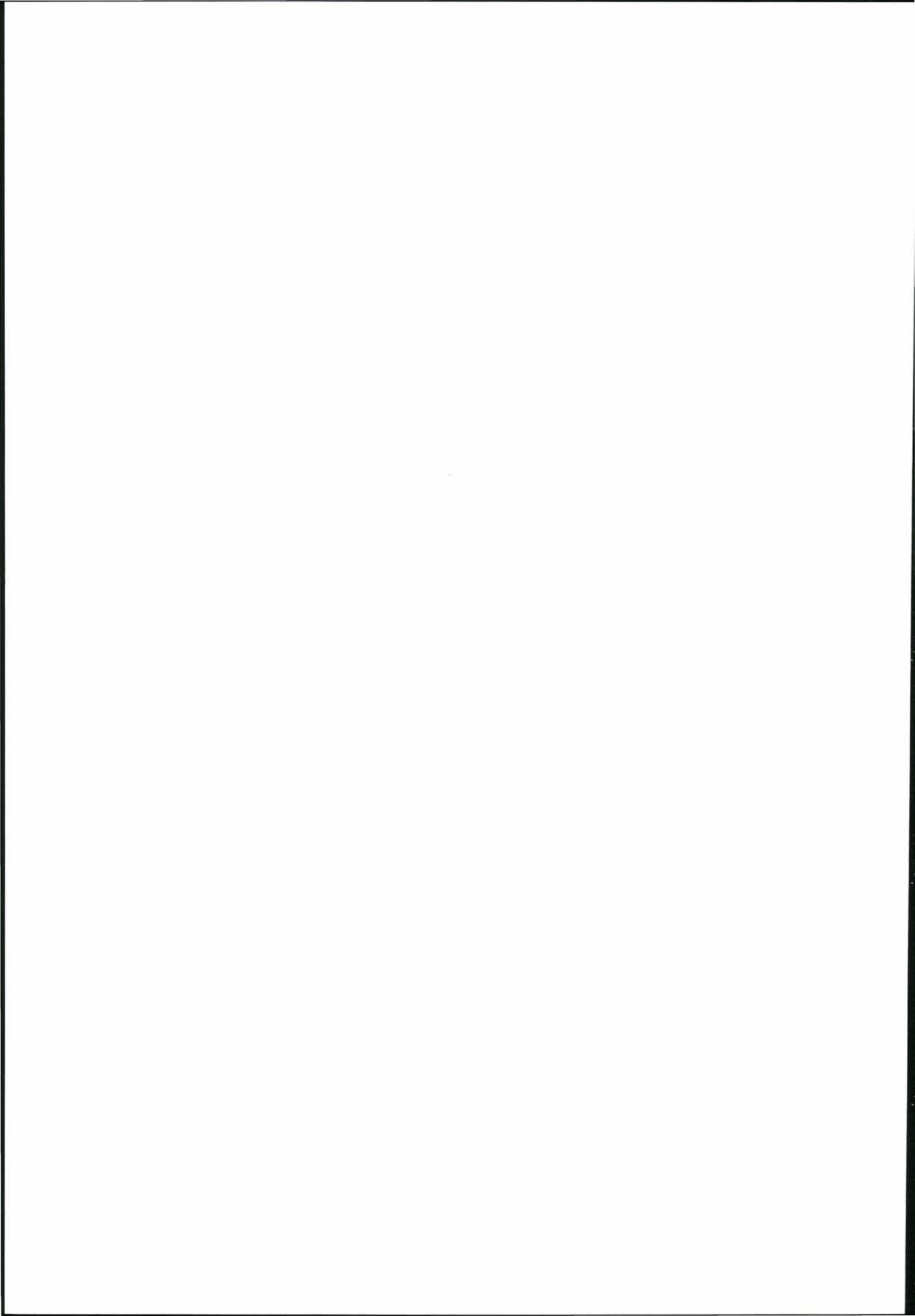


Simuleringsrapport

Banestrømforsyningen i
Oslo-området med trafikkøkning i forbindelse
med ruteplan R2023

Fase 3 - Trafikk og infrastruktur 2023






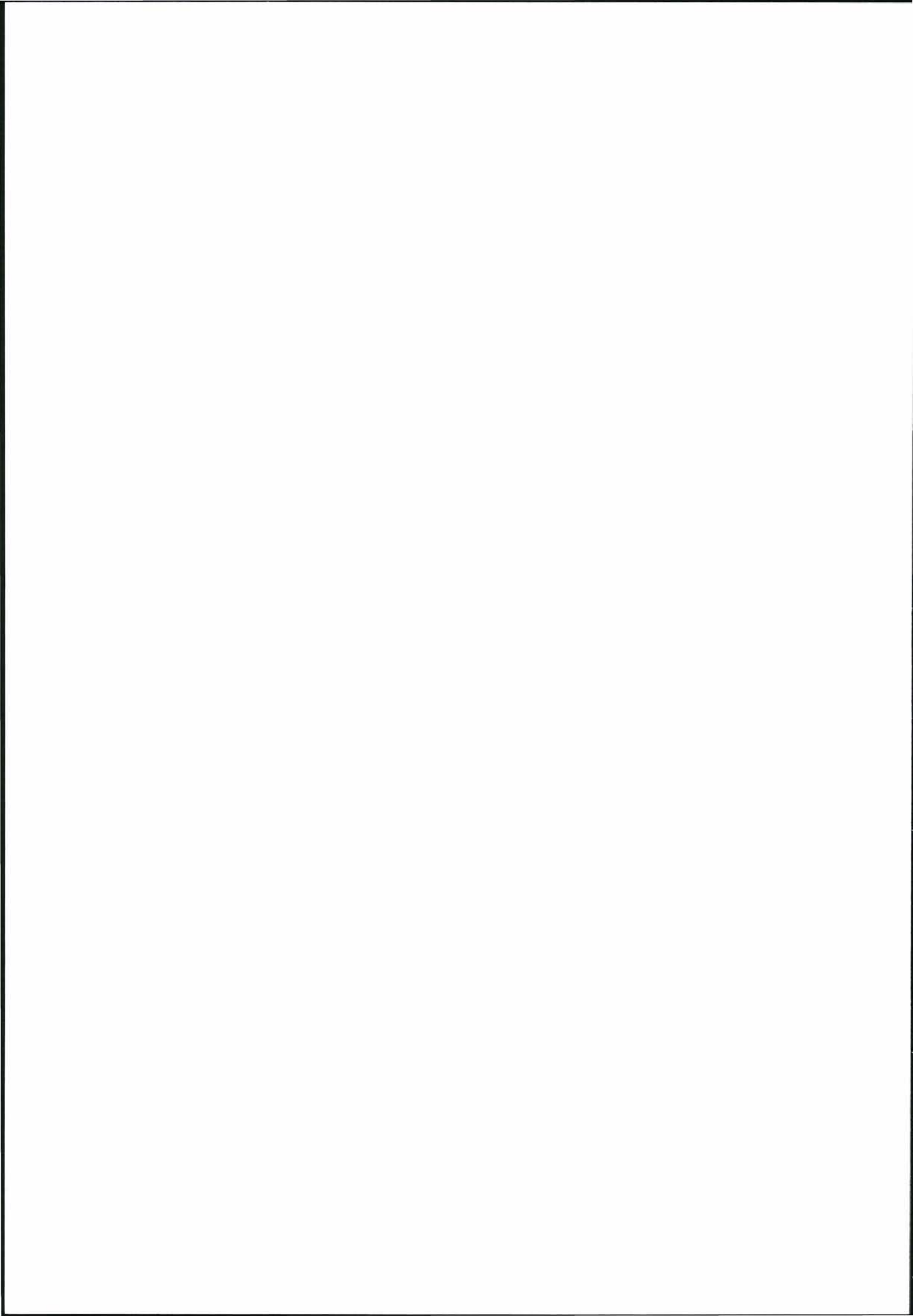
SIMULERINGSRAPPORT

BANESTRØMFORSYNINGEN I OSLO-OMRÅDET MED TRAFIKKØKNING I FORBINDELSE MED RUTEPLAN R2023

**Undersøkelse av behov for tiltak i
banestrømforsyningen for å tilfredsstillere økning av
transportarbeidet ved utbygging av moderne
dobbeltspor på Follobanen, Østfoldbanen,
Vestfoldbanen og Dovrebanen fra Eidsvoll til Hamar.**

Fase 3 - trafikk og infrastruktur 2023

| | | | | | |
|--|----------------------|----------------|-------------|-----------------------|-----------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 000 | Endelig utgave | 28.06.12 | FM | DALING | TELTOR |
| Rev. | Revisjonen gjelder | Dato | Utarb. av | Kontr. av | Godkj. av |
| Banestrømforsyning Simuleringsrapport Banestrømforsyningen i Oslo-området med trafikkøkninger i forbindelse med R2023 | | Ant. sider | Fritekst 1d | | |
| | | 117 | Fritekst 2d | | |
| | | | Fritekst 3d | | |
| | | | Produsent | Frank Martinsen - EPE | |
| | | Prod. dok. nr. | | | |
| Erstatning for | | | | | |
| Erstattet av | | | | | |
|  Jernbaneverket | Dokument nr. | | | Rev. | |
| | EB.100836-000 | | | 000 | |



Sammendrag

Omfattende simuleringer har her blitt utført i forbindelse med R2023 som er den ruteplanen som planlegges iverksatt ved åpningen av Follobanen. En svært omfattende økning av omformerkapasiteten i Oslo-området er nødvendig. Følgende tre alternativer bestykning i omformerstasjoner er vurdert og funnet tilfredsstillende dersom Holmlia og Alnabru omformerstasjon fortsatt er i drift:

1. Oslo omformerstasjon på 4 x 24 MVA (kortvarig 30 MVA).
2. Åsland omformerstasjon på 4 x 24 MVA.
3. Oslo omformerstasjon på 3 x 24 MVA og Ski på 3 x 12 MVA

Følgende tre alternativer er vurdert under forutsetningen av at Holmlia og Alnabru omformerstasjoner legges ned:

1. Oslo omformerstasjon på 5 x 24 MVA (kortvarig 30 MVA).
2. Åsland omformerstasjon på 5 x 24 MVA.
3. Oslo omformerstasjon på 4 x 24 MVA og Ski på 3 x 12 MVA

Samtidig med dette er det også forutsatt at en omfattende utbygging av AT-system også må gjøres.

Det er også utført grundige undersøkelser på hvordan spenningsregulatorenes statikk og de statiske omformernes reaktans må stilles inn for å få best mulig lastfordeling. Innstillingene som en fant i fase 1 og 2 for studiene for Oslo-området, se [1] og [2], viste seg nemlig ikke å være optimale med én eller flere store omformerstasjoner. Det er altså ikke slik at en innstilling for dette kan benyttes universelt. For oversikt over de anbefalte innstillingene henvises det spesielt til oppsummeringen i kapittel 5.

Undersøkelser vedrørende kjørestil for lokomotivførere, kjøreforhold og forskyvning av rutene har vist at høyeste og laveste samlet effektbehov kan variere med 15 %.

Ved undersøkelser av ruteplan og strømforbruk mellom Oslo og Lysaker har det blitt oppdaget at flere tog kjører helt eller nesten samtidig her. Ved å sammenligne målinger og simuleringer har det også blitt oppdaget at Type 74/75 har en bedre virkningsgrad i virkeligheten enn i modellen. Disse to forholdene kan føre til en overestimert effekt til togene, og dermed av installert ytelse i omformerstasjoner og andre komponenter. Egne undersøkelser vedrørende dette bør derfor gjøres.

Innholdsfortegnelse

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INNLEDNING | 7 |
| 1.1 | BAKGRUNN | 7 |
| 1.2 | MÅLSETTING | 7 |
| 1.3 | FORUTSETNINGER | 7 |
| 2 | KRAV TIL BANESTRØMFORSYNINGEN | 10 |
| 2.1 | BELASTNING AV ROTERENDE OMFORMERE | 10 |
| 2.2 | MARGINER MOT OVERBELASTNING AV OMFORMERE OG ANDRE KOMPONENTER | 11 |
| 2.3 | KONTAKTLEDNINGENS STRØMFØRINGSEVNE | 12 |
| 2.4 | NEGATIV- OG POSITIVLEDERS STRØMFØRINGSEVNE | 13 |
| 2.5 | BELASTNING AV AUTOTRANSFORMATORER | 13 |
| 2.6 | SPENNING FOR TOGENE | 14 |
| 3 | SIMULERINGSMODELLENE | 15 |
| 3.1 | AVGRENSING AV SIMULERINGSOMRÅDE | 15 |
| 3.2 | NAVN PÅ SENTRALE NODER I SIMULERINGEN | 15 |
| 3.3 | RUTEPLAN | 16 |
| 3.4 | TOGMATERIELL | 16 |
| 3.5 | ADHESJONSKOEFFISIENT | 17 |
| 3.6 | AUTOTRANSFORMATORSYSTEM | 17 |
| 3.7 | STATISKE OMFORMERE | 18 |
| 3.8 | ØVRIG INFRASTRUKTUR | 19 |
| 4 | TRAFIKKSIMULERINGER | 20 |
| 4.1 | SIMULERINGSALTERNATIVER | 20 |
| 4.2 | MODERAT UTBYGGING AV AT-SYSTEM | 21 |
| 4.2.1 | <i>Simulering med normal driftsituasjon og dagens omformerstasjoner (Alternativ AT1-N)</i> | 21 |
| 4.2.1.1 | Forutsetninger for simuleringen | 21 |
| 4.2.1.2 | Resultater | 21 |
| 4.2.2 | <i>Simulering med ny Oslo omformerstasjon på 4 x 24 MVA (Alternativ AT1-N-O-1)</i> | 24 |
| 4.2.2.1 | Forutsetninger for simuleringen | 24 |
| 4.2.2.2 | Resultater | 25 |
| 4.2.3 | <i>Simulering med ny Oslo omformerstasjon på 4 x 24 MVA og utfall av ett aggregat i denne og i Lillestrøm (Alternativ AT1-V1-O-1)</i> | 28 |
| 4.2.3.1 | Forutsetninger for simuleringen | 28 |
| 4.2.3.2 | Resultater | 28 |
| 4.3 | SVÆRT UTSTRAKT UTBYGGING AV AT-SYSTEM OG NY OMFORMERSTASJON I OSLO | 30 |
| 4.3.1 | <i>Simulering med normal driftsituasjon og dagens omformerstasjoner (Alternativ AT3-N))</i> | 30 |
| 4.3.1.1 | Forutsetninger for simuleringen | 30 |
| 4.3.1.2 | Resultater | 31 |
| 4.3.2 | <i>Simulering med omformerstasjon i Oslo på 4 x 24 MVA (Alternativ AT3-N-O-1)</i> | 34 |
| 4.3.2.1 | Forutsetninger for simuleringen | 34 |
| 4.3.2.2 | Resultater | 34 |
| 4.3.3 | <i>Simulering med omformerstasjon i Oslo på 4 x 24 MVA og utfall av ett aggregat i Oslo og i Lillestrøm (Alternativ AT3-V1-O-1)</i> | 37 |
| 4.3.3.1 | Forutsetninger for simuleringen | 37 |
| 4.3.3.2 | Resultater | 37 |
| 4.3.4 | <i>Simulering med omformerstasjon i Oslo på 3 x 24 MVA og utfall av ett aggregat i Oslo og i Lillestrøm (Alternativ AT3-V1-O-1-R)</i> | 38 |
| 4.3.4.1 | Forutsetninger for simuleringen | 38 |
| 4.3.4.2 | Resultater | 39 |
| 4.3.5 | <i>Simulering med omformerstasjon i Oslo på 6 x 24 MVA og nedleggelse av Holmlia og Alnabru (Alternativ AT3-N-O-23)</i> | 39 |
| 4.3.5.1 | Forutsetninger for simuleringen | 39 |
| 4.3.5.2 | Resultater for simuleringen | 40 |
| 4.3.6 | <i>Simulering med omformerstasjon i Oslo på 6 x 24 MVA nedleggelse av Holmlia og Alnabru og utfall av ett aggregat i Oslo og ett i Lillestrøm (Alternativ AT3-V1-O-23)</i> | 45 |

| | | |
|----------|--|----|
| 4.3.6.1 | Forutsetninger for simuleringen..... | 45 |
| 4.3.6.2 | Resultater for simuleringen..... | 45 |
| 4.3.7 | <i>Simulering med omformerstasjon i Oslo på 5 x 24 MVA nedleggelse av Holmlia og Alnabru og utfall av ett aggregat i Oslo og ett i Lillestrøm (Alternativ AT3-V1-O-23-R).....</i> | 46 |
| 4.3.7.1 | Forutsetninger for simuleringen..... | 47 |
| 4.3.7.2 | Resultater for simuleringen..... | 47 |
| 4.3.8 | <i>Simulering med omformerstasjon i Oslo på 6 x 24 MVA nedleggelse av Holmlia og Alnabru og utfall av ett aggregat i Lillestrøm og Jessheim (Alternativ AT3-V2-O-23).....</i> | 48 |
| 4.3.8.1 | Forutsetninger for simuleringen..... | 48 |
| 4.3.8.2 | Resultater for simuleringen..... | 48 |
| 4.3.9 | <i>Simulering med omformerstasjon i Oslo på 6 x 24 MVA nedleggelse av Holmlia og Alnabru og utfall av hele Oslo (Alternativ AT3-V3-O-23).....</i> | 49 |
| 4.3.9.1 | Forutsetninger for simuleringen..... | 49 |
| 4.3.9.2 | Resultater for simuleringen..... | 49 |
| 4.3.10 | <i>Simulering med omformerstasjon i Åsland på 4 x 24 MVA (Alternativ AT3-N-Å-1-R).....</i> | 52 |
| 4.3.10.1 | Forutsetninger for simuleringen..... | 52 |
| 4.3.10.2 | Resultater for simuleringen..... | 53 |
| 4.3.11 | <i>Simulering med omformerstasjon i Åsland på 5 x 24 MVA og nedleggelse av Holmlia og Alnabru (Alternativ AT3-N-Å-23-R).....</i> | 55 |
| 4.3.11.1 | Forutsetninger for simuleringen..... | 55 |
| 4.3.11.2 | Resultater for simuleringen..... | 55 |
| 4.3.12 | <i>Simulering med omformerstasjon i Åsland på 5 x 24 MVA nedleggelse av Holmlia og Alnabru og utfall av ett aggregat i Åsland og Lillestrøm (Alternativ AT3-V1-Å-23).....</i> | 58 |
| 4.3.12.1 | Forutsetninger for simuleringen..... | 58 |
| 4.3.12.2 | Resultater for simuleringen..... | 58 |
| 4.3.13 | <i>Simulering med omformerstasjon i Oslo på 3 x 24 MVA og Ski på 3 x 12 MVA (Alternativ AT3-N-OS-4).....</i> | 59 |
| 4.3.13.1 | Forutsetninger for simuleringen..... | 59 |
| 4.3.13.2 | Resultater for simuleringen..... | 59 |
| 4.3.14 | <i>Simulering med omformerstasjon i Oslo på 4 x 24 MVA og Ski på 3 x 12 MVA nedleggelse av Holmlia og Alnabru (Alternativ AT3-N-OS-35).....</i> | 62 |
| 4.3.14.1 | Forutsetninger for simuleringen..... | 62 |
| 4.3.14.2 | Resultater for simuleringen..... | 62 |
| 4.3.15 | <i>Simulering med omformerstasjon i Oslo på 4 x 24 MVA og Ski på 3 x 12 MVA nedleggelse av Holmlia og Alnabru utfall av ett aggregat i Oslo og Ski (Alternativ AT3-V1-OS-35).....</i> | 65 |
| 4.3.15.1 | Forutsetninger for simuleringen..... | 65 |
| 4.3.15.2 | Resultater for simuleringen..... | 65 |
| 4.3.16 | <i>Simulering med omformerstasjon i Oslo på 4 x 24 MVA og Ski på 3 x 12 MVA nedleggelse av Holmlia og Alnabru samt utfall av hele Oslo (Alternativ AT3-V3-OS-35).....</i> | 66 |
| 4.3.16.1 | Forutsetninger for simuleringen..... | 66 |
| 4.3.16.2 | Resultater for simuleringen..... | 67 |
| 4.4 | UNDERSØKELSER AV FØLSOMHET FOR ENDRINGER I INFRASTRUKTUREN..... | 69 |
| 4.4.1 | <i>Simulering med omformerstasjon i Åsland på 6 x 24 MVA og nedleggelse av Holmlia og Alnabru og etablering av fjernledning ASK-OSS-LIL-ASL.....</i> | 69 |
| 4.4.1.1 | Forutsetninger for simuleringen..... | 69 |
| 4.4.1.2 | Resultater for simuleringen..... | 70 |
| 4.4.2 | <i>En variant av nokså omfattende utbygging av AT-system og normal drift Holmlia og Alnabru er lagt ned for alternativet med Oslo på 6x30 MVA.....</i> | 72 |
| 4.4.2.1 | Forutsetninger for simuleringen..... | 72 |
| 4.4.2.2 | Resultater for simuleringen..... | 73 |
| 4.4.3 | <i>Enda en variant av nokså omfattende utbygging av AT-system Holmlia og Alnabru er lagt ned og utfall av ett aggregat i Oslo og Lillestrøm for alternativet med Oslo på 6x30 MVA.....</i> | 75 |
| 4.4.3.1 | Forutsetninger for simuleringen..... | 75 |
| 4.4.3.2 | Resultater for simuleringen..... | 76 |
| 4.4.4 | <i>Nokså omfattende utbygging av AT-system Holmlia og Alnabru er lagt ned og utfall av ett aggregat i Lillestrøm og Jessheim for alternativet med Oslo på 6x24 MVA (Alternativ AT2-V2-O-23).....</i> | 77 |
| 4.4.4.1 | Forutsetninger for simuleringen..... | 78 |
| 4.4.4.2 | Resultater for simuleringen..... | 78 |
| 4.4.5 | <i>Svært omfattende utbygging av AT-system men forsterkningsleder på noen strekninger med omformerstasjon i Oslo på 5 x 24 MVA nedleggelse av Holmlia og Alnabru og utfall av ett aggregat i Oslo og ett i Lillestrøm.....</i> | 79 |
| 4.4.5.1 | Forutsetninger for simuleringen..... | 80 |
| 4.4.5.2 | Resultater for simuleringen..... | 80 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 4.5 | UNDERSØKELSER AV FØLSOMHET FOR ENDRINGER AV PARAMETERE FOR TOGENE | 81 |
| 4.5.1 | Simulering med tog som tillates å trekke opptil 900 A | 81 |
| 4.5.1.1 | Forutsetninger for simuleringen | 81 |
| 4.5.1.2 | Resultater for simuleringen | 81 |
| 4.5.2 | Simulering med tog som tillates å trekke opptil 900 A akselerere med 1,4 m/s ² svært gode adhesjonsforhold og regenerativ bremsing begrenset til 5 MW pr. tog | 83 |
| 4.5.2.1 | Forutsetninger for simuleringen | 83 |
| 4.5.2.2 | Resultater for simuleringen | 83 |
| 4.5.3 | Simulering med tog som kjører moderat | 84 |
| 4.5.3.1 | Forutsetninger for simuleringen | 84 |
| 4.5.3.2 | Resultater for simuleringen | 84 |
| 4.5.4 | Simulering med endringer av togrutene | 85 |
| 4.5.4.1 | Forutsetninger for simuleringen | 85 |
| 4.5.4.2 | Resultater for simuleringen | 86 |
| 4.5.5 | Simulering med forskyvning av togrutene slik at annethvert tog kjører 2 minutter tidligere | 87 |
| 4.5.5.1 | Forutsetninger for simuleringen | 87 |
| 4.5.5.2 | Resultater for simuleringen | 87 |
| 4.5.6 | Simulering med tilfeldige forskyvninger av togrutene | 88 |
| 4.5.6.1 | Forutsetninger for simuleringen | 88 |
| 4.5.6.2 | Resultater for simuleringen | 88 |
| 5 | OPPSUMMERING, VURDERINGER, KONKLUSJON OG ANBEFALING | 90 |
| 5.1 | OPPSUMMERING AV RESULTATENE | 90 |
| 5.1.1 | Simuleringsresultater | 90 |
| 5.1.2 | Samlet effektopptak | 90 |
| 5.1.3 | Omformerbehov og plassering | 91 |
| 5.1.4 | Innstilling av spenningsregulatorer | 91 |
| 5.1.5 | Behov for AT-system | 92 |
| 5.1.6 | Følsomhetsanalyse for lokomotivføreres kjørestil og ruteplanendringer | 93 |
| 5.2 | VURDERINGER RUNDT SIMULERINGENE | 93 |
| 5.2.1 | Spissbelastningens størrelse og usikkerhetene rundt dette | 93 |
| 5.2.2 | Usikkerhet rundt virkningsgrad og simuleringsmodellen for Type 74/75 | 94 |
| 5.2.3 | Kan stort effektbehov Oslo – Lysaker skyldes at noe er galt med ruteplanen | 94 |
| 5.2.4 | Avansert styring av effektfordelingen i Oslo | 95 |
| 5.2.5 | Forhold rundt redundans | 95 |
| 5.2.6 | Tap og energiforbruk | 95 |
| 5.2.7 | Regenerativ bremsing | 95 |
| 5.2.8 | Stort behov for kabler kan være utfordrende | 96 |
| 5.2.9 | Overbelastningsvern vil kunne bli nødvendig for avgangene fra omformerstasjonene | 96 |
| 5.2.10 | Behov for autotransformatorer og topolte koblingshus | 96 |
| 5.2.11 | Forsterkningsledning istedenfor AT-system på visse strekninger | 97 |
| 5.2.12 | Nedleggelse av Holmlia og Alnabru vil senke kortslutningsnivået i Oslo-området | 97 |
| 5.2.13 | Ytterligere utbygging i Oslo-området | 98 |
| 5.2.14 | Vurderinger rundt omformerkapasitet på andre linjer | 98 |
| 5.3 | KONKLUSJON OG ANBEFALING | 100 |
| 6 | REFERANSER | 102 |
| 7 | APPENDIKS 1 | 103 |
| 8 | APPENDIKS 2 | 106 |
| 8.1.1 | Simulering med ny Oslo omformerstasjon på 4 x 24 MVA (Alternativ AT1-N-O-1-R) med forbindelsen Oslo – Gjøvikbanen inne | 106 |
| 8.1.1.1 | Forutsetninger for simuleringen | 106 |
| 8.1.1.2 | Resultater | 106 |
| 8.1.2 | Simulering med omformerstasjon i Oslo på 4 x 24 MVA og utfall av ett aggregat i Oslo og i Lillestrøm (Alternativ AT3-V1-O-1) med forbindelsen Oslo – Gjøvikbanen inne | 108 |
| 8.1.2.1 | Forutsetninger for simuleringen | 108 |
| 8.1.2.2 | Resultater | 108 |
| 8.1.3 | Simulering med omformerstasjon i Oslo på 6 x 24 MVA nedleggelse av Holmlia og Alnabru og utfall av ett aggregat i Oslo og ett i Lillestrøm (Alternativ AT3-V1-O-23-R) med forbindelsen Oslo – Gjøvikbanen inne | 109 |
| 8.1.3.1 | Forutsetninger for simuleringen | 109 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 8.1.3.2 | Resultater..... | 109 |
| 8.1.4 | <i>Simulering med omformerstasjon i Oslo på 4 x 24 MVA og Ski på 3 x 12 MVA nedleggelse av Holmlia og Alnabru utfall av ett aggregat i Oslo og Ski (Alternativ AT3-VI-OS-35-R) med forbindelsen Oslo – Gjøvikbanen inne</i> | 110 |
| 8.1.4.1 | Forutsetninger for simuleringen..... | 110 |
| 8.1.4.2 | Resultater..... | 110 |
| 9 | APPENDIKS 3 | 112 |
| 10 | VEDLEGG 1 | 116 |
| 11 | VEDLEGG 2 | 117 |

1 INNLEDNING

1.1 Bakgrunn

Det er tidligere gjort en omfattende analyse angående belastningen av banestrømforsyningen i Oslo-området i forbindelse med innføring av ruteplan R2012¹ og innføring av de nye togsettene Type 74 og 75, se [1]. Det er analyser for forholdene når det innføres 50 togsett av denne typen som er utført og som er kalt for fase 1. Videre er det i forbindelse med avgjørelser vedrørende anskaffelser av to mobile reserveaggregater som Bane Energi planlegger, utført simuleringer for å se på belastnings økninger i årene etter 2012, se [2]. Denne studien kalles for fase 2 for Oslo-området og omfatter tiden fra ruteplan R2014 innføres til Follobanen idriftsettes, forventet i 2018.

I dette arbeidet, heretter referert til som fase 3 av utredningen for Oslo-området, er det laget en ruteplan for år 2023 der alle lokaltog er av den nye typen fra Stadler. Disse er kalt Type 74, 75 og 76. Type 76 er enda ikke bestilt, men det forutsettes her at disse togene vil ha samme karakteristika som Type 74. For øvrig er Type 74 og 75 stort sett like teknisk sett, det er interiøret som er forskjellig. Dermed brukes samme modell for disse fire togene i simuleringen her.

Det er laget en ambisiøs ruteplan for Oslo-området med forutsetning om at det er bygget dobbeltspor av høy standard på hele Østfoldbanen fra Ski til Halden, på Østfoldbanen fra Drammen til Porsgrunn og på Dovrebanen fra Eidsvoll til Lillehammer. I tillegg er Follobanen mellom Ski og Oslo tatt i bruk. Imidlertid er det ikke bygget noen ny Oslostunnel og dermed vil forbindelsen med ett dobbeltspor fra Lysaker til Oslo S være en flaskehals.

1.2 Målsetting

Simuleringene i dette arbeidet skal vise passende maksimal ytelse for en eller flere nye omformerstasjoner i Oslo-området. Flere alternativer skal simuleres slik at en kan finne flere mer eller mindre teknisk likeverdige systemer som en senere kan evaluere ut fra et økonomisk synspunkt. En skal også finne ut om dagens konvensjonelle kl-anlegg er tilstrekkelig eller om det må bygges ut AT-system eller utvidet fjernledning i deler av eller hele Oslo-området.

1.3 Forutsetninger

For fase 3 av analysene for Oslo-området forutsettes det at en større eller mindre utbygging av AT-system vil komme. I alternativet med **moderat utbygging av AT-system** forutsettes at følgende baner får kl-anlegg med dette:

- Follobanen.
- Dovrebanen Eidsvoll – Lillehammer. Det fortsettes også at siste del av Gardermobanen til Eidsvoll får dobbeltspor, men ikke med AT-system.
- Vestfoldbanen fra Drammen til Porsgrunn. Her forutsettes det at Sande transformatorstasjon fjernes.
- Østfoldbanen fra Ski til Halden.

¹ Ruteplanen R2012 blir nå omtalt som "ny grunnrutemodell".

I alternativer med **svært utstrakt bygging av AT-system** forutsettes det at følgende baner får nytt kl-anlegg med AT-system:

- Hovedbanen fra Oslo til Lillestrøm og videre til Eidsvoll
- Østfoldbanen fra Oslo til Ski.
- Østfoldbanen østre linje.
- Gjøvikbanen fra Oslo til Gjøvik
- Bergensbanen fra Roa til Nesbyen.
- Drammenbanen fra Asker til Drammen.
- Kongsvingerbanen.

Om nødvendig undersøkes behovet for AT-system på andre baner, som Drammenbanen fra Oslo til Asker, eller fra Oslo til Lysaker og videre på Askerbanen fra Lysaker til Asker. Gardermobanen blir også undersøkt. Noen av disse banene har nytt kl-anlegg, dessuten er koblingshuset ved Lysaker bygget for 15 kV. Modifisering til AT-system på disse strekningene vil en helst unngå. Eventuelt kan også fjernledningen forlenges fra Asker til Oslo. Også Gardermobanen kan bli aktuell for AT-system.

Det vil også bli gjort undersøkelser for å finne ut om det kan være mulig å unngå å bygge AT-system på visse kortere strekninger, dette gjelder:

- Østfoldbanen fra Oslo til Ski.
- Østfoldbanen østre linje.
- Drammenbanen fra Asker til Drammen.

Dette alternativet kalles **nokså omfattende bygging av AT-system**.

For lokasjon av alternative plasseringer av ny Oslo omformerstasjon forutsettes det at følgende lokasjoner undersøkes:

- Oslo omformerstasjon i nærheten av Oslo koblingshus med direkte innmating til dette.
- Åsland omformerstasjon omentrent midt på Follotunnelen. Denne kan enten mate all effekt inn mot Oslo koblingshus, eller ha egen samleskinne ved Follobanen for mating ut på kl-anlegget i tillegg til høyspentoverføring til Oslo. Overføring mellom Åsland og Oslo koblingshus forutsettes på 110 kV-nivå.
- Både omformerstasjon i Oslo og i Ski.

Fra simuleringene for Oslo-området fase 1 ble det anbefalt noen tiltak spesielt for spenningsregulatorernes innstilling, og disse forutsettes benyttet som utgangspunkt også i denne studien. Det blir ikke gjort undersøkelser for å finne ut om disse fremdeles er optimale, da det synes opplagt at disse fremdeles er gyldige. De aktuelle tiltakene er:

- Fallende spenningsstatikk for hvert enkelt aggregat i alle statiske- og roterende omformerstasjoner på 12 %. For statiske omformerstasjonene Lillestrøm, Jessheim og Smørbekk, samt for Nordagutu, har man likeledes funnet at fallende statikk på 4 % gjør at disse belastes mer, noe som er positivt for alle de øvrige omformerstasjonene.
- Redusere X_q i de statiske omformerstasjonene Lillestrøm, Jessheim og Smørbekk. En reduksjon på 50 % fra normal verdi på 0,68 pu ser ut til å være det riktige. Det innebærer at fasevinkelen til en statisk omformerenheter i disse stasjonene styres på tilsvarende måte som to parallelle roterende 10 MVA omformerenheter.

- Endret omsetning i transformatoren i Asker i forbindelse med fjernledningen fra dagens 55/16,5 til 54,5/16,5 kV² gir noe mer effekt fra Nordagutu som vanligvis er lettere belastet. (Dette er det tiltaket som har minst betydning.)
- Hakavik kraftverk i drift med 5 MW avlaster stasjonene i Asker og Nordagutu, og indirekte også Oslo-området.

Det forutsettes at utfall av to aggregater er det scenariet som primært skal undersøkes for de forskjellige alternativene. Dette fordi Teknisk regelverk JD 546, kapittel 5, forutsetter at utfall av to omformeraggregater samtidig skal kunne tillates i Oslo-området. Utfall av de største aggregatene som belastes mest vil da fortrinnsvis bli undersøkt.

Det forutsettes at eventuelle nye omformerstasjoner i Oslo vil være statiske. Når det gjelder modell for disse statiske omformerne baserer en seg på modellene for Lillestrøm og Jessheim. Disse har henholdsvis tre og to aggregater hver med en kontinuerlig ytelse på 12 MVA. I simuleringene her vil en bruke disse, men sette den kortvarige ytelsen helt opp til 15 MVA, siden dette ser ut til å være en aggregatstørrelse som kan bli standard i fremtiden. Det er også mulig at en ikke kommer til å standardisere på noen bestemt størrelse. Dermed vil Oslo omformerstasjon være basert på aggregater tilsvarende disse aggregatene. Den ytelsen en finner passende vil således være et multiplum av 15 eller 30 MVA. Mest sannsynlig vil en finne at Oslo omformerstasjon må være så stor at det mest hensiktsmessige er å ha aggregater med en ytelse på 30 MVA hver, eller kontinuerlig 24 MVA.

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

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

For strømmer og spenninger blir tidsverdier undersøkt med RMS- (Root Mean Square) verdier:

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

I presentasjon av simuleringene lages det enlinjeskjemaer som et kart over de sentrale delene av Oslo, der effektflyten, spenninger og samlet effekt vises. Her vil spenning bli fremstilt som RMS-verdier og effektene (aktiv og reaktiv) som MEAN-verdier. Effekten for et område vil være summen av effektene inn på de berørte avgangene i det øyeblikket med høyest belastning. Figurene vil markere de gjeldene områdene med grønn skravering, om ikke annet er oppgitt.

