I dag er 100 og 120km/t normert hastighet for godstog i Europa, mens simuleringene har 90km/t som høyeste hastighet. Selv om det i dag er 90km/t som er maksimal hastighet er det ikke så store endringer som skal til for å øke hastigheten til 100km/t. Det meste av vognmateriellet til CargoNet kan gå i 100km/t. En hastighet på 120km/h er nok mindre aktuell, utenom for eventuelle fremtidige ekspressgodstog med mindre lastvekt (akseltrykk).

Hvis det i tillegg til øket hastighet, eller separat, oppstår ønske om å øke lastvekten for togene med noe mere enn de foreslåtte 50%, vil dette kunne påvirke laveste spenning som oppstår. Spesielt på strekningen Dombås - Oppdal, der det er lange rette strekninger, kan en økning av skiltet hastighet kunne utnyttes. På denne strekningen, og på strekningen Oppdal – Lundamo, kan spenningen da sannsynligvis komme kortvarig under 11,0kV i et konvensjonelt system, selv etter forsterkning av omformerne på Dombås og Oppdal.

Med et konvensjonelt system blir den mest realistiske måten å forsterke banestrømforsyningen å etablere nye omformerstasjoner på Hjerkin og Garli. På strekningen Fron – Otta – Dombås, der Otta omformer er forsterket er det ca 40km mellom omformerstasjonene, mens det er ca 80km mellom de andre. Det ser ut til at med den togtrafikken som er simulert, må det være så kort avstand mellom omformerstasjonene for å gi høy nok spenning. På strekningen Fron – Otta - Dombås viste simuleringen med forsterkning av Otta omformer, enda bedre spenningsforhold enn med AT-system.

Tar en altså hensyn til regelen om 13,5kV som laveste spenning for nye anlegg, eventuell fremtidig hastighetsøkning, fremtidig vektøkning og behovet for flere nye omformere som dette kan gi, ser en at AT-systemet kommer meget gunstig ut med hensyn på spenningen og margin for fremtidig økt transportarbeid.

6.1.10 Redundanskriteriet for omformere og betydningen for driften

For valget av størrelser for omformerstasjoner er redundanskriteriet, der det skal være mulig å koble ut et omformeraggregat og fremdeles kunne opprettholde driften på den gjenværende enheten samtidig som spenningen ikke kommer under 12,0kV på kontaktledningen, vært forsøkt tilfredsstillt. For nær sagt samtlige omformere viser simuleringene med doble El16 lokomotiver at det da kreves aggregater på 2 x 10,0MVA. Dette er meget stor installert ytelse spesielt når simuleringene med ordinær ruteplan viser at de store belastningstoppene opptrer bare i meget kort tid og en gang i døgnet. Tidligere simuleringer og simuleringer med ordinær ruteplan tilsier at aggregatenes kapasitet utnyttes lite. Bare en eller noen få ganger i døgnet oppstår høy belastning for omformerne på Dovrebanen og selv da er jo ikke installert ytelse utnyttet mer enn 50%.

For tiden foregår det studier for å se på muligheten for å la spenningsregulatoren styre ned pådraget for aggregatet når belastningen blir for stor. Dette har vært et prosjekt for å løse problemer i Oslo området. På grunn av trafikksituasjonen i dette området kan en eller noen få omformere være mye belastet, samtidig som andre ikke belastes særlig mye.

En lignende funksjon kunne også vært interessant for omformerne på Dovrebanen. Flere metoder kan tenkes:

1. Ved utfall av et aggregat går det gjenværende aggregatets spenningsregulator over i en annen modus der statikken reduseres slik at aggregatet ikke tar på seg så mye av effektproduksjonen at det overbelastes.
2. Omformerne utstyres med en tilleggsfunksjon for spenningsregulatoren slik at aggregatets tidligere belastning er med på å beregne en maksimumsverdi for tillatt effekt som ikke får overskrides. Dette kan gjøres med en modell av aggregatets termiske egenskaper slik at oppnådd temperatur beregnes og ut fra dette fastsettes effektbegrensningen. Moderne vern for elektriske motorer virker på lignende måte.
3. I et AT-system kan det meget sannsynlig tillates at om et aggregat i en stasjon faller ut, kan det gjenværende aggregatet også legges ut automatisk. Dette kan sannsynlig skje uten at spenningen for togene kommer under 12,0kV.

Forslag 2 vil nok utvilsomt være det mest kompliserte, men også det beste, mens forslag 3 vil være veldig enkelt i et AT-system. For forslag 3 kreves sannsynligvis små endringer i omformerstasjonene. Selv om enten Oppdal eller Dombås omformerstasjon faller ut vil sannsynligvis ikke de gjenværende nabostasjonene bli overbelastet. Det er også sannsynlig at heller ikke autotransformatorer vil bli overbelastet om en hel omformerstasjon faller ut.

Med forslag 1 eller 2 og AT-system burde det være mulig å tillate doble El16 å kjøre selv med de aggregatene som er benyttet i simulering 2, det vil si 2 x 7,0MVA på Dombås, Oppdal og Lundamo og 2 x 5,8MVA i de andre stasjonene. Forslag 3 er sannsynligvis ikke mulig viss doble El16 lokomotiver trafikkerer strekningen, fordi at de nærliggende stasjonene vil bli hardt belastet, det samme vil nok kunne gjelde autotransformatorer for utmating.

Ved valg av omformere kan størrelser velges slik at høyeste belastning kommer på anslagsvis 70-80% for 6 minutters og 1 timesverdien.

Også for et konvensjonelt system vil en tilleggsfunksjon i spenningsregulatoren (metode 1 og 2) muligens kunne gi en bedre utnyttelse av aggregatene. (Metode 3 kan ikke brukes i et konvensjonelt system.) Om det i praksis er mulig å velge mindre aggregater enn det som er gjort,

se tabell 4-23, er nok tvilsomt, dette fordi mindre aggregater sannsynligvis vil gi lavere spenning for togene. Forsterkning av omformerstasjoner i konvensjonelt anlegg er jo et tiltak for blant annet å øke spenningen. Men uansett kan nok en slik funksjon som forhindrer overbelastning være gunstig. Se igjen tabell 4-23 som viser at om det ene aggregatet på 7,0MVA faller ut kan det være en viss fare for overbelastning med hensyn på times verdien. (Overbelastning for timesverdien når denne er bare litt større enn nominell belastning er nok ikke så kritisk som overbelastning for 6 minutters verdien). Tilleggsfunksjonen for spenningsregulatoren kan forhindre dette.