² Denne transformatoromsetningen har vært referert til også i rapportene for fase 1 og 2, men viser seg å være feil. Eksisterende trinn er 55,5/16,5 og 54/16,5 kV.

2 KRAV TIL BANESTRØMFORSYNINGEN

2.1 Belastning av roterende omformere

Tabell 2-1 nedenfor viser den tillatte belastningsgraden for Jernbanelanternets roterende omformeraggregater. Av hensyn til redundans i strømforsyningen og nødvendig ytelse er det i de fleste omformerstasjoner installert to eller flere aggregater. Disse verdiene er relevante å benytte ved vurdering av belastningsgraden så lenge spenningen er konstant på 16,5 kV på samleskinnen, men med fallende statikk vil en underestimere belastningen. Derfor vil det være mer riktig å vurdere strømmen på aggregatene og i Tabell 2-3 er verdiene for maksimal strømbelastning vist.

Tabell 2-1 Belastning av roterende omformeraggregater. For maks 2 sekunders belastning oppgitt i MVA er det forutsatt 16,5 kV som base.

| Aggregat Type | Maks 6 min belastning [MVA] | Maks time belastning [MVA] | Maks 2sek belastning [A] | Maks 2 sek belastning [MVA] |
|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| ASEA Q24 | 4,8 | 3,1 | 450 | 7,425 |
| ASEA Q38 | 8 | 5,8 | 625 | 10,313 |
| Nebb 7,0 MVA | 11 | 7,0 | 825 | 13,613 |
| ASEA Q48/ Nebb 10,0 MVA | 14 | 10 | 1180 | 19,470 |

Tabell 2-2 Belastning av roterende omformeraggregater omregnet til strømverdier på 15 kV siden. For Q24 er det forutsatt transformatoromsetning på 3/16 kV, for Q38 er omsetningen 4/16,6 kV, for 7 MVA aggregatet er den 4,5/17 kV og for Q48 er den 5,2/17 kV.

| Aggregat Type | Maks 6 min belastning [A] | Maks time belastning [A] | Maks 2sek belastning [A] |
|-------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| ASEA Q24 | 300 | 194 | 450 |
| ASEA Q38 | 482 | 349 | 625 |
| Nebb 7,0 MVA | 647 | 412 | 825 |
| ASEA Q48/ Nebb 10,0 MVA | 824 | 588 | 1180 |

Definisjonen av disse verdiene er som følger:

- Timebelastningen er aggregatenes nominelle ytelse (kontinuerlig belastning). Maksimal tillatte temperatur oppnås 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 ca. halve 6 minutters verdien. Om dette er oppfylt vil maksimalt tillatte temperatur oppnås, 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 omformerenheten.

Aggregatene vil selvsagt bli belastet 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 gjennomsnittsbelastningen innenfor den aktuelle tidsperioden som er av betydning. Det samme gjelder for 1-times og 2-sekunders belastning³.

2.2 Marginer mot overbelastning av omformere og andre komponenter

Som i rapporten for fase 1 for Oslo-området [1] vil det ikke legges til 20 % reserve/margin for å ta høyde for trafikkøkning ut over dimensjonerende ruteplan (JD 546 avsnitt 2.5). Imidlertid vil margin på 5 % mot høyeste tillatte belastningsgrense for systemer og komponenter legges til, samt marginen på 10 % for å ta høyde for trafikken i normale driftsituasjoner med endringer som ofte kan forventes å forekomme. Ved simulering med normal drift og ved utfall av to aggregater samtidig i Oslo-området vil en undersøke at det er minst 15 % margin mot overbelastning for alle stasjoner. Altså at belastningen for en stasjon ikke skal overskride 85 %. I presentasjonen av resultatene i tabeller markeres det med rødt og uthevede tall når det er fare for overbelastning av en omformerstasjon.

I et eget notat kalt "Redundanskriteriet - Vurdering av marginer for belastningen og overholdelse av tilgjengelighetskrav for roterende og statiske omformerstasjoner i banestrømforsyningen (EB.800095)", har en kommet frem til visse belastningsmarginer for roterende omformere som et supplement til teknisk regelverk. Disse marginene tar utgangspunkt i overbelastbarheten til omformerstasjoner og hvor mye de kan belastes før det oppstår fare for overbelastning av det (de) gjenværende aggregatet(r) ved utfall av det første. Nedenfor er Tabell 2-3 hentet ut fra dette notatet og det er markert med rødt hvilke marginer som er relevante å benytte i dette arbeidet. Dette gjelder for banestrømforsyningen der det er ca 40 eller 80 km mellom omformerstasjonene. Her vil dette være relevant å undersøke for de perifere omformerstasjonene.

³ For 2-sekundersbelastningen gjelder at strømmen må være over kritisk verdi sammenhengende i 2 sekunder. Grunnen er at dette er en verdi som gjelder for et overstrømsrele. Formelt sett er det derfor ikke riktig at en beregner en gjennomsnittlig (RMS) 2-sekundersverdi. SIMPOW kan heller ikke i den modusen som brukes for trafikksimuleringer være i stand til å beregne riktig momentane verdier som med sikkerhet kan si om releet vil løse ut eller ikke.

Tabell 2-3 Tillatt belastningsgrense for 2-sekunders strømverdi, 6-minutters og 1-times effekt av belastningen for omformerstasjoner med to aggregater med lik ytelse. For grenser angitt med intervall er nedre tall bør-verdi og øvre tall er skal-verdi. Redundansverdiene gjelder for hele stasjonen. Tall med rødt er marginene som er relevante å benytte i dette arbeidet.

| Dimensjoneringsgrunnlag for stasjoner med to aggregater med lik ytelse | | Redundans uten marginer | Margin | Redundans grense |
|--|---|-------------------------|------------------------|----------------------|
| Eksisterende omformerstasjon med roterende aggregater | Målinger og registreringer der en kjenner normalt forekommende høyeste belastning og sjeldne spissbelastninger. | 50 % | 5 % | 47,5 - 50 % |
| | Simuleringer med dimensjonerende ruteplan. | 50 % | 5 + 10 % | 42,5 - 50 % |
| | Simuleringer eller beregning for verste normalt forekommende trafikksituasjon. | 50 % | 5 % | 47,5 % |
| Dimensjonering av ny omformerstasjon med roterende aggregater | Simuleringer med dimensjonerende ruteplan. | 50 % | 5 + 10 ¹⁾ % | 42,5 ²⁾ % |
| | Simuleringer eller beregning for verste normalt forekommende trafikksituasjon. | 50 % | 5 ¹⁾ % | 47,5 ²⁾ % |
| Eksisterende omformerstasjon med statiske aggregater | Målinger og registreringer der en kjenner normalt forekommende høyeste belastning og sjeldne spissbelastninger. | 50 % | 5 % | 47,5 - 50 % |
| | Simuleringer med dimensjonerende ruteplan. | 50 % | 5 + 10 % | 42,5 % |
| | Simuleringer eller beregning for verste normalt forekommende trafikksituasjon. | 50 % | 5 % | 47,5 % |
| Dimensjonering av ny omformerstasjon med statiske aggregater | Simuleringer med dimensjonerende ruteplan. | 50 % | 5+10+20 % eller mer | 32,5 % |
| | Simuleringer eller beregning for verste normalt forekommende trafikksituasjon. | 50 % | 5+20 % eller mer | 37,5 % |
| | Simuleringer eller beregning for verste normalt forekommende trafikksituasjon med prognose for fremtidig trafikkvekst | 50 % | 5 % | 47,5 % |

1) Margin på 20 % for fremtidig trafikkvekst gir for stor ubenyttet installasjon og sløyfes for mobile aggregater. Imidlertid bør en ved planlagging av stasjoner med roterende aggregater ta hensyn til at fremtidige utvidelser kan bli nødvendig.

2) For omformerstasjoner som sjeldent utsettes for store trafikkbelastninger kan mindre marginer verders.

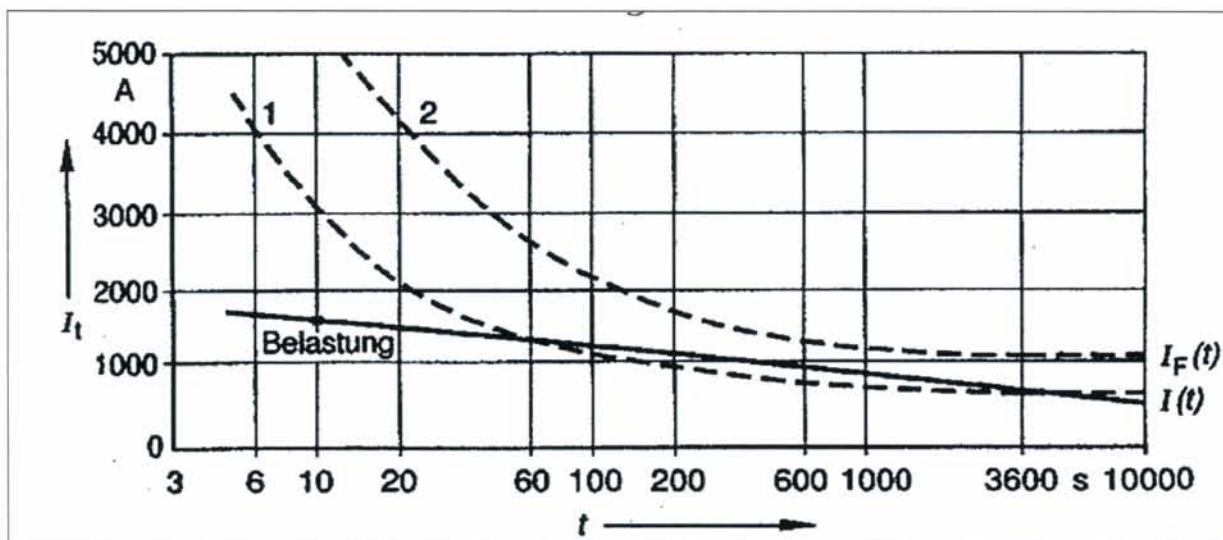
2.3 Kontaktledningens strømføringsevne

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

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

Med forsterkningsleder som i kurve 2 med 240 mm² Al leder i parallell med kl-anlegget kan følgende verdier avleses: 10 sekunder en belastning på omentrent 5500 A, 1 minutt 2600 A, for 6 minutter 1300 A og for kontinuerlig strøm 1050 A.

For kl-anlegget for Gardermobanen der nominell strømføringssevne er 800 A antas det at belastningen for kortvarige verdier kan økes med 33 % i forhold til anlegg med 600 A som strømføringssevne.



Figur 2-1 Kontaktledningens strømføringssevne, tid i sekunder. Kurve 1 viser belastbarheten for kontaktledning med 100 mm² Cu kontaktledning og 50 mm² bærewire. Kurve 2 gjelder med 240 mm² AL leder som forsterkningsleder i tillegg.

2.4 Negativ- og positivleders strømføringssevne

I henhold til utredninger foretatt av Statnett for aluminiumsledere og Norconsult for kabler i tunneler med tverrsnitt 400 mm² (nærmeste undersøkt til 381 mm² standardtverrsnitt) er kontinuerlig belastning under disse forholdene **960 A** og for kabel med samme tverrsnitt **676 A**, se [8] og [9]. Denne belastningen gjelder for ekstremt varmt vær (omgivelsestemperatur 35 °C, vind 1,0 m/s, og sol 1030 W/m²).

Når det gjelder kortvarig belastning er det oppnådd høyeste temperatur på kabel eller line ved dimensjonerende omgivelsesforhold som er begrensende. For kabler er kortvarig belastning for TSLE med tverrsnitt 400 mm² på henholdsvis **1235 A i 10 minutter**.

2.5 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 i Tabell 2-4 viser veiledende tall. Strømmen er referert 30,0

kV spenningsnivå, dette er det samme som faktisk strøm i viklingene. I de modellene som blir brukt i simuleringene her er ikke autotransformatorene med.

Tabell 2-4 Preliminære verdier for overbelastbarhet av autotransformatorer. Verdiene er referert til 30 kV siden.

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

2.6 Spenning for togene

Spenningen for togene skal i henhold til Teknisk regelverk JD 546 være større enn 13,0 kV i normal drift og ved unormal drift tillates spenninger ned til 12,0 kV. Dette gjelder ved prosjektering. For eksisterende anlegg der det ikke gjøres tiltak tillates lavere spenning. Da tillates spenningen kortvarig å komme ned mot 11,0 kV. Her vil en imidlertid undersøke spenninger under 13,0 kV uansett. I Oslo-området er det i dag meget gode spenninger selv ved utfall av aggregater og en vil undersøke om dette tilfredsstilles for alle alternativer og driftsituasjoner som undersøkes.

3 SIMULERINGSMODELLENE

3.1 Avgrensning av simuleringsområde

Følgende grenser for kjøreveien er valgt:

- Nelaug omformerstasjon ved km 281,5
- Nesbyen omformerstasjon ved km 188,42 (over Roa)
- Gjøvikbanen til Gjøvik ved km 124,2
- Fåvang omformerstasjon ved km 232,19
- Kil omformerstasjon ved km 90,3 fra Carlottenberg på Kongsvingerbanen
- Skälebo omformerstasjon ved km 67,79 fra Kornsjø på Østfoldbanen.

I tillegg er Randsfjordbanen (Drammen-Hokksund-Hønefoss), Vestfoldbanen og Bratsbergbanen inkludert, samt Østre linje på Østfoldbanen og godssporene i Oslo-området. Skifteområdet ved Filipstad og Loenga er derimot ikke inkludert og togenes bevegelse her var heller ikke kjent da dimensjonerende ruteplan ble utarbeidet. Imidlertid vil tog som beveger seg sakte på et skifteområde trekke lite strøm og dette vurderes til å være helt underordnet i det store bildet.

Banestrekningene er modellert med den relevante infrastruktur slik som kurvatur, skiltet hastighet, tunneler og kontaktledningsnett. Det er ikke lagt inn laster ved yttergrensene (randsonene) av simuleringsmodellene. Modellen er istedenfor gitt stor utstrekning, og stasjoner ved randsonen er simulert med halv installert ytelse for å kompensere for last utenfor modellen.

3.2 Navn på sentrale noder i simuleringen

Nedenfor er det listet opp navn og forkortelse for de nodene (koblingshus, omformerstasjoner, stasjoner, etc) som er benyttet i rapporten. Noen omformerstasjoner er plassert såpass langt unna stasjon med samme navn og det er da definert navn med X. Eksempel er HON for Hønefoss omformerstasjon og HOX for Hønefoss stasjon. I tillegg til disse finnes det enda mange flere noder, men disse er utelatt da de ikke er referert til i rapporten.

OSS – Oslo konklingshus
LYS – Lysaker koblingshus
EID – Eidsvoll koblingshus
DRA – Drammen koblingshus
SKB – Skollenborg koblingshus

ALN – Alnabru omformerstasjon
LIL – Lillestrøm omformerstasjon
JES – Jessheim omformerstasjon
JEN – Jessnes omformerstasjon
FAV – Fåvang omformerstasjon
KON – Kongsvinger omformerstasjon
HOL – Holmlia omformerstasjon
ASL – Åsland omformerstasjon (alternativ)

SKI – Ski omformerstasjon/stasjon (alternativ)
SMO – Smørbekk omformerstasjon
SAR – Sarpsborg omformerstasjon
LUN – Lunner omformerstasjon
ASK – Asker omformerstasjon
HON – Hønefoss omformerstasjon
NES – Nesbyen omformerstasjon
NOR – Nordagutu omformerstasjon
NEL – Nelaug omformerstasjon
POR – Porsgrunn omformerstasjon

NEV – Neslandsvatn transformatorstasjon
SKP – Skoppum transformatorstasjon
HAK – Hakavik kraftverk

LIL – Lillehamer stasjon
SAX – Sarpsborg stasjon
HAL – Halden stasjon
KOR – Kornsjø stasjon
GRE – Grefsen stasjon
ROA – Roa stasjon
HOX – Hønefoss stasjon
HOK – Hokksund stasjon
SKN – Skien stasjon

3.3 Ruteplan

Ruteplanen som er benyttet skal vise et ambisiøst ruteopplegg der de nye banestrekningene utnyttes så godt det lar seg gjøre uten at det blir bygget en ny Oslotunnel. Togtrafikken skal da være slik som en antar at situasjonen vil være for år 2023 til 2025. Det forutsettes at det kun kjøres med nye togsett av type 74, 75 og 76 for alle lokal- og regiontog. NSB Gjøvikbanen forutsettes også å ha fast ut sine lokaltog Type 69. Simuleringene omfatter normal rush-trafikk på hverdager, i tidsrommet fra 15:00 til 18:00. I vedlegg I er det vist grafisk rute for alle togene etter at ruteplanen er implementert i TracFeed. Vedlegget viser også togmateriellet som er satt opp i alle rutene.

3.4 Togmaterieill

Togmateriellet er det samme som i Fase 1, men ingen lokaltog av Type 69 eller 72 er i drift og alle lokomotiver for godstog er av moderne type (CE119). Det forutsettes at NSB vil komme til å anskaffe seg lokaltog for de indre lokalrutene av samme type som Type 74. Det forutsettes at reaktiv kompensering og reduksjon av høyeste tillatte effekt ved lave spenninger er slik som fabrikken (STADLER) i første omgang har planlagt. Endringer i senere stadier kan komme. Det forutsettes at maksimal strøm som togene kan trekke fra kontaktledningen holdes til 700 A for simuleringen med moderat utbygging av AT-system. I simuleringene med svært utstrakt bygging av AT-system forsøkes det med 900 A. I dag er det i henhold til Network Statement kun på Gardermobanen at togene kan trekke 900 A, mens 700 A gjelder for de øvrige banene. Med bygging av AT-system vil det kunne komme ønske om å øke til 900 A.

3.5 Adhesjonskoeffisient

For å bestemme adhesjonen benytter TracFeed Curtius og Knifflers formel:

$$\text{Adhesjonskoeffisienten} = 0,161 + \frac{7,5}{44 + v}$$

Denne formelen med faktoren 0,161 gir forholdene for gode adhesjonsforhold og er benyttet her. Det vil bli undersøkt endringer av konstantene i formelen for å etterligne svært gunstige adhesjonsforhold slik som undersøkt i [3].

3.6 Autotransformatorsystem

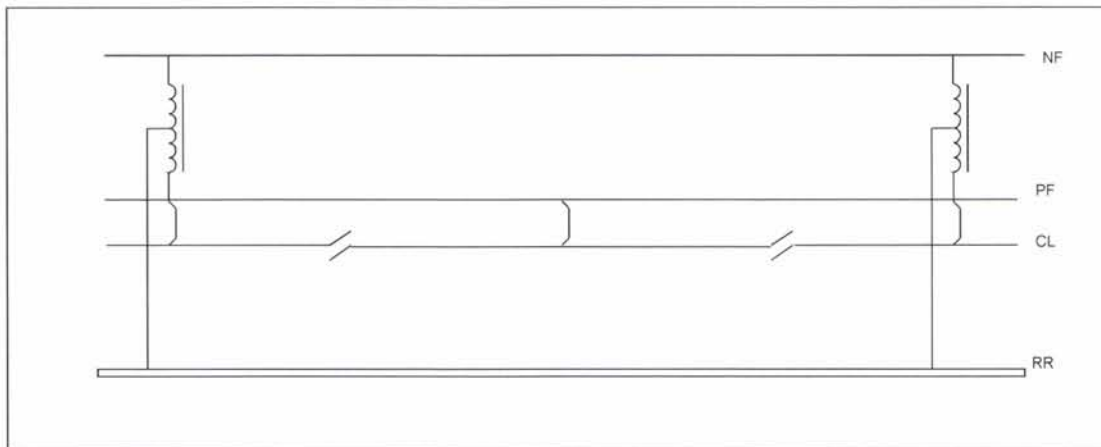
Nedenfor viser Figur 3-1 AT-system med seksjonert kontaktledning. Det er dette systemet som vil benyttes i Norge. For deler av Oslo-området er det mulig at andre systemer kan velges, for eksempel kan en tenke seg en kombinasjon av dagens systemer med sugetransformatorer og at AT-systemet kobles i parallell mot disse. Slike lokale tilpasninger påvirker det helhetlige kraftsystem i liten grad og er ikke undersøkt. Det er også mulig at det i tunneler kan benyttes kabler som i tett forlegning vil kunne ha mindre impedans.

Å lage en modell i SIMPOW av dette systemet er vanskelig og det er derfor gjort visse forenklinger. Dette har å gjøre med at programmet ikke gir muligheten for å legge inn så spesielle flerfasesystemer med mange forskjellige ledere og få med egen- og gjensidig impedans mellom dem. Derfor er det ikke lagt inn ledere som vist i figuren, men benyttet standardmodellen i SIMTRAC som her vil representere impedansen i NL og PL. Dette er den mest dominerende impedansen i systemet og den som bidrar mest til spenningsfallet. For system med 381 mm² er impedansen 0,039 + j0,049 Ω/km. Dette gjelder når impedansen er referert til 15 kV nivå.

Simuleringene vil dermed gi spenningen for togene som har å gjøre med impedansen for NL og PL, men ikke si noe om spenningsfallet som har å gjøre med impedansen på 15 kV nivå mellom autotransformatorene. Denne impedansen har å gjøre med magnetisk kobling mellom kontaktledningen, skinne, strøm i jord, NL og PL. Spenningsfallet på grunn av dette er beregnet til å komme opp mot 340 V, se [4] Figur 3-5 på side 3-7, som er den konfigurasjonen som ligner mest på den som er aktuell her. 340 V som største spenningsfall gjelder om toget trekker 500 A med en effektfaktor på 1,0. Videre forutsettes det 120 km mellom omformerne, ingen andre tog på matestrekningen, 12 km mellom autotransformatorene og oppdeling av kontaktledningen slik at hver seksjon er 6 km lang og har forbindelse til PL vekselvis ved autotransformatorer og mitt mellom dem.

Overføres dette til forholdene slik de er tenkt her er det flere ting som er annerledes og drar i forskjellig retning. Det som vil gjøre spenningsfallet større er multiple FLIRT-togsett som maksimal kan få et strømuttak på ca. 900 A med effektfaktor lik 1. Forhold som virker til å gjøre spenningsfallet mindre er at oppdelingen av kontaktledningen vil være mer som på Figur 3-1 med seksjoner noe mindre enn 6 km og tilknytningspunkter til PL som kommer nærmere autotransformatorene. Forutsettes dobbelt så stor strøm blir det ekstra spenningsfallet 612 V, men hvorledes de andre forholdene angående oppdeling av

kontaktledningen spiller inn er ikke enkelt å si basert på vurderinger. Her vil en si at simuleringene har en usikkerhet på **0 – 600 V** for spenningen for togene.



Figur 3-1 AT-system med seksjonert kontaktledning, negativ- og positivleder.

3.7 Statiske omformere

De statiske omformere er modellert med alle sine hoveddeler så vel som spenningsregulator. Når det skal undersøkes nye store omformerstasjoner i Oslo-området er det tatt utgangspunkt i de aggregatene som finnes i Lillestrøm og Jessheim. Endring er at det forutsettes for Oslo omformerstasjon at aggregater på 24 MVA er mest realistisk. Altså at to aggregater av typen fra Lillestrøm settes sammen til ett. Neste forutsetning er at kortvarig belastning økes til 15 MVA ved at høyeste strøm referert 1500 V siden til PWM-konverteren er 20 kA. Dermed kan ett slikt aggregat på nominell ytelse 24 MVA kortvarig belastes 30 MVA.

Det er mulig at disse modifikasjonene vil gjøre at representasjonen av aggregatene ikke er helt riktige, men for endringer som ikke er raske vil en allikevel anta at en får en god modell. For simuleringer med togtrafikk er ikke endringene veldig raske slik at feilen ikke blir så stor.

De statiske omformerne skal i henhold til Teknisk regelverk 546 kapittel 5 ha en fasevinkelforskyvning avhengig av belastningen. Dette fordi de roterende omformerne oppfører seg slik og dermed er det mest gunstige for samkjøringen om også de statiske har denne egenskapen. Formlene nedenfor er hentet fra Teknisk regelverk viser hvordan dette skal være modellert. I de modellene for statiske omformere som er i SIMPOW er dette modellert på en annen måte. Der er det kun en parameter X_q som gjelder både for X_{qM} og X_{qG} . For nye statiske omformere vil det være de to siste verdiene som skal legges inn, mens det i denne rapporten kun refereres til verdien X_q . Det vil derfor være nødvendig med en konvertering mellom dem. Nedenfor viser Tabell 3-1 konverteringen mellom disse verdiene. I tabellen er det vist mange verdier av tverraksereaktansene og grunnen er at det i dette arbeidet vil bli justeringer av verdien av tverraksereaktansen for å oppnå best mulig lastflyt. For øvrig viser appendiks 1 hvordan verdiene er fremkommet.

$$\Psi = \Psi_0 + \Psi_{\text{omf}}$$

der

Ψ_0 = vinkelforskjellen mot 50 Hz systemet ved tomgang, grunnfasevinkelen

$$\Psi_{\text{omf}} = - \left[\frac{1}{3} \arctan(x_{qM} \cdot i_G \cdot \cos\varphi_G) + \arctan\left(\frac{x_{qG} \cdot i_G \cdot \cos\varphi_G}{1 + x_{qG} \cdot i_G \cdot \sin\varphi_G}\right) \right]$$

x_{qM} er omformermotorens synkrone reaktans i p.u. av systemimpedansen

x_{qG} er omformergeneratorens synkrone reaktans i p.u. av systemimpedansen

i_G er generatorstrømmen i p.u. av generatorens merkestrøm

$$i_G = \frac{I_G}{I_{n_G}}$$

I_G er generatorstrømmen [A]

I_{n_G} er omformergeneratorens merkestrøm [A]

φ_G er fasevinkeldreiningen mellom omformergeneratorens strøm og spenning

Tabell 3-1 Konvertering mellom verdier for faseforskyvningen i statiske omformere.

| Tverraksereaktans med X_q | Tverraksereaktans med X_{qM} og X_{qG} |
|-----------------------------|--|
| 0,36 pu | 0,34 og 0,38 pu |
| 0,51 pu | 0,46 og 0,49 pu |
| 0,68 pu | 0,52 og 0,62 pu |
| 0,85 pu | 0,3 og 0,55 pu |
| 1,02 pu | 0,9 og 0,8 pu |

3.8 Øvrig infrastruktur

Den øvrige infrastrukturen er i utgangspunktet den samme som for Fase 1 og forbedringstiltakene som ble foreslått er innført her. Hakavik kraftverk er i drift i simuleringene, men Sande transformatorstasjon er satt ut av drift. Modellen er for øvrig utvidet en del slik at Nesbyen omformerstasjon er inkludert, det samme er de nærmeste omformerstasjonene på svensk side av Østfoldbanen og Kongsvingerbanen.

4 TRAFIKKSIMULERINGER

4.1 Simuleringsalternativer

En oversikt over ulike alternativer for systemløsning som blir simulert er gitt i Tabell 5. De angitte forkortelsene blir benyttet for navngivning av alternative nivåer for AT-utbygging, simulert driftsform, plasseringer og omformerkapasitet. Forkortelsene benyttes senere i rapporten ved referanse til de ulike alternativene. For eksempel, vil AT1-N-O-I referere til et alternativ som omhandler en moderat utbygging av AT-system, med omformer i Oslo på 120 MVA og normal drift. Enkelte følsomhetsanalyser er inkludert i tabellen.

Noen simuleringer er utført på nytt på grunn av en feil med tilknytningen mellom Gjøvikbanen og Oslo koblingshus⁴. Resultatet av simuleringen med denne forbindelsen inne er vist i appendiks 2. Feilen har størst betydning annet enn for belastningen av Lunner omformerstasjon. Simuleringene med riktig normalsituasjon er merket med "R" til slutt.

Tabell 5 - Simulerte systemalternativer

| | |
|---|---|
| Utbygging av AT-system: | |
| AT1: Moderat | AT3: |
| AT2: Nokså omfattende | Svært utstrakt |
| Simulert drift | |
| N: Normal drift | V2: Avvikssimulering med utfall i Lillestrøm og Jessheim omf.st. |
| V1: Avvikssimulering med utfall i Oslo/Åsland og Lillestrøm omf.st. | V3: Avvikssimulering med utfall av hele Oslo omf.st. |
| Plassering av ny omformer | |
| O: Oslo omformer med direkteinnmating til Oslo koblingshus | OS: Oslo omformer og Ski omformer med direkteinnmating til respektive koblingshus |
| Å: Åsland omformer med direkteinnmating til Follobanen samt 110kV overføring til Oslo koblingshus | |
| Omformerkapasitet | |
| 1: Økt omformerkapasitet med 120MVA | 4: 90MVA i Oslo 45 MVA i Ski |
| 2: Økt omformerkapasitet med 180MVA | 5: 120MVA i Oslo 45 MVA i Ski |
| 3: Nedleggelse av Alnabru og Holmlia omf.st. | 6: Økt omformerkapasitet med 150 MVA |

⁴ SIMPOW hadde ikke en editor for opptegning av enlinjeskjema da modellen ble kontrollert og simuleringene startet i mai 2011. Dermed var det ikke enkelt å få kontrollert at alt var i orden. Senere i september ble det utgitt en Beta-versjon med en slik editor og dermed fikk en gjort en grundig visuell kontroll på at kraftsystemet hadde tiltenkt normalt koblingsbilde.

4.2 Moderat utbygging av AT-system

4.2.1 Simulering med normal driftsituasjon og dagens omformerstasjoner (Alternativ AT1-N)

4.2.1.1 Forutsetninger for simuleringen

I denne simuleringen settes det ikke inn noen ny omformerstasjon i Oslo-området. Det bygges ut moderat kl-anlegg med AT-system.

Spenningsregulatorer:

I denne simuleringen benyttes verdiene for spenningsregulatorerne som en fant optimale i de foregående undersøkelsene.

- Lillestrøm, Jessheim, Smørbekk og Nordagutu gis 4 % fallende statikk.
- Alle andre omformerstasjoner gis 12 % fallende statikk

Reaktans i statiske omformerstasjoner X_q :

- Alle med 0,34 pu eller 50 % av normal reaktans (0,68 pu).

4.2.1.2 Resultater

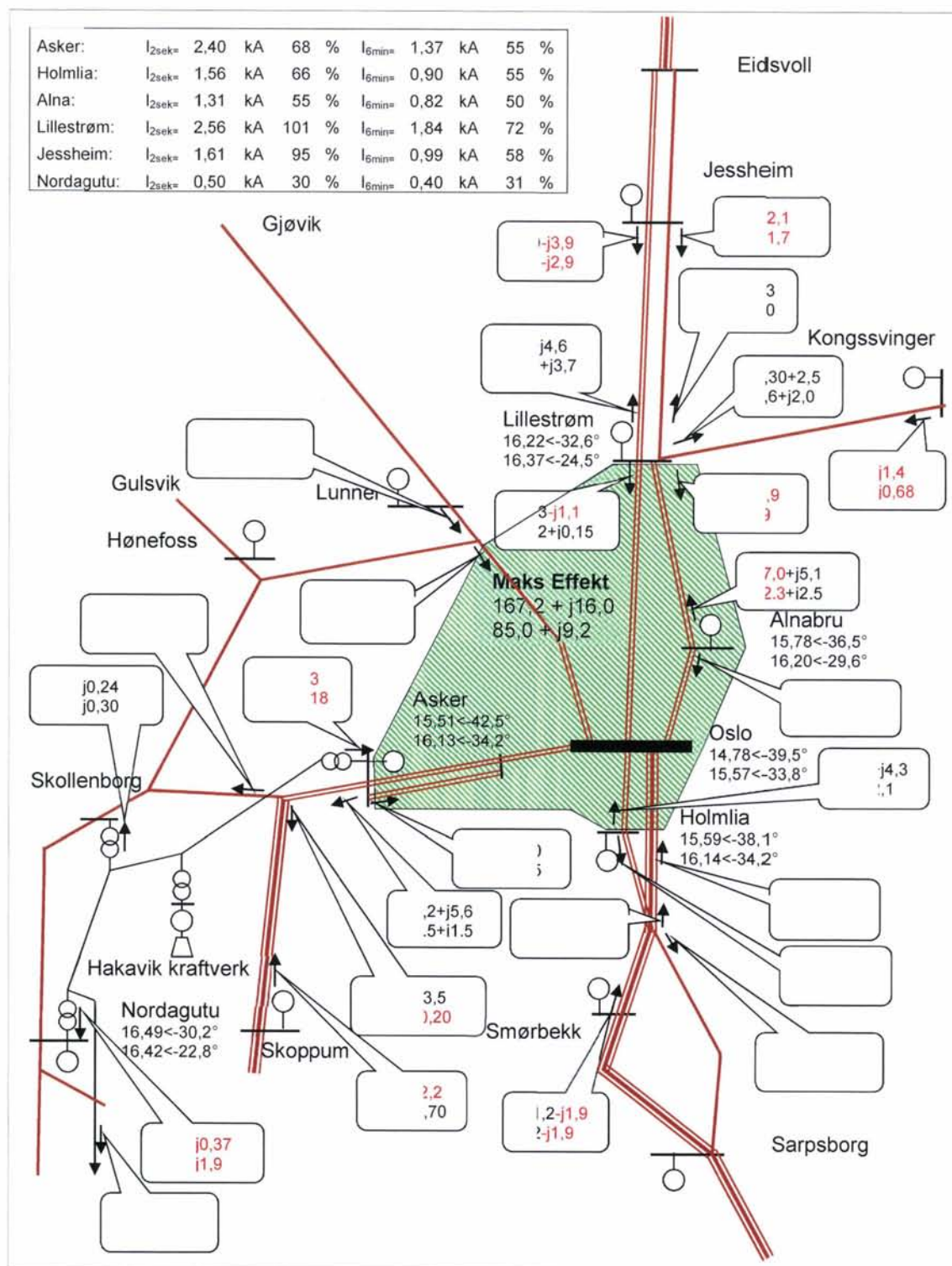
Nedenfor viser Tabell 4-6 høyeste belastningen som oppstod for omformerstasjonene med simulering med dagens omformere i Oslo-området og uten forsterkningstiltak. Innstillingene for spenningsregulatorerne er de samme som de en kom frem til i fase 1, se [1]. Som en ser av tabellen er alle de statiske omformerstasjonene kortvarig belastet tett opp mot 100 % eller fullt. Dessuten ser en at de sentrale roterende omformerstasjonene i Oslo-området, Asker og Holmlia, er belastet så mye at det er for små marginer mot overlast. 6-minutters og timeverdiene derimot, er det ikke noen problemer med. Resultatene viser en uakseptabel driftstilstand som også er i strid med teknisk regelverk, og dokumenterer et behov for tiltak i form av økt omformerkapasitet i Oslo-området.

Det kan være interessant å sammenligne dette med tilsvarende simulering fra fase 1, se [1], tabell 6-10. Også da var Lillestrøm og Jessheim omformerstasjoner mye belastet, men nå er i tillegg Asker og Holmlia belastet betydelig mer, det samme er Smørbekk. Sett i forhold til den trafikkøkningen, at alle Type 69 er erstattet med nye FLIRT-tog og de nye banene med 200 km/t kan en allikevel si at maksimalbelastningen for omformerne ikke er økt så mye. Derimot kan en i Figur 4-1 se at samtidig høyeste belastning i Oslo-området nå er 167,2 og 85,0 MW for henholdsvis 2-sekunders og 6-minuttersverdier (MEAN). Tidligere (fase 1) ble belastningen for dette området 102,9 og 53,3 MW. Altså en økning på henholdsvis 62 og 59 % for 2-sekunders og 6-minuttersverdien, altså ikke ubetydelig. Videre viser Tabell 4-7 samlet energiforbruk for de tre timene som totalt er på 528 MWh, mot tidligere i fase 1 hvor energibehovet ble 286 MWh. Imidlertid er modellen utvidet en hel del og dette vil også påvirke energiforbruket. Tallene er derfor ikke nøyaktig sammenlignbare, men gir en indikasjon.