6.1.11 Valg av størrelse for autotransformatorene

For belastningsverdier for autotransformatorene er det oppgitt preliminnære verdier for forskjellige tidsintervaller fra aktuell fabrikant (ABB), se tabell 2-4. Verdiene er altså veiledende for autotransformatorene og ved senere detaljplaner og spesifikasjoner vil eksakte verdier måtte bestemmes.

For belastningen av autotransformatorene viser simulering 1 at ingen enheter belastes over sine nominelle verdier. For simulering 1b med doble E116 lokomotiver blir høyeste belastning for 90 sekunders verdien 303A og for 60 minutter 117A for enhetene på 3,0MVA. For enhetene på 6MVA er største belastning 365 og 244A for henholdsvis 90 sekunder og 60 minutter. Belastningen for enheten på 3MVA er med dette 121% for 90 sekunders verdien og 90% for 60 minutters verdien. For enheter på 6,0MVA er største belastning 73% og 94% for henholdsvis 90 sekunder og 60 minutters verdiene. Simulering 1b viste at to andre transformatorer på 3,0MVA ble noe overbelastet for sine 90 sekunders verdier. For enhetene på 6MVA ser belastningen ut til å være innenfor akseptable grenser.

Det virker noe omfattende å dimensjonere autotransformatorene enda større, for eksempel å øke enhetene på 3,0MVA til 4,0MVA. Det er jo bare noen få autotransformatorer der høye belastningsverdier oppstår, mange enheter blir knapt belastet til halvparten av sin ytelse. Et annet forhold en skal ta med i betraktningen er at dette gjelder bare så lenge som E116 lokomotiver er i drift, og kjøres dobbelt.

Den graden av overbelastning som det her er snakk om vil ikke være noe teknisk problem, men levetiden kan bli forringet. Beregninger for levetiden gjøres slik at en overbelastning reduserer levetiden, mens liten eller ingen belastning øker levetiden. Den lave temperaturen om vinteren vil være med på å øke levetiden, spesielt ved lav belastning. Dermed kan det bli et bidrag til både forlengelse og reduksjon av alderen til transformatorene som ikke nødvendigvis gir noen netto reduksjon av total levetid.

Kapasitetsoptimal ruteplan vil vise en stor belastning som repeteres med 40 minutters mellomrom. Innenfor denne syklusen er det også perioder uten belastning, dette er i periodene når det ikke er tog på strekningen mellom autotransformatorene. Men om det i uoverskuelig fremtid vil bli det samme kjøremønster som i dag, tilsvarende ruteplan 149.1, vil den største belastning komme rundt midnatt etterfulgt av flere timer uten togtrafikk. Altså noen som gir et bidrag til forlenget levetid. En tilsvarende stor belastning av autotransformatorene som kapasitetsoptimal ruteplan viser, kan tenkes å oppstå i Dombås området (krysningsbeltet).

Kostnadmessig vil det nok ikke ha mye å si om en skulle velge å øke ytelsen fra 3,0 til 4,0MVA. Autotransformatoren på 4,0MVA er av samme grunnkonstruksjon som den på 3,0MVA. Den største forskjellen for konstruksjonen er at det settes inn en kjølevifte. For viften er det nødvendig med en egen lavspenningvikling på transformatoren for å få egen separat strømforsyning.

Ved utforming av en detaljplan og et teknisk regelverk for autotransformatorer kan en vurdere størrelsene på autotransformatorene sett i forhold til fremtidig trafikkøkning etc. Om det besluttes å anskaffes enheter på 4,0MVA vil som sagt kjølevifte være påmontert. Denne vil trenge ettersyn, i og med at kulelagre har en hvis levetid, dermed må hele enheten skiftes etter en vis tid.

Dette gir større årlige driftskostnader. På den annen side kan en jo bestemme seg for å koble ut kjøleviften og eventuelt koble den inn om en trafikkøkning skulle tilsi det.

En annen ting som i større grad enn påmontert kjølevifte avgjør dimensjoner og pris for autotransformatorene er kortslutningsstrømmen disse må kunne tåle og den kortslutningsimpedansen de skal dimensjoneres for. Her er det valgt en type som skal tåle en nokså stor kortslutningsstrøm.

6.1.12 Valg av AT- eller ATBT-system

Valg av enten et rent AT- eller et ATBT-system er et teknisk/økonomisk spørsmål som selve Hovedplanen må behandle. Men her kan det være på sin plass å komme med noen betraktninger rundt de tekniske forholdene. Sammenlignes simulering 1 og 3, se henholdsvis avsnitt 4.5 og 4.7, kan en se at spenningen ble en del lavere med ATBT-system. På det laveste kom spenningen ned under 13,0kV med ATBT-system, mens med AT-system kom den ikke under 14,0kV. En må ta i betraktning at med AT-system var distansen ca 10,0km mellom hver autotransformator og med ATBT-system var distansen mellom enhetene ca 30 og 50km. Forholdene ville nok blitt noe bedre om distansen hadde vært mer lik, altså ca 40 km mellom hver enhet.

For et eventuelt ATBT-system må det mest sannsynlig være 2 autotransformatorer mellom hver omformer og ca 27km mellom hver enhet for å oppnå spenning over 13,5kV. Dessuten vil bare en autotransformator gi et nokså sårbart system om en av dem skulle falle ut. En annen fordel med ca 27,0km mellom hver autotransformator er tapene vil bli noe mindre. Simuleringen med ATBT-system med bare en autotransformator mellom hver omformer gir inntrykk av at alle enhetene bør være på 6,0MVA. Mest sannsynlig vil nok dette være passende ytelse også med to enheter mellom hver omformer.

6.1.13 Avviksituasjon

I en avviksituasjon kan de verste belastnings forholdene oppstå. For eksempel en situasjon der flere godstog skal begynne å kjøre samtidig 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 Hjerkinns fra nord eller sør i såkalt blokkpostavstand. Dette kan tenkes å skje om godstogene gies beskjed om å stoppe av togleder og at stans skjer ved hver blokkpost for flere tog etter hverandre. Når da trafikken gjenopprettes kan det skje at alle togene starter og akselererer samtidig.

Simulering med kapasitetsoptimal ruteplan kan ikke sies å være like kritisk som den avviksituasjonen beskrevet ovenfor. Dette fordi det nesten alltid er motgående tog (med moderne lokomotiver) i nedoverbakke som genererer effekt ut på linjen, som togene i oppoverbakke kan nyttiggjøre seg.