Tabell 4-8 viser de laveste spenninger som oppstår for togene og bare spenninger under 12,0 kV er tatt med. Spenningene er svært lave for en del tog, selv sentralt i Oslo-området.

Tabell 4-6 Maksimal belastning av omformerstasjonene. Prosentvis belastning av aggregater i drift ved den belastningsgraden som gjelder i hver av tidsperiodene.

| Belastning av omformerstasjonene normal drift | | | | | | | |
|---|----------------|---------------------|------|------------|------|--------|------|
| Omformerstasjon | Innsatt ytelse | Strøm i RMS-verdier | | | | | |
| | | 2-sek | | 6-minutter | | 1-time | |
| | | [MVA] | [kA] | % | [kA] | % | [kA] |
| Asker | 3 x 10 | 3,156 | 89 | 1,789 | 72 | 1,367 | 78 |
| Holmlia | 2 x 10 | 2,047 | 87 | 1,037 | 63 | 0,904 | 77 |
| Alnabru | 2 x 10 | 1,721 | 73 | 0,916 | 56 | 0,817 | 69 |
| Lillestrøm | 3 x 12 | 2,626 | 103 | 2,020 | 79 | 1,810 | 83 |
| Jessheim | 2 x 12 | 1,740 | 103 | 1,311 | 77 | 1,033 | 71 |
| Jessnes | 3 x 12 | 1,743 | 64 | 1,104 | 40 | 0,874 | 40 |
| Fåvang | 1 x 12 | 0,452 | 50 | 0,291 | 32 | 0,232 | 32 |
| Smørbekk | 2 x 12 | 1,751 | 103 | 1,477 | 87 | 1,354 | 93 |
| Sarpsborg | 2 x 12 | 1,586 | 94 | 0,925 | 55 | 0,739 | 51 |
| Kongsvinger | 2 x 5,8 | 0,617 | 49 | 0,251 | 26 | 0,191 | 27 |
| Lunner | 2 x 5,8 | 1,132 | 91 | 0,607 | 63 | 0,421 | 60 |
| Hønefoss | 1 x 5,8 | 0,461 | 74 | 0,257 | 53 | 0,175 | 50 |
| Nordagutu | 2 x 7 | 0,806 | 49 | 0,423 | 33 | 0,340 | 41 |
| Skoppum | 2 x 7 | 0,999 | 61 | 0,619 | 48 | 0,492 | 60 |
| Porsgrunn | 2 x 12 | 1,759 | 97 | 1,235 | 68 | 1,026 | 71 |



Figur 4-1 Maksimal aktiv effekt for Oslo-området oppstår klokken 16:43:17 og for 6-minuttersverdi opptrer maksimalverdien mellom klokken 17:23:23. Effektflyt for 2-sekunders (øverste tall) og 6-minuttersverdi (nederste tall) for MEAN effekt. Aktiv- og reaktiv effekt der negativt fortegn er markert med røde tall.

Tabell 4-7 Samlet energiopptak i hele modellen. Energien er målt på trefasesiden inn til omformerstasjonene slik at tapene også er inkludert.

| Periode | Energi til Matestasjoner [MWh] | | |
|------------|--------------------------------|--------------|---------------|
| | Inn | Ut | Sum |
| Kl 15-16 | 155,50 | -0,07 | 155,43 |
| Kl 16-17 | 188,08 | -0,09 | 188,00 |
| Kl 17-18 | 184,01 | -0,06 | 183,96 |
| Sum | 527,60 | -0,22 | 527,38 |

Tabell 4-8 Laveste oppstående spenning for togene og omtrentlig angivelse av banestrekning. Kun tog som får spenninger under 12,0 kV er undersøkt.

| Tog | Laveste spenning for togene[kV] | | |
|---------------|---------------------------------|-----------------------|----------------|
| | Momentan | 2-minutters RMS-verdi | Sted |
| T_281 Tp74_1 | 10,71 | 12,26 | Grefsen - Roa |
| T_283 Tp74_1 | 10,62 | 12,46 | Grefsen - Roa |
| T_285 Tp74_1 | 10,44 | 12,35 | Oslo - Grefsen |
| T_245 Tp74_1 | 10,56 | 12,89 | Grefsen - Roa |
| T_251 Tp74_1 | 10,69 | 13,45 | Grefsen - Roa |
| T_209 Tp74_1 | 10,98 | 12,57 | Grefsen - Roa |
| T_211 Tp74_1 | 10,78 | 12,61 | Oslo - Grefsen |
| T_213 Tp74_1 | 10,64 | 12,70 | Grefsen - Roa |
| T_282 Tp74_1 | 10,54 | 12,68 | Oslo - Grefsen |
| T_284 Tp74_1 | 10,74 | 12,86 | Grefsen - Roa |
| T_252 Tp74_1 | 10,91 | 12,67 | Grefsen - Roa |
| T_214 Tp74_1 | 10,55 | 12,24 | Oslo - Grefsen |
| T_1226 Tp74_1 | 11,69 | 14,07 | Østre linje |
| T_1228 Tp74_1 | 11,68 | 14,07 | Østre linje |
| T_1251 Tp74_2 | 11,69 | 14,06 | Østre linje |
| T_1253 Tp74_2 | 11,67 | 14,08 | Østre linje |
| T_279 Tp74_1 | 11,54 | 13,72 | Oslo - Grefsen |
| T_241 Tp74_1 | 11,60 | 16,90 | Oslo - Grefsen |
| T_247 Tp74_1 | 11,38 | 13,44 | Oslo - Grefsen |

4.2.2 Simulering med ny Oslo omformerstasjon på 4 x 24 MVA (Alternativ AT1-N-O-1)

Denne simuleringen er utført på nytt på grunn av en feil med tilknytningen mellom Gjøvikbanen og Oslo koblingshus. Resultatet av simuleringen med denne forbindelsen inne er vist i avsnitt 8.1.1 i appendiks 2. Feilen har ikke stor betydning annet enn for belastningen av Lunner omformerstasjon og at spenningen for Gjøvikbanen blir bedre. For å se hvordan spenningen på Gjøvikbanen blir henvises det derfor til appendiksen.

4.2.2.1 Forutsetninger for simuleringen

Det settes inn aggregater på 4 x 24 MVA i Oslo omformerstasjon. Innstillingene for spenningsregulatorer i studiene for fase 1, se [1], var tilpasset en situasjon der en skulle unngå at de roterende aggregatene skulle bli overbelastet. I tillegg var omformerne generelt hardt

belastet. Fallende statikk på 12 % for alle omformerstasjoner, unntatt Oslo, Lillestrøm, Jessheim, Smørbekk og Nordagutu som fikk 4 %. X_q for alle statiske omformerstasjoner ble redusert med 50 % fra normal verdi. Omsetningen i transformatoren for fjernledningen i Asker er 54,5/16,5 kV. I neste avsnitt, se 4.2.3, blir det testet om utfall av aggregater vil kunne tåles. Dette er selve testen på at omformerstasjonen er stor nok. Følgende endringer av innstillinger er funnet optimale:

Spenningsregulatorer:

- En lar fremdeles alle omformerne som ikke er nevnt ovenfor ha 12 % fallende statikk.

Reaktans i statiske omformerstasjoner X_q :

Ytterligere justering av X_q forsøkes for å komme frem til best mulig lastfordeling mellom omformerstasjonene. En kommer frem til følgende verdier:

- X_q for Oslo skal ha en verdi på 0,425 pu eller 62,5 % av normal verdi (0,68 pu).
- Lillestrøm og Smørbekk gis verdier på 0,85 pu
- Jessheim 1,02 pu
- De øvrige gis 0,68 pu

4.2.2.2 Resultater

Nedenfor viser Tabell 4-9 maksimalbelastningen som oppstår for omformerstasjonene. Nå ble Smørbekk og Lillestrøm akseptabelt belastet og også Oslo omformer er innenfor grensen. Bare Jessheim er for høyt belastet. Tabell 4-10 viser energiforbruket. Imidlertid viser det seg at strømbelastningen på omformeravgangene er så stor at dette alternativet vil være vanskelig å kunne realisere, se Tabell 4-11. Her ser en at spesielt avgangen mot Askerbanen fra Asker omformerstasjon blir belastet svært høyt. Det samme gjelder også østover fra Oslo mot Gardermobanen.

Tabell 4-12 viser spenningene for togene og igjen ser en at tog nært Oslo S på Gjøvikbanen får lave spenninger til tross for den nye omformerstasjonen. Mulig at dette kan skyldes at store deler av Gjøvikbanen er enkeltsporet og at det dermed blir større spenningsfall her enn på linjene med dobbeltspor.

Tabell 4-9 Maksimal belastning av omformerstasjonene. Prosentvis belastning av aggregater i drift ved den belastningsgraden som gjelder i hver av tidsperiodene.

| Belastning av omformerstasjonene normal drift. Ny omformer i Oslo på 4 x 24 MVA. 12 % statikk for alle omformere. Øker Xq til 62,5 % for OSS 125 % for LIL og SMO. For JES økes verdien til 150 % og normal verdi for de øvrige statiske. | | | | | | | |
|---|-------------------------|---------------------|----|------------|----|--------|----|
| Omformerstasjon | Innsatt ytelse [MVA] | Strøm i RMS-verdier | | | | | |
| | | 2-sek | | 6-minutter | | 1-time | |
| | | [kA] | % | [kA] | % | [kA] | % |
| Oslo | 4 x 24 | 6,184 | 85 | 3,662 | 50 | 3,332 | 57 |
| Asker | 3 x 10 | 2,364 | 67 | 1,405 | 57 | 1,062 | 60 |
| Holmlia | 2 x 10 | 1,005 | 43 | 0,597 | 36 | 0,540 | 46 |
| Alnabru | 2 x 10 | 0,888 | 38 | 0,606 | 37 | 0,558 | 47 |
| Lillestrøm | 3 x 12 | 1,898 | 75 | 1,091 | 43 | 0,962 | 44 |
| Jessheim | 2 x 12 | 1,632 | 96 | 0,946 | 56 | 0,686 | 47 |
| Jessnes | 3 x 12 | 1,598 | 59 | 1,016 | 37 | 0,791 | 36 |
| Fåvang | 1 x 12 | 0,393 | 43 | 0,267 | 29 | 0,216 | 30 |
| Smørbekk | 2 x 14 | 1,531 | 77 | 0,869 | 44 | 0,713 | 42 |
| Sarpsborg | 2 x 12 | 0,787 | 46 | 0,494 | 29 | 0,384 | 26 |
| Kongsvinger | 2 x 5,8 | 0,605 | 48 | 0,255 | 26 | 0,189 | 27 |
| Lunner | 2 x 5,8 | 1,128 | 90 | 0,605 | 63 | 0,418 | 60 |
| Hønefoss | 1 x 5,8 | 0,456 | 73 | 0,254 | 53 | 0,171 | 49 |
| Nordagutu | 2 x 7 | 0,805 | 49 | 0,409 | 32 | 0,323 | 39 |
| Skoppum | 2 x 7 | 1,024 | 62 | 0,630 | 49 | 0,496 | 60 |
| Porsgrunn | 2 x 12 | 1,300 | 72 | 0,889 | 49 | 0,722 | 50 |

Tabell 4-10 Samlet energioptak i hele modellen. Energien er målt på trefasesiden inn til omformerstasjonene slik at tapene også er inkludert.

| Periode | Energi til Matestasjoner [MWh] | | |
|------------|--------------------------------|--------------|---------------|
| | Inn | Ut | Sum |
| KI 15-16 | 153,24 | -0,08 | 153,15 |
| KI 16-17 | 183,78 | -0,10 | 183,68 |
| KI 17-18 | 180,31 | -0,06 | 180,25 |
| Sum | 517,33 | -0,25 | 517,08 |

Tabell 4-11 Maksimal belastning av utvalgte avganger til kontaktledningen. Alle verdier er referert til 15 kV-nivå. For AT-system er belastningen for NL og PL ikke oppgitt i prosent fordi en ikke kjenner tillatt belastning for noen tidsperioder.

| Avgang | Nominal strøm føring sevne | 10 sek RMS | [%] | 1 min RMS | [%] | 6 min RMS | [%] | 10 min RMS | [%] | 30 min RMS | [%] | 1 time RMS | [%] |
|----------------|----------------------------|------------|-----|-----------|-----|-----------|-----|------------|-----|------------|-----|------------|-----|
| ASK-øst Db1 | 600 | 0,827 | 28 | 0,564 | 45 | 0,355 | 44 | 0,326 | 44 | 0,275 | 42 | 0,259 | 43 |
| ASK-øst Db2 | 600 | 0,961 | 32 | 0,589 | 47 | 0,375 | 47 | 0,355 | 47 | 0,337 | 52 | 0,332 | 55 |
| ASK-øst Ab1 | 600 | 1,790 | 60 | 1,420 | 114 | 0,975 | 122 | 0,879 | 117 | 0,594 | 91 | 0,482 | 80 |
| ASK-øst Ab2 | 600 | 1,291 | 43 | 1,170 | 94 | 0,556 | 70 | 0,529 | 71 | 0,380 | 58 | 0,332 | 55 |
| ASK- vest Db 1 | 600 | 1,557 | 52 | 0,703 | 56 | 0,418 | 52 | 0,402 | 54 | 0,347 | 53 | 0,310 | 52 |
| ASK- vest Db 2 | 600 | 1,031 | 34 | 0,898 | 72 | 0,587 | 73 | 0,586 | 78 | 0,466 | 72 | 0,407 | 68 |
| HOL-nord Øb1 | 600 | 0,727 | 24 | 0,542 | 43 | 0,260 | 33 | 0,222 | 30 | 0,203 | 31 | 0,192 | 32 |
| HOL-nord Øb2 | 600 | 0,390 | 13 | 0,235 | 19 | 0,144 | 18 | 0,129 | 17 | 0,124 | 19 | 0,117 | 20 |
| LIL-vest GMB1 | 800 | 0,883 | 22 | 0,810 | 49 | 0,506 | 48 | 0,436 | 44 | 0,336 | 39 | 0,277 | 35 |
| LIL-vest GMB2 | 800 | 1,287 | 32 | 1,172 | 71 | 0,710 | 67 | 0,722 | 72 | 0,489 | 57 | 0,400 | 50 |
| LIL-vest Hb1 | 600 | 0,539 | 18 | 0,410 | 33 | 0,281 | 35 | 0,265 | 35 | 0,248 | 38 | 0,235 | 39 |
| LIL-vest Hb2 | 600 | 0,550 | 18 | 0,388 | 31 | 0,260 | 33 | 0,243 | 32 | 0,229 | 35 | 0,216 | 36 |
| OSS-vest Db1 | 1250 ⁵ | 2,061 | - | 1,579 | - | 1,129 | - | 1,050 | - | 0,943 | - | 0,866 | 33 |
| OSS-vest Db2 | 1250 | 2,974 | - | 1,856 | - | 1,168 | - | 1,064 | - | 0,911 | - | 0,861 | 33 |
| OSS-nord Gb | 600 | 0,361 | 12 | 0,181 | 14 | 0,089 | 11 | 0,069 | 9 | 0,056 | 9 | 0,053 | 9 |
| OSS-øst GMB1 | 800 | 1,700 | 43 | 1,543 | 93 | 1,136 | 107 | 0,971 | 97 | 0,734 | 85 | 0,634 | 79 |
| OSS-øst GMB2 | 800 | 0,803 | 20 | 0,633 | 38 | 0,420 | 39 | 0,416 | 42 | 0,338 | 39 | 0,306 | 38 |
| OSS-øst Hb1 | 600 | 0,896 | 30 | 0,667 | 53 | 0,455 | 57 | 0,387 | 52 | 0,311 | 48 | 0,276 | 46 |
| OSS-øst Hb2 | 600 | 0,539 | 18 | 0,393 | 31 | 0,257 | 32 | 0,235 | 31 | 0,211 | 32 | 0,196 | 33 |
| OSS-sør Øb1 | 600 | 0,639 | 21 | 0,344 | 28 | 0,216 | 27 | 0,188 | 25 | 0,167 | 26 | 0,161 | 27 |
| OSS-sør Øb2 | 600 | 0,370 | 12 | 0,222 | 18 | 0,143 | 18 | 0,133 | 18 | 0,123 | 19 | 0,121 | 20 |
| OSS-sør Fb1 | 1920 | 1,706 | - | 1,594 | - | 1,047 | - | 0,963 | - | 0,729 | - | 0,678 | 35 |
| OSS-sør Fb2 | 1920 | 1,078 | - | 0,957 | - | 0,648 | - | 0,579 | - | 0,466 | - | 0,449 | 23 |

⁵ Strømføringsevne for returlederen når denne består av 2 x 24 mm² Al ledere. Med strømskinne istedenfor konvensjonelt kl-anlegg er det returlederen som sannsynligvis vil være begrensende for denne materretningen.

Tabell 4-12 Laveste oppstående spenning for togene og omtrentlig angivelse av banestrekning. Kun tog som får spenninger under 12,0 kV er undersøkt.

| Tog | Laveste spenning for togene[kV] | | |
|---------------|---------------------------------|-----------------------|-------------------|
| | Momentan | 2-minutters RMS-verdi | Sted |
| T_281 Tp74_1 | 10,72 | 12,25 | Etterstad - Ensjø |
| T_283 Tp74_1 | 10,61 | 12,45 | Etterstad - Ensjø |
| T_285 Tp74_1 | 10,44 | 12,33 | Etterstad - Ensjø |
| T_245 Tp74_1 | 10,55 | 12,90 | Grefsen - Roa |
| T_251 Tp74_1 | 10,68 | 13,43 | Ensjø - Grefsen |
| T_209 Tp74_1 | 10,97 | 12,56 | Grefsen - Roa |
| T_211 Tp74_1 | 10,78 | 12,60 | Ensjø - Grefsen |
| T_213 Tp74_1 | 10,64 | 12,68 | Grefsen - Roa |
| T_282 Tp74_1 | 10,53 | 12,68 | Grefsen - Roa |
| T_284 Tp74_1 | 10,73 | 12,83 | Grefsen - Roa |
| T_252 Tp74_1 | 10,89 | 12,66 | Grefsen - Roa |
| T_214 Tp74_1 | 10,58 | 12,24 | Grefsen - Roa |
| T_1226 Tp74_1 | 11,79 | 14,12 | Østre linje |
| T_1228 Tp74_1 | 11,75 | 14,09 | Østre linje |
| T_1251 Tp74_2 | 11,78 | 14,20 | Østre linje |
| T_1253 Tp74_2 | 11,74 | 14,13 | Østre linje |
| T_279 Tp74_1 | 11,54 | 13,71 | Etterstad - Ensjø |
| T_241 Tp74_1 | 11,60 | 13,90 | Etterstad - Ensjø |
| T_247 Tp74_1 | 11,38 | 13,44 | Etterstad - Ensjø |

4.2.3 Simulering med ny Oslo omformerstasjon på 4 x 24 MVA og utfall av ett aggregat i denne og i Lillestrøm (Alternativ AT1-V1-O-1)

Selv om resultatene for alternativ AT1-N-O-1 i avsnitt 4.2.2 viste av noen av omformeravgangene ble så hardt belastet at kl-anlegget vil ta skade, skal en her se på et tilfelle med utfall av aggregater i Oslo og Lillestrøm.

4.2.3.1 Forutsetninger for simuleringen

En kommer frem til følgende verdier.

Spenningsregulatorer:

- Alle omformerstasjoner gis -12 % statikk
- Unntatt Nordagutu som gis -4 %.

Reaktans i statiske omformerstasjoner X_q :

- Oslo omformerstasjon 0,51 pu. Lillestrøm og Smørbekk 0,85 pu.
- Jessheim 1,02 pu.
- De øvrige 0,68 pu (normal verdi).

4.2.3.2 Resultater

Nedenfor viser Tabell 4-13 høyeste belastning av omformerstasjonene ved utfall av ett aggregat i Oslo og Lillestrøm. Oslo omformerstasjon belastes rett under tillatt grense og må

dermed kunne sies å være tilstrekkelig dimensjonert. Lillestrøm, Jessheim og Smørbekk er derimot høyt belastet, mens Holmlia og Alnabru er moderat belastet. Høyeste belastning på avgangene fra noen utvalgte omformerstasjoner er vist i Tabell 4-14. Her ser en at spesielt Gardermobanens spor der togene kjører oppover som er høyt belastet. Askerbanen er som forventet høyt belastet, men en ser at også det ene sporet på Østfoldbanen får høye strømverdier.

Ut fra dette ser en at det kun vil være mulig å forsterke overføringsevnen til kl-anlegget for å kunne takle disse strømverdiene. Omfattende utbygging av AT-system vil være en løsning og dette blir undersøkt i resten av rapporten. Spenningene for togene blir ikke undersøkt her, da det forutsettes at de blir like lave som i de forrige simuleringene.

Tabell 4-13 Maksimal belastning av omformerstasjonene. Prosentvis belastning av aggregater i drift ved den belastningsgraden som gjelder i hver av tidsperiodene.

| Belastning av omformerstasjonene med ny omformer i Oslo på 4 x 24 MVA. Utfall av ett aggregat i OSS og LIL. 12 % statikk for alle omformere. | | | | | | | |
|--|-------------------------|---------------------|------------|--------------|-----------|--------------|-----------|
| Omformerstasjon | Innsatt ytelse [MVA] | Strøm i RMS-verdier | | | | | |
| | | 2-sek | | 6-minutter | | 1-time | |
| | | [kA] | % | [kA] | % | [kA] | % |
| Oslo | 3 x 24 | 4,555 | 84 | 2,602 | 48 | 2,353 | 54 |
| Asker | 3 x 10 | 2,594 | 73 | 1,560 | 63 | 1,210 | 69 |
| Holmlia | 2 x 10 | 1,262 | 53 | 0,778 | 47 | 0,708 | 60 |
| Alnabru | 2 x 10 | 1,148 | 49 | 0,793 | 48 | 0,728 | 62 |
| Lillestrøm | 2 x 12 | 1,691 | 100 | 0,970 | 57 | 0,856 | 59 |
| Jessheim | 2 x 12 | 1,729 | 102 | 1,030 | 61 | 0,770 | 53 |
| Jessnes | 3 x 12 | 1,689 | 62 | 1,089 | 40 | 0,867 | 40 |
| Fåvang | 1 x 12 | 0,420 | 46 | 0,289 | 32 | 0,238 | 33 |
| Smørbekk | 2 x 14 | 1,794 | 90 | 1,038 | 52 | 0,867 | 51 |
| Sarpsborg | 2 x 12 | 0,923 | 54 | 0,561 | 33 | 0,445 | 31 |
| Kongsvinger | 2 x 5,8 | 0,619 | 50 | 0,270 | 28 | 0,211 | 30 |
| Lunner | 2 x 5,8 | 1,131 | 90 | 0,608 | 63 | 0,421 | 60 |
| Hønefoss | 1 x 5,8 | 0,460 | 74 | 0,256 | 53 | 0,175 | 50 |
| Nordagutu | 2 x 7 | 0,799 | 48 | 0,428 | 33 | 0,346 | 42 |
| Skoppum | 2 x 7 | 1,044 | 63 | 0,645 | 50 | 0,516 | 63 |
| Porsgrunn | 2 x 12 | 1,347 | 74 | 0,938 | 52 | 0,770 | 53 |

Tabell 4-14 Maksimal belastning av utvalgte avganger til kontaktledningen. Alle verdier er referert til 15 kV-nivå. For AT-system er belastningen for NL og PL ikke oppgitt i prosent fordi en ikke kjenner tillatt belastning for noen tidsperioder.

| Avgang | Nominell strømføringsevne | 10 sek RMS | 10 sek [%] | 1 min RMS | 1 min [%] | 6 min RMS | 6 min [%] | 10 min RMS | 10 min [%] | 30 min RMS | 30 min [%] | 1 time RMS | 1 time [%] |
|-----------------|---------------------------|------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|
| ASK- øst Db 1 | 600 | 0,933 | 31 | 0,655 | 52 | 0,389 | 49 | 0,366 | 49 | 0,310 | 48 | 0,293 | 49 |
| ASK- øst Db 2 | 600 | 1,057 | 35 | 0,644 | 51 | 0,416 | 52 | 0,391 | 52 | 0,374 | 58 | 0,368 | 61 |
| ASK- øst Ab 1 | 600 | 1,892 | 63 | 1,506 | 120 | 1,031 | 129 | 0,938 | 125 | 0,643 | 99 | 0,525 | 88 |
| ASK- øst Ab 2 | 600 | 1,388 | 46 | 1,245 | 100 | 0,600 | 75 | 0,572 | 76 | 0,410 | 63 | 0,367 | 61 |
| HOL- nord Øb 1 | 600 | 0,817 | 27 | 0,616 | 49 | 0,314 | 39 | 0,277 | 37 | 0,255 | 39 | 0,242 | 40 |
| HOL- nord Øb 2 | 600 | 0,475 | 16 | 0,291 | 23 | 0,189 | 24 | 0,176 | 24 | 0,170 | 26 | 0,160 | 27 |
| LIL- vest GMB 1 | 800 | 0,972 | 24 | 0,867 | 52 | 0,545 | 51 | 0,470 | 47 | 0,359 | 42 | 0,295 | 37 |
| LIL- vest GMB 2 | 800 | 1,357 | 34 | 1,225 | 74 | 0,751 | 71 | 0,761 | 76 | 0,522 | 60 | 0,428 | 54 |
| LIL- vest Hb 1 | 600 | 0,515 | 17 | 0,389 | 31 | 0,267 | 33 | 0,254 | 34 | 0,236 | 36 | 0,225 | 37 |
| LIL- vest Hb 2 | 600 | 0,565 | 19 | 0,376 | 30 | 0,251 | 31 | 0,239 | 32 | 0,218 | 34 | 0,207 | 34 |
| OSS- vest Db 1 | 2640 | 1,868 | - | 1,416 | - | 0,986 | - | 0,921 | - | 0,812 | - | 0,738 | 28 |
| OSS- vest Db 2 | 2640 | 2,774 | - | 1,675 | - | 1,034 | - | 0,916 | - | 0,786 | - | 0,739 | 28 |
| OSS- nord Gb | 600 | 0,364 | 12 | 0,183 | 15 | 0,089 | 11 | 0,069 | 9 | 0,057 | 9 | 0,053 | 9 |
| OSS- øst GMB 1 | 800 | 1,655 | 41 | 1,506 | 91 | 1,099 | 103 | 0,936 | 94 | 0,699 | 81 | 0,598 | 75 |
| OSS- øst GMB 2 | 800 | 0,770 | 19 | 0,600 | 36 | 0,393 | 37 | 0,397 | 40 | 0,311 | 36 | 0,278 | 35 |
| OSS- øst Hb 1 | 600 | 0,799 | 27 | 0,584 | 47 | 0,384 | 48 | 0,329 | 44 | 0,269 | 41 | 0,244 | 41 |
| OSS- øst Hb 2 | 600 | 0,624 | 21 | 0,424 | 34 | 0,263 | 33 | 0,238 | 32 | 0,205 | 32 | 0,199 | 33 |
| OSS- sør Øb 1 | 600 | 1,694 | 56 | 1,442 | 115 | 0,952 | 119 | 0,848 | 113 | 0,647 | 99 | 0,600 | 100 |
| OSS- sør Øb 2 | 600 | 1,029 | 34 | 0,837 | 67 | 0,570 | 71 | 0,512 | 68 | 0,419 | 64 | 0,396 | 66 |
| OSS- sør Fb 1 | 1920 | | - | | - | | - | | - | | - | | 0 |
| OSS- sør Fb 2 | 1920 | | - | | - | | - | | - | | - | | 0 |

4.3 Svært utstrakt utbygging av AT-system og ny omformerstasjon i Oslo

I dette alternativet ser en på forholdene ved utstrakt bygging av AT-system i Oslo området, se avsnitt 1.3. Belastningen for Lillestrøm, Jessheim og Smørbekk omformerstasjoner økes kortvarig slik hvert aggregat kan belastes 18 MVA⁶. Dette vil kunne få stor betydning for evalueringen av resultatene i disse simuleringene og i resten av rapporten forutsettes denne belastningen for kortvarig belastning. Simuleringene i avsnitt 4.1 er ikke oppdaterte med denne forutsetningen, ettersom resultatene viser at disse løsningene uansett er uakseptable av andre årsaker.

4.3.1 Simulering med normal driftsituasjon og dagens omformerstasjoner (Alternativ AT3-N)

4.3.1.1 Forutsetninger for simuleringen

I denne simuleringen settes det ikke inn noen ny omformerstasjon i Oslo-området. Det bygges ut omfattende kl-anlegg med AT-system og fjernledningen forlenges fra Asker til Lillestrøm.

⁶ Bane Energi har i juni 2011 besluttet å få modifisert de omformerstasjonene som med nye FLIRT-tog kommer til å bli belastet mest, se [2].

Dette for å undersøke om AT-system gir så god effektfordeling mellom de eksisterende omformerstasjonene at disse gir tilstrekkelig omformerkapasitet. Følgende innstillinger og parametere velges:

Spenningsregulatorer:

I denne simuleringen benyttes verdiene for spenningsregulatorene som en fant optimale i de foregående undersøkelsene.

- Alle omformerstasjoner gis -12 % statikk
- Unntatt Nordagutu som gis -4 %.

Reaktans i statiske omformerstasjoner X_q :

- Lillestrøm og Smørbekk; 0,85 pu.
- Jessheim; 1,02 pu.
- De øvrige; 0,68 pu (normal verdi).

4.3.1.2 Resultater

Nedenfor viser Tabell 4-15 belastningen av omformerstasjonene når det er bygget AT-system over det meste av Oslo-området og Østlandet. Det er ikke satt inn noen ny omformerstasjon i Oslo, men den kortvarige ytelsen for Lillestrøm, Jessheim og Smørbekk er altså økt.

Belastningen for Lillestrøm og Smørbekk er for stor, men ingen av stasjonene med roterende aggregater er belastet mer enn akseptabelt. Dette i stor kontrast til simuleringen med moderat utbygging av AT-system der spesielt Asker og Holmlia ble mye belastet, se avsnitt 4.2.1.

Dette kan nok både tilskrives bedre lastfordeling med AT-system, samt den økte ytelsen for Lillestrøm, Jessheim og Smørbekk.

Figur 4-2 viser lastflyten i Oslo-området ved tidspunktet med høyest belastning for 2-sekunders og 6-minutters MEAN-verdi. Effektflyten har endret seg på flere måter i forhold til simuleringen med samme forhold, med liten utbygging av AT-system, se Figur 4-1. Bedre effektoverføring avlaster tydeligvis avgangene fra Asker og Holmlia, som nå belastes noe mindre. Som en kan se er maksimalt effektbehov gått ned, ca. 12,6 MW for 2-sekunders verdi.

Tabell 4-16 viser energiforbruket for togtrafikken i de tre timene. Sammenlignes dette med energiforbruket uten utstrakt utbygging av AT-system, se avsnitt 4.2.1, ser en at reduksjonen nå er på hele 2,6 %.

Nedenfor viser Tabell 4-17 de togene som får lavest spenninger. Som en ser er det kun noen få tog som får noe lave spenninger. Disse togene beveger seg på den delen av Sørlandsbanen som ikke har AT-system. Resultatet må en si er forbløffende, selv om det ikke er lagt til noe ekstra omformerkapasitet i Oslo-området er det allikevel ingen tog som får lave spenninger her. Imidlertid kan usikkerhetsmarginene på 0 – 600 V bety at noen tog får noe lavere spenning enn 12,0 kV. At dette skulle skje i Oslo området dog er usannsynlig.

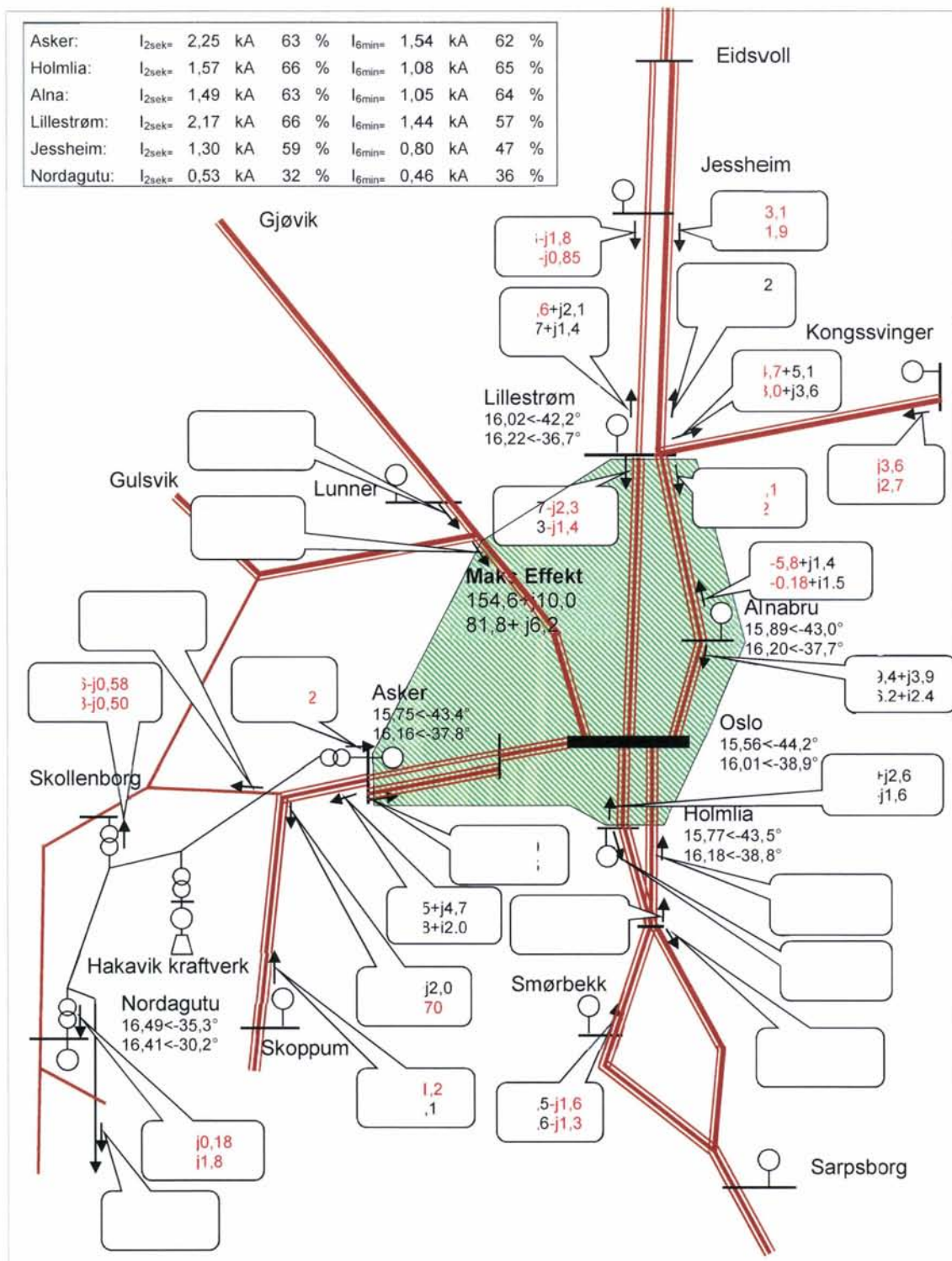
En vil måtte sette inn en stor omformerstasjon i Oslo-området og denne simuleringen kan en tenke seg viser situasjonen om denne skulle falle ut. Da vil en sette som krav at spenningen for alle tog skal være bedre enn 12,0 kV og sett i forhold til det, er forholdene høyst akseptable. Dermed vil en i de etterfølgende simuleringene ikke undersøke spenningen for togene fordi en ikke vil kunne forvente lave spenninger i Oslo-området. Kun om en reduserer

ytelsen i Oslo ytterligere vil en kunne forvente lavere spenninger, og en slik situasjon ligger langt utenfor dimensjoneringskriteriene for denne utredningen.