I et fremtidig system for banestrømforsyning vil en situasjon som beskrevet ovenfor føre til stor belastning for omformerstasjonene. Lav spenning på kontaktledningen kan også bli et problem, men sannsynligvis ikke spenninger under 12,0kV i et AT-system. Et større problem som vil oppstå i både konvensjonelt- og AT-system er belastningen av omformerne. Men med kombinasjon av AT-system og en funksjon for spenningsregulatoren som beskrevet i avsnitt 6.1.10, vil sannsynligvis selv ikke en så spesiell situasjon bli vanskelig.

7 KONKLUSJON

For å kunne tillate godstog med en lastvekt på 50% mer enn dagens, må omfattende tiltak gjøres i banestrømforsyningen. Derfor bør en vite hvilket forsterkningstiltak som velges i et fremtidig system, før en setter i gang tiltak på kort eller mellomlang sikt. Her er det sett på konvensjonelt system med nødvendig antall omformerstasjoner og AT -system. Simuleringene har også vist at fremtidens lokomotivtype vil ha stor betydning for dimensjoneringen av banestrømforsyningen.

På lang sikt (10-15år) vil det bli nødvendig å skifte ut kontaktledningsanlegget på Dovrebanen, som allerede i dag har en anseelig alder. Dette vil være et meget kostbart vedlikeholdsprosjekt og utbygging av et eventuelt AT/ATBT- system må skje samtidig med dette. Simuleringene har ikke tatt hensyn til om det i framtiden vil være ønskelig med enda større lastvekt, hastighet eller andre lokomotivtyper.

7.1 *Moderne lokomotiver for godstog gir mindre effektopptak*

Moderne lokomotiver (EG3100) for godstogene belaster omformerstasjonene betydelig mindre enn hva doble E116 lokomotiver med pådragsbegrensning vil gjøre, se simulering 0, 0b og 2. Spenningen på kontaktledningen blir også betydelig forbedret, men simuleringer med konvensjonell banestrømforsyning viser allikevel at meget kortvarige spenningsfall under 12,0kV kan oppstå. Disse spenningsfallene er større enn de spenningsfallene som ble registrert i sammenlignbare simuleringer med doble E116 lokomotiver.

Når fremtidens system for banestrømforsyningen skal planlegges er det viktig å ta hensyn til belastningen og forhold som denne typen moderne lokomotiv vil gi. Hvis banestrømforsyningen skal dimensjoneres for doble E116 lokomotiver vil det kreves en meget stor økning av installert effekt i omformerstasjonene, selv med pådragsbegrensning. Dessuten vil det kreves flere omformerstasjoner (med konvensjonelt system) enn hva som er nødvendig for å dimensjonere for EG3100 lokomotiver.

Årsaken til at EG3100 lokomotiver gir bedre forhold for banestrømforsyningen er flere:

- EG3100 lokomotiver har omtrent bare halvparten så stor ytelse (7,9MW) som doble E116 med pådragsbegrensning ($0,7 \times 2 \times 4,44 = 7,2\text{MW}$). Allikevel er trekkraften 400kN, mens den til sammen er 600kN for doble E116 med pådragsbegrensning.
- EG3100 lokomotivene har regenerativ bremsing, mye effekt vil dermed kunne utveksles mellom lokomotiver i motsatt retning i stigninger.
- De moderne lokomotivene har mye bedre effektfaktor enn de tyristorstyrte E116 (og Svenske Rc) lokomotivene. De har også muligheten til å levere reaktiv effekt ved lave spenninger.
- Moderne lokomotiver med asynkronmotorer og frekvensomformere generere mindre overharmoniske strømkomponenter enn tyristorstyrte likestrømsmotorer som i E116 lokomotivene.

7.2 *En funksjon som forhindrer overbelastning av omformere kan gi bedre utnyttelse av aggregatene*

En funksjon som hindrer overbelastning av omformerne er foreslått ved at en spesiell enhet settes i forbindelse med spenningsregulatoren for hver omformer og som trer inn ved for høye belastningsverdier. Spesielt i et AT-system antas det at denne funksjonen vil være meget gunstig, fordi den korte elektriske avstanden mellom stasjonene gjør at effektunderskudd ett sted kan kompenseres fra nabostasjonene. Andre metoder er også foreslått, se avsnitt 6.1.10 Hvis en omformer faller ut, kan den gjenværende tillates å belastes opp til sin merkeytelse, men ikke mere. Selv om togene normalt vil kreve enda mer effekt enn den gjenværende enheten kan yte, er det meget sannsynlig at spenningen ikke vil komme ned mot en ugunstig lav spenning. Altså under 11,0kV. Dette gjelder for AT-system. Sannsynligvis må det settes inn flere nye omformerstasjoner (slik at avstanden mellom dem blir ca 40,0km) før en slik funksjon ikke skal bidra til

ugunstig lave spenninger i et konvensjonelt system. Simuleringer er ikke gjort for dette, verken med AT-system eller konvensjonelt system. Sannsynlig er det at den laveste spenningen med en slik funksjon for omformerne ville blitt enda noe høyere med EG3100 lokomotiver enn med doble El16.

Hvis det er ønskelig å kjøre doble El16 lokomotiver på mellomlang (5-10år) eller lang sikt (10–15 år) vil en slik funksjonen sammen med AT-system bety at utbyggingen kan skje med bare noen større aggregater enn de som trenges med moderne lokomotiver (EG3100).

7.3 Anbefalt størrelse for omformeraggregater

Nedenfor viser tabell 7-1 nødvendig ytelse i omformerstasjonene med konvensjonelt system for banestrømforsyning og AT- eller ATBT-system dimensjonert for trafikk med EG3100 lokomotiver. Tredje kolonne viser antatt nødvendig ytelse i tilfelle trafikk med doble El16 lokomotiver. Anbefalt ytelse skal kunne tilfredsstille både ordinær og kapasitetsoptimal ruteplan. Bare aggregater for konvensjonelt og AT/ATBT-system er simulert med de foreslåtte størrelser, mens det for doble El16 lokomotiver er antatt passende størrelser.

For bestykningen av omformerstasjonene er antall aggregater som er tilgjengelige av de forskjellige størrelsene en klar begrensning. I dag er det aggregater på 2 x 7,0MVA i Tangen omformer. Disse kan sannsynligvis erstattes med enheter på 2 x 5,8MVA, se simulering 0 og 0a henholdsvis tabell 4-9 og tabell 4-15. Aggregatene i Tangen omformer kan flyttes til Oppdal omformer. Hvis det bygges et konvensjonelt anlegg må Rudshøgda oppgraderes til en omformer med større aggregat enn dagens 3,1MVA. Mest sannsynlig vil det være nødvendig med et aggregat på enten 5,8MVA eller 7,0MVA.