Resultatene her tyder på at marginene mot overlast er små, spesielt er belastningen for Lillestrøm, Asker og Smørbekk stor. Ved omformerutfall ville ikke disse stasjonene kunne overholde dimensjonerende marginen på 15 %. Det vil derfor bli utført simuleringer der det settes inn mer omformerytelse i Oslo-området.

Tabell 4-15 Maksimal belastning av omformerstasjonene. Prosentvis belastning av aggregater i drift ved den belastningsgraden som gjelder i hver av tidsperiodene.

| Belastning av omformerstasjonene normal drift, omfattende utbygging av AT-system. | | | | | | | |
|---|----------------|---------------------|-----------|------------|----|--------------|-----------|
| Omformerstasjon | Innsatt ytelse | Strøm i RMS-verdier | | | | | |
| | | 2-sek | | 6-minutter | | 1-time | |
| | | [kA] | % | [kA] | % | [kA] | % |
| Asker | 3 x 10 | 2,862 | 81 | 1,700 | 69 | 1,453 | 82 |
| Holmlia | 2 x 10 | 1,915 | 81 | 1,145 | 69 | 1,041 | 89 |
| Alnabru | 2 x 10 | 1,740 | 74 | 1,081 | 66 | 1,002 | 85 |
| Lillestrøm | 3 x 12 | 2,766 | 85 | 1,556 | 61 | 1,401 | 64 |
| Jessheim | 2 x 12 | 1,788 | 82 | 1,163 | 69 | 0,950 | 65 |
| Jessnes | 3 x 12 | 1,788 | 66 | 1,163 | 43 | 0,950 | 44 |
| Fåvang | 1 x 12 | 0,462 | 51 | 0,315 | 35 | 0,265 | 36 |
| Smørbekk | 2 x 14 | 2,154 | 99 | 1,231 | 73 | 1,048 | 62 |
| Sarpsborg | 2 x 12 | 1,027 | 61 | 0,656 | 39 | 0,539 | 37 |
| Kongsvinger | 2 x 5,8 | 0,633 | 51 | 0,349 | 36 | 0,310 | 44 |
| Lunner | 4 x 5,8 | 1,422 | 57 | 0,677 | 35 | 0,518 | 37 |
| Nordagutu | 2 x 7 | 0,841 | 51 | 0,464 | 36 | 0,384 | 47 |
| Skoppum | 2 x 7 | 0,997 | 60 | 0,612 | 47 | 0,510 | 62 |
| Porsgrunn | 2 x 12 | 1,161 | 64 | 0,846 | 47 | 0,699 | 48 |



Figur 4-2 Maksimal aktiv effekt for Oslo-området oppstår klokken 16:43:16 og for 6-minuttersverdi opptrer maksimalverdien mellom klokken 17:23:22. Effektflyt for 2-sekunders (øverste tall) og 6-minuttersverdi (nederste tall) for MEAN effekt. Aktiv- og reaktiv effekt der negativt fortegn er markert med røde tall.

Tabell 4-16 Samlet energioptak i hele modellen. Energien er målt på trefasesiden inn til omformerstasjonene slik at tapene også er inkludert.

| Periode | Energi til matestasjoner [MWh] | | |
|------------|--------------------------------|--------------|---------------|
| | Inn | Ut | Sum |
| KI 15-16 | 152,13 | -0,02 | 152,11 |
| KI 16-17 | 182,98 | -0,04 | 182,94 |
| KI 17-18 | 178,66 | -0,01 | 178,65 |
| Sum | 513,77 | -0,07 | 513,70 |

Tabell 4-17 Laveste oppstående spenning for togene og omtrentlig angivelse av banestrekning. Kun tog som får spenninger under 12,0 kV er undersøkt.

| Tog | Laveste spenning for togene[kV] | | |
|---------------------|---------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| | Momentan | 2-minutters RMS-verdi | Sted |
| T_67 Tp73_2 | 12,81 | 14,77 | Drammen - Hokksund |
| T_64 Tp73_2 | 12,39 | 14,72 | Drammen - Hokksund |
| T_79 Tp73_2 | 12,88 | 14,58 | Nordagutu - Neslandsvatn |
| T_5804 BR185-2_1200 | 12,87 | 14,64 | Nordagutu - Kongsberg |

4.3.2 Simulering med omformerstasjon i Oslo på 4 x 24 MVA (Alternativ AT3-N-O-1)

4.3.2.1 Forutsetninger for simuleringen

I alternativ AT1-N-O-1 i avsnitt 4.2.2 så en at en omformerstasjon på 4 x 24 MVA ville være tilstrekkelig i Oslo-området i normal drift, dermed forsøkes denne ytelsen også med utstrakt bruk av AT-system.

Spenningsregulatorer:

verdiene for spenningsregulatorene som en fant optimale i de foregående undersøkelsene benyttes:

- Alle omformerstasjoner gis -12 % statikk
- Unntatt Nordagutu som gis -4 %.

Reaktans i statiske omformerstasjoner X_q :

- Oslo omformerstasjon 0,51 pu.
- Lillestrøm og Smørbekk 0,85.
- Jessheim 1,02 pu.
- De øvrige 0,68 pu.

4.3.2.2 Resultater

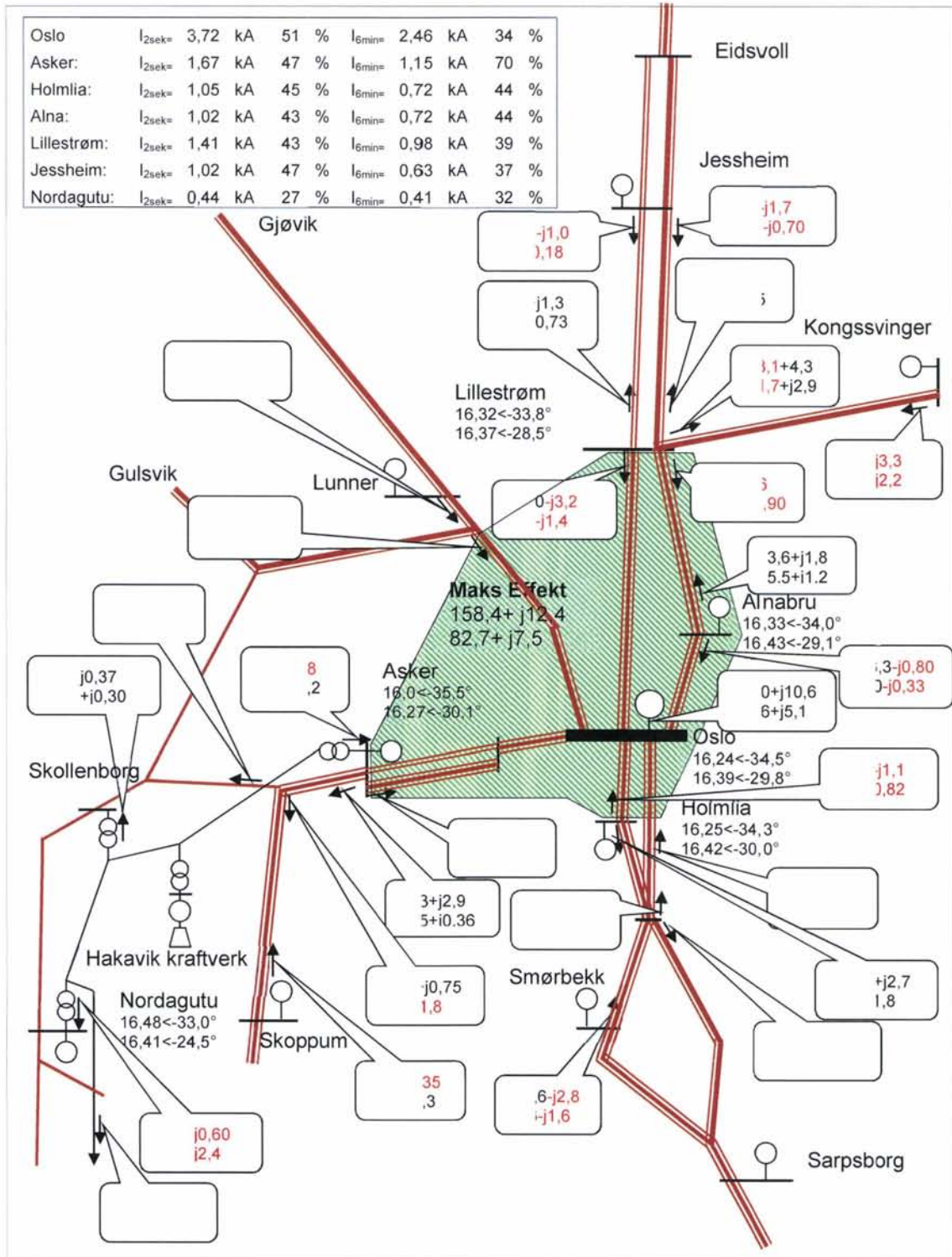
Nedenfor viser Tabell 4-18 at med en ny Oslo omformerstasjon på 4 x 24 MVA blir maksimal belastningen på denne og de øvrige omformerstasjonene moderat. Smørbekk er igjen mest belastet, men alle stasjonene har rikelige marginer mot overbelastning.

Figur 4-3 viser at lastflyten nå er blitt mye forandret fra tidligere, sammenlign med avsnitt 4.3.1. Med den nye store omformerer midt i Oslo er effekten fra de andre omformerne mot Oslo redusert. Belastningen av omformerstasjonene ser også ut til å være nokså jevn.

Energiforbruket i Tabell 4-19 er nå omtrent 506 MWh. Dette er en ytterligere reduksjon sammenligning med simuleringen uten omformerstasjon i Oslo der forbruket ble på ca. 514 MWh.

Tabell 4-18 Maksimal belastning av omformerstasjonene. Prosentvis belastning av aggregater i drift ved den belastningsgraden som gjelder i hver av tidsperiodene.

| Belastning av omformerstasjonene normal drift, omfattende utbygging av AT-system. Ny Oslo omformerstasjon på 4x24 MVA. | | | | | | | |
|--|-------------------------|---------------------|----|------------|----|--------|----|
| Omformerstasjon | Innsatt ytelse [MVA] | Strøm i RMS-verdier | | | | | |
| | | 2-sek | | 6-minutter | | 1-time | |
| | | [kA] | % | [kA] | % | [kA] | % |
| Oslo | 4 x 24 | 4,588 | 63 | 2,579 | 35 | 2,356 | 40 |
| Asker | 3 x 10 | 2,136 | 60 | 1,284 | 52 | 1,084 | 61 |
| Holmlia | 2 x 10 | 1,280 | 54 | 0,774 | 47 | 0,704 | 60 |
| Alnabru | 2 x 10 | 1,179 | 50 | 0,743 | 45 | 0,691 | 59 |
| Lillestrøm | 3 x 12 | 1,755 | 54 | 1,044 | 41 | 0,954 | 44 |
| Jessheim | 2 x 12 | 1,460 | 67 | 0,846 | 50 | 0,647 | 44 |
| Jessnes | 3 x 12 | 1,610 | 59 | 1,023 | 38 | 0,816 | 37 |
| Fåvang | 1 x 12 | 0,412 | 45 | 0,277 | 30 | 0,227 | 31 |
| Smørbekk | 2 x 14 | 1,586 | 73 | 0,934 | 55 | 0,791 | 47 |
| Sarpsborg | 2 x 12 | 0,829 | 49 | 0,519 | 31 | 0,419 | 29 |
| Kongsvinger | 2 x 5,8 | 0,515 | 41 | 0,275 | 29 | 0,243 | 35 |
| Lunner | 4 x 5,8 | 1,414 | 57 | 0,649 | 34 | 0,493 | 35 |
| Nordagutu | 2 x 7 | 0,851 | 52 | 0,414 | 32 | 0,332 | 40 |
| Skoppum | 2 x 7 | 0,861 | 52 | 0,532 | 41 | 0,433 | 53 |
| Porsgrunn | 2 x 12 | 1,158 | 64 | 0,846 | 47 | 0,700 | 48 |



Figur 4-3 Maksimal aktiv effekt for Oslo-området oppstår klokken 16:36:20 og for 6-minuttersverdi opptrer maksimalverdien mellom klokken 17:23:21. Effektflyt for 2-sekunders (øverste tall) og 6-minuttersverdi (nederste tall) for MEAN effekt. Aktiv- og reaktiv effekt der negativt fortegn er markert med røde tall.

Tabell 4-19 Samlet energioptak i hele modellen. Energien er målt på trefasesiden inn til omformerstasjonene slik at tapene også er inkludert.

| Periode | Energi til Matestasjoner [MWh] | | |
|------------|--------------------------------|--------------|---------------|
| | Inn | Ut | Sum |
| KI 15-16 | 150,16 | -0,04 | 150,12 |
| KI 16-17 | 179,75 | -0,06 | 179,69 |
| KI 17-18 | 175,78 | -0,02 | 175,76 |
| Sum | 505,69 | -0,12 | 505,57 |

4.3.3 Simulering med omformerstasjon i Oslo på 4 x 24 MVA og utfall av ett aggregat i Oslo og i Lillestrøm (Alternativ AT3-V1-O-1)

Oslo og Lillestrøm omformerstasjoner blir høyt belastet, de er størst og mest dominerende i Oslo-området og dermed forutsettes det at utfall av to aggregater her vil få størst betydning.

Denne simuleringen er utført på nytt på grunn av en feil med tilknytningen mellom Gjøvikbanen og Oslo koblingshus. Resultatet av simuleringen med denne forbindelsen inne er vist i avsnitt 8.1.2 i appendiks 2. Feilen har ikke stor betydning annet enn for belastningen av Lunner omformerstasjon.

4.3.3.1 Forutsetninger for simuleringen

Statikken for omformerne holdes uforandret. En frykter at Smørbekk vil bli mye belastet og derfor settes X_q for denne til 150 % og for Oslo settes den til 100 % av normal verdi. Dermed blir innstillingene:

Spenningsregulatorer:

verdiene for spenningsregulatorene som en fant optimale i de foregående undersøkelsene benyttes:

- Alle omformerstasjoner gis -12 % statikk
- Unntatt Nordagutu som gis -4 %.

Reaktans i statiske omformerstasjoner X_q :

- Oslo omformerstasjon 0,68 pu
- Lillestrøm 0,85 pu.
- Jessheim og Smørbekk 1,02 pu.
- De øvrige 0,68 pu.

4.3.3.2 Resultater

Tabell 4-20 viser at alle omformerstasjonene blir akseptabelt belastet, unntatt Oslo omformerstasjon som blir noe høyt belastet. Imidlertid er det nok ikke mer enn en liten økning av X_q som skal til for å unngå belastning over 85 %. Sannsynligvis vil en økning til 0,75 pu være tilstrekkelig. Utfall av to andre aggregater i to forskjellige omformere forutsettes å kunne aksepteres uten problemer med disse aggregatstørrelsene.

Tabell 4-20 Maksimal belastning av omformerstasjonene. Prosentvis belastning av aggregater i drift ved den belastningsgraden som gjelder i hver av tidsperiodene.

| Belastning av omformerstasjonene, omfattende utbygging av AT-system. Ny Oslo omformerstasjon på 4x24 MVA. Utfall av ett aggregat i Oslo og Lillestrøm. | | | | | | | |
|--|----------------|---------------------|----|------------|----|--------|----|
| Omformerstasjon | Innsatt ytelse | Strøm i RMS-verdier | | | | | |
| | | 2-sek | | 6-minutter | | 1-time | |
| | [MVA] | [kA] | % | [kA] | % | [kA] | % |
| Oslo | 3 x 24 | 4,719 | 87 | 2,675 | 49 | 2,448 | 56 |
| Asker | 3 x 10 | 2,202 | 62 | 1,322 | 53 | 1,119 | 63 |
| Holmlia | 2 x 10 | 1,339 | 57 | 0,809 | 49 | 0,736 | 63 |
| Alnabru | 2 x 10 | 1,245 | 53 | 0,785 | 48 | 0,730 | 62 |
| Lillestrøm | 2 x 12 | 1,304 | 60 | 0,769 | 45 | 0,698 | 48 |
| Jessheim | 2 x 12 | 1,515 | 69 | 0,885 | 52 | 0,681 | 47 |
| Jessnes | 3 x 12 | 1,638 | 60 | 1,046 | 38 | 0,837 | 38 |
| Fåvang | 1 x 12 | 0,422 | 46 | 0,283 | 31 | 0,233 | 32 |
| Smørbekk | 2 x 14 | 1,518 | 70 | 0,882 | 52 | 0,738 | 44 |
| Sarpsborg | 2 x 12 | 0,857 | 51 | 0,541 | 32 | 0,439 | 30 |
| Kongsvinger | 2 x 5,8 | 0,540 | 43 | 0,289 | 30 | 0,255 | 36 |
| Lunner | 4 x 5,8 | 1,416 | 57 | 0,652 | 34 | 0,495 | 35 |
| Nordagutu | 2 x 7 | 0,850 | 52 | 0,417 | 32 | 0,336 | 41 |
| Skoppum | 2 x 7 | 0,874 | 53 | 0,540 | 42 | 0,440 | 53 |
| Porsgrunn | 2 x 12 | 1,171 | 64 | 0,857 | 47 | 0,711 | 49 |

4.3.4 Simulering med omformerstasjon i Oslo på 3 x 24 MVA og utfall av ett aggregat i Oslo og i Lillestrøm (Alternativ AT3-V1-O-1-R)

I forrige simulering med utfall av ett aggregat i Oslo og Lillestrøm så en at de gjenværende aggregatene i Oslo ble høyt belastet, mens de øvrige omformerne ble heller moderat belastet. Det kan være interessant å se om en større oppjustering av X_q for Oslo vil gjøre at det kan settes inn ett aggregat mindre. Altså at det settes inn tre aggregater og at det her med utfall bare er to aggregater i drift.

Denne simuleringen er med tilknytningen mellom Gjøvikbanen og Oslo koblingshus inne.

4.3.4.1 Forutsetninger for simuleringen

Statikken for omformerne holdes uforandret. Med kun to aggregater i drift i Oslo forutsettes det at statikken må økes med 50 % ut over normal verdi (0,68 pu). Dermed blir innstillingene:

Spenningsregulatorer:

Verdiene for spenningsregulatorene som en fant optimale i de foregående undersøkelsene benyttes:

- Alle omformerstasjoner gis -12 % statikk
- Unntatt Nordagutu som gis -4 %.

Reaktans i statiske omformerstasjoner X_q :

- Oslo omformerstasjon 1,02 pu

- Lillestrøm 0,85 pu.
- Jessheim og Smørbekk 1,02 pu.
- De øvrige 0,68 pu.

4.3.4.2 Resultater

Nedenfor viser Tabell 4-21 belastningen for omformerstasjonene når det i utgangspunktet bare er tre aggregater i Oslo og ett aggregat her og i Lillestrøm faller ut. Som en ser blir belastningen innenfor akseptable grenser. Riktignok blir de gjenværende to aggregatene i Oslo noe høyt belastet, men med en liten justering til litt høyere reaktans her vil avhjelpe dette. Av dette sees det at kun tre omformeraggregater i Oslo omformerstasjon er mulig.

Tabell 4-21 Maksimal belastning av omformerstasjonene. Prosentvis belastning av aggregater i drift ved den belastningsgraden som gjelder i hver av tidsperiodene.

| Belastning av omformerstasjonene, omfattende utbygging av AT-system. Ny Oslo omformerstasjon på 3x24 MVA. Utfall av ett aggregat i Oslo og Lillestrøm. Rettet feil der Gjøvikbanen ikke var koblet mot Oslo koblingshus. | | | | | | | |
|--|----------------|---------------------|----|------------|----|--------|----|
| Omformerstasjon | Innsatt ytelse | Strøm i RMS-verdier | | | | | |
| | | 2-sek | | 6-minutter | | 1-time | |
| | | [kA] | % | [kA] | % | [kA] | % |
| Oslo | 2 x 24 | 3,115 | 86 | 1,682 | 46 | 1,518 | 52 |
| Asker | 3 x 10 | 2,425 | 69 | 1,453 | 59 | 1,235 | 70 |
| Holmlia | 2 x 10 | 1,530 | 65 | 0,921 | 56 | 0,835 | 71 |
| Alnabru | 2 x 10 | 1,417 | 60 | 0,887 | 54 | 0,821 | 70 |
| Lillestrøm | 2 x 12 | 1,550 | 71 | 0,910 | 54 | 0,820 | 56 |
| Jessheim | 2 x 12 | 1,577 | 72 | 0,935 | 55 | 0,730 | 50 |
| Jessnes | 3 x 12 | 1,704 | 63 | 1,100 | 40 | 0,891 | 41 |
| Fåvang | 1 x 12 | 0,435 | 48 | 0,298 | 33 | 0,249 | 34 |
| Smørbekk | 2 x 14 | 1,683 | 77 | 0,970 | 57 | 0,813 | 48 |
| Sarpsborg | 2 x 12 | 0,927 | 55 | 0,584 | 34 | 0,478 | 33 |
| Kongsvinger | 2 x 5,8 | 0,573 | 46 | 0,313 | 33 | 0,279 | 40 |
| Lunner | 4 x 5,8 | 1,130 | 45 | 0,673 | 35 | 0,588 | 42 |
| Nordagutu | 2 x 7 | 0,842 | 51 | 0,435 | 34 | 0,357 | 43 |
| Skoppum | 2 x 7 | 0,911 | 55 | 0,566 | 44 | 0,466 | 57 |
| Porsgrunn | 2 x 12 | 1,246 | 69 | 0,904 | 50 | 0,755 | 52 |

4.3.5 Simulering med omformerstasjon i Oslo på 6 x 24 MVA og nedleggelse av Holmlia og Alnabru (Alternativ AT3-N-O-23)

4.3.5.1 Forutsetninger for simuleringen

Dersom Holmlia og Alnabru legges ned fjernes en mulig momentaneffekt på rundt 80 MVA. En ny Oslo omformerstasjon må erstatte store deler av dette og ytelsen i denne da må økes tilsvarende. En økning på 60 MVA i forhold til ytelsen i simuleringen i avsnitt 4.3.2 synes rimelig. Statikken for omformerne holdes uforandret og likeså reaktans i statiske omformerstasjoner. Dermed blir innstillingene:

Spenningsregulatorer:

verdiene for spenningsregulatorene som en fant optimale i de foregående undersøkelsene benyttes:

- Alle omformerstasjoner gis -12 % statikk
- Unntatt Nordagutu som gis -4 %.

Reaktans i statiske omformerstasjoner X_q :

- Oslo omformerstasjon 0,51 pu. Lillestrøm og Smørbekk 0,85 pu.
- Jessheim 1,02 pu.
- De øvrige statiske omformerne 0,68 pu.

4.3.5.2 Resultater for simuleringen

Nedenfor viser Tabell 4-20 hvordan omformerstasjonene belastes på sitt høyeste når Oslo omformerstasjon skal ta over mye av effektproduksjonen i indre del av Oslo. Som en ser vil denne også avlaste alle de omkringliggende omformerstasjonene, sammenlig med avsnitt 4.3.2. Likevel ser det ikke ut til at omformerer er for stor med 6 x 30 MVA som høyeste spissbelastning, med ett aggregat mindre ville belastningen oversteget marginene.

I Figur 4-4 kan en som forventet se at effektoverføringen inn mot Oslo er blitt redusert på alle avganger, sammenlignet med avsnitt 4.2.2 der Holmlia og Alnabru var i drift. Selv om Alnabru og Holmlia var i drift, måtte Lillestrøm og Smørbekk bidra mer med effekt inn til Oslo. Det totale aktive effektbehovet i det sentrale Oslo-området er maksimalt 158 MW og samtidig leverer den nye Oslo omformerstasjon ca. 115 MW. Det vil si at den forsyner rundt 73 % av alt effektbehovet i dette området.

Energibehovet er nå på samlet ca. 505 MWh, se Tabell 4-23, omtrent det samme som med drift av Holmlia og Alnabru, se 4.3.2. Dette er muligens ikke som forventet, med de store tapene en har i roterende omformerstasjoner ville en gjerne ha forventet at tapene nå skulle ha blitt enda noe mindre når fire roterende omformere er erstattet med to statiske.

I Tabell 4-24 har en sett på høyeste strømbelastning på noen sentrale avganger fra omformere og koblingshus. Her har en satt inn strømverdier for NL og PL som blanke ledere referert til 15 kV nivå. Som en ser er belastningen på avgangene nå helt akseptable, og i Figur 4-5 har en funnet temperaturen for den avgangen med størst strømbelastning. Gul linje viser temperaturen for en NL/PL med tverrsnitt 400 mm² og som en ser er den helt akseptabelt belastet. Mer bekymret vil en være for belastningen de steder en må velge kabel for NL og PL. Her blir en nødt til å velge stort nok ledertverrsnitt for å få akseptable temperaturer. Dette gjelder spesielt tunnelen og egne undersøkelser på dette blir ikke gjort her.

Den høyeste strømbelastningen oppstår for avgangen fra Lillestrøm nordover mot det ene sporet på Gardermobanen, se Tabell 4-24. Togene har i denne simuleringen 700 A som sitt maksimale strømmuttak, men tillates 900 A vil høyst sannsynlig denne avgangen på Gardermobanen overbelastes. Dette skjer altså selv om det bygges AT-system på Hovedbanen fra Lillestrøm til Eidsvoll. I dagens Network Statement tillates 900 A på Gardermobanen.

Effektuttaket på enkelte sterkt trafikkerte spor kan komme til å bli så stor at 10 km mellom hver autotransformator kan bli for lite. Det er derfor forsøkt å få en pekepinn for effektbehovet ved å summere strømmen inn i hver ende av kl-anlegget på noen utvalgte baner. Metoden har nok sine svakheter, men strekningene det er snakk om er korte og dermed skulle

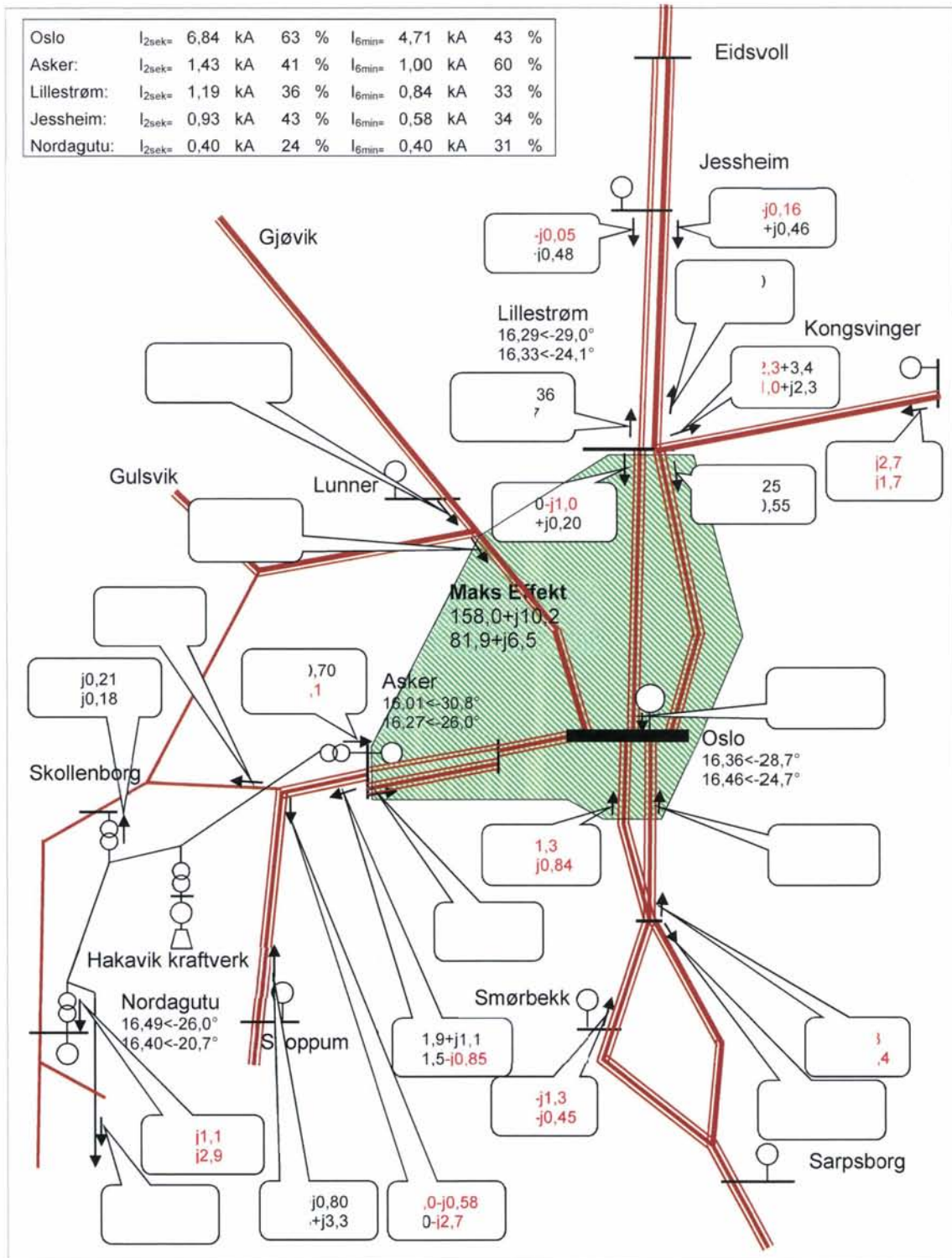
en forvente at effektuttaket er noenlunde jevnt fra begge retninger. Tabell 4-25 viser strømbelastningen over de tidsperiodene som er aktuelle for en autotransformator på strekningene ut av Oslo. Antallet autotransformatorer som er estimert til å være nødvendig er satt slik at marginene mot overlast skal være omentrent 35 % og slik at det er likt antall autotransformatorer langs begge spor for samme bane. Tabellen viser antallet autotransformatorenheter fra og med utmatningen i en ende til og med neste. Det forutsettes at utmatningen skjer på 15 kV-nivå til AT-systemet.

Bare for å forsyne selve Oslo s området trengs tre autotransformatorer, når dette området er definert til å omfatte sporområdet fra munningen av Oslostunnelen (Trakta) og kl-anleggene mot Etterstad (km 2,6) og Loenga (km 1,55). Effektuttaket er størst mellom Oslo S og Lysaker og det ser ut til å være nødvendig med hele fem autotransformatorer her. En kan plassere disse for eksempel på Oslo S, Skøyen, Lysaker, Sandvika og Asker. Siden Lysaker og Oslo S er samleskinneanlegg kan en her plassere flere autotransformatorer sammen slik at en utnytter at sporene ikke belastes likt.

Antallet autotransformatorer mellom Oslo og Lysaker ser påfallende stort ut. Det samme kan sies om strømmen på avgangene fra Oslo koblingshus mot Drammensbanen. En kan spørre seg om det virkelig kan trekkes mer strøm på denne korte strekningen enn på for eksempel Follobanen der antallet nødvendige autotransformatorer er mindre, dette er vurdert videre i avsnitt 5.2.3.

Tabell 4-18 Maksimal belastning av omformerstasjonene. Prosentvis belastning av aggregater i drift ved den belastningsgraden som gjelder i hver av tidsperiodene.

| Belastning av omformerstasjonene normal drift, omfattende utbygging av AT-system. Ny Oslo omformerstasjon på 6x24 MVA og HOL og ALN er nedlagt. | | | | | | | |
|---|----------------|---------------------|----|------------|----|--------|----|
| Omformerstasjon | Innsatt ytelse | Strøm i RMS-verdier | | | | | |
| | | 2-sek | | 6-minutter | | 1-time | |
| | | [kA] | % | [kA] | % | [kA] | % |
| Oslo | 6 x 24 | 8,322 | 76 | 4,921 | 45 | 4,511 | 52 |
| Asker | 3 x 10 | 1,860 | 53 | 1,123 | 45 | 0,935 | 53 |
| Lillestrøm | 3 x 12 | 1,494 | 46 | 0,899 | 35 | 0,818 | 37 |
| Jessheim | 2 x 12 | 1,395 | 64 | 0,800 | 47 | 0,600 | 41 |
| Jessnes | 3 x 12 | 1,532 | 56 | 0,959 | 35 | 0,751 | 34 |
| Fåvang | 1 x 12 | 0,387 | 43 | 0,257 | 28 | 0,208 | 29 |
| Smørbekk | 2 x 14 | 1,443 | 66 | 0,840 | 50 | 0,702 | 41 |
| Sarpsborg | 2 x 12 | 0,776 | 46 | 0,477 | 28 | 0,380 | 26 |
| Kongsvinger | 2 x 5,8 | 0,472 | 38 | 0,244 | 25 | 0,213 | 31 |
| Lunner | 4 x 5,8 | 1,410 | 56 | 0,636 | 33 | 0,480 | 34 |
| Nordagutu | 2 x 7 | 0,859 | 52 | 0,420 | 32 | 0,311 | 38 |
| Skoppum | 2 x 7 | 0,817 | 49 | 0,503 | 39 | 0,402 | 49 |
| Porsgrunn | 2 x 12 | 1,083 | 60 | 0,791 | 44 | 0,645 | 44 |



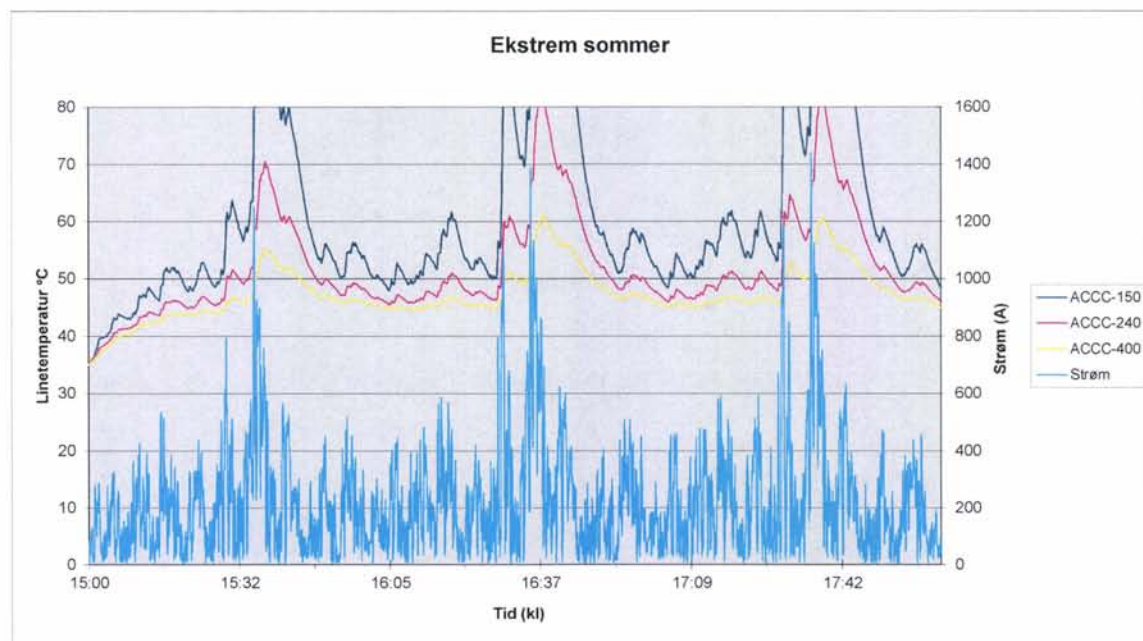
Figur 4-4 Maksimal aktiv effekt for Oslo-området oppstår klokken 16:43:21 og for 6-minuttersverdi opptrer maksimalverdien mellom klokken 17:23:23. Effektflyt for 2-sekunders (øverste tall) og 6-minuttersverdi (nederste tall) for MEAN effekt. Aktiv- og reaktiv effekt der negativt fortegn er markert med røde tall.

Tabell 4-23 Samlet energioptak i hele modellen. Energien er målt på trefasesiden inn til omformerstasjonene slik at tapene også er inkludert.

| Periode | Energi til Matestasjoner [MWh] | | |
|------------|--------------------------------|--------------|---------------|
| | Inn | Ut | Sum |
| KI 15-16 | 150,00 | -0,05 | 149,95 |
| KI 16-17 | 179,38 | -0,08 | 179,30 |
| KI 17-18 | 175,50 | -0,03 | 175,47 |
| Sum | 504,87 | -0,15 | 504,72 |

Tabell 4-24 Maksimal belastning av utvalgte avganger til kontaktledningen. Alle verdier er referert til 15 kV-nivå. For AT-system er belastningen for NL og PL ikke oppgitt i prosent fordi en ikke kjenner tillatt belastning for noen tidsperioder.

| Avgang | Nominell strømførings evne | 10 sek RMS | [%] | 1 min RMS | [%] | 6 min RMS | [%] | 10 min RMS | [%] | 1 time RMS | [%] |
|-----------------|----------------------------|------------|-----|-----------|-----|-----------|-----|------------|-----|------------|-----|
| ASK- øst Db 1 | 600 | 0,738 | 25 | 0,487 | 39 | 0,317 | 40 | 0,294 | 39 | 0,230 | 38 |
| ASK- øst Db 2 | 600 | 0,931 | 31 | 0,568 | 45 | 0,346 | 43 | 0,321 | 43 | 0,303 | 50 |
| ASK- øst Ab 1 | 1920 | 1,615 | - | 1,252 | - | 0,787 | - | 0,698 | - | 0,434 | 23 |
| ASK- øst Ab 2 | 1920 | 1,198 | - | 1,012 | - | 0,511 | - | 0,474 | - | 0,344 | 18 |
| LYS- vest Db 1 | 600 | 0,979 | 33 | 0,636 | 51 | 0,372 | 46 | 0,325 | 43 | 0,264 | 44 |
| LYS- vest Db 2 | 600 | 1,329 | 44 | 0,861 | 69 | 0,578 | 72 | 0,544 | 73 | 0,408 | 68 |
| LYS- vest Ab 1 | 1920 | 2,680 | - | 1,847 | - | 1,243 | - | 1,139 | - | 0,649 | 34 |
| LYS- vest Ab 2 | 1920 | 1,457 | - | 1,151 | - | 0,763 | - | 0,677 | - | 0,447 | 23 |
| LYS- øst Db 1 | 1920 | 1,953 | - | 1,444 | - | 1,012 | - | 0,946 | - | 0,689 | 36 |
| LYS- øst Db 2 | 1920 | 1,857 | - | 1,424 | - | 1,027 | - | 0,954 | - | 0,690 | 36 |
| LIL- vest GMB 1 | 800 | 0,679 | 17 | 0,584 | 35 | 0,382 | 36 | 0,331 | 33 | 0,239 | 30 |
| LIL- vest GMB 2 | 800 | 1,141 | 29 | 0,992 | 60 | 0,574 | 54 | 0,592 | 59 | 0,330 | 41 |
| LIL- vest Hb 1 | 1920 | 0,615 | 20 | 0,490 | 39 | 0,291 | 36 | 0,268 | 36 | 0,232 | 39 |
| LIL- vest Hb 2 | 1920 | 0,631 | 21 | 0,421 | 34 | 0,271 | 34 | 0,250 | 33 | 0,217 | 36 |
| LIL- Øst Kb | 600 | 1,454 | 48 | 0,980 | 78 | 0,585 | 73 | 0,537 | 72 | 0,422 | 70 |
| LIL-Nord GMB 1 | 800 | 1,429 | 36 | 1,345 | 81 | 0,859 | 81 | 0,732 | 73 | 0,442 | 55 |
| LIL-Nord GMB 2 | 800 | 0,667 | 17 | 0,489 | 29 | 0,300 | 28 | 0,272 | 27 | 0,187 | 23 |
| LIL-Nord Hb | 1920 | 1,413 | - | 1,013 | - | 0,684 | - | 0,604 | - | 0,441 | 74 |
| OSS- vest Db 1 | 1920 | 2,163 | - | 1,627 | - | 1,206 | - | 1,138 | - | 0,950 | 36 |
| OSS- vest Db 2 | 1920 | 3,214 | - | 2,041 | - | 1,263 | - | 1,170 | - | 0,951 | 36 |
| OSS- nord Gb | 600 | 0,358 | 12 | 0,179 | 14 | 0,088 | 11 | 0,068 | 9 | 0,052 | 9 |
| OSS- øst GMB 1 | 1920 | 1,832 | - | 1,613 | - | 1,202 | - | 1,026 | - | 0,691 | 87 |
| OSS- øst GMB 2 | 1920 | 0,924 | - | 0,770 | - | 0,547 | - | 0,518 | - | 0,390 | 49 |
| OSS- øst Hb 1 | 1920 | 1,251 | - | 0,960 | - | 0,629 | - | 0,547 | - | 0,436 | 73 |
| OSS- øst Hb 2 | 1920 | 0,812 | - | 0,622 | - | 0,405 | - | 0,384 | - | 0,337 | 56 |
| OSS- sør Øb 1 | 600 | 1,244 | 41 | 0,790 | 63 | 0,553 | 69 | 0,500 | 67 | 0,427 | 71 |
| OSS- sør Øb 2 | 600 | 1,002 | 33 | 0,794 | 64 | 0,481 | 60 | 0,442 | 59 | 0,378 | 63 |
| OSS- sør Fb 1 | 1920 | 1,460 | - | 1,377 | - | 0,927 | - | 0,866 | - | 0,600 | 31 |
| OSS- sør Fb 2 | 1920 | 0,839 | - | 0,754 | - | 0,511 | - | 0,455 | - | 0,356 | 19 |



Figur 4-5 Temperaturutviklingen for forskjellige ledertversnitt for NL og PL. Lysaker vestlig avgang for Askerbanen for høyre spor.

Tabell 4-25 Estimert belastning av autotransformatorer på utvalgte strekninger i kA referert til 15 kV-nivå. Nominell strømføringsevne er 400 A. Verdiene er beregnet som summen av strømmen inn til kl-anlegget i hver ende av matestrekningen.

| Bane eller område | 2 sek RMS | [%] | 30 sek RMS | [%] | 90 sek RMS | [%] | 1 time RMS | [%] | Konti | [%] | Antall |
|-------------------------|-----------|-----|------------|-----|------------|-----|------------|-----|-------|-----|--------|
| Oslo s | 2,540 | 5 | 1,910 | 16 | 1,608 | 40 | 1,091 | 52 | 0,995 | 62 | 4 |
| Drammensbanen OSS-LYS 1 | 4,136 | 7 | 3,526 | 24 | 2,939 | 59 | 1,669 | 64 | 1,539 | 77 | 5 |
| Drammensbanen OSS-LYS 2 | 4,483 | 7 | 4,004 | 27 | 3,234 | 65 | 1,671 | 64 | 1,535 | 77 | 5 |
| Follobanen 1 | 1,955 | 5 | 1,789 | 20 | 1,520 | 51 | 0,831 | 53 | 0,726 | 60 | 3 |
| Follobanen 2 | 1,634 | 5 | 1,403 | 16 | 1,256 | 42 | 0,640 | 41 | 0,562 | 47 | 3 |
| Askerbanen 1 | 4,303 | 9 | 3,332 | 28 | 2,989 | 75 | 1,087 | 52 | 1,013 | 63 | 4 |
| Askerbanen 2 | 2,670 | 6 | 2,158 | 18 | 1,692 | 42 | 0,796 | 38 | 0,740 | 46 | 4 |
| Gardermobanen OSS-LIL 1 | 3,038 | 6 | 2,481 | 21 | 2,071 | 52 | 1,224 | 59 | 1,146 | 72 | 4 |
| Gardermobanen OSS-LIL 2 | 2,039 | 4 | 1,661 | 14 | 1,404 | 35 | 0,832 | 40 | 0,781 | 49 | 4 |
| Hovedbanen OSS-LIL 1 | 1,355 | 6 | 1,058 | 18 | 0,908 | 45 | 0,595 | 57 | 0,549 | 69 | 2 |
| Hovedbanen OSS-LIL 2 | 1,276 | 5 | 1,043 | 17 | 0,833 | 42 | 0,558 | 54 | 0,526 | 66 | 2 |

4.3.6 Simulering med omformerstasjon i Oslo på 6 x 24 MVA nedleggelse av Holmlia og Alnabru og utfall av ett aggregat i Oslo og ett i Lillestrøm (Alternativ AT3-V1-O-23)

Også her undersøkes samtidig utfall av ett aggregat i Oslo og Lillestrøm.

4.3.6.1 Forutsetninger for simuleringen

Statikken for omformerne holdes uforandret fra tilfellet med normal drift, se avsnitt 4.3.5. Dermed blir innstillingene:

Spenningsregulatorer:

verdiene for spenningsregulatorene som en fant optimale i de foregående undersøkelsene benyttes:

- Alle omformerstasjoner gis -12 % statikk
- Unntatt Nordagutu som gis -4 %.

Reaktans i statiske omformerstasjoner X_q :

- Oslo omformerstasjon 0,51 pu.
- Lillestrøm og Smørbekk 0,85 pu.
- Jessheim 1,02 pu.
- De øvrige statiske omformerne 0,68 pu.

4.3.6.2 Resultater for simuleringen

Tabell 4-22 viser at alle omformerstasjonene blir belastet helt akseptabelt med gode marginer, unntatt Oslo omformerstasjon som belastes litt over grensen. En liten justering av X_q vil være tilstrekkelig for å få den til å avvise mer last til nabostasjonene. Sannsynligvis vil en verdi på 1,0 pu være tilstrekkelig.

Tabell 4-23 viser belastningen på utvalgte avganger som forventes å bli mye belastet ved dette feiltilfellet. Spesielt er belastningen for Gardermobanens ene nordlige avgang fra Lillestrøm stor, men likevel innenfor ønsket margin.

Tabell 4-22 Maksimal belastning av omformerstasjonene. Prosentvis belastning av aggregater i drift ved den belastningsgraden som gjelder i hver av tidsperiodene.

| Belastning av omformerstasjonene unormal drift, omfattende utbygging av AT-system. Ny Oslo omformerstasjon på 6x24 MVA og HOL og ALN er nedlagt. Utfall av ett aggregat i Oslo og Lillestrøm. | | | | | | | |
|---|-------------------------|---------------------|----|------------|----|--------|----|
| Omformerstasjon | Innsatt ytelse [MVA] | Strøm i RMS-verdier | | | | | |
| | | 2-sek | | 6-minutter | | 1-time | |
| | | [kA] | % | [kA] | % | [kA] | % |
| Oslo | 5 x 24 | 8,009 | 88 | 4,693 | 52 | 4,303 | 59 |
| Asker | 3 x 10 | 2,001 | 57 | 1,210 | 49 | 1,016 | 58 |
| Lillestrøm | 2 x 12 | 1,178 | 54 | 0,703 | 41 | 0,637 | 44 |
| Jessheim | 2 x 12 | 1,440 | 66 | 0,848 | 50 | 0,647 | 44 |
| Jessnes | 3 x 12 | 1,586 | 58 | 1,005 | 37 | 0,796 | 37 |
| Fåvang | 1 x 12 | 0,401 | 44 | 0,270 | 30 | 0,221 | 30 |
| Smørbekk | 2 x 14 | 1,544 | 71 | 0,907 | 54 | 0,763 | 45 |
| Sarpsborg | 2 x 12 | 0,813 | 48 | 0,508 | 30 | 0,407 | 28 |
| Kongsvinger | 2 x 5,8 | 0,512 | 41 | 0,269 | 28 | 0,236 | 34 |
| Lunner | 4 x 5,8 | 1,404 | 56 | 0,643 | 33 | 0,487 | 35 |
| Nordagutu | 2 x 7 | 0,854 | 52 | 0,416 | 32 | 0,322 | 39 |
| Skoppum | 2 x 7 | 0,837 | 51 | 0,518 | 40 | 0,418 | 51 |
| Porsgrunn | 2 x 12 | 1,116 | 61 | 0,820 | 45 | 0,674 | 46 |

Tabell 4-23 Maksimal belastning av utvalgte avganger til kontaktledningen. Alle verdier er referert til 15 kV-nivå. For AT-system er belastningen for NL og PL ikke oppgitt i prosent fordi en ikke kjenner tillatt belastning for noen tidsperioder.

| Avgang | Nominell strømførings evne | 10 sek RMS | [%] | 1 min RMS | [%] | 6 min RMS | [%] | 10 min RMS | [%] | 1 time RMS | [%] |
|----------------|----------------------------|------------|-----|-----------|-----|-----------|-----|------------|-----|------------|-----|
| OSS-Nord GMB 1 | 1920 | 1,848 | - | 1,634 | - | 1,217 | - | 1,041 | - | 0,704 | - |
| OSS-Nord GMB 2 | 1920 | 0,941 | - | 0,787 | - | 0,563 | - | 0,533 | - | 0,403 | - |
| OSS-Nord Hb 1 | 1920 | 1,269 | - | 0,972 | - | 0,640 | - | 0,557 | - | 0,446 | - |
| OSS-Nord Hb 2 | 1920 | 0,831 | - | 0,636 | - | 0,415 | - | 0,393 | - | 0,347 | - |
| LIL-Nord GMB 1 | 800 | 1,416 | 35 | 1,331 | 80 | 0,846 | 80 | 0,719 | 72 | 0,430 | 54 |
| LIL-Nord GMB 2 | 800 | 0,686 | 17 | 0,501 | 30 | 0,298 | 28 | 0,267 | 27 | 0,183 | 23 |

4.3.7 Simulering med omformerstasjon i Oslo på 5 x 24 MVA nedleggelse av Holmlia og Alnabru og utfall av ett aggregat i Oslo og ett i Lillestrøm (Alternativ AT3-V1-O-23-R)

Selv ved utfall av ett aggregat i Oslo og Lillestrøm så en i avsnitt 4.3.6 at de andre omformerstasjonene bare ble moderat belastet. Det kan være interessant å se om det er mulig å sette inn bare fem aggregater i Oslo. Gjøres dette må reaktansen i Oslo omformerstasjon justeres opp. Mest kritisk tilfelle er utfall av ett aggregat i Oslo og Lillestrøm, og her simuleres dette.

Denne simuleringen er med tilknytningen mellom Gjøvikbanen og Oslo koblingshus inne.

4.3.7.1 Forutsetninger for simuleringen

Statikken for omformerne holdes uforandret fra tilfellet med normal drift, se avsnitt 4.3.5, men reaktansen for Oslo justeres opp. Dermed blir innstillingene:

Spenningsregulatorer:

verdiene for spenningsregulatorene som en fant optimale i de foregående undersøkelsene benyttes:

- o Alle omformerstasjoner gis -12 % statikk
- o Unntatt Nordagutu som gis -4 %.

Reaktans i statiske omformerstasjoner X_q :

- o Oslo omformerstasjon 1,02 pu.
- o Lillestrøm og Smørbekk 0,85 pu.
- o Jessheim 1,02 pu.
- o De øvrige statiske omformerne 0,68 pu.

4.3.7.2 Resultater for simuleringen

I Tabell 4-24 nedenfor ser en at belastningen av Oslo med bare fire aggregater i drift er høy, men akseptabel. Det samme gjelder for de øvrige omformerne. Av dette ser en at det er tilstrekkelig om det settes inn fem aggregater i Oslo.

Tabell 4-24 Maksimal belastning av omformerstasjonene. Prosentvis belastning av aggregater i drift ved den belastningsgraden som gjelder i hver av tidsperiodene.

| Belastning av omformerstasjonene unormal drift, omfattende utbygging av AT-system. Ny Oslo omformerstasjon på 5 x 24 MVA og HOL og ALN er nedlagt. Utfall av ett aggregat i Oslo og Lillestrøm. Rette feil der Gjøvikbanen ikke var koblet mot Oslo koblingshus | | | | | | | |
|---|----------------|---------------------|------|------------|------|--------|------|
| Omformerstasjon | Innsatt ytelse | Strøm i RMS-verdier | | | | | |
| | | 2-sek | | 6-minutter | | 1-time | |
| | | [MVA] | [kA] | % | [kA] | % | [kA] |
| Oslo | 4 x 24 | 5,848 | 80 | 3,256 | 45 | 2,948 | 51 |
| Asker | 3 x 10 | 2,405 | 68 | 1,465 | 59 | 1,249 | 71 |
| Lillestrøm | 2 x 12 | 1,551 | 71 | 0,927 | 55 | 0,837 | 58 |
| Jessheim | 2 x 12 | 1,601 | 73 | 0,961 | 57 | 0,757 | 52 |
| Jessnes | 3 x 12 | 1,720 | 63 | 1,113 | 41 | 0,904 | 41 |
| Fåvang | 1 x 12 | 0,442 | 49 | 0,301 | 33 | 0,251 | 35 |
| Smørbekk | 2 x 14 | 1,859 | 85 | 1,104 | 65 | 0,934 | 55 |
| Sarpsborg | 2 x 12 | 0,939 | 55 | 0,594 | 35 | 0,486 | 33 |
| Kongsvinger | 2 x 5,8 | 0,588 | 47 | 0,323 | 33 | 0,287 | 41 |
| Lunner | 4 x 5,8 | 1,123 | 45 | 0,676 | 35 | 0,592 | 42 |
| Nordagutu | 2 x 7 | 0,842 | 51 | 0,437 | 34 | 0,359 | 44 |
| Skoppum | 2 x 7 | 0,905 | 55 | 0,568 | 44 | 0,468 | 57 |
| Porsgrunn | 2 x 12 | 1,251 | 69 | 0,907 | 50 | 0,758 | 52 |

4.3.8 Simulering med omformerstasjon i Oslo på 6 x 24 MVA nedleggelse av Holmlia og Alnabru og utfall av ett aggregat i Lillestrøm og Jessheim (Alternativ AT3-V2-O-23)

Denne simuleringen er utført på nytt på grunn av en feil med tilknytningen mellom Gjøvikbanen og Oslo koblingshus. Resultatet av simuleringen med denne forbindelsen inne er vist i avsnitt 8.1.38.1.2 i appendiks 2. Feilen har ikke stor betydning annet enn for belastningen av Lunner omformerstasjon.

4.3.8.1 Forutsetninger for simuleringen

Statikken for omformerne holdes uforandret. Dermed blir innstillingene:

Spenningsregulatorer:

verdiene for spenningsregulatorene som en fant optimale i de foregående undersøkelsene benyttes:

- Alle omformerstasjoner gis -12 % statikk
- Unntatt Nordagutu som gis -4 %.

Reaktans i statiske omformerstasjoner X_q :

- Oslo omformerstasjon 0,51 pu.
- Lillestrøm og Smørbekk 0,85 pu.
- Jessheim 1,02 pu.
- De øvrige statiske omformerne 0,68 pu.

4.3.8.2 Resultater for simuleringen

Tabell 4-25 viser belastningen for utvalgte omformerstasjoner når ett aggregat i Lillestrøm og Jessheim har falt ut. Ingen av stasjonene blir belastet for høyt og Tabell 4-26 viser at heller ikke omformeravgangene mot kontaktledningen på Gardermobanen med strømføringsevne på 800 A ser ut til å bli overbelastet.

Tabell 4-25 Maksimal belastning av omformerstasjonene. Prosentvis belastning av aggregater i drift ved den belastningsgraden som gjelder i hver av tidsperiodene.

| Belastning av omformerstasjonene normal drift, omfattende utbygging av AT-system. Ny Oslo omformerstasjon på 6x24 MVA og HOL og ALN er nedlagt. Utfall av ett aggregat i Lillestrøm og Jessheim. | | | | | | | |
|--|----------------|---------------------|------|------------|------|--------|------|
| Omformerstasjon | Innsatt ytelse | Strøm i RMS-verdier | | | | | |
| | | 2-sek | | 6-minutter | | 1-time | |
| | | [MVA] | [kA] | % | [kA] | % | [kA] |
| Oslo | 6 x 24 | 8,795 | 81 | 5,178 | 57 | 4,752 | 65 |
| Asker | 3 x 10 | 1,911 | 54 | 1,153 | 47 | 0,964 | 55 |
| Lillestrøm | 2 x 12 | 1,177 | 54 | 0,685 | 40 | 0,618 | 43 |
| Jessheim | 1 x 12 | 0,907 | 83 | 0,525 | 62 | 0,389 | 54 |
| Kongsvinger | 2 x 5,8 | 0,509 | 41 | 0,262 | 27 | 0,228 | 33 |

Tabell 4-26 Maksimal belastning av utvalgte avganger til kontaktledningen. Alle verdier er referert til 15 kV-nivå. For AT-system er belastningen for NL og PL ikke oppgitt i prosent fordi en ikke kjenner tillatt belastning for noen tidsperioder.

| Avgang | Nominell strømføringssevne | 10 sek RMS | [%] | 1 min RMS | [%] | 6 min RMS | [%] | 10 min RMS | [%] | 1 time RMS | [%] |
|----------------|----------------------------|------------|-----|-----------|-----|-----------|-----|------------|-----|------------|-----|
| LIL-Nord GMB 1 | 800 | 1,458 | 37 | 1,369 | 82 | 0,886 | 83 | 0,760 | 76 | 0,467 | 58 |
| LIL-Nord GMB 2 | 800 | 0,649 | 16 | 0,479 | 29 | 0,308 | 29 | 0,288 | 29 | 0,201 | 25 |

4.3.9 Simulering med omformerstasjon i Oslo på 6 x 24 MVA nedleggelse av Holmlia og Alnabru og utfall av hele Oslo (Alternativ AT3-V3-O-23)

Utfall av hele Oslo omformerstasjon er usannsynlig, men kan ha svært store konsekvenser. Denne simuleringen vil vise konsekvensen av dette. For øvrig presiseres det at utfall av hele omformerstasjoner i Oslo-området langt overstiger kravene til margin i teknisk regelverk.

4.3.9.1 Forutsetninger for simuleringen

Spenningsregulatorer:

verdiene for spenningsregulatorene som en fant optimale i de foregående undersøkelsene benyttes:

- o Alle omformerstasjoner gis -12 % statikk
- o Unntatt Nordagutu som gis -4 %.

Reaktans i statiske omformerstasjoner X_q :

- o Oslo omformerstasjon 0,51 pu.
- o Lillestrøm og Smørbekk 0,85 pu.
- o Jessheim 1,02 pu.
- o De øvrige statiske omformerne 0,68 pu.

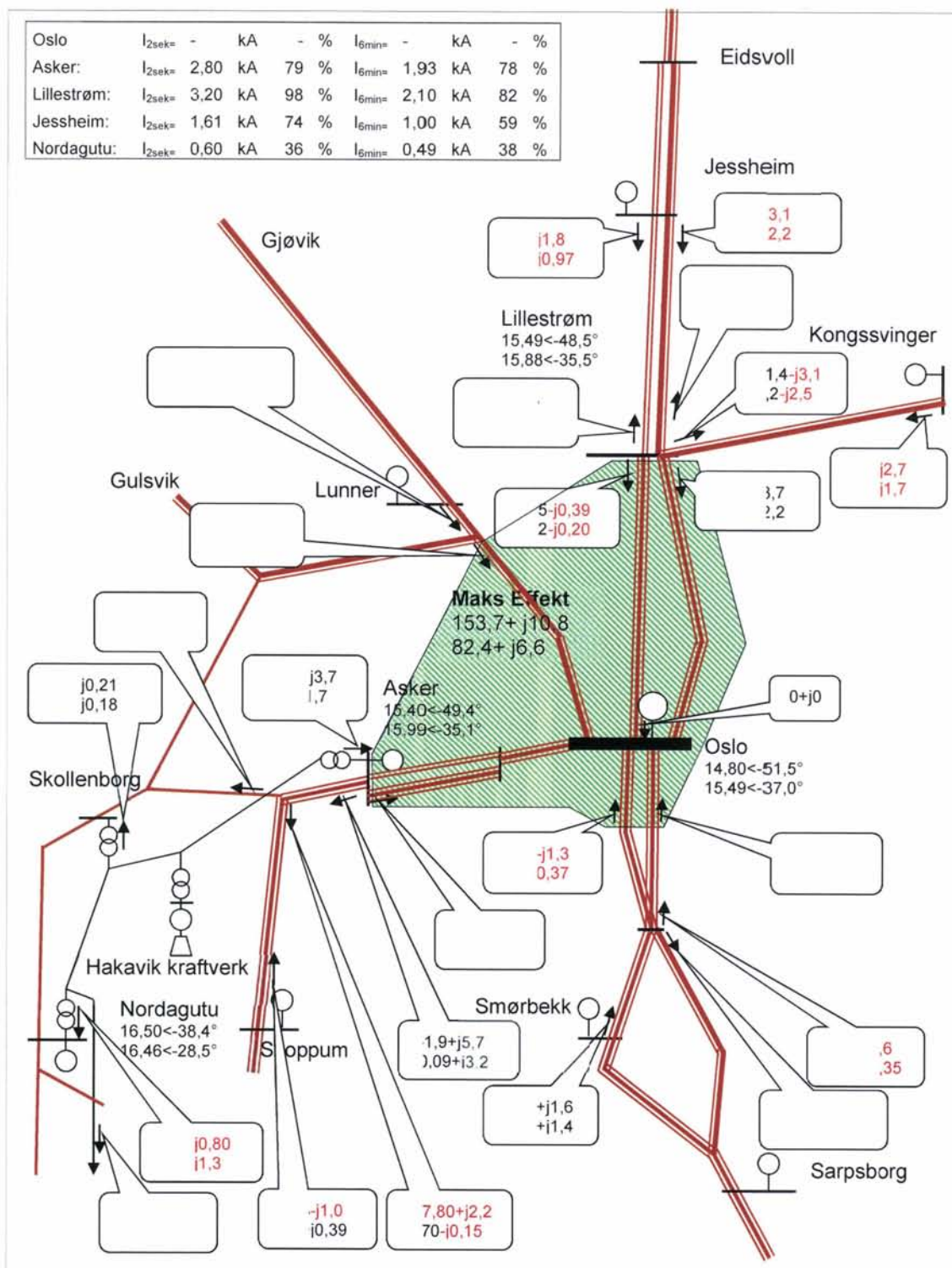
4.3.9.2 Resultater for simuleringen

Nedenfor viser Tabell 4-27 at den maksimale belastningen av omformerstasjonene blir svært stor. Spesielt er det problematisk at Asker belastes svært mye både for korte verdier og langvarige. Asker vil utvilsomt falle ut og spenningen for togene vil reduseres tilsvarende. Figur 4-6 viser at store effektmengder dras fra periferien og inn mot Oslo, men at til tross for lavere spenning enn normalt er det maksimale effektbehovet i Oslo bare noe lavere enn i normal drift. I det øyeblikket at belastningen er på sitt største er Lillestrøm belastet svært høyt. En kan legge merke til at ikke bare de omformerstasjonene som ligger rett ved ytterkantene av Oslo-området bidrar mye, men at også nabostasjonene til disse igjen leverer en hel del effekt.

Tabell 4-28 viser spenningen for togene og som en ser er spenningen forbausende lite påvirket av den alvorlige feilen i banestrømforsyningen. Dette betyr at lokomotivførerne knapt vil merke feilen og endre kjørestilen sin. Skal en unngå at hele Asker omformerstasjon faller ut må toglederne få beskjed om at noe alvorlig har skjedd og de må igjen varsle lokomotivførerne om å kjøre forsiktig. I tillegg bør Asker omformerstasjon sine aggregater utstyres med en spenningsregulator som reduserer magnetiseringen når belastningen blir stor, dette er omtalt i [1].

Tabell 4-27 Maksimal belastning av omformerstasjonene. Prosentvis belastning av aggregater i drift ved den belastningsgraden som gjelder i hver av tidsperiodene.

| Belastning av omformerstasjonene unormal drift, omfattende utbygging av AT-system. Ny Oslo omformerstasjon på 6x24 MVA. HOL og ALN er nedlagt. Utfall av hele Oslo. | | | | | | | |
|---|-------------------------|---------------------|-----|------------|----|--------|-----|
| Omformerstasjon | Innsatt ytelse [MVA] | Strøm i RMS-verdier | | | | | |
| | | 2-sek | | 6-minutter | | 1-time | |
| | | [kA] | % | [kA] | % | [kA] | % |
| Oslo | 0 x 24 | - | - | - | - | - | - |
| Asker | 3 x 10 | 3,920 | 111 | 2,177 | 88 | 1,873 | 106 |
| Lillestrøm | 3 x 12 | 3,364 | 103 | 2,309 | 91 | 2,063 | 95 |
| Jessheim | 2 x 12 | 2,228 | 102 | 1,261 | 74 | 1,033 | 71 |
| Jessnes | 3 x 12 | 1,963 | 72 | 1,303 | 48 | 1,084 | 50 |
| Fåvang | 1 x 12 | 0,519 | 57 | 0,350 | 39 | 0,299 | 41 |
| Smørbekk | 2 x 14 | 2,232 | 102 | 1,561 | 92 | 1,378 | 81 |
| Sarpsborg | 2 x 12 | 1,603 | 95 | 0,865 | 51 | 0,714 | 49 |
| Kongsvinger | 2 x 5,8 | 0,828 | 66 | 0,437 | 45 | 0,388 | 56 |
| Lunner | 4 x 5,8 | 1,455 | 58 | 0,705 | 37 | 0,544 | 39 |
| Nordagutu | 2 x 7 | 0,901 | 55 | 0,521 | 40 | 0,439 | 53 |
| Skoppum | 2 x 7 | 1,121 | 68 | 0,699 | 54 | 0,593 | 72 |
| Porsgrunn | 2 x 12 | 1,479 | 81 | 1,074 | 59 | 0,912 | 63 |



Figur 4-6 Maksimal aktiv effekt for Oslo-området oppstår klokken 16:43:18 og for 6-minuttersverdi opptrer maksimalverdien mellom klokken 17:22:07. Effektflyt for 2-sekunders (øverste tall) og 6-minuttersverdi (nederste tall) for MEAN effekt. Aktiv- og reaktiv effekt der negativt fortegn er markert med røde tall.

Tabell 4-28 Laveste oppstående spenning for togene og omtrentlig angivelse av banestrekning. Kun tog som får spenninger under 13,0 kV er undersøkt.

| Tog | Laveste spenning for togene [kV] | | |
|---------------------|----------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| | Momentan | 2-minutters RMS-verdi | Sted |
| T_1073 Tp74_2 | 12,88 | 14,84 | Spikkestad - Asker |
| T_67 Tp73_2 | 12,58 | 14,61 | Drammen - Hokksund |
| T_64 Tp73_2 | 12,12 | 14,54 | Drammen - Hokksund |
| T_79 Tp73_2 | 12,90 | 14,40 | Nordagutu - Neslandsvatn |
| T_5804 BR185-2_1200 | 12,89 | 14,67 | Nordagutu - Kongsberg |

4.3.10 Simulering med omformerstasjon i Åsland på 4 x 24 MVA (Alternativ AT3-N-Å-1-R)

4.3.10.1 Forutsetninger for simuleringen

Det forutsettes at det beste vil være å overføre effekt på en høyspentoverføring på 110 kV til Oslo koblingshus. Transformatorene for denne forutsettes å være så store at de kan overføre all effekten fra Åsland i tilfelle utfall av overføringene i tunnelen til Follobanen. I tillegg mater omformerstasjonen direkte til Follobanen på Åsland. Statikken for omformerne holdes uforandret fra tilfellet med 4x24 MVA i Oslo omformerstasjon, se 4.3.2. Dermed blir innstillingene:

Spenningsregulatorer:

verdiene for spenningsregulatorene som en fant optimale i de foregående undersøkelsene benyttes:

- Alle omformerstasjoner gis -12 % statikk
- Unntatt Nordagutu som gis -4 %.

Reaktans i statiske omformerstasjoner X_q :

- Åsland omformerstasjon 0,51 pu.
- Lillestrøm og Smørbekk 0,85 pu.
- Jessheim 1,02 pu.
- De øvrige statiske omformerne 0,68 pu.

Fjernledning Oslo – Åsland:

Kabelanlegg delvis i kabelkanal og hengekabel antas å være eneste mulighet, men på områder innenfor Oslo S kan nok også være luftledninger. Det forutsettes at to grupper av kabler (en gruppe med en pr faseleder) pr tunneløp av type TSLE 400 mm² vil være passende. Med forlegning med en kabeldiameters mellomrom beregnes $Z = 0,078 + j0,156 \Omega/\text{km}$, der data er basert på [4]. Mer nøyaktig beregning av disse verdiene bør gjøres om dette blir et aktuelt valg.

Transformatorer for fjernledningen:

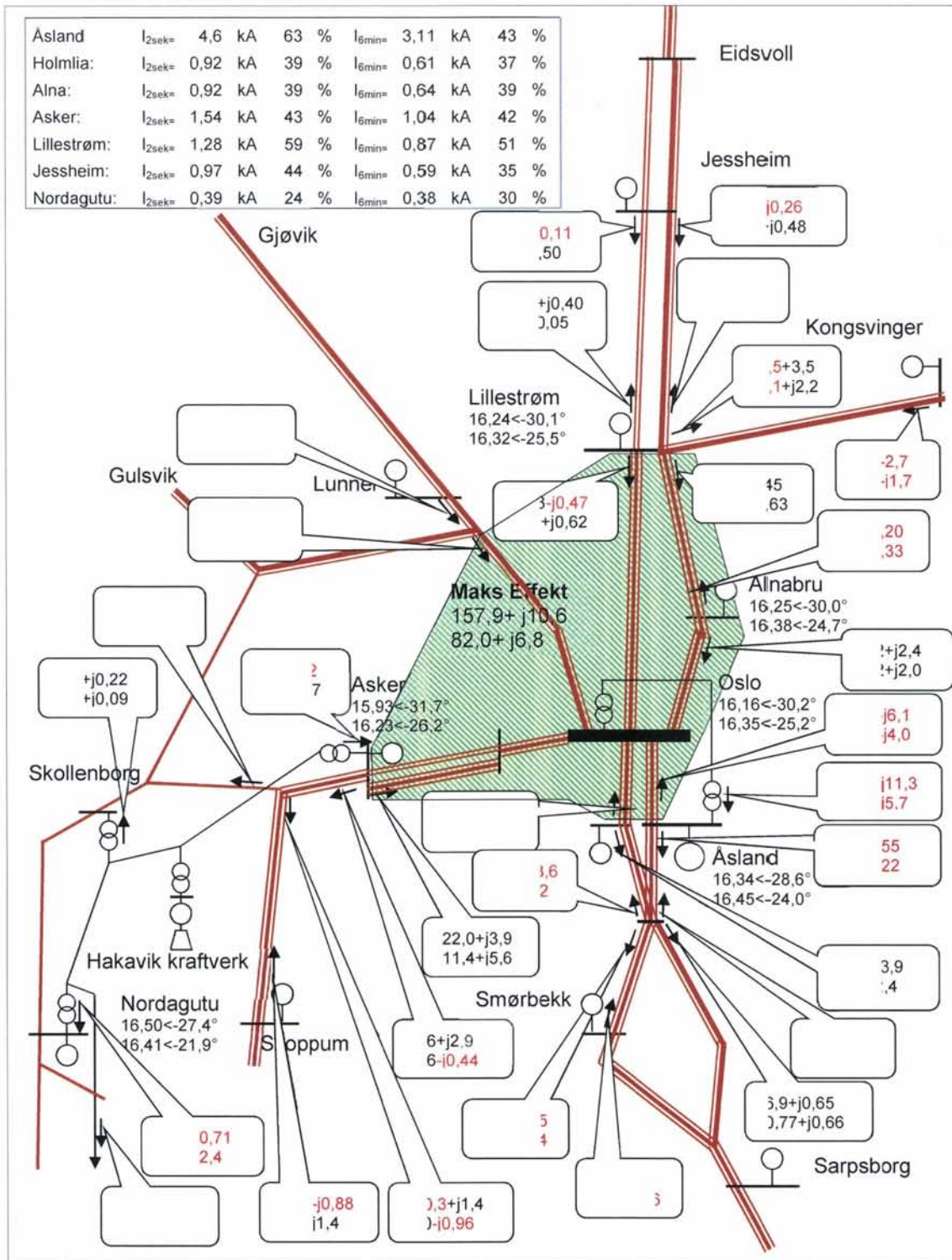
Det forutsettes transformatorer på Oslo og Åsland med lavest mulig reaktans. Det forutsettes at fire parallellkoblede enheter med følgende merkedata vil være passende: $S = 40,0 \text{ MVA}$, $U = 110/16,5 \text{ kV}$, $e_r = 0,4$ og $e_x = 4 \%$.