Når det gjelder behovet for aggregater om banestrømforsyningen skal dimensjoneres for doble El16 lokomotiver og redundanskriteriet skal oppfylles, er dette nesten helt usannsynlig å kunne realiseres. Det antallet 10,0MVA aggregater som er foreslått vil nok være meget vanskelig å skaffe, både fordi det er finnes få slike aggregater og fordi de som eksisterer står på steder der trafikkbelastningen er stor (Oslo området). Muligheten er da å sette inn tre enheter på 5,8 eller 7,0MVA. Nye statiske omformerstasjoner kan også etableres.

Tabell 7-1 Nødvendig størrelse for omformeraggregatene med EG3100 lokomotiver. Den tredje kolonnen viser antatt nødvendig størrelse med doble El16 lokomotiver og AT- eller ATBT-system.

Omformer-stasjon	Med konvensjonelt	Med AT- eller ATBT- system	Med AT- eller ATBT-system og doble El16
	[MVA]	[MVA]	[MVA]
Fåberg	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
Otta	1 x 5,8	-	-
Dombås	2 x 7,0	2 x 7,0	2 x 10,0
Oppdal	2 x 7,0	2 x 7,0	2 x 10,0
Lundamo	2 x 7,0	2 x 7,0	2 x 10,0
Stavne	2 x 7,5	2 x 7,5	2 x 7,5

For tabell 7-1 ovenfor, er anbefalt størrelse valgt slik at belastningen for begge aggregater i en stasjon ikke skal overskride 50 – 60%. Redundanskriteriet blir da oppfylt, det vil si at om en omformer faller ut skal ikke den gjenværende overbelastes. Regelen er ikke benyttet for Otta omformer der belastningen tillates å være større.

Dette fordrer nokså stor installert ytelse i stasjonene. Ved at en funksjon som forhindrer overbelastning settes inn, kan mindre aggregater kunne benyttes. Dette gir fordeler i form av bedre utnyttelse av aggregatene, mindre intern nettleie og at det blir enklere å skaffe de

nødvendige aggregater. Tabell 7-2 viser antatt nødvendig ytelse med en slik funksjon i samtlige omformere.

For både Dombås og Oppdal omformere er det antatt at aggregater på 2 x 5,8MVA vil kunne være tilstrekkelig ut fra simulering 1, se tabell 4-29. Da vil det være aggregater på 5,8MVA i alle stasjonene, unntatt Lundamo der aggregatene ikke er flyttbare og Stavne som har statiske omformere. For anbefalt størrelse for aggregatene med doble El16 lokomotiver er resultatene fra simulering 1b benyttet. I den simuleringen ble samme omformerstørrelser som i tabellen nedenfor benyttet, se tabell 4-41.

Tabell 7-2 Estimert ytelse for omformerne med AT- eller ATBT-system og en funksjon som forhindre overbelastning. Første kolonne for EG3100 lokomotiver og andre kolonne for doble El16 lokomotiver

Omformer-stasjon	Med AT- eller ATBT- system	Med AT- eller ATBT- system og doble El16
	[MVA]	[MVA]
Fåberg	2 x 5,8	2 x 5,8
Fron	2 x 5,8	2 x 5,8
Otta	-	-
Dombås	2 x 5,8	2 x 7,0
Oppdal	2 x 5,8	2 x 7,0
Lundamo	2 x 7,0	2 x 7,0
Stavne	2 x 7,5	2 x 7,5

Skal doble El16 lokomotiver trafikkere Dovrebanen med AT-system ser det nok ut til at nødvendig størrelse på omformeraggregatene bare kan skaffes om en funksjon som hindrer overbelastning kan utvikles. Alternativet måtte i så fall være å bygge midlertidige omformere flere steder (antagelig på Otta, Hjerkin og Garli). Dette blir i så fall like omfattende som utbygningene som kreves i et konvensjonelt system.

7.4 AT-system anbefales som fremtidens banestrømforsyning

For å gi en entydig anbefaling for valg av enten konvensjonelt eller AT-system for fremtidens banestrømforsyning på Dovrebanen må også økonomiske betraktninger komme inn. Dette vil komme i Hovedplanen. I denne simuleringsrapporten kan det være på sin plass å gi en anbefaling ut fra rent tekniske kriterier.

Simuleringene har vist meget gode resultater med hensyn på laveste spenninger for godstogene med AT-system. Dette gjelder med kapasitetsoptimal ruteplan og med både moderne EG3100 lokomotiver og doble El16 lokomotiver. Når den kapasitetsoptimale ruteplanen er simulert oppstår lavere spenninger enn med ordinær ruteplan, derfor er denne valgt som grunnlag siden den gir krysninger mellom togene på mange flere stasjoner enn den ordinære ruteplanen gir. Siden slike krysninger lett skjer i avvikssituasjoner bør dette taes hensyn til, selv om en trafikk tilsvarende den kapasitetsoptimale ruteplanen ikke innføres.

Skal et konvensjonelt system dimensjoneres for å gi samme eller bedre spenning enn et AT/ATBT-system, må det etableres nye omformerstasjoner slik at det blir ca 40,0km mellom hver enhet. De nye omformerstasjonene trenger ett aggregat på enten 5,8 eller 7,0MVA (forutsatt moderne lokomotiver). Nye stasjoner må da etableres på Hjerkin og Garli, og eksisterende stasjoner på Rudshøgda og Otta må utvides og gjøres permanente. Imidlertid tillater IEC normen at spenningen kortvarig kommer under 12,0kV, men ikke lavere enn 11,0kV. Da kan det tillates å bygge ut et konvensjonelt system uten nye omformere på Hjerkin og Garli, men stasjonene på Rudshøgda og Otta beholdes. Men om det skulle oppstå ytterligere ønske om økt togvekt, større hastighet eller annet traksjonsmaterieell enn moderne lokomotiver, kan spenningen bli for lav. Da kan behovet for nye omformere på Hjerkin og Garli utløses.

El16, og Rc lokomotiver som det finnes svært mange av i Sverige, kommer til å være i bruk i en tid fremover og det vil være ønskelig å kjøre disse i multippel. Slike doble lokomotiver kan også være ønskelig å gå sammen med nye. I fremtiden kan det komme behov for ytterligere øket kapasitet for banestrømforsyningen: Lastvekten ønskes økt ytterligere over 1250tonn (hvis aksellasten eller toglengden kan økes), eller maksimal hastighet for godstog ønskes øket fra 90 til 100 eller eventuelt 120km/t.