4.3.10.2 Resultater for simuleringen

Tabell 4-29 viser den maksimale belastningen som oppstår for alle omformerstasjonene når samme ytelse som en fant for Oslo legges ut til Åsland. Kartet som viser effektflyten i øyeblikket med høyest belastning, se Figur 4-7, viser at en stor del av effekten fra Åsland omformerstasjon går over fjernledningen. Energiforbruket er vist i Tabell 4-30 og forbruket er nå nesten det samme som når omformerstasjonen i Oslo var på 4 x 24 MVA.

Tabell 4-29 Maksimal belastning av omformerstasjonene. Prosentvis belastning av aggregater i drift ved den belastningsgraden som gjelder i hver av tidsperiodene.

| Belastning av omformerstasjonene normal drift, omfattende utbygging av AT-system. Ny Åsland omformerstasjon på 4x24 MVA. Fjernledning mellom OSS-ASL. | | | | | | | |
|---|-------------------------|---------------------|----|------------|----|--------|----|
| Omformerstasjon | Innsatt ytelse [MVA] | Strøm i RMS-verdier | | | | | |
| | | 2-sek | | 6-minutter | | 1-time | |
| | | [kA] | % | [kA] | % | [kA] | % |
| Åsland tr | 4x40 | 3,009 | 28 | 1,830 | 17 | 1,598 | 15 |
| Åsland | 4 x 24 | 5,671 | 78 | 3,294 | 45 | 2,976 | 51 |
| Holmlia | 2 x 10 | 1,105 | 47 | 0,649 | 39 | 0,590 | 50 |
| Alnabru | 2 x 10 | 1,063 | 45 | 0,657 | 40 | 0,608 | 52 |
| Asker | 3 x 10 | 1,987 | 56 | 1,173 | 47 | 0,972 | 55 |
| Lillestrøm | 3 x 12 | 1,599 | 49 | 0,936 | 37 | 0,847 | 39 |
| Jessheim | 2 x 12 | 1,404 | 64 | 0,812 | 48 | 0,611 | 42 |
| Jessnes | 3 x 12 | 1,546 | 57 | 0,967 | 35 | 0,758 | 35 |
| Fåvang | 1 x 12 | 0,388 | 43 | 0,260 | 29 | 0,210 | 29 |
| Smørbekk | 2 x 14 | 1,337 | 61 | 0,782 | 46 | 0,661 | 39 |
| Sarpsborg | 2 x 12 | 0,735 | 43 | 0,451 | 27 | 0,360 | 25 |
| Kongsvinger | 2 x 5,8 | 0,477 | 38 | 0,249 | 26 | 0,217 | 31 |
| Lunner | 4 x 5,8 | 0,933 | 37 | 0,543 | 28 | 0,462 | 33 |
| Nordagutu | 2 x 7 | 0,858 | 52 | 0,409 | 32 | 0,298 | 36 |
| Skoppum | 2 x 7 | 0,786 | 48 | 0,471 | 36 | 0,372 | 45 |
| Porsgrunn | 2 x 12 | 0,912 | 50 | 0,624 | 34 | 0,503 | 35 |



Figur 4-7 Maksimal aktiv effekt for Oslo-området oppstår klokken 16:43:21 og for 6-minuttersverdi opptrer maksimalverdien mellom klokken 17:23:23. Effektflyt for 2-sekunders (øverste tall) og 6-minuttersverdi (nederste tall) for MEAN effekt. Aktiv- og reaktiv effekt der negativt fortegn er markert med røde tall.

Tabell 4-30 Samlet energioptak i hele modellen. Energien er målt på trefasesiden inn til omformerstasjonene slik at tapene også er inkludert.

| Periode | Energi til Matestasjoner [MWh] | | |
|------------|--------------------------------|--------------|---------------|
| | Inn | Ut | Sum |
| Kl 15-16 | 150,10 | -0,04 | 150,05 |
| Kl 16-17 | 179,58 | -0,07 | 179,51 |
| Kl 17-18 | 175,69 | -0,02 | 175,67 |
| Sum | 505,37 | -0,14 | 505,23 |

4.3.11 Simulering med omformerstasjon i Åsland på 5 x 24 MVA og nedleggelse av Holmlia og Alnabru (Alternativ AT3-N-Å-23-R)

4.3.11.1 Forutsetninger for simuleringen

Statikken for omformerne holdes uforandret. Dermed blir innstillingene:

Spenningsregulatorer:

verdiene for spenningsregulatorene som en fant optimale i de foregående undersøkelsene benyttes:

- Alle omformerstasjoner gis -12 % statikk
- Unntatt Nordagutu som gis -4 %.

Reaktans i statiske omformerstasjoner X_q :

- Åsland omformerstasjon 0,68 pu.
- Lillestrøm og Smørbekk 0,85 pu.
- Jessheim 1,02 pu.
- De øvrige statiske omformerne 0,68 pu.

Fjernledning Oslo – Åsland:

Det forutsettes at selv med en omformerenhet ekstra vil samme kabler som benyttet i avsnitt 4.3.10, altså to grupper av kabler (en gruppe med en pr faseleder) pr tunneløp av type TSLE 400 mm² vil være passende.

Transformatorer for fjernledningen:

Det forutsettes transformatorer samme transformatorer som benyttet i avsnitt 4.3.10, altså fire enheter på 40 MVA.

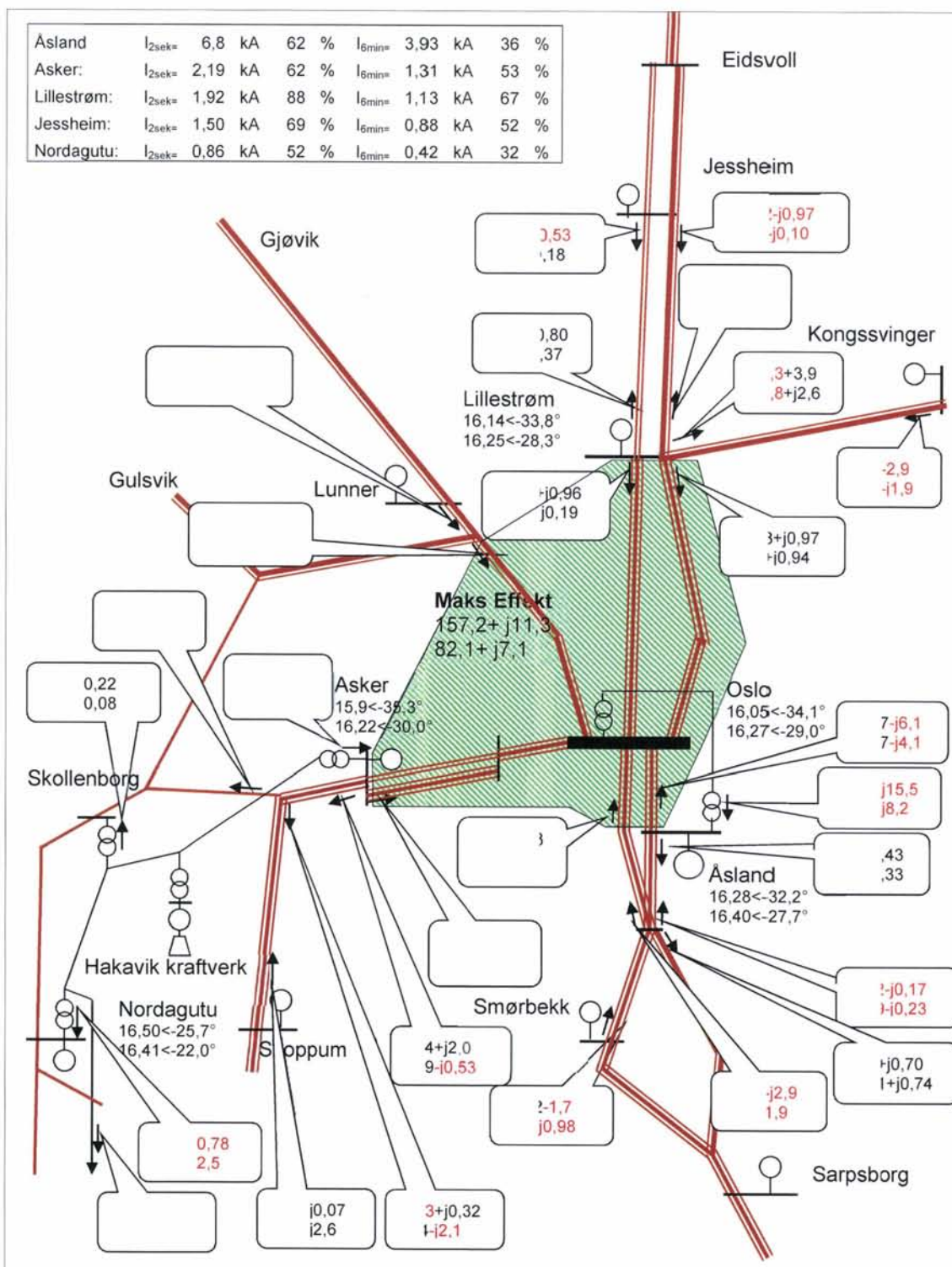
4.3.11.2 Resultater for simuleringen

Nedenfor viser Tabell 4-31 maksimal belastningen for omformerstasjonene med Åsland omformerstasjon på 5x24 MVA. En sammenligning med resultatene fra simuleringen med 6 x 24 MVA i Oslo er relevant, se 4.3.5, og en ser at Åsland nå er belastet noe lavere enn det Oslo ble. Figur 4-8 viser at effektfordelingen med størsteparten av effektproduksjonen i Åsland omformerstasjon. Sammenlignet med 4.3.5 er ikke forskjellene så store, men mye av effekten inn mot Oslo overføres på kontaktledningen inn mot Oslo istedenfor på fjernledningen. En oppdeling av samleskinnen på Åsland ville nok kunne ha avhjulpet dette. En kunne latt to aggregater levert effekt ut mot Follobanen direkte og latt de resterende tre aggregatene kun mate direkte mot Oslo.

Tabell 4-32 viser at energiforbruket er nesten 1 MWh høyere i de tre timene fra 15:00 til 18:00 enn med Oslo omformerstasjon, og det er nok ikke helt uventet at tapene i overføringen øker noe med dette alternativet.

Tabell 4-31 Maksimal belastning av omformerstasjonene. Prosentvis belastning av aggregater i drift ved den belastningsgraden som gjelder i hver av tidsperiodene.

| Belastning av omformerstasjonene normal drift, omfattende utbygging av AT-system. Ny Åsland omformerstasjon på 5x24 MVA og HOL og ALN er nedlagt. Fjernledning mellom OSS og ASL | | | | | | | |
|--|----------------|---------------------|----|------------|----|--------|----|
| Omformerstasjon | Innsatt ytelse | Strøm i RMS-verdier | | | | | |
| | | 2-sek | | 6-minutter | | 1-time | |
| | | [kA] | % | [kA] | % | [kA] | % |
| Åsland tr | 4x40 | 3,511 | 33 | 2,166 | 20 | 1,921 | 18 |
| Åsland | 5 x 24 | 6,776 | 75 | 3,931 | 43 | 3,562 | 49 |
| Asker | 3 x 10 | 2,188 | 62 | 1,313 | 53 | 1,105 | 63 |
| Lillestrøm | 3 x 12 | 1,920 | 59 | 1,135 | 45 | 1,025 | 47 |
| Jessheim | 2 x 12 | 1,496 | 69 | 0,876 | 52 | 0,674 | 46 |
| Jessnes | 3 x 12 | 1,619 | 59 | 1,027 | 38 | 0,818 | 38 |
| Fåvang | 1 x 12 | 0,410 | 45 | 0,277 | 30 | 0,227 | 31 |
| Smørbekk | 2 x 14 | 1,512 | 69 | 0,888 | 52 | 0,756 | 45 |
| Sarpsborg | 2 x 12 | 0,805 | 47 | 0,500 | 29 | 0,404 | 28 |
| Kongsvinger | 2 x 5,8 | 0,523 | 42 | 0,279 | 29 | 0,246 | 35 |
| Lunner | 4 x 5,8 | 1,018 | 41 | 0,600 | 31 | 0,517 | 37 |
| Nordagutu | 2 x 7 | 0,856 | 52 | 0,417 | 32 | 0,334 | 41 |
| Skoppum | 2 x 7 | 0,866 | 52 | 0,539 | 42 | 0,437 | 53 |
| Porsgrunn | 2 x 12 | 1,161 | 64 | 0,846 | 47 | 0,699 | 48 |



Figur 4-8 Maksimal aktiv effekt for Oslo-området oppstår klokken 15:43:21 og for 6-minuttersverdi opptrer maksimalverdien mellom klokken 17:23:22. Effektflyt for 2-sekunders (øverste tall) og 6-minuttersverdi (nederste tall) for MEAN effekt. Aktiv- og reaktiv effekt der negativt fortegn er markert med røde tall.

Tabell 4-32 Samlet energiopptak i hele modellen. Energien er målt på trefasesiden inn til omformerstasjonene slik at tapene også er inkludert.

| Periode | Energi til Matestasjoner [MWh] | | |
|------------|--------------------------------|--------------|---------------|
| | Inn | Ut | Sum |
| KI 15-16 | 150,10 | -0,04 | 150,05 |
| KI 16-17 | 179,58 | -0,07 | 179,51 |
| KI 17-18 | 175,69 | -0,02 | 175,67 |
| Sum | 505,37 | -0,14 | 505,23 |

4.3.12 Simulering med omformerstasjon i Åsland på 5 x 24 MVA nedleggelse av Holmlia og Alnabru og utfall av ett aggregat i Åsland og Lillestrøm (Alternativ AT3-V1-Å-23)

4.3.12.1 Forutsetninger for simuleringen

Statikken for omformerne holdes uforandret. Dermed blir innstillingene:

Spenningsregulatorer:

verdiene for spenningsregulatorene som en fant optimale i de foregående undersøkelsene benyttes:

- Alle omformerstasjoner gis -12 % statikk
- Unntatt Nordagutu som gis -4 %.

Reaktans i statiske omformerstasjoner X_q :

- Åsland omformerstasjon 0,85 pu.
- Lillestrøm og Smørbekk 0,85 pu.
- Jessheim 1,02 pu.
- De øvrige statiske omformerne 0,68 pu.

4.3.12.2 Resultater for simuleringen

Med utfall av ett aggregat i Åsland og Lillestrøm viser Tabell 4-33 at belastningen for de gjenværende aggregatene blir helt akseptable. Utfall av to andre aggregater i to forskjellige andre omformerstasjoner forutsettes å kunne aksepteres uten problemer.

Tabell 4-33 Maksimal belastning av omformerstasjonene. Prosentvis belastning av aggregater i drift ved den belastningsgraden som gjelder i hver av tidsperiodene.

| Belastning av omformerstasjonene unormal drift, omfattende utbygging av AT-system. Ny Åsland omformerstasjon på 5x24 MVA og HOL og ALN er nedlagt. Utfall av ett aggregat i Oslo og Lillestrøm. Fjernledning OSS og ASL | | | | | | | |
|---|----------------|---------------------|----|------------|----|--------|----|
| Omformerstasjon | Innsatt ytelse | Strøm i RMS-verdier | | | | | |
| | | 2-sek | | 6-minutter | | 1-time | |
| | | [kA] | % | [kA] | % | [kA] | % |
| Åsland tr | 4x40 | 3,152 | 30 | 1,888 | 18 | 1,667 | 16 |
| Åsland | 4 x 24 | 5,950 | 82 | 3,380 | 46 | 3,054 | 52 |
| Asker | 3 x 10 | 2,434 | 69 | 1,469 | 59 | 1,249 | 71 |
| Lillestrøm | 2 x 12 | 1,613 | 74 | 0,949 | 56 | 0,853 | 59 |
| Jessheim | 2 x 12 | 1,613 | 74 | 0,974 | 57 | 0,764 | 53 |
| Jessnes | 3 x 12 | 1,710 | 63 | 1,101 | 40 | 0,891 | 41 |
| Fåvang | 1 x 12 | 0,438 | 48 | 0,297 | 33 | 0,247 | 34 |
| Smørbekk | 2 x 14 | 1,723 | 79 | 1,014 | 60 | 0,867 | 51 |
| Sarpsborg | 2 x 12 | 0,889 | 52 | 0,558 | 33 | 0,457 | 31 |
| Kongsvinger | 2 x 5,8 | 0,587 | 47 | 0,319 | 33 | 0,284 | 41 |
| Lunner | 4 x 5,8 | 1,122 | 45 | 0,668 | 35 | 0,581 | 42 |
| Nordagutu | 2 x 7 | 0,848 | 51 | 0,437 | 34 | 0,357 | 43 |
| Skoppum | 2 x 7 | 0,911 | 55 | 0,569 | 44 | 0,468 | 57 |
| Porsgrunn | 2 x 12 | 1,245 | 69 | 0,898 | 49 | 0,749 | 52 |

4.3.13 Simulering med omformerstasjon i Oslo på 3 x 24 MVA og Ski på 3 x 12 MVA (Alternativ AT3-N-OS-4)

4.3.13.1 Forutsetninger for simuleringen

Ved å forsøke forskjellige omformerytelser i Oslo og Ski kommer frem til at 3 x 24 og 3 x 12 MVA i henholdsvis Oslo og Ski er passende. Statikken for omformerne holdes uforandret. Dermed blir innstillingene:

Spenningsregulatorer:

verdiene for spenningsregulatorene som en fant optimale i de foregående undersøkelsene benyttes:

- Alle omformerstasjoner gis -12 % statikk
- Unntatt Nordagutu som gis -4 %.

Reaktans i statiske omformerstasjoner X_q :

- Oslo omformerstasjon 0,51 pu.
- Lillestrøm, Ski og Smørbekk 0,85 pu.
- Jessheim 0,02 pu.
- De øvrige statiske omformerne 0,68 pu.

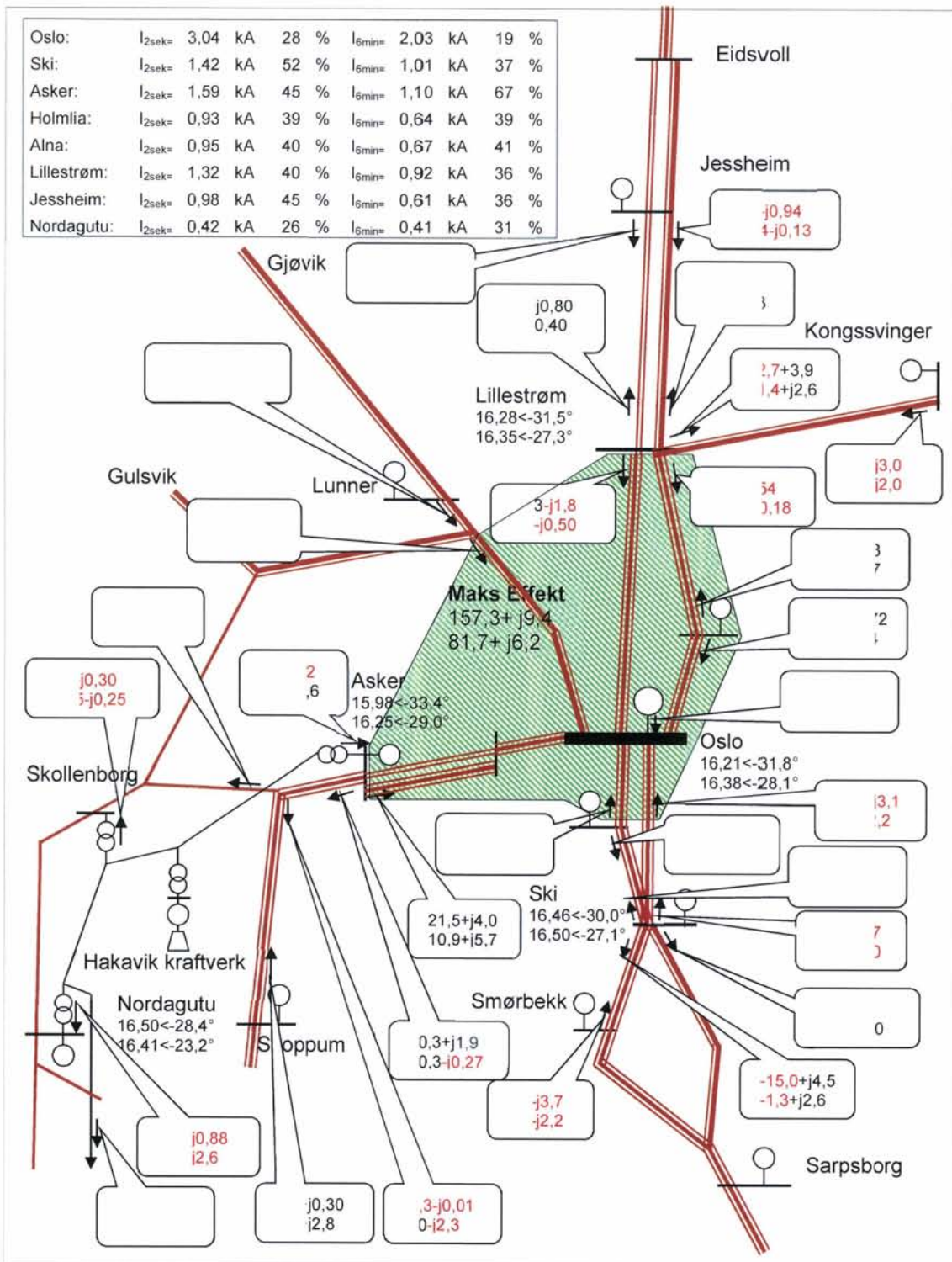
4.3.13.2 Resultater for simuleringen

Med disse omformerytelserne blir belastningen som vist i Tabell 4-34 og Figur 4-9viser effektflyten. Det er naturlig å sammenligne denne simuleringen med resultatene der kun Oslo omformer ble etablert og satt til 4 x 24 MVA, se avsnitt 4.3.2. I øyeblikket med størst

effektbehov kunne en se at uten Ski omformer ble det overført mer effekt fra Asker, Lillestrøm og inn mot Oslo enn nå. Det tyder på at mye effekt går fra Oslo omformerstasjon mot Follobanen og at en omformerplassering på Ski skaffer denne effekten mer direkte der den trengs. Allikevel gir ikke dette alternativet noe vesentlig lavere energiforbruk, se Tabell 4-35, enn simuleringen i avsnitt 4.3.2 uten Ski omformerstasjon.

Tabell 4-34 Maksimal belastning av omformerstasjonene. Prosentvis belastning av aggregater i drift ved den belastningsgraden som gjelder i hver av tidsperiodene.

| Belastning av omformerstasjonene normal drift, omfattende utbygging av AT-system. Ny Oslo omformerstasjon på 3x24 MVA og Ski på 3x15 MVA. | | | | | | | |
|---|----------------|---------------------|----|------------|----|--------|----|
| Omformerstasjon | Innsatt ytelse | Strøm i RMS-verdier | | | | | |
| | | 2-sek | | 6-minutter | | 1-time | |
| | | [kA] | % | [kA] | % | [kA] | % |
| Oslo | 3 x 24 | 3,680 | 67 | 2,102 | 39 | 1,927 | 44 |
| Ski | 3 x 12 | 1,948 | 71 | 1,136 | 42 | 1,008 | 46 |
| Asker | 3 x 10 | 2,035 | 57 | 1,223 | 49 | 1,028 | 58 |
| Holmlia | 2 x 10 | 1,113 | 47 | 0,672 | 41 | 0,614 | 52 |
| Alnabru | 2 x 10 | 1,094 | 46 | 0,687 | 42 | 0,641 | 55 |
| Lillestrøm | 3 x 12 | 1,636 | 50 | 0,972 | 38 | 0,889 | 41 |
| Jessheim | 2 x 12 | 1,430 | 66 | 0,824 | 49 | 0,625 | 43 |
| Jessnes | 3 x 12 | 1,574 | 58 | 0,993 | 36 | 0,785 | 36 |
| Fåvang | 1 x 12 | 0,400 | 44 | 0,268 | 29 | 0,218 | 30 |
| Smørbekk | 2 x 14 | 1,327 | 61 | 0,793 | 47 | 0,676 | 40 |
| Sarpsborg | 2 x 12 | 0,726 | 43 | 0,448 | 26 | 0,361 | 25 |
| Kongsvinger | 2 x 5,8 | 0,492 | 39 | 0,260 | 27 | 0,228 | 33 |
| Lunner | 4 x 5,8 | 1,416 | 57 | 0,644 | 33 | 0,487 | 35 |
| Nordagutu | 2 x 7 | 0,856 | 52 | 0,418 | 32 | 0,323 | 39 |
| Skoppum | 2 x 7 | 0,842 | 51 | 0,522 | 40 | 0,421 | 51 |
| Porsgrunn | 2 x 12 | 1,123 | 62 | 0,821 | 45 | 0,676 | 46 |



Tabell 4-35 Samlet energioptak i hele modellen. Energien er målt på trefasesiden inn til omformerstasjonene slik at tapene også er inkludert.

| Periode | Energi til matestasjoner [MWh] | | |
|------------|--------------------------------|--------------|---------------|
| | Inn | Ut | Sum |
| KI 15-16 | 149,91 | -0,04 | 149,87 |
| KI 16-17 | 179,26 | -0,07 | 179,20 |
| KI 17-18 | 175,42 | -0,02 | 175,39 |
| Sum | 504,59 | -0,13 | 504,46 |

4.3.14 Simulering med omformerstasjon i Oslo på 4 x 24 MVA og Ski på 3 x 12 MVA nedleggelse av Holmlia og Alnabru (Alternativ AT3-N-OS-35)

4.3.14.1 Forutsetninger for simuleringen

Ved å eksperimentere med omformerstørrelser finner en at Oslo omformerstasjon kan være på 4 x 24 MVA selv om Holmlia og Alnabru legges ned, forutsatt at Ski blir på 3 x 12 MVA. Statikken for omformerne holdes uforandret. Dermed blir innstillingene:

Spenningsregulatorer:

verdiene for spenningsregulatorene som en fant optimale i de foregående undersøkelsene benyttes:

- Alle omformerstasjoner gis -12 % statikk
- Unntatt Nordagutu som gis -4 %.

Reaktans i statiske omformerstasjoner X_q :

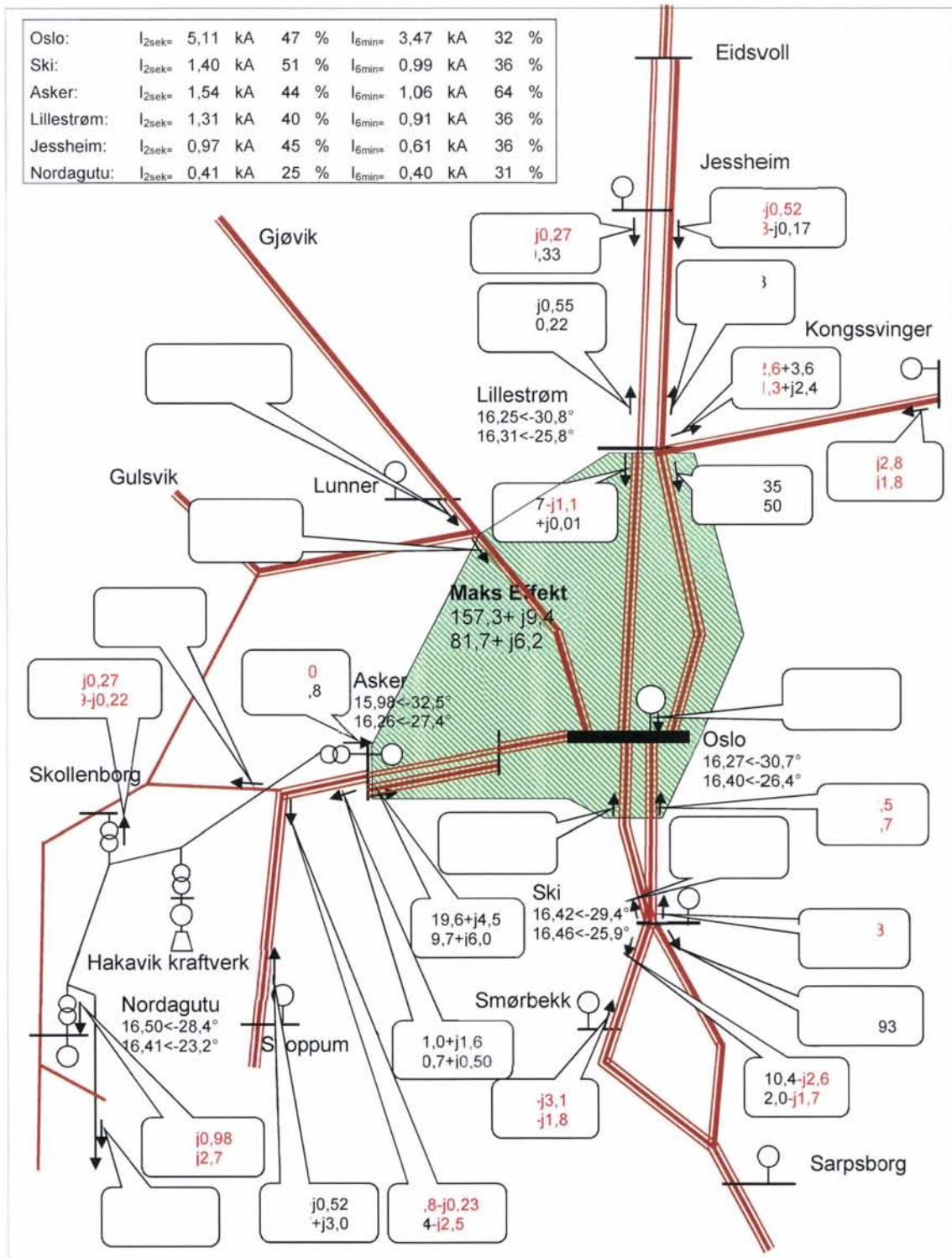
- Oslo omformerstasjon 0,51 pu.
- Lillestrøm og Smørbekk 0,85 pu.
- Jessheim 1,02 pu.
- De øvrige statiske omformerne, samt Ski 0,68 pu.

4.3.14.2 Resultater for simuleringen

Tabell 4-36 nedenfor viser at alle omformerstasjonene blir belastet helt moderat unntatt Oslo som tar på seg litt vel mye. En økning av X_q for denne ville nok endret dette slik at spesielt Lillestrøm, Asker og Ski ville tatt noe mer. I Figur 4-10er effektflyten for tidspunktene med høyest belastning vist. Det er naturlig å sammenligne dette med resultatene fra simuleringen der Oslo var på 6 x 24 MVA, se avsnitt 4.3.5. En kan se en tendens til at det nå kommer mindre effekt inn mot Oslo fra Asker og Lillestrøm, noe som kan bety at Ski leverer effekt mer direkte inn der den trengs, altså på Follobanen. Imidlertid skulle en da ha forventet lavere energiforbruk, men i Tabell 4-37 kan en se at forbruket er bare marginalt mindre enn i simuleringen med all ny omformerytelse i Oslo, se avsnitt 4.3.5.

Tabell 4-36 Maksimal belastning av omformerstasjonene. Prosentvis belastning av aggregater i drift ved den belastningsgraden som gjelder i hver av tidsperiodene.

| Belastning av omformerstasjonene normal drift, omfattende utbygging av AT-system. Ny Oslo omformerstasjon på 4x24 MVA og Ski på 3x15 MVA. HOL og ALN er nedlagt. | | | | | | | |
|--|----------------|---------------------|----|------------|----|--------|----|
| Omformerstasjon | Innsatt ytelse | Strøm i RMS-verdier | | | | | |
| | | 2-sek | | 6-minutter | | 1-time | |
| | | [kA] | % | [kA] | % | [kA] | % |
| Oslo | 4 x 24 | 6,103 | 84 | 3,589 | 49 | 3,302 | 57 |
| Ski | 3 x 12 | 1,918 | 70 | 1,124 | 41 | 0,994 | 46 |
| Asker | 3 x 10 | 1,962 | 55 | 1,185 | 48 | 0,993 | 56 |
| Lillestrøm | 3 x 12 | 1,607 | 49 | 0,969 | 38 | 0,885 | 41 |
| Jessheim | 2 x 12 | 1,425 | 65 | 0,825 | 49 | 0,624 | 43 |
| Jessnes | 3 x 12 | 1,563 | 57 | 0,984 | 36 | 0,776 | 36 |
| Fåvang | 1 x 12 | 0,395 | 43 | 0,265 | 29 | 0,215 | 30 |
| Smørbekk | 2 x 14 | 1,321 | 61 | 0,787 | 46 | 0,669 | 39 |
| Sarpsborg | 2 x 12 | 0,723 | 43 | 0,446 | 26 | 0,359 | 25 |
| Kongsvinger | 2 x 5,8 | 0,488 | 39 | 0,257 | 27 | 0,225 | 32 |
| Lunner | 4 x 5,8 | 1,401 | 56 | 0,640 | 33 | 0,484 | 35 |
| Nordagutu | 2 x 7 | 0,857 | 52 | 0,418 | 32 | 0,318 | 39 |
| Skoppum | 2 x 7 | 0,828 | 50 | 0,515 | 40 | 0,414 | 50 |
| Porsgrunn | 2 x 12 | 1,107 | 61 | 0,810 | 45 | 0,664 | 46 |



Figur 4-10 Maksimal aktiv effekt for Oslo-området oppstår klokken 16:43:20 og for 6-minuttersverdi opptrer maksimalverdien mellom klokken 17:23:23. Effektflyt for 2-sekunders (øverste tall) og 6-minuttersverdi (nederste tall) for MEAN effekt. Aktiv- og reaktiv effekt der negativt fortegn er markert med røde tall.

Tabell 4-37 Samlet energiopptak i hele modellen. Energien er målt på trefasesiden inn til omformerstasjonene slik at tapene også er inkludert.

| Periode | Energi til Matestasjoner [MWh] | | |
|------------|--------------------------------|--------------|---------------|
| | Inn | Ut | Sum |
| KI 15-16 | 150,03 | -0,04 | 149,98 |
| KI 16-17 | 179,40 | -0,07 | 179,33 |
| KI 17-18 | 175,52 | -0,02 | 175,49 |
| Sum | 504,94 | -0,14 | 504,80 |

4.3.15 Simulering med omformerstasjon i Oslo på 4 x 24 MVA og Ski på 3 x 12 MVA nedleggelse av Holmlia og Alnabru utfall av ett aggregat i Oslo og Ski (Alternativ AT3-V1-OS-35)

Denne simuleringen er utført på nytt på grunn av en feil med tilknytningen mellom Gjøvikbanen og Oslo koblingshus. Resultatet av simuleringen med denne forbindelsen inne er vist i avsnitt 8.1.4 i appendiks 2. Feilen har ikke stor betydning annet enn for belastningen av Lunner omformerstasjon.

4.3.15.1 Forutsetninger for simuleringen

Statikken for omformerne holdes uforandret, men X_q for Oslo og Ski økes på grunnlag av det en fant i avsnitt 4.3.14. Dermed blir innstillingene:

Spenningsregulatorer:

verdiene for spenningsregulatorene som en fant optimale i de foregående undersøkelsene benyttes:

- Alle omformerstasjoner gis -12 % statikk
- Unntatt Nordagutu som gis -4 %.

Reaktans i statiske omformerstasjoner X_q :

- Oslo omformerstasjon 0,68 pu.
- Lillestrøm, Ski og Smørbekk 0,85 pu.
- Jessheim 1,02 pu.
- De øvrige statiske omformerne, samt 0,68 pu.

4.3.15.2 Resultater for simuleringen

Nedenfor viser Tabell 4-38 at spesielt Oslo blir høyt belastet, men fremdeles har Asker og Lillestrøm mer kapasitet som kan utnyttes. Med enda en oppjustering av X_q for Oslo til anslagsvis 125 % vil nok denne komme innenfor marginene og ikke bli belastet mer enn 85 % på det meste. Utfall av to andre aggregater i forskjellige stasjoner vil mest sannsynlig være uproblematisk.

Tabell 4-38 Maksimal belastning av omformerstasjonene. Prosentvis belastning av aggregater i drift ved den belastningsgraden som gjelder i hver av tidsperiodene.

| Belastning av omformerstasjonene normal drift, omfattende utbygging av AT-system. Ny Oslo omformerstasjon på 4x24 MVA og Ski på 3x15 MVA. HOL og ALN er nedlagt. Utfall av ett aggregat i OSS og LIL | | | | | | | |
|--|----------------|---------------------|------|------------|------|--------|------|
| Omformerstasjon | Innsatt ytelse | Strøm i RMS-verdier | | | | | |
| | | 2-sek | | 6-minutter | | 1-time | |
| | | [MVA] | [kA] | % | [kA] | % | [kA] |
| Oslo | 3 x 24 | 4,948 | 91 | 2,836 | 52 | 2,604 | 60 |
| Ski | 2 x 12 | 1,476 | 81 | 0,839 | 46 | 0,738 | 51 |
| Asker | 3 x 10 | 2,259 | 64 | 1,370 | 55 | 1,165 | 66 |
| Lillestrøm | 3 x 12 | 2,006 | 61 | 1,200 | 47 | 1,094 | 50 |
| Jessheim | 2 x 12 | 1,535 | 70 | 0,900 | 53 | 0,698 | 48 |
| Jessnes | 3 x 12 | 1,660 | 61 | 1,064 | 39 | 0,855 | 39 |
| Fåvang | 1 x 12 | 0,427 | 47 | 0,288 | 32 | 0,238 | 33 |
| Smørbekk | 2 x 14 | 1,588 | 73 | 0,952 | 56 | 0,815 | 56 |
| Sarpsborg | 2 x 12 | 0,830 | 49 | 0,523 | 31 | 0,427 | 29 |
| Kongsvinger | 2 x 5,8 | 0,548 | 44 | 0,297 | 31 | 0,263 | 38 |
| Lunner | 4 x 5,8 | 1,412 | 56 | 0,655 | 34 | 0,499 | 36 |
| Nordagutu | 2 x 7 | 0,848 | 51 | 0,424 | 33 | 0,343 | 42 |
| Skoppum | 2 x 7 | 0,886 | 54 | 0,550 | 43 | 0,450 | 55 |
| Porsgrunn | 2 x 12 | 1,194 | 66 | 0,872 | 48 | 0,725 | 50 |

4.3.16 Simulering med omformerstasjon i Oslo på 4 x 24 MVA og Ski på 3 x 12 MVA nedleggelse av Holmlia og Alnabru samt utfall av hele Oslo (Alternativ AT3-V3-OS-35)

Utfall av hele Oslo omformerstasjon er usannsynlig, men forventes å få store konsekvenser. Tilsvarende simuleringen ble gjort i avsnitt 4.3.9 og en vil her undersøke om konsekvensene blir mindre ved etablering av to omformerstasjoner.

4.3.16.1 Forutsetninger for simuleringen

Statikken for omformerne holdes uforandret. Dermed blir innstillingene:

Spenningsregulatorer:

verdiene for spenningsregulatorene som en fant optimale i de foregående undersøkelsene benyttes:

- Alle omformerstasjoner gis -12 % statikk
- Unntatt Nordagutu som gis -4 %.

Reaktans i statiske omformerstasjoner X_q :

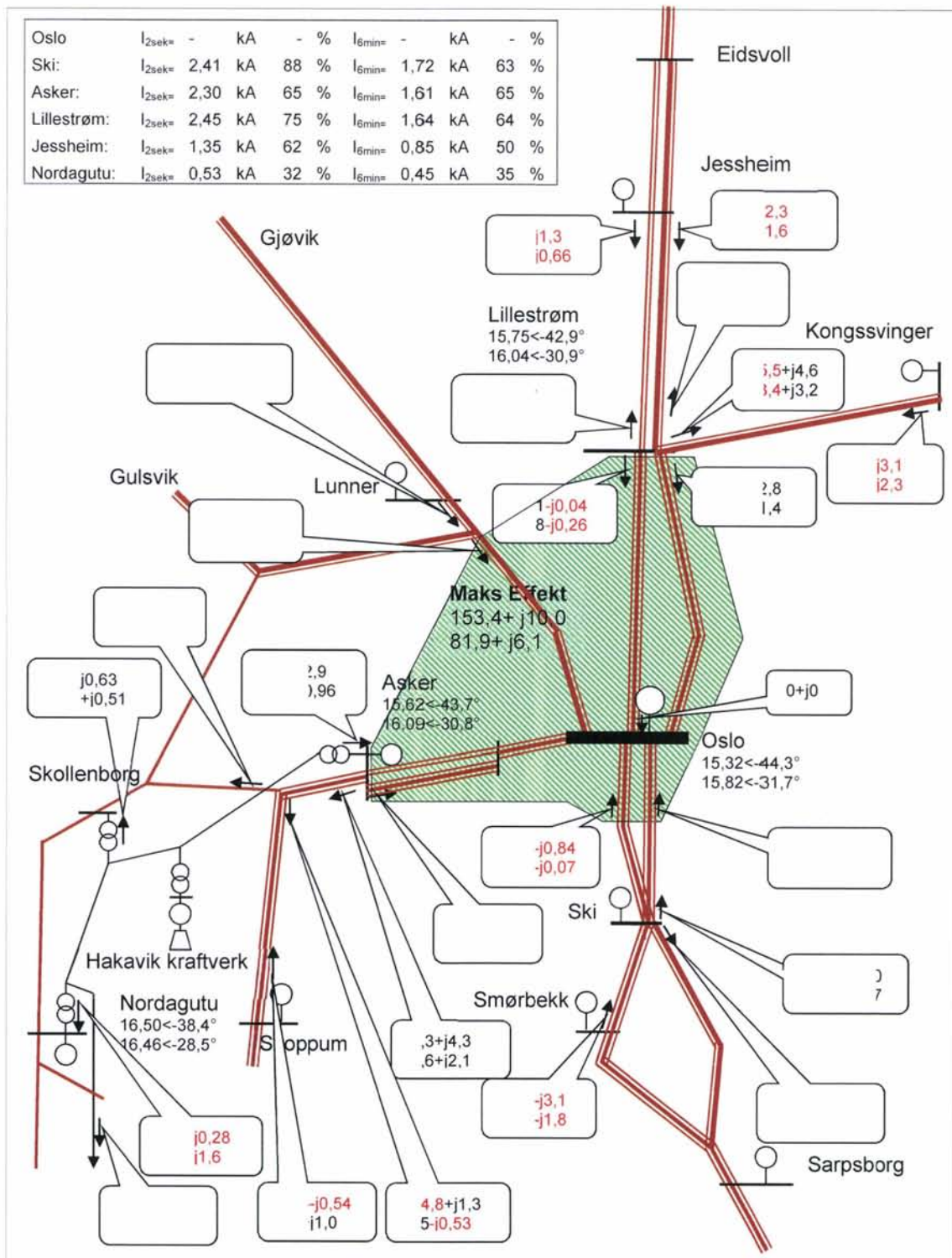
- Lillestrøm og Smørbekk 0,85 pu.
- Jessheim 1,02 pu.
- De øvrige statiske omformerne, samt Ski 0,68 pu.

4.3.16.2 Resultater for simuleringen

Tabell 4-39 viser at med utfall av hele Oslo omformerstasjon blir Asker nå belastet noe mindre, se avsnitt 4.3.9, dermed er sannsynligheten for utfall av denne desto mindre. Figur 4-11 viser at spesielt effektoverføringen fra Lillestrøm mot Oslo er blitt betydelig mindre, men også fra Asker overføres det ikke så mye som før. Derimot er det fra Ski at det nå overføres store effektmengder. En ser også at belastningen av de sentrale omformerstasjonene nå er mindre enn da Ski ikke fantes. Tabell 4-40 viser at det selv med en såpass alvorlig feilsituasjon kun er togene på Sørlandsbanen der det ikke er AT-system som får lave spenninger.

Tabell 4-39 Maksimal belastning av omformerstasjonene. Prosentvis belastning av aggregater i drift ved den belastningsgraden som gjelder i hver av tidsperiodene.

| Belastning av omformerstasjonene normal drift, omfattende utbygging av AT-system. Ny Oslo omformerstasjon på 4x24 MVA og Ski på 3x15 MVA. HOL og ALN er nedlagt. Utfall av hele OSS. | | | | | | | |
|--|-------------------------|---------------------|-----|------------|----|--------|----|
| Omformerstasjon | Innsatt ytelse [MVA] | Strøm i RMS-verdier | | | | | |
| | | 2-sek | | 6-minutter | | 1-time | |
| | | [kA] | % | [kA] | % | [kA] | % |
| Oslo | - | - | - | - | - | - | - |
| Ski | 3 x 12 | 2,662 | 98 | 1,865 | 68 | 1,695 | 78 |
| Asker | 3 x 10 | 3,091 | 87 | 1,806 | 73 | 1,551 | 88 |
| Lillestrøm | 3 x 12 | 3,325 | 102 | 1,794 | 71 | 1,617 | 74 |
| Jessheim | 2 x 12 | 1,896 | 87 | 1,093 | 64 | 0,875 | 60 |
| Jessnes | 3 x 12 | 1,833 | 67 | 1,197 | 44 | 0,982 | 45 |
| Fåvang | 1 x 12 | 0,471 | 52 | 0,323 | 36 | 0,272 | 37 |
| Smørbekk | 2 x 14 | 2,180 | 100 | 1,174 | 69 | 1,000 | 69 |
| Sarpsborg | 2 x 12 | 0,961 | 57 | 0,626 | 37 | 0,516 | 35 |
| Kongsvinger | 2 x 5,8 | 0,676 | 54 | 0,372 | 39 | 0,331 | 47 |
| Lunner | 4 x 5,8 | 1,434 | 57 | 0,682 | 35 | 0,523 | 37 |
| Nordagutu | 2 x 7 | 0,855 | 52 | 0,478 | 37 | 0,396 | 48 |
| Skoppum | 2 x 7 | 1,027 | 62 | 0,634 | 49 | 0,529 | 64 |
| Porsgrunn | 2 x 12 | 1,359 | 75 | 0,979 | 54 | 0,827 | 57 |



Figur 4-11 Maksimal aktiv effekt for Oslo-området oppstår klokken 16:43:18 og for 6-minuttersverdi opptrer maksimalverdien mellom klokken 17:22:07. Effektflyt for 2-sekunders (øverste tall) og 6-minuttersverdi (nederste tall) for MEAN effekt. Aktiv- og reaktiv effekt der negativt fortegn er markert med røde tall.

Tabell 4-40 Laveste oppstående spenning for togene og omtrentlig angivelse av banestrekning. Kun tog som får spenninger under 13,0 kV er undersøkt.

| Tog | Laveste spenning for togene [kV] | | |
|---------------------|----------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| | Momentan | 2-minutters RMS-verdi | Sted |
| T_67 Tp73_2 | 12,73 | 14,72 | Drammen - Hokksund |
| T_64 Tp73_2 | 12,31 | 14,66 | Drammen - Hokksund |
| T_79 Tp73_2 | 12,88 | 14,52 | Nordagutu - Neslandsvatn |
| T_5804 BR185-2_1200 | 12,87 | 14,64 | Nordagutu - Kongsberg |

4.4 Undersøkelser av følsomhet for endringer i infrastrukturen

4.4.1 Simulering med omformerstasjon i Åsland på 6 x 24 MVA og nedleggelse av Holmlia og Alnabru og etablering av fjernledning ASK-OSS-LIL-ASL

Hensikten med denne simuleringen er å få avdekket om det er nødvendig å etablere AT-system på Asker- og Gardermobanen. En forlengelse av fjernledningen kan være enklere.

4.4.1.1 Forutsetninger for simuleringen

Det etableres en forlengelse av fjernledning mellom Asker, Lysaker, Oslo, Lillestrøm og Åsland. Statikken for omformerne holdes uforandret dermed blir innstillingene:

Spenningsregulatorer:

verdiene for spenningsregulatorene som en fant optimale i de foregående undersøkelsene benyttes:

- Alle omformerstasjoner gis -12 % statikk
- Unntatt Nordagutu som gis -4 %.

Reaktans i statiske omformerstasjoner X_q :

- Åsland omformerstasjon 0,51 pu.
- Lillestrøm og Smørbekk 0,85 pu.
- Jessheim 1,02 pu.
- De øvrige statiske omformerne 0,68 pu.

Fjernledning Asker – Oslo – Lillestrøm:

På denne strekningen anses det for å være vanskelig å benytte en luftledning, men kabelanlegg i kabelkanal antas å være mulig. Det forutsettes at to kabler av type TSLE 150 mm² vil være passende. Med forlengning med en kabeldiameters mellomrom beregnes $Z = 0,10 + j0,11 \Omega/\text{km}$, der data er basert på [4]. Denne kabelen er oppgitt til å ha en strømføringssevne på 450 A ved forlegning i luft med en omgivelsestemperatur på +24 °C og åpen kappe/skjerm. Mer nøyaktig beregning av disse verdiene bør gjøres om dette blir et aktuelt valg.

Transformatorer for fjernledningen:

Det forutsettes samme transformatorer på Lysaker, Oslo og Lillestrøm som den på Asker. Det vil si $S = 20,0 \text{ MVA}$, $U = 54,5/16 \text{ kV}$, $e_r = 0,087$ og $e_x = 6,16 \%$. Transformatorene på Lysaker og Oslo utstyres med trinnkobler av samme type som på Neslandsvatn. Det settes inn en regulator som øker spenningen i åtte trinn oppover. Hvert trinn er på 250 V. For Åsland og

Oslo settes ytelsen like høyt som omformerstasjonen på Åsland slik at denne kan overføre all sin effekt på fjernledningen om den må forsyne Oslo alene.

4.4.1.2 Resultater for simuleringen

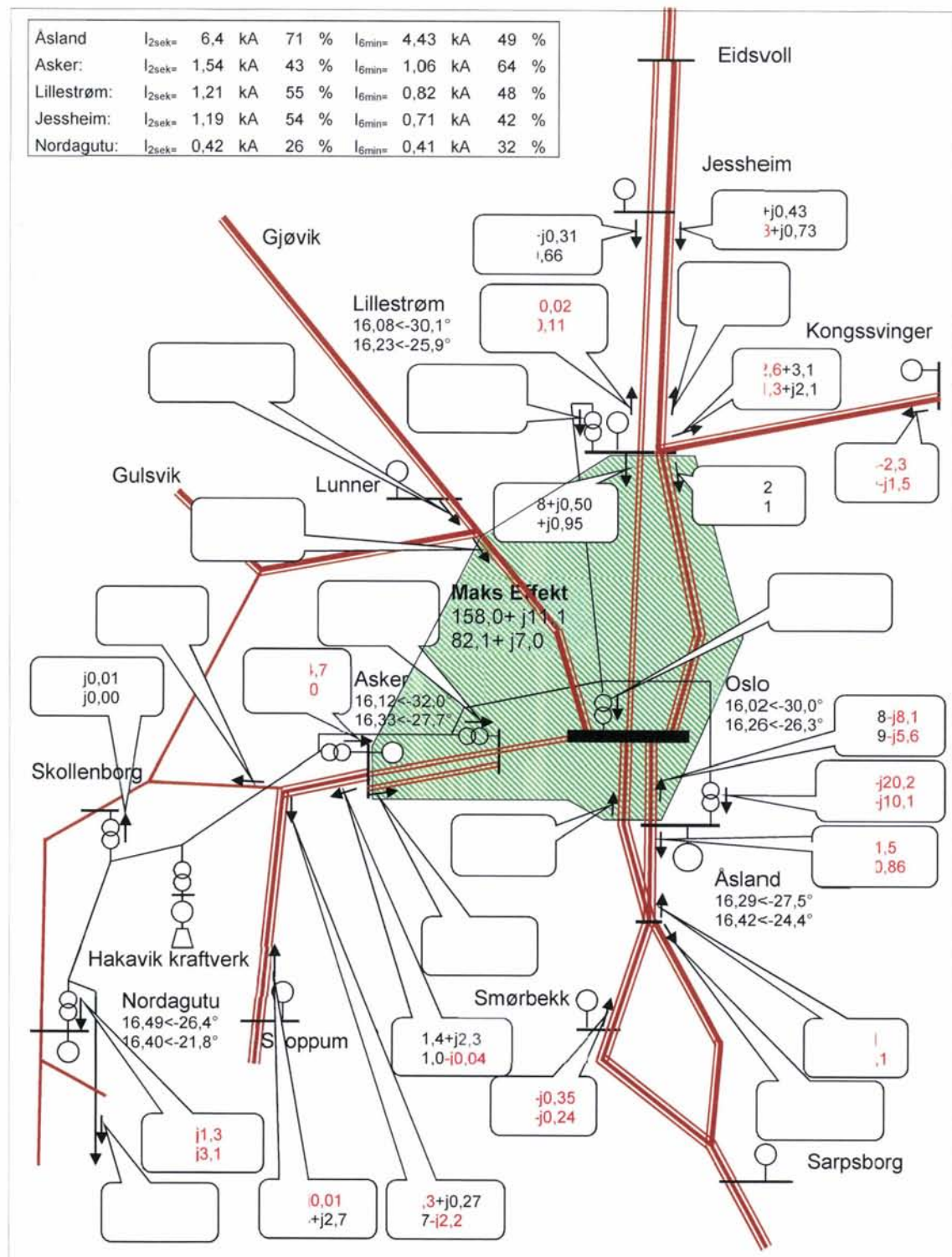
Nedenfor viser Tabell 4-41 at transformatorene på Asker og Lysaker må få økt ytelse. En annen og mer interessant ting er at maksimalbelastningen for omformerstasjonene endres lite i forhold til simuleringen der en ikke hadde fjernledningen forlenget, se avsnitt 4.3.11.

Lastflyten i det øyeblikket hvor effektbehovet er størst i Oslo-området er vist i Figur 4-12. En kan legge merke til den store effekten som tas opp ved Lysaker. Et annet forhold er den forbausende lille effekten som overføres på fjernledningen fra Lillestrøm og inn mot Oslo.

Tabell 4-42 viser at effektopptaket til togene på Asker- og Gardermobanen er så stort at disse banenes kl-anlegg vil overbelastes. Det er mulig at lavere transformatorreaktans ville ha forbedret overføringsevnen til fjernledningssystemet. Dermed kan en forvente en avlastning av kl-anlegget, og muligens at den ikke vil overbelastes.

Tabell 4-41 Maksimal belastning av omformerstasjonene. Prosentvis belastning av aggregater i drift ved den belastningsgraden som gjelder i hver av tidsperiodene.

| Belastning av omformerstasjonene normal drift, omfattende utbygging av AT-system. Ny Åsland omformerstasjon på 6x24 MVA og HOL og ALN er nedlagt. Fjernledning forlenge mellom ASK, LYS, OSS, ASL og LIL | | | | | | | |
|--|-------------------------|---------------------|-----|------------|-----|--------|----|
| Omformerstasjon | Innsatt ytelse [MVA] | Strøm i RMS-verdier | | | | | |
| | | 2-sek | | 6-minutter | | 1-time | |
| | | [kA] | % | [kA] | % | [kA] | % |
| Lillestrøm tr | 20 | 0,964 | 72 | 0,475 | 36 | 0,358 | 27 |
| Oslo tr | 180 | 2,137 | 18 | 1,359 | 11 | 1,174 | 10 |
| Lysaker tr | 20 | 2,093 | 157 | 1,353 | 102 | 1,054 | 79 |
| Asker tr | 20 | 1,655 | 124 | 0,936 | 70 | 0,630 | 47 |
| Åsland tr | 180 | 4,329 | 36 | 2,682 | 22 | 2,427 | 20 |
| Åsland | 6 x 24 | 8,256 | 76 | 4,890 | 45 | 4,450 | 51 |
| Asker | 3 x 10 | 1,870 | 53 | 1,113 | 45 | 0,927 | 53 |
| Lillestrøm | 3 x 12 | 1,724 | 53 | 1,021 | 40 | 0,929 | 43 |
| Jessheim | 2 x 12 | 1,445 | 66 | 0,838 | 49 | 0,639 | 44 |
| Jessnes | 3 x 12 | 1,561 | 57 | 0,982 | 36 | 0,772 | 35 |
| Fåvang | 1 x 12 | 0,394 | 43 | 0,263 | 29 | 0,213 | 29 |
| Smørbekk | 2 x 12 | 1,369 | 63 | 0,803 | 47 | 0,681 | 47 |
| Sarpsborg | 2 x 12 | 0,766 | 45 | 0,465 | 27 | 0,371 | 26 |
| Kongsvinger | 2 x 5,8 | 0,497 | 40 | 0,259 | 27 | 0,226 | 32 |
| Lunner | 4 x 5,8 | 1,387 | 55 | 0,638 | 33 | 0,482 | 35 |
| Nordagutu | 2 x 7 | 0,894 | 54 | 0,433 | 33 | 0,317 | 38 |
| Skoppum | 2 x 7 | 0,821 | 50 | 0,500 | 39 | 0,401 | 49 |
| Porsgrunn | 2 x 12 | 1,086 | 60 | 0,798 | 44 | 0,654 | 45 |



Figur 4-12 Maksimal aktiv effekt for Oslo-området oppstår klokken 16:43:21 og for 6-minuttersverdi opptrer maksimalverdien mellom klokken 17:23:21. Effektflyt for 2-sekunders (øverste tall) og 6-minuttersverdi (nederste tall) for MEAN effekt. Aktiv- og reaktiv effekt der negativt fortegn er markert med røde tall.

Tabell 4-42 Maksimal belastning av utvalgte avganger til kontaktledningen. Alle verdier er referert til 15 kV-nivå. For AT-system er belastningen for NL og PL ikke oppgitt i prosent fordi en ikke kjenner tillatt belastning for noen tidsperioder.

| Avgang | Nominell strømføringsevne | 10 sek RMS | [%] | 1 min RMS | [%] | 6 min RMS | [%] | 10 min RMS | [%] | 1 time RMS | [%] |
|----------------|---------------------------|------------|-----|-----------|-----|-----------|-----|------------|-----|------------|-----|
| OSS-Nord GMB 1 | 800 | 1,631 | 41 | 1,460 | 88 | 1,060 | 100 | 0,890 | 89 | 0,550 | 69 |
| OSS-Nord GMB 2 | 800 | 0,598 | 15 | 0,482 | 29 | 0,321 | 30 | 0,317 | 32 | 0,216 | 27 |
| OSS-Nord HB 1 | 1920 | 1,204 | - | 0,916 | - | 0,610 | - | 0,527 | - | 0,414 | - |
| OSS-Nord HB 2 | 1920 | 0,786 | - | 0,586 | - | 0,382 | - | 0,365 | - | 0,316 | - |
| LYS-Vest AB 1 | 600 | 2,456 | 82 | 1,852 | 148 | 1,136 | 142 | 1,090 | 145 | 0,551 | 92 |
| LYS-Vest AB 2 | 600 | 1,294 | 43 | 0,911 | 73 | 0,571 | 71 | 0,507 | 68 | 0,324 | 54 |
| ASK-Øst AB 1 | 600 | 1,799 | 60 | 1,391 | 111 | 0,961 | 120 | 0,876 | 117 | 0,475 | 79 |
| ASK-Vest AB 2 | 600 | 1,284 | 43 | 1,168 | 93 | 0,554 | 69 | 0,527 | 70 | 0,324 | 54 |

4.4.2 En variant av nokså omfattende utbygging av AT-system og normal drift Holmlia og Alnabru er lagt ned for alternativet med Oslo på 6x30 MVA

4.4.2.1 Forutsetninger for simuleringen

I dette alternativet er det ikke AT-system på følgende strekninger:

- Drammensbanen mellom Asker og Drammen.
- Hovedbanen mellom Lillestrøm og Jessheim og videre til Eidsvoll.
- Østfoldbanen på det gamle sporet mellom Oslo Holmlia og videre til Ski.
- Østre linje på Østfoldbanen.

Ellers er det satt inn AT-system som i beskrivelsen av nokså omfattende utbygging, se avsnitt 1.3. Innstillingene for spenningsregulatorene:

Spenningsregulatorer:

verdiene for spenningsregulatorene som en fant optimale i de foregående undersøkelsene benyttes:

- Alle omformerstasjoner gis -12 % statikk,
- unntatt Nordagutu som gis -4 %.

Reaktans i statiske omformerstasjoner X_q :

- Oslo omformerstasjon 0,51 pu.
- Lillestrøm og Smørbekk 0,85 pu.
- Jessheim 1,02 pu.
- De øvrige statiske omformerne 0,68 pu.

4.4.2.2 Resultater for simuleringen

Nedenfor viser Tabell 4-43 belastningen for omformerstasjonene med nokså omfattende utbygging av AT-system. Sammenlignes dette med tilsvarende simulering med svært utstrakt utbygging av AT-system, se avsnitt 4.3.5, ser en at endringene er nokså små. Imidlertid er det noen unntak, Jessheim blir belastet syv prosentpoeng mer for sin kortvarige verdi, også Smørbekk, Skoppum og Porsgrunn blir belastet en hel del mer. Disse omformerstasjonene mater ut på strekninger som nå ikke har AT-system, eller er i forbindelse til nabostasjoner som ikke har AT-system, og dermed vil effektutvekslingen mellom stasjonene svekket. Med andre ord vil nabostasjoner på strekninger uten AT-system bidra mindre når en omformerstasjon belastes hardt.

Tabell 4-44 viser en annen fordel med å ha AT-system, en ser at det nå er flere tog som får lavere spenning, sammenlign med avsnitt 4.3.5. Spesielt er det ugunstig at togene på Østfoldbanens østre linje, dette gjelder togene 1226, 1228, 1251 og 1253, får spenninger under 12,0 kV. Også tog 1221 får noe lav spenning, men innenfor hva som kan tillates for strekninger der en ikke gjør tiltak. Ellers er det få endringer fra tidligere simuleringer.

Denne simuleringen viser tydelig at AT-systemet har sin virkning med å forbedre spenningen for togene og styrke effektfordelingen mellom omformerstasjonene.

I overgangene mellom AT-system og BT-system må en sette opp autotransformatorer for å omforme fra lavere til høyere spenningsnivå og omvendt. Dette er undersøkt på de stedene der det i denne simuleringen forutsettes ikke å være AT-system. Som en ser av Tabell 4-45 er det behov for mellom to og fire enheter på de undersøkte stedene. Dette forutsetter at autotransformatorene ikke er felles for flere avganger. Om det lages topolte koblingshus og sammleskinneanlegg kan en unngå det store antallet autotransformatorer. Hele åtte autotransformatorer i Drammen for å forsyne Vestfoldbanen er et anselig antall.

Tabell 4-46 viser belastningen for fire autotransformatorer på Ski om det to-polte koblingshuset der skal forsyne Østfoldbanen både i nord- og sørgående retning i tillegg til Østfoldbanen videre sørover, samt Østre linje. Dette skal gi en pekepinn for behovet om Østfoldbanen sørover fra Ski ikke får ny trase med AT-system og all effekten må transformeres ned til 15 kV-nivå. Simuleringene gir ikke riktige tall siden dagens trase for Østfoldbanen ikke tillater den toghastigheten og kapasiteten som forutsettes i modellen. Egne vurderinger for dette må gjøres.

Tabell 4-43 Maksimal belastning av omformerstasjonene. Prosentvis belastning av aggregater i drift ved den belastningsgraden som gjelder i hver av tidsperiodene.

| Belastning av omformerstasjonene normal drift, nokså omfattende utbygging av AT-system. Ny Oslo omformerstasjon på 6x24 MVA og HOL og ALN er nedlagt. | | | | | | | |
|---|----------------|---------------------|----|------------|----|--------|----|
| Omformerstasjon | Innsatt ytelse | Strøm i RMS-verdier | | | | | |
| | | 2-sek | | 6-minutter | | 1-time | |
| | | [kA] | % | [kA] | % | [kA] | % |
| Oslo | 6 x 24 | 8,281 | 76 | 4,888 | 45 | 4,475 | 51 |
| Asker | 3 x 10 | 1,842 | 52 | 1,097 | 44 | 0,903 | 51 |
| Lillestrøm | 3 x 12 | 1,472 | 45 | 0,895 | 35 | 0,807 | 37 |
| Jessheim | 2 x 12 | 1,555 | 71 | 0,889 | 52 | 0,643 | 44 |
| Jessnes | 3 x 12 | 1,599 | 59 | 0,992 | 36 | 0,768 | 35 |
| Fåvang | 1 x 12 | 0,393 | 43 | 0,262 | 29 | 0,210 | 29 |
| Smørbekk | 2 x 14 | 1,578 | 72 | 0,903 | 53 | 0,745 | 44 |
| Sarpsborg | 2 x 12 | 0,833 | 49 | 0,512 | 30 | 0,399 | 27 |
| Kongsvinger | 2 x 5,8 | 0,469 | 38 | 0,243 | 25 | 0,212 | 30 |
| Lunner | 4 x 5,8 | 1,412 | 56 | 0,641 | 33 | 0,487 | 35 |
| Nordagutu | 2 x 7 | 0,860 | 52 | 0,425 | 33 | 0,318 | 39 |
| Skoppum | 2 x 7 | 1,022 | 62 | 0,620 | 48 | 0,476 | 58 |
| Porsgrunn | 2 x 12 | 1,217 | 67 | 0,831 | 46 | 0,688 | 47 |

Tabell 4-44 Laveste oppstående spenning for togene og omtrentlig angivelse av banestrekning. Kun tog som får spenninger under 12,0 kV er undersøkt.

| Tog | Laveste spenning for togene [kV] | | |
|---------------------|----------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| | Momentan | 2-minutters RMS-verdi | Sted |
| T_1226 Tp74_1 | 11,76 | 14,10 | Østre linje |
| T_1228 Tp74_1 | 11,71 | 14,06 | Østre linje |
| T_1251 Tp74_2 | 11,76 | 14,15 | Østre linje |
| T_1253 Tp74_2 | 11,70 | 14,08 | Østre linje |
| T_67 Tp73_2 | 12,70 | 14,61 | Drammen - Hokksund |
| T_64 Tp73_2 | 12,38 | 14,60 | Drammen - Hokksund |
| T_79 Tp73_2 | 12,82 | 14,47 | Nordagutu - Neslandsvatn |
| T_5804 BR185-2_1200 | 12,81 | 14,60 | Nordagutu - Kongsberg |
| T_1221 Tp74_2 | 12,42 | 15,00 | Østre linje |

Tabell 4-45 Estimat for belastning av autotransformatorer på utvalgte strekninger i kA referert til 15 kV-nivå.

| Avgang | 2 sek RMS | [%] | 30 sek RMS | [%] | 90 sek RMS | [%] | 1 time RMS | [%] | Konti | [%] | AT'er |
|----------------------------------|--------------|-----|---------------|-----|---------------|-----|---------------|-----|-------|-----|-------|
| Lysaker vest mot Drammensbanen 1 | 1,051 | 9 | 0,809 | 27 | 0,522 | 52 | 0,261 | 50 | 0,237 | 59 | 1 |
| Lysaker vest mot Drammensbanen 2 | 1,364 | 6 | 1,110 | 19 | 0,733 | 37 | 0,405 | 39 | 0,378 | 47 | 2 |
| Drammen mot Vestfoldbanen 1 | 1,595 | 7 | 1,549 | 26 | 1,351 | 68 | 0,415 | 40 | 0,349 | 44 | 2 |
| Drammen mot Vestfoldbanen 2 | 0,862 | 4 | 0,763 | 13 | 0,649 | 32 | 0,266 | 26 | 0,231 | 29 | 2 |
| Ski mot Østfoldbanen Oslo 1 | 0,677 | 6 | 0,536 | 18 | 0,355 | 36 | 0,212 | 41 | 0,190 | 47 | 1 |
| Ski mot Østfoldbanen Oslo 2 | 0,631 | 5 | 0,480 | 16 | 0,291 | 29 | 0,166 | 32 | 0,162 | 40 | 1 |
| Ski mot Østre linje | 1,063 | 9 | 0,696 | 23 | 0,489 | 49 | 0,276 | 53 | 0,229 | 57 | 1 |

Tabell 4-46 Estimat for belastning av autotransformatorer på Ski stasjon i kA referert til 15 kV-nivå. Verdiene er beregnet som summen av strømmen ut fra avgangene mot Oslo på Østfoldbanen, Østfoldbanen videre sørover og på Østre linje.

| Området | 2 sek RMS | [%] | 30 sek RMS | [%] | 90 sek RMS | [%] | 1 time RMS | [%] | Konti | [%] | AT'er |
|---------|--------------|-----|---------------|-----|---------------|-----|---------------|-----|-------|-----|-------|
| Ski | 2,730 | 6 | 2,370 | 20 | 1,956 | 49 | 1,356 | 65 | 1,215 | 76 | 4 |

4.4.3 Enda en variant av nokså omfattende utbygging av AT-system Holmlia og Alnabru er lagt ned og utfall av ett aggregat i Oslo og Lillestrøm for alternativet med Oslo på 6x30 MVA

Med å simulere med utfall av Oslo og Lillestrøm undersøkes det om effektutvekslingen blir så svekket uten en mer fullstendig utbygging av AT-system, at omformerne blir for høyt belastet eller at systemet blir overbelastet på andre måter.

4.4.3.1 Forutsetninger for simuleringen

I dette alternativet er det ikke AT-system på følgende strekninger, se for øvrig avsnitt 1.3:

- Drammensbanen mellom Asker og Drammen.
- Hovedbanen mellom Lillestrøm og Jessheim og videre til Eidsvoll.
- Østfoldbanen på det gamle sporet mellom Oslo Holmlia og videre til Ski.
- Østre linje på Østfoldbanen.

Ellers er AT-system bygget i den utstrekningen som er omtalt som svært stor. Statikken for omformerne endres slik at Oslo omformer ikke skal belastes for mye. Dermed blir innstillingene:

Spenningsregulatorer:

verdiene for spenningsregulatorene som en fant optimale i de foregående undersøkelsene benyttes:

- Alle omformerstasjoner gis -12 % statikk
- Unntatt Nordagutu som gis -4 %.

Reaktans i statiske omformerstasjoner X_q :

- Oslo omformerstasjon 0,68 pu.
- Lillestrøm og Smørbekk 0,85 pu.
- Jessheim 1,02 pu.
- De øvrige statiske omformerne 0,68 pu.

4.4.3.2 Resultater for simuleringen

Nedenfor viser Tabell 4-47 at alle omformerstasjoner unntatt Oslo, er belastet helt akseptabelt. Resultatene her kan sammenlignes med simuleringene i avsnitt 4.3.6 der det var svært utstrakt utbygging av AT-system. En ser at til tross for at Oslo omformerstasjon sin X_q er justert opp til 0,68 pu er stasjonen noe mer belastet enn tidligere ved utfall. Også Lillestrøm er mer belastet, samtidig som Jessheim er betydelig mindre belastet. Effektutvekslingen for Oslo-området har tydeligvis en nokså stor avhengighet av overføringsevnen oppover Hovedbanen og Gardermobanen i slike tilfeller.