Disse forholdene tilsier at et AT-system vil kunne gi større fleksibilitet og muligheter for last- og hastighetsøkning, i tillegg til å tillate doble El16 eller RC lokomotiver, uten bygging av nye omformere.

AT- eller ATBT-system anbefales for den fremtidige banestrømforsyningen mellom Tangen og Lundamo ut fra tekniske kriterier fordi dette systemet gir blant annet følgende fordeler:

- Behov for færre omformerstasjoner. Ved eventuelle fremtidige behov for større belastning kan dette skje ved å utvide installert ytelse i stasjonene. Spenningen vil i utgangspunktet være så stiv at behov for nye stasjoner ansees som utelukket.
- Mindre overføringstap fordi effekten overføres på et høyere spenningsnivå.
- Færre omformerstasjoner (og utsikter til mindre installert ytelse med funksjon som hindrer overbelastning) vil gi lavere årlige driftskostnader.
- Muligheter for å tillate doble El16 lokomotiver å kjøre med pådragsbegrensning om noe større omformerne settes inn.

Hovedplanen vil ta opp de økonomiske sidene i denne avgjørelse, samt overveie tiltak på kort og lang sikt.

8 REFERANSEDOKUMENTER

1. "Simuleringsrapport - Banestrømforsyningen på Dovrebanen Fase 1". 01.11.01

9 VEDLEGG

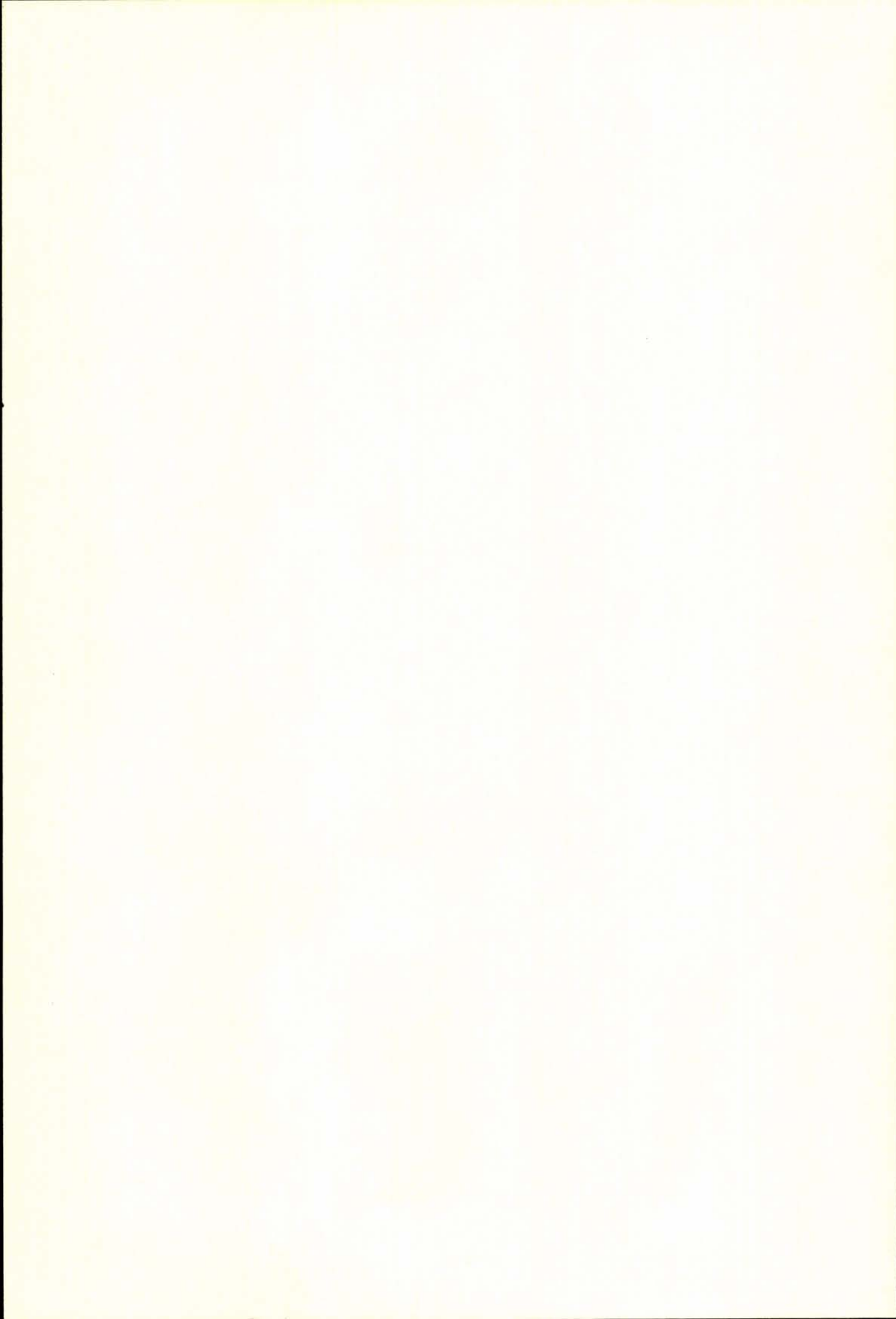
Vedlegg 1:

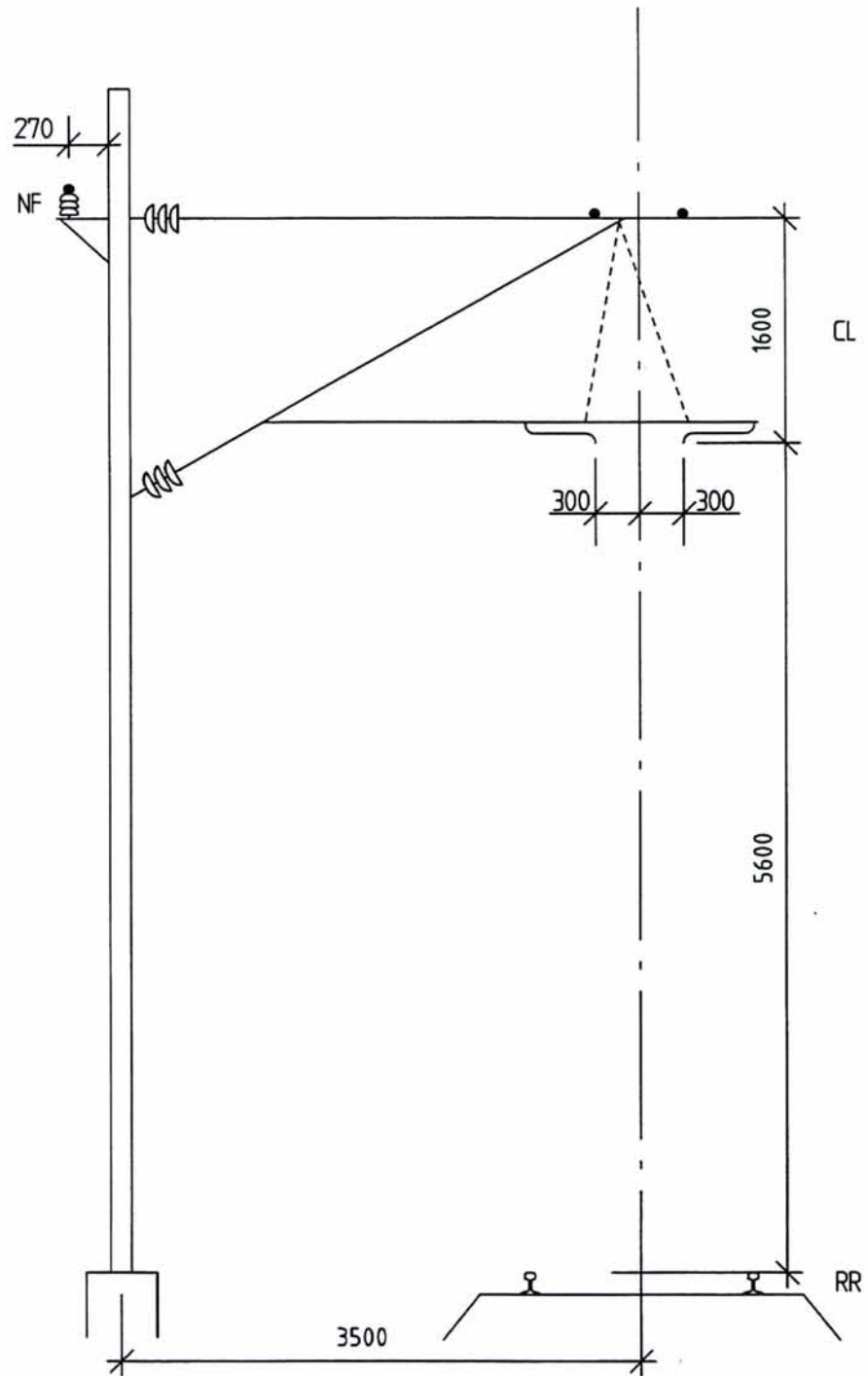
- Skisse av tenkt kl-anlegg for et system med autotransformatorer (AT eller ATBT-system). Negativleder, kontaktledning og retur i skinne.

Vedlegg 2:

- Møtereferat fra møte nummer 14 avholdt 2002-02-05 der representanter fra Jernbaneverket Hovedkontoret var til stede. Sak 1/14, avsnitt 4 forteller at flytting og utvidelse av aggregater i en omformerstasjon ikke skal sees på som en forsterkning der 13,5kV skal kreves som laveste spenning.

Vedlegg 1





NF: 240mm² Al
 CL: 100mm² Cu + 50mm² Bz
 RR: Skinne 50kg/m (Returstrøm i begge skinner)

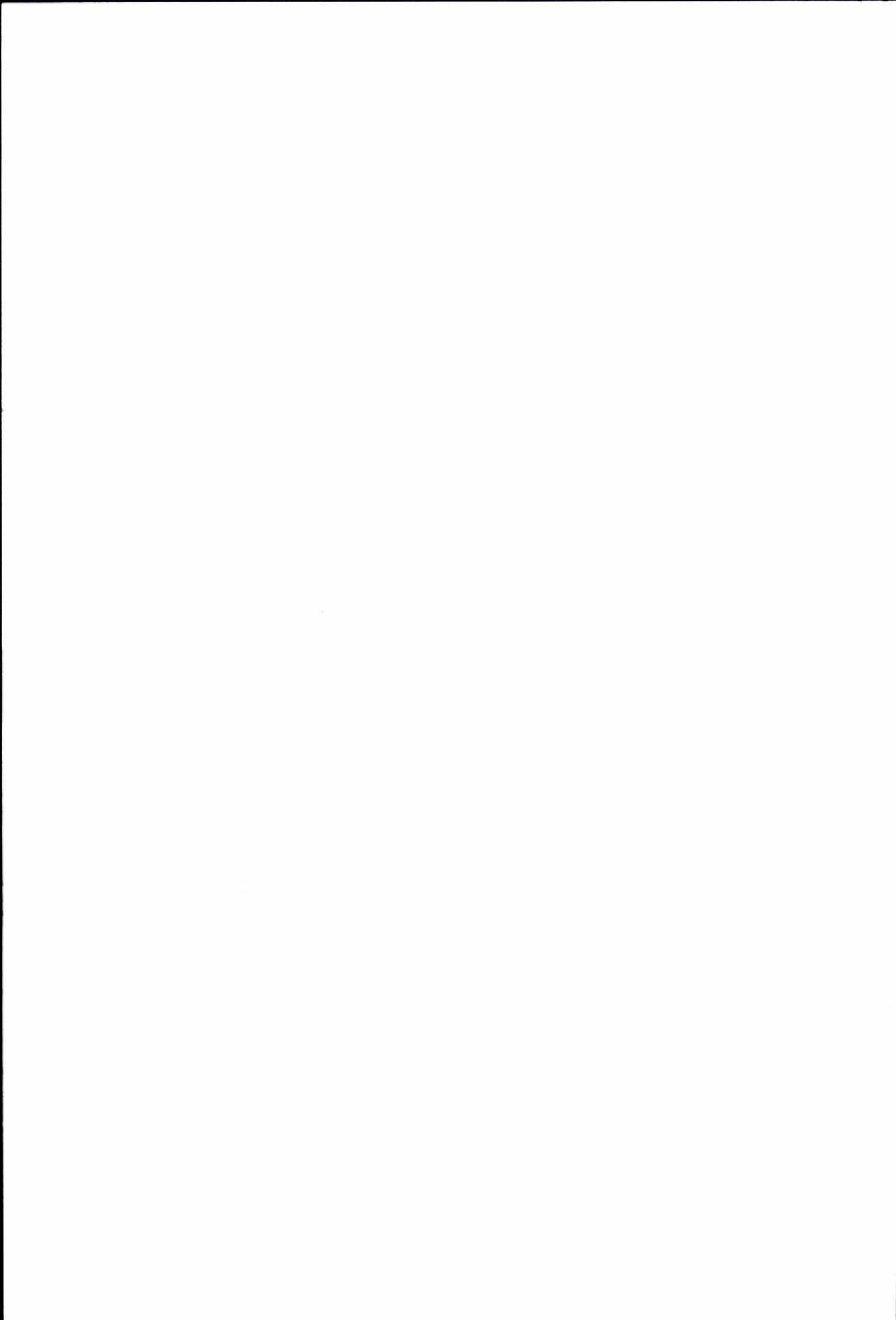
Prisippskisse:
 Arangemangtegning for AT-system

Målestokk %	Dato	22.08.01
	Tegnet av	SIS
	Kontr. av	
	Godkjent av	

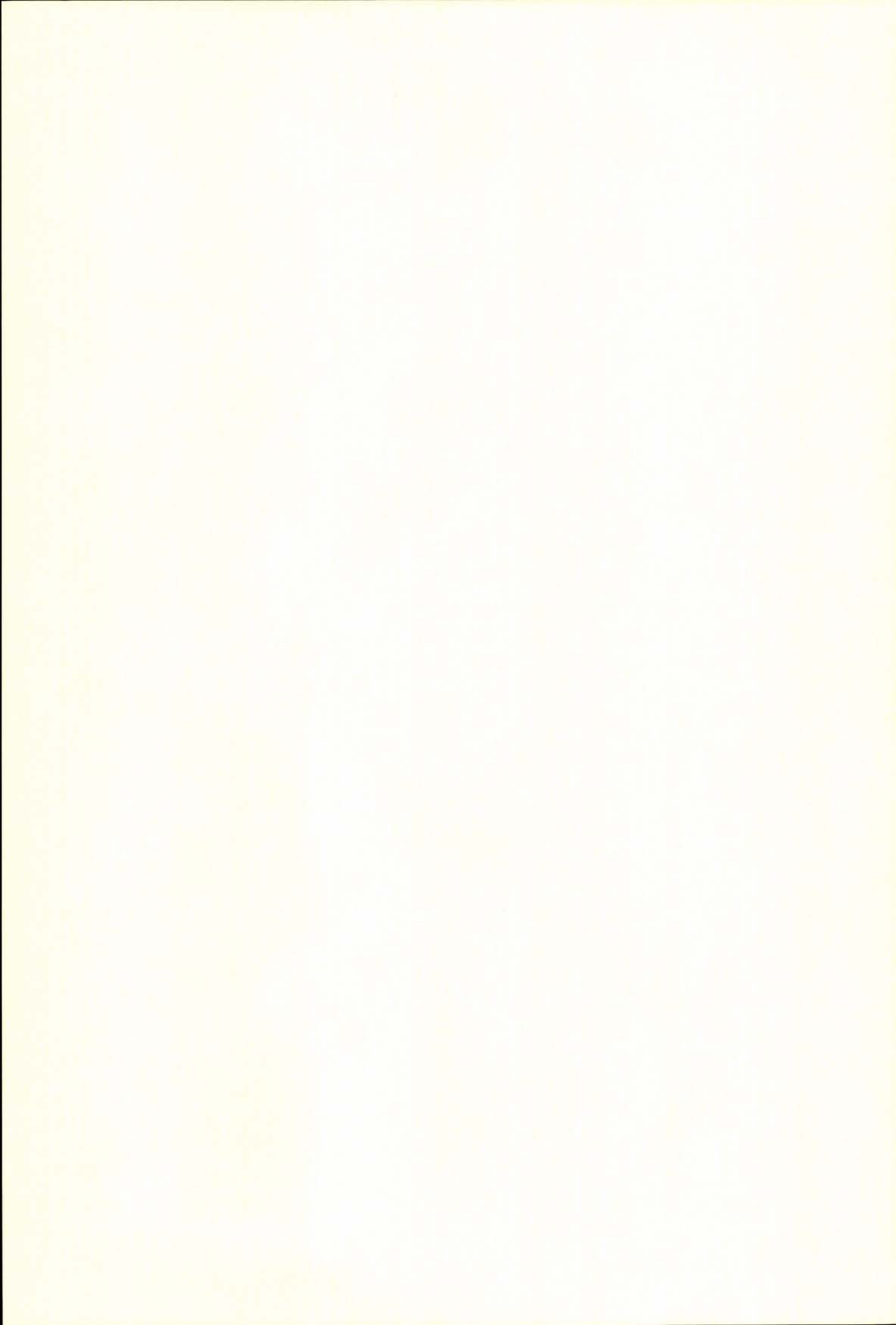
Utarb. av : **BanePartner**

PROSJEKT: Hovedplan for Banestrøm-
 forskyningen på dovrebanen

Tegningsnr.:	
Rev:	0
Rev. anmerkning:	



Vedlegg 2



Møtereferat

Møte nr.: 14

Møte: Hovedplan Dovrebanen, prosjektmøte

Saksref.: 00/114 JI 760

Sted: BP

Møtedato: 2002-02-05

Referent: Anna Sofie Mørland

Antall sider inkl. denne: 3

Deltakere: Wik, FM, Frode Johnsen, Magne Nordgaard, G. Loftesnes, KL, FrJ,

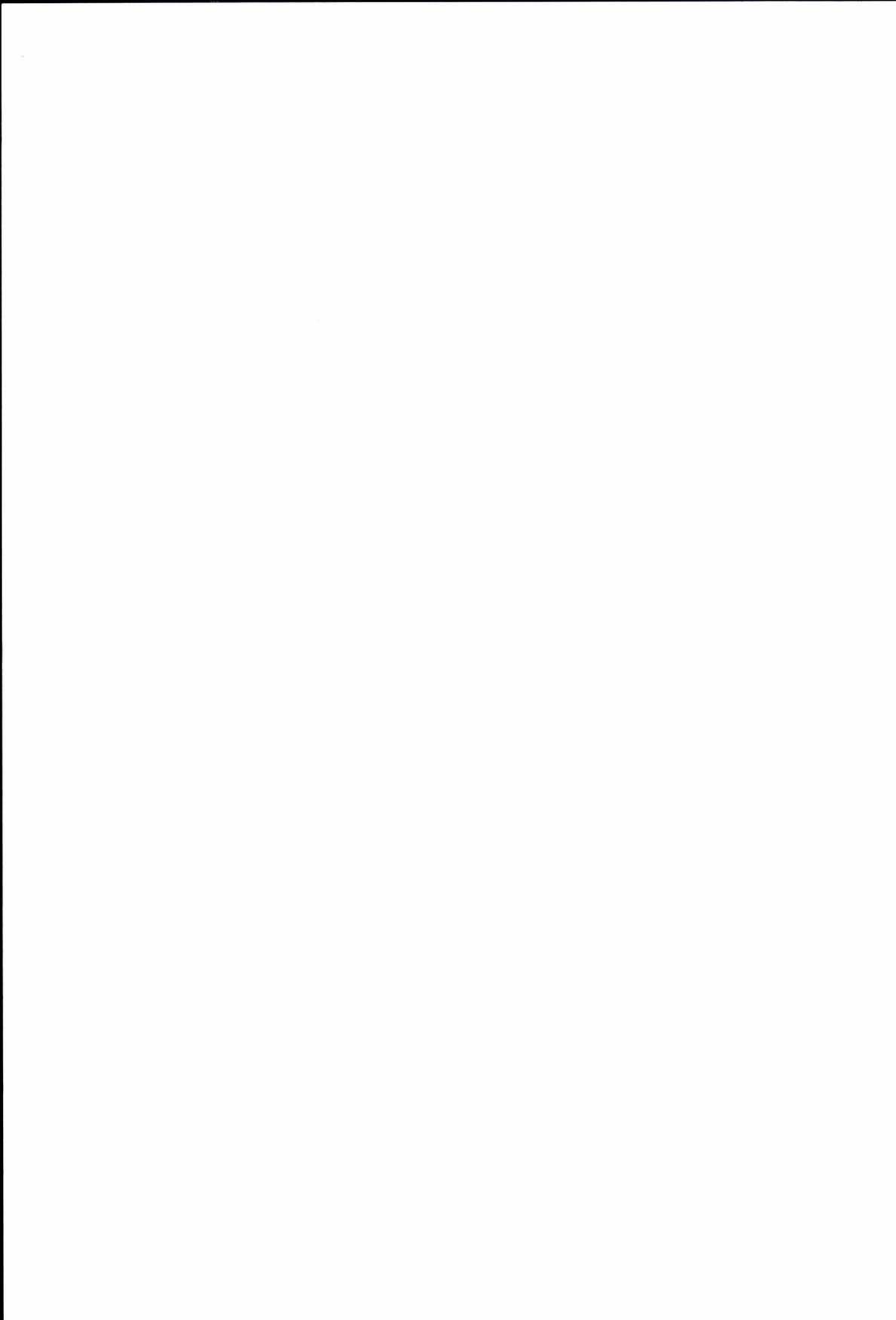
Fravær: O.Løken

Kopi til: deltagere, fravær

Sak nr.:	Saker til behandling	Ansvar	Frist
1/14	<p><u>Kort informasjon om fase 1</u></p> <p>Doble EL16 førte til større belastning enn først forventet. Dette fører til større tiltak i banestrømforsyningen enn først antatt dersom regelverk etc skal følges.</p> <p>Sjekke spenninger mot normene og ikke bare regelverk og skrive begrunnelse dersom man anbefaler løsninger med bakgrunn i normer og ikke regelverk.</p> <p>Dersom overbelastning av ledninger er noe som kan skje en sjelden gang kan det anbefales installasjon av overstrømsvern på linjeavganger. Gjelder ikke ved daglige overbelastninger.</p>		
2/14	<p><u>Hva bør tas med i vurderingene i fase 2</u></p> <p>Hva skjer dersom tyngre/større lok kommer i drift enn de som er tatt med i simuleringen. Robusthet med hensyn på belastning for ruteplanene må også diskuteres.</p> <p>Dersom man får utviklet regulator/vern for roterende omformere slik at de ikke faller ut ved overbelastning er det kanskje ikke behov for utfallsanalyser. Stille opp kostnader for alternativene med og uten dimensjonering for utfall.</p>		

Sak nr.:	Saker til behandling	Ansvar	Frist
3/14	<p>Sammenligning av tap i konvensjonelt anlegg og tap i AT system er interessant med hensyn på sparte/inntjente driftskostnader. Dette bør også komme frem i en kostnadsoppstilling hvor alle kostnader blir stilt opp; investering, drift og vedlikehold, tap...</p> <p>I følge F. Johnsen er flytting av aggregater ikke ombygging av banestrømforsyningen. Dette gjør at man ikke trenger å følge kravet om spenning over 13,5 kV.</p> <p>Generelt bør det ved innføring av AT-system ikke redusere de koblingsmulighetene som i dag finnes i kontaktledningsanlegget.</p> <p>I forbindelse med at hovedplanens fase 2 tar for seg banestrømforsyningen om 10-15 år er det nødvendig å undersøke restlevetiden for de roterende omformerstasjonene.</p> <p>Når det gjelder valg mellom oljefylt AT og dryformer AT må prisene for begge alternativer tas med i hovedplanen i tillegg til en diskusjon om miljøfordeler etc. Størrelsen på ATene vil i hovedsak bli dimensjonert av prosjektene.</p> <p>For å se på ATBT løsning bør det gjennomføres en simulering med stor avstand mellom AT, utelate BT i simuleringen.</p> <p>Problemene for dagens togtrafikk, belastning på omformere etc. må komme klart frem i diskusjonene.</p> <p><u>Videre arbeid i fase 2:</u></p> <p>Det er fremkommet forslag fra rådgiver om å simulere AT system med doble EL16 togsett for å se på robustheten og om det kan være et alternativ å forsere utskifting av KL-anlegget kombinert med AT-system for å løse problem på kort sikt.</p> <p>Simulering basert på punktet over for å se på ATBT løsning er også foreslått.</p>		

Sak nr.:	Saker til behandling	Ansvar	Frist
	<p>For å se på robustheten og dimensjonering av omformerstasjoner foreslås det å utføre simuleringer med utfall av en hel omformerstasjon.</p> <p>Tomgangsstrømmer i AT-systemet og konvensjonelt KL-anlegg bør undersøkes.</p> <p>Forslag med kostnad for de ulike alternativer oversendes på epost til Wikander. Dato for neste møte avtales også.</p>	ASM	08.02.02





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 en prosjektmetode som settes i fokus i alle leveringsoppgaver. ISO 9001.

Jernbaneverket
Biblioteket

Utførelse og gjennomføring av alle typer oppdrag. Kvalitet i arbeidet kvalitetssystem basert på ISO



BanePartner
Stortorvet 7
P.b. 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**