Tabell 4-48 viser strømbelastningen på utvalgte avganger under dette feiltilfellet og en ser at spesielt avgangen nordover for Gardermobanen fra Lillestrøm blir noe høyt belastet. Allikevel er ikke belastningen nå noe særlig større enn i avsnitt 4.3.6 der det var AT-system på hele Hovedbanen. Om togene på Gardermobanen fremdeles skal tillates å ha 900 A som sitt maksimale effektopptak vil en stå i fare for at belastningen blir for høy på kontaktledningen nord for Lillestrøm uten at det bygges AT-system på Gardermobanen, dette har en sett vil komme til å skje uavhengig av om det bygges AT-system på Hovedbanen mellom Lillestrøm og Eidsvoll.

Når det gjelder spenningen for togene, ser en at noen flere tog enn i simuleringen i avsnitt 4.3.6, får lave spenninger. Dette gjelder tog på Gardermobanen mellom Jessheim og Eidsvoll, men allikevel er spenningen innenfor kravene i Teknisk regelverk.

Tabell 4-47 Maksimal belastning av omformerstasjonene. Prosentvis belastning av aggregater i drift ved den belastningsgraden som gjelder i hver av tidsperiodene.

| Belastning av omformerstasjonene unormal drift. Nokså omfattende utbygging av AT-system. Ny Oslo omformerstasjon på 6x24 MVA og HOL og ALN er nedlagt. Utfall av ett aggregat i Oslo og Lillestrøm. | | | | | | | |
|---|----------------|---------------------|----|------------|----|--------|----|
| Omformerstasjon | Innsatt ytelse | Strøm i RMS-verdier | | | | | |
| | | 2-sek | | 6-minutter | | 1-time | |
| | | [kA] | % | [kA] | % | [kA] | % |
| Oslo | 5 x 24 | 8,271 | 91 | 4,746 | 52 | 4,323 | 59 |
| Asker | 3 x 10 | 2,055 | 58 | 1,217 | 49 | 1,014 | 57 |
| Lillestrøm | 2 x 12 | 1,343 | 62 | 0,744 | 44 | 0,676 | 46 |
| Jessheim | 2 x 12 | 0,964 | 44 | 0,595 | 35 | 0,444 | 31 |
| Jessnes | 3 x 12 | 1,820 | 67 | 1,091 | 40 | 0,873 | 40 |
| Fåvang | 1 x 12 | 0,437 | 48 | 0,286 | 31 | 0,233 | 32 |
| Smørbekk | 2 x 14 | 1,687 | 77 | 0,990 | 58 | 0,823 | 48 |
| Kongsvinger | 2 x 5,8 | 0,544 | 44 | 0,279 | 29 | 0,246 | 35 |

Tabell 4-48 Maksimal belastning av utvalgte avganger til kontaktledningen. Alle verdier er referert til 15 kV-nivå. For AT-system er belastningen for NL og PL ikke oppgitt i prosent fordi en ikke kjenner tillatt belastning for noen tidsperioder.

| Avgang | Nominell strømføringsevne | 10 sek RMS | [%] | 1 min RMS | [%] | 6 min RMS | [%] | 10 min RMS | [%] | 1 time RMS | [%] |
|----------------|---------------------------|------------|-----|-----------|-----|-----------|-----|------------|-----|------------|-----|
| LIL-Nord HB | 600 | 1,169 | 39 | 0,793 | 63 | 0,482 | 60 | 0,444 | 59 | 0,323 | 54 |
| LIL-Nord GMB 1 | 800 | 1,433 | 36 | 1,337 | 80 | 0,886 | 83 | 0,781 | 78 | 0,500 | 63 |
| LIL-Nord GMB 2 | 800 | 0,835 | 21 | 0,647 | 39 | 0,358 | 34 | 0,339 | 34 | 0,246 | 31 |
| JES-Sør HB | 600 | 0,817 | 27 | 0,583 | 47 | 0,324 | 41 | 0,309 | 41 | 0,228 | 38 |
| JES-Sør GMB 1 | 800 | 0,623 | 16 | 0,436 | 26 | 0,365 | 34 | 0,303 | 30 | 0,233 | 29 |
| JES-Sør GMB 2 | 800 | 0,777 | 19 | 0,457 | 28 | 0,345 | 32 | 0,292 | 29 | 0,219 | 27 |

Tabell 4-49 Laveste oppstående spenning for togene og omtrentlig angivelse av banestrekning. Kun tog som får spenninger under 13,0 kV er undersøkt.

| Tog | Laveste spenning for togene [kV] | | |
|---------------------|----------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| | Momentan | 2-minutters RMS-verdi | Sted |
| T_1226 Tp74_1 | 11,76 | 13,08 | Østre linje |
| T_1228 Tp74_1 | 11,71 | 13,03 | Østre linje |
| T_1251 Tp74_2 | 11,75 | 13,12 | Østre linje |
| T_1253 Tp74_2 | 11,70 | 13,07 | Østre linje |
| T_3770 Tp71_2 | 12,82 | 14,15 | Jessheim – Eidsvoll GMB |
| T_328 Tp74_2 | 12,92 | 13,30 | Jessheim – Eidsvoll GMB |
| T_825 Tp74_2 | 12,93 | 13,30 | Jessheim – Eidsvoll GMB |
| T_824 Tp74_2 | 12,65 | 13,46 | Jessheim – Eidsvoll GMB |
| T_523 Tp74_2 | 12,93 | 14,03 | Jessheim – Eidsvoll GMB |
| T_574 Tp74_1 | 12,75 | 13,54 | Jessheim – Eidsvoll GMB |
| T_1221 Tp74_2 | 12,42 | 14,37 | Østre linje |
| T_67 Tp73_2 | 12,69 | 13,89 | Drammen - Hokksund |
| T_64 Tp73_2 | 12,34 | 13,91 | Drammen - Hokksund |
| T_79 Tp73_2 | 12,83 | 14,10 | Nordagutu - Neslandsvatn |
| T_5804 BR185-2_1200 | 12,82 | 14,14 | Nordagutu - Kongsberg |

4.4.4 Nokså omfattende utbygging av AT-system Holmlia og Alnabru er lagt ned og utfall av ett aggregat i Lillestrøm og Jessheim for alternativet med Oslo på 6x24 MVA (Alternativ AT2-V2-O-23)

I dette alternativet er det ikke AT-system på følgende strekninger, se for øvrig avsnitt I.3:

- Drammensbanen mellom Asker og Drammen.
- Hovedbanen mellom Lillestrøm og Jessheim og videre til Eidsvoll.
- Østfoldbanen på det gamle sporet mellom Oslo Holmlia og videre til Ski.
- Østre linje på Østfoldbanen.

4.4.4.1 Forutsetninger for simuleringen

Statikken for omformerne holdes uforandret. Dermed blir innstillingene:

Spenningsregulatorer:

verdiene for spenningsregulatorene som en fant optimale i de foregående undersøkelsene benyttes:

- Alle omformerstasjoner gis -12 % statikk
- Unntatt Nordagutu som gis -4 %.

Reaktans i statiske omformerstasjoner X_q :

- Oslo omformerstasjon 0,51 pu.
- Lillestrøm og Smørbekk 0,85 pu.
- Jessheim 1,02 pu.
- De øvrige statiske omformerne 0,68 pu.

4.4.4.2 Resultater for simuleringen

Ved utfall av ett aggregat i Lillestrøm og Jessheim viser Tabell 4-50 at spesielt Jessheim blir høyt belastet. Sammenlignet med forrige avsnitt 4.4.3, blir Lillestrøm nå lett belastet selv om X_q ikke er justert opp fra 75 % som en fant nødvendig. Derimot er Jessheim veldig høyt belastet og mye mer enn i simuleringen med tilsvarende avvikssituasjon og svært utstrakt utbygging av AT-system, se avsnitt 4.3.8. Oslo og Lillestrøm kan belastes mer for å avhjelpe Jessheim, men tydeligvis er muligheten for effektutveksling mellom stasjonene svekket. X_q for Jessheim skulle vært justert enda lengre opp, men det spørs hvor mye det egentlig vil hjelpe, da den uansett er justert høyt opp.

Når det gjelder tog som får lav spenning, se Tabell 4-51, er ikke situasjonen endret fra avsnitt 4.4.3, det er ingen tog på Gardermobanen som får noe lave spenninger når ett aggregat i Jessheim og Lillestrøm er utkoblet. Allikevel er disse lave spenningene innenfor det som tillates. Tabell 4-52 viser strømbelastningen på utvalgte avganger til kl-anlegget og igjen er det den ene avgangen fra Lillestrøm og nordover på Gardermobanen som er høyt belastet.

Tabell 4-50 Maksimal belastning av omformerstasjonene. Prosentvis belastning av aggregater i drift ved den belastningsgraden som gjelder i hver av tidsperiodene.

| Belastning av omformerstasjonene unormal drift. Nokså omfattende utbygging av AT-system. Ny Oslo omformerstasjon på 6x24 MVA og HOL og ALN er nedlagt. Utfall av ett aggregat i LIL og JES | | | | | | | |
|--|-------------------------|---------------------|-----------|------------|----|--------|----|
| Omformerstasjon | Innsatt ytelse [MVA] | Strøm i RMS-verdier | | | | | |
| | | 2-sek | | 6-minutter | | 1-time | |
| | | [kA] | % | [kA] | % | [kA] | % |
| Oslo | 6 x 24 | 8,596 | 79 | 5,155 | 47 | 4,716 | 54 |
| Asker | 3 x 10 | 1,894 | 54 | 1,129 | 46 | 0,933 | 53 |
| Lillestrøm | 2 x 12 | 1,221 | 56 | 0,673 | 40 | 0,609 | 42 |
| Jessheim | 1 x 12 | 0,984 | 90 | 0,594 | 70 | 0,433 | 60 |
| Jessnes | 3 x 12 | 1,772 | 65 | 1,061 | 39 | 0,840 | 39 |
| Kongsvinger | 2 x 5,8 | 0,506 | 40 | 0,257 | 27 | 0,225 | 32 |

Tabell 4-51 Laveste oppstående spenning for togene og omtrentlig angivelse av banestrekning. Kun tog som får spenninger under 13,0 kV er undersøkt.

| Tog | Laveste spenning for togene [kV] | | |
|---------------------|----------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| | Momentan | 2-minutters RMS-verdi | Sted |
| T 1226 Tp74 1 | 11,76 | 14,09 | Østre linje |
| T 1228 Tp74 1 | 11,72 | 14,07 | Østre linje |
| T 1251 Tp74 2 | 11,76 | 14,15 | Østre linje |
| T 1253 Tp74 2 | 11,72 | 14,09 | Østre linje |
| T 67 Tp74 1 | 12,70 | 14,62 | Drammen - Hokksund |
| T 64 Tp74 1 | 12,36 | 14,61 | Drammen - Hokksund |
| T 79 Tp74 1 | 12,81 | 14,47 | Nordagutu - Neslandsvatn |
| T 5804 BR185-2 1200 | 12,81 | 14,62 | Nordagutu - Kongsberg |
| T 3770 Tp71 2 | 12,81 | 14,45 | Jessheim – Eidsvoll GMB |
| T 328 Tp74 2 | 12,93 | 13,66 | Jessheim – Eidsvoll GMB |
| T 825 Tp74 2 | 12,93 | 13,64 | Jessheim – Eidsvoll GMB |
| T 824 Tp74 2 | 12,66 | 13,77 | Jessheim – Eidsvoll GMB |
| T 523 Tp74 2 | 12,93 | 14,08 | Jessheim – Eidsvoll GMB |
| T 574 Tp74 1 | 12,76 | 13,88 | Jessheim – Eidsvoll GMB |
| T 1221 Tp74 2 | 12,42 | 14,99 | Østre linje |

Tabell 4-52 Maksimal belastning av utvalgte avganger til kontaktledningen. Alle verdier er referert til 15 kV-nivå. For AT-system er belastningen for NL og PL ikke oppgitt i prosent fordi en ikke kjenner tillatt belastning for noen tidsperioder.

| Avgang | Nominell strømføringsevne | 10 sek RMS | [%] | 1 min RMS | [%] | 6 min RMS | [%] | 10 min RMS | [%] | 1 time RMS | [%] |
|----------------|---------------------------|------------|-----|-----------|-----|-----------|-----|------------|-----|------------|-----|
| LIL-Nord HB | 600 | 1,174 | 39 | 0,809 | 65 | 0,494 | 62 | 0,452 | 60 | 0,332 | 55 |
| LIL-Nord GMB 1 | 800 | 1,449 | 36 | 1,353 | 81 | 0,902 | 85 | 0,796 | 80 | 0,515 | 65 |
| LIL-Nord GMB 2 | 800 | 0,854 | 21 | 0,664 | 40 | 0,369 | 35 | 0,349 | 35 | 0,255 | 32 |
| JES-Sør HB | 600 | 0,795 | 27 | 0,572 | 46 | 0,320 | 40 | 0,310 | 41 | 0,229 | 38 |
| JES-Sør GMB 1 | 800 | 0,602 | 15 | 0,413 | 25 | 0,346 | 33 | 0,288 | 29 | 0,227 | 28 |
| JES-Sør GMB 2 | 800 | 0,745 | 19 | 0,438 | 26 | 0,351 | 33 | 0,294 | 30 | 0,218 | 27 |

4.4.5 Svært omfattende utbygging av AT-system men forsterkningsleder på noen strekninger med omformerstasjon i Oslo på 5 x 24 MVA nedleggelse av Holmlia og Alnabru og utfall av ett aggregat i Oslo og ett i Lillestrøm

Denne simuleringen tilsvarer svært omfattende utbygging av AT-system og ellers med alle forhold som i avsnitt 4.3.7, men i dette alternativet er det ikke AT-system på følgende strekninger.

- Drammensbanen mellom Oslo og Lysaker. Konvensjonelt BT-system videre mot Asker.
- Askerbanen mellom Lysaker og Asker.
- Gardermobanen mellom.

På disse strekningene er det heller satt inn forsterkningsleder i opprinnelig BT-system. Det er forutsatt at en 150 mm² AL parallellkoblet leder er tilstrekkelig. Untaket er strekningen Oslo – Skøyen der strømføringsvevnen til den nye taksकिनen er forutsatt. Impedansen til BT-system med returleder og denne forsterkningsleder er funnet i [5] til $Z = 0,15 + j0,14 \Omega/\text{km}$.

Simuleringen skal vise i vor stor grad effektutvekslingen mellom omformerstasjonene blir påvirket om impedansen mellom Asker, Oslo og Lillestrøm ikke blir så lav som med AT-system. Simuleringen med utfall av ett aggregat i Oslo og Lillestrøm er valgt fordi det forventes at i denne feilsituasjonen er det mer effekt som må utveksles mellom disse stasjonene. I denne simuleringen er med tilknytningen mellom Gjøvikbanen og Oslo koblingshus inne.

4.4.5.1 Forutsetninger for simuleringen

Statikken for omformerne holdes uforandret fra tilfellet med normal drift, se avsnitt 4.3.5. Dermed blir innstillingene:

Spenningsregulatorer:

verdiene for spenningsregulatorerne som en fant optimale i de foregående undersøkelsene benyttes:

- Alle omformerstasjoner gis -12 % statikk
- Unntatt Nordagutu som gis -4 %.

Reaktans i statiske omformerstasjoner X_q :

- Oslo omformerstasjon 1,02 pu.
- Lillestrøm og Smørbekk 0,85 pu.
- Jessheim 1,02 pu.
- De øvrige statiske omformerne 0,68 pu.

4.4.5.2 Resultater for simuleringen

I nedenfor viser Tabell 4-53 at høyeste den belastningen av omformerstasjonene blir lite påvirket av at det er forsterkningsleder istedenfor AT-system på de omtalte strekningene. Her kan en gjøre direkte sammenligning med avsnitt 4.3.7. Størst er forskjellen for maksimalt 2-sekundersbelastning for Asker som tidligere ble belastet 68 %, men som nå er belastet 73 %. Av dette kan en slutte at forsterkningsleder kontra AT-system her, ikke får betydning for valget av antall aggregater og størrelsen av dem.

Tabell 4-53 Maksimal belastning av omformerstasjonene. Prosentvis belastning av aggregater i drift ved den belastningsgraden som gjelder i hver av tidsperiodene.

| Belastning av omformerstasjonene unormal drift, omfattende utbygging av AT-system. Ny Oslo omformerstasjon på 5x24 MVA og HOL og ALN er nedlagt. Utfall av ett aggregat i Oslo og Lillestrøm. Ikke AT-system, men forsterkningsleder mellom Asker og Lysaker på Askerbanen og på Drammensbanen fra Lysaker til Oslo, samt på Gardermobanen fra Oslo til Lillestrøm. Rette feil der Gjøvikbanen ikke var koblet mot Oslo koblingshus | | | | | | | |
|--|----------------|---------------------|----|------------|----|--------|----|
| Omformerstasjon | Innsatt ytelse | Strøm i RMS-verdier | | | | | |
| | | 2-sek | | 6-minutter | | 1-time | |
| | [MVA] | [kA] | % | [kA] | % | [kA] | % |
| Oslo | 4 x 24 | 5,766 | 79 | 3,297 | 45 | 2,948 | 51 |
| Asker | 3 x 10 | 2,573 | 73 | 1,582 | 64 | 1,282 | 73 |
| Lillestrøm | 2 x 12 | 1,596 | 73 | 0,966 | 57 | 0,866 | 60 |
| Jessheim | 2 x 12 | 1,622 | 74 | 0,981 | 58 | 0,772 | 53 |
| Jessnes | 3 x 12 | 1,716 | 63 | 1,114 | 41 | 0,906 | 42 |
| Fåvang | 1 x 12 | 0,436 | 48 | 0,301 | 33 | 0,251 | 35 |
| Smørbekk | 2 x 14 | 1,845 | 85 | 1,105 | 65 | 0,933 | 55 |
| Sarpsborg | 2 x 12 | 0,945 | 56 | 0,595 | 35 | 0,488 | 34 |
| Kongsvinger | 2 x 5,8 | 0,590 | 47 | 0,324 | 34 | 0,290 | 42 |
| Lunner | 4 x 5,8 | 1,115 | 45 | 0,678 | 35 | 0,591 | 42 |
| Nordagutu | 2 x 7 | 0,836 | 51 | 0,442 | 34 | 0,363 | 44 |
| Skoppum | 2 x 7 | 0,920 | 56 | 0,576 | 45 | 0,476 | 58 |
| Porsgrunn | 2 x 12 | 1,288 | 71 | 0,938 | 52 | 0,769 | 53 |

4.5 Undersøkelser av følsomhet for endringer av parametere for togene

Til grunnlag for disse undersøkelsene velges alternativet med Oslo omformerstasjon etablert med aggregater på 6 x 24 MVA, se avsnitt 4.3.5.

4.5.1 Simulering med tog som tillates å trekke opptil 900 A

4.5.1.1 Forutsetninger for simuleringen

Togmodeller:

- Dobbeltsettene av Type 74 og 75 i tillates å trekke maksimal strøm som er 857 A

Alle andre forutsetninger som i grunnsimuleringen, se avsnitt 4.3.5.

4.5.1.2 Resultater for simuleringen

Effekten som trekkes for Oslo-området er blir nå 165,1 MW og 11,1 MVAR for momentanverdi og for 6-minutters MEAN-verdi fås 82,8 MW og 6,6 MVAR. Altså er økningen for aktiv effekt ikke mer enn henholdsvis 4,5 % og 1 % for 2-sekunders og 6-minuttersverdi, sammenlignet med tilsvarende simulering i avsnitt 4.3.5. Sammenlignes videre maksimalt effektopptak for omformerstasjonene i Tabell 4-54 med tilsvarende i simuleringen med tog som har strømgrense på 900A ser en at de kortvarige verdiene er en del

økt. Derimot er det små endringer for 6-minuttersverdiene og knapt noen for 1-timesverdiene. Fremdeles er det ikke noe problem for kraftsystemet å levere denne effekten.

Tabell 4-55 viser at de fleste avgangene til kl-anlegget får helt akseptable strømmer, med unntak av den ene nordlige avgangen fra Lillestrøm mot Gardermobanen som for sin 1-minutts verdi er belastet helt opp mot sin tillatte margin.

Tabell 4-54 Maksimal belastning av omformerstasjonene. Prosentvis belastning av aggregater i drift ved den belastningsgraden som gjelder i hver av tidsperiodene.

| Belastning av omformerstasjonene normal drift, omfattende utbygging av AT-system. Ny Oslo omformerstasjon på 6x24 MVA og HOL og ALN er nedlagt. Togene gis 900 A som maksimal effektgrense. | | | | | | | |
|---|----------------|---------------------|------|------------|------|--------|------|
| Omformerstasjon | Innsatt ytelse | Strøm i RMS-verdier | | | | | |
| | | 2-sek | | 6-minutter | | 1-time | |
| | | [MVA] | [kA] | % | [kA] | % | [kA] |
| Oslo | 6 x 24 | 9,071 | 83 | 5,013 | 46 | 4,554 | 52 |
| Asker | 3 x 10 | 2,076 | 59 | 1,135 | 46 | 0,951 | 54 |
| Lillestrøm | 3 x 12 | 1,651 | 50 | 0,909 | 36 | 0,828 | 38 |
| Jessheim | 2 x 12 | 1,390 | 64 | 0,820 | 48 | 0,612 | 42 |
| Jessnes | 3 x 12 | 1,619 | 59 | 1,002 | 37 | 0,763 | 35 |
| Fåvang | 1 x 12 | 0,394 | 43 | 0,265 | 29 | 0,210 | 29 |
| Smørbekk | 2 x 14 | 1,554 | 71 | 0,859 | 51 | 0,713 | 42 |
| Sarpsborg | 2 x 12 | 0,841 | 50 | 0,489 | 29 | 0,385 | 26 |
| Kongsvinger | 2 x 5,8 | 0,506 | 41 | 0,249 | 26 | 0,216 | 31 |
| Lunner | 4 x 5,8 | 1,405 | 56 | 0,636 | 33 | 0,481 | 34 |
| Nordagutu | 2 x 7 | 0,859 | 52 | 0,420 | 32 | 0,314 | 38 |
| Skoppum | 2 x 7 | 0,938 | 57 | 0,524 | 40 | 0,413 | 50 |
| Porsgrunn | 2 x 12 | 1,222 | 67 | 0,802 | 44 | 0,657 | 45 |

Tabell 4-55 Maksimal belastning av utvalgte avganger til kontaktledningen. Alle verdier er referert til 15 kV-nivå. For AT-system er belastningen for NL og PL ikke oppgitt i prosent fordi en ikke kjenner tillatt belastning for noen tidsperioder.

| Avgang | Nominell strømførings evne | 10 sek RMS | 10 sek [%] | 1 min RMS | 1 min [%] | 6 min RMS | 6 min [%] | 10 min RMS | 10 min [%] | 1 time RMS | 1 time [%] |
|----------------|----------------------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|
| LIL-Nord HB | 1920 | 1,587 | - | 1,038 | - | 0,703 | - | 0,621 | - | 0,452 | - |
| LIL-Nord GMB 1 | 800 | 1,540 | 39 | 1,418 | 85 | 0,875 | 82 | 0,743 | 74 | 0,448 | 56 |
| LIL-Nord GMB 2 | 800 | 0,696 | 17 | 0,510 | 31 | 0,306 | 29 | 0,276 | 28 | 0,192 | 24 |
| JES-Sør HB | 1920 | 1,089 | - | 0,880 | - | 0,551 | - | 0,482 | - | 0,365 | - |
| JES-Sør GMB 1 | 800 | 0,613 | 15 | 0,466 | 28 | 0,390 | 37 | 0,324 | 33 | 0,220 | 28 |
| JES-Sør GMB 2 | 800 | 0,797 | 20 | 0,457 | 27 | 0,302 | 28 | 0,255 | 26 | 0,184 | 23 |

4.5.2 Simulering med tog som tillates å trekke opptil 900 A akselerere med 1,4 m/s² svært gode adhesjonsforhold og regenerativ bremsing begrenset til 5 MW pr. tog

4.5.2.1 Forutsetninger for simuleringen

Togmodeller:

- Dobbeltsettene av Type 74 og 75 i tillates å trekke maksimal strøm som er 857 A
- Alle togene tillates å akselerere helt opp til 1,4 m/s².
- Adhesjonsforholdene er meget gode slik som funnet i [3]. I formelen i avsnitt 3.5 er 7,5 byttet ut med 54 og 44 byttet ut med 250.
- Togene tillates ikke å levere tilbake regenerativ effekt mer enn 5 MW, slik som gjeldende Network Statement forutsetter.

Alle andre forutsetninger som i grunnsimuleringen, se avsnitt 4.3.5.

4.5.2.2 Resultater for simuleringen

Effekten som trekkes for Oslo-området er blir nå 168,3 MW og 11,8 MVar for momentanverdi og for 6-minutters MEAN-verdi fås 84,8 MW og 6,6 MVar. Altså en økning fra forrige simulering som er helt marginal, se avsnitt 4.5.1. Tabell 4-56 viser at også maksimal belastning for omformerstasjonene har økt ubetydelig. I Tabell 4-57 ser en at den ene nordlige avgangen fra Lillestrøm for Gardermobanen har økt over verdi for marginen til kontaktledningen.

Tabell 4-56 Maksimal belastning av omformerstasjonene. Prosentvis belastning av aggregater i drift ved den belastningsgraden som gjelder i hver av tidsperiodene.

| Belastning av omformerstasjonene normal drift, omfattende utbygging av AT-system. Ny Oslo omformerstasjon på 6x24 MVA og HOL og ALN er nedlagt. Togene gis 900 A som maksimal effektgrense og 1,4 m/s ² som tillat akselerasjon, samt at høyeste regenerative effekt begrenses til 5 MW pr. tog. Meget gode adhesjonsforhold. | | | | | | | |
|--|----------------|---------------------|----|------------|----|--------|----|
| Omformerstasjon | Innsatt ytelse | Strøm i RMS-verdier | | | | | |
| | | 2-sek | | 6-minutter | | 1-time | |
| | [MVA] | [kA] | % | [kA] | % | [kA] | % |
| Oslo | 6 x 24 | 9,091 | 83 | 5,097 | 47 | 4,646 | 53 |
| Asker | 3 x 10 | 2,081 | 59 | 1,156 | 47 | 0,970 | 55 |
| Lillestrøm | 3 x 12 | 1,654 | 51 | 0,926 | 36 | 0,845 | 39 |
| Jessheim | 2 x 12 | 1,398 | 64 | 0,832 | 49 | 0,622 | 43 |
| Jessnes | 3 x 12 | 1,627 | 60 | 1,019 | 37 | 0,774 | 36 |
| Fåvang | 1 x 12 | 0,396 | 44 | 0,269 | 30 | 0,214 | 29 |
| Smørbekk | 2 x 14 | 1,559 | 71 | 0,872 | 51 | 0,726 | 43 |
| Sarpsborg | 2 x 12 | 0,836 | 49 | 0,491 | 29 | 0,388 | 27 |
| Kongsvinger | 2 x 5,8 | 0,507 | 41 | 0,253 | 26 | 0,220 | 31 |
| Lunner | 4 x 5,8 | 1,422 | 57 | 0,640 | 33 | 0,486 | 35 |
| Nordagutu | 2 x 7 | 0,891 | 54 | 0,438 | 34 | 0,316 | 38 |
| Skoppum | 2 x 7 | 0,942 | 57 | 0,529 | 41 | 0,419 | 51 |
| Porsgrunn | 2 x 12 | 1,194 | 66 | 0,809 | 44 | 0,665 | 46 |

Tabell 4-57 Maksimal belastning av utvalgte avganger til kontaktledningen. Alle verdier er referert til 15 kV-nivå. For AT-system er belastningen for NL og PL ikke oppgitt i prosent fordi en ikke kjenner tillatt belastning for noen tidsperioder.

| Avgang | Nominell strømføringsevne | 10 sek RMS | [%] | 1 min RMS | [%] | 6 min RMS | [%] | 10 min RMS | [%] | 1 time RMS | [%] |
|----------------|---------------------------|------------|-----|--------------|-----------|-----------|-----|------------|-----|------------|-----|
| LIL-Nord HB | 1920 | 1,583 | - | 1,041 | - | 0,701 | - | 0,615 | - | 0,446 | - |
| LIL-Nord GMB 1 | 800 | 1,544 | 39 | 1,422 | 86 | 0,876 | 82 | 0,744 | 75 | 0,448 | 56 |
| LIL-Nord GMB 2 | 800 | 0,604 | 15 | 0,454 | 27 | 0,275 | 26 | 0,256 | 26 | 0,182 | 23 |
| JES-Sør HB | 1920 | 1,084 | - | 0,878 | - | 0,543 | - | 0,472 | - | 0,359 | - |
| JES-Sør GMB 1 | 800 | 0,617 | 15 | 0,466 | 28 | 0,391 | 37 | 0,325 | 33 | 0,219 | 27 |
| JES-Sør GMB 2 | 800 | 0,798 | 20 | 0,455 | 27 | 0,303 | 28 | 0,256 | 26 | 0,183 | 23 |

4.5.3 Simulering med tog som kjører moderat

4.5.3.1 Forutsetninger for simuleringen

Togmodeller:

- Dobbeltsettene av Type 74 og 75 i tillates ikke å trekke mer effekt enn 2/3 MW. Dette tilsvarer 571 A eller at kun to av tre motorer er i drift.
- Alle togene tillates å akselerere helt opp til 0,8 m/s²
- Togene tillates ikke å kjøre fortere enn 94 % av skiltet hastighet, det vi si at de ikke benytter eventuell slakk i rutene til lengre stasjonsopphold.

Alle andre forutsetninger som i grunnsimuleringen, se avsnitt 4.3.5.

4.5.3.2 Resultater for simuleringen

Med tog som kjører moderat blir effekten som trekkes for Oslo-området 146,0 MW og 8,7 MVar for momentanverdi og for 6-minutters MEAN-verdi fås 77,5 MW og 5,8 MVar. Sammenlignes dette med simuleringen i forrige avsnitt 4.5.2 der togene kjørte meget hard, er forskjellen 22,3 MW for momentanverdien av aktiv effekt, eller 15 % høyere. Sammenlignes dette med tilfellet der togene kjører normalt, se avsnitt 4.3.5, er maksimalverdien her 12 MW mindre, eller ca. 6 % i forskjell. Ellers ser en av Tabell 4-58 at belastningen av omformerstasjonene er høyst moderat, og sammenlignet med avsnitt 4.3.5 er maksimal verdiene jevnt over en hel del lavere nå.

Tabell 4-58 Maksimal belastning av omformerstasjonene. Prosentvis belastning av aggregater i drift ved den belastningsgraden som gjelder i hver av tidsperiodene.

| Belastning av omformerstasjonene normal drift, omfattende utbygging av AT-system. Ny Oslo omformerstasjon på 6x24 MVA og HOL og ALN er nedlagt. Alle persontog kjører moderat. | | | | | | | |
|--|----------------|---------------------|----|------------|----|--------|----|
| Omformerstasjon | Innsatt ytelse | Strøm i RMS-verdier | | | | | |
| | | 2-sek | | 6-minutter | | 1-time | |
| | | [kA] | % | [kA] | % | [kA] | % |
| Oslo | 6 x 24 | 6,676 | 61 | 4,549 | 42 | 4,182 | 48 |
| Asker | 3 x 10 | 1,468 | 41 | 1,033 | 42 | 0,857 | 49 |
| Lillestrøm | 3 x 12 | 1,302 | 40 | 0,811 | 32 | 0,747 | 34 |
| Jessheim | 2 x 12 | 1,212 | 56 | 0,725 | 43 | 0,548 | 38 |
| Jessnes | 3 x 12 | 1,269 | 47 | 0,878 | 32 | 0,692 | 32 |
| Fåvang | 1 x 12 | 0,330 | 36 | 0,237 | 26 | 0,194 | 27 |
| Smørbekk | 2 x 14 | 1,140 | 52 | 0,746 | 44 | 0,634 | 37 |
| Sarpsborg | 2 x 12 | 0,732 | 43 | 0,415 | 24 | 0,344 | 24 |
| Kongsvinger | 2 x 5,8 | 0,419 | 33 | 0,223 | 23 | 0,196 | 28 |
| Lunner | 4 x 5,8 | 1,482 | 59 | 0,625 | 32 | 0,457 | 33 |
| Nordagutu | 2 x 7 | 0,867 | 53 | 0,420 | 32 | 0,292 | 35 |
| Skoppum | 2 x 7 | 0,753 | 46 | 0,440 | 34 | 0,366 | 44 |
| Porsgrunn | 2 x 12 | 0,976 | 54 | 0,735 | 40 | 0,603 | 41 |

4.5.4 Simulering med endringer av togrutene

4.5.4.1 Forutsetninger for simuleringen

Ruteplan:

Følgende endringer av rutene er endret etter at det ble oppdaget en feil i dimensjonerende ruteplan:

- Linje 002 Tønsberg - Lillehammer
 - Stange og Tangen stasjon er fjernet på strekningen Lillehammer – Oslo (downtrack).
 - Tog 318 er lagt til på strekningen Oslo -Tønsberg.
 - Tog 327 Er fjernet helt. Det var tidligere med på strekningen Tønsberg – Oslo, men starter nå etter 18:00 fra Tønsberg og av den grunn fjernet.
 - Tog 326 er fjernet på strekningen Oslo-Tønsberg. Den var tidligere med på hele strekningen Lillehammer – Tønsberg, men nå starter den etter 18:00 fra Oslo S, av den grunn fjernet på strekningen Oslo S – Tønsberg.
 - Tog 330 er fjernet helt. Det var tidligere med på strekningen Lillehammer – Oslo, men nå startet det etter 18:00 fra Lillehammer. Av den grunn fjernet.
 - Ellers har tog 317, 319, 321, 323, 325 og 320, 322, 324, 326, 328 fått nye rutetider etter den oppdaterte ruteplanen.
 - Stasjonene Stange og Tangen er blitt lagt til som stoppesteder i begge retninger.
- Linje 003 Skien – Hamar
 - Tog 828 er fjernet helt. Det var tidligere med på strekningen Skien – Oslo, men starter nå etter 18:00 fra Skien, av den grunn fjernet.

- Tog 815 er lagt til på strekningen Oslo – Skien. Det var tidligere ikke med fordi det ankom Skien før kl. 15:00, men nå ankommer det Skien etter 15:00. Derfor er toget lagt til.
- Tog 817 er fjernet fra strekningen Hamar – Oslo. Det ankom Oslo før kl. 15:00 både etter ny og gammel ruteplan, feilen er rettet opp.
- Tog 817, 819, 821, 823, 825 og 818, 820, 822, 824, 826 fått nye rutetider etter den oppdaterte ruteplanen.
- Stasjonene Sande, Holmestrand Skoppum er lagt til i begge retninger.

- Linje 03E Oslo - Tønsberg
 - Tog 931, 933 og 932, 934 har fått nye rutetider etter den oppdaterte ruteplanen.
 - Stasjonene Skoppen, Holmestrand og Sande er fjernet i begge retninger.
 - Tog 3931 er blitt endret. Det starter nå på Halden, og kjører til Kornsjø. Tidligere startet det i Oslo, men det var feil. Grunnen er at toget kommer som IC-tog 139 fra Oslo, og går over til å være fjerntog på Halden.

Som resultat av dette er togene 327, 330, 828, 3939 og 3960 fjernet og 815 lagt til. Grunnen til dette er at togene ikke kommer med i det tidsrommet som skal simuleres, eller i tog 815 at det har fått tidligere avgang og må inkluderes. Totalt er det altså fire tog mindre i trafikk, noe som kun utgjør en marginal endring. Av de togene som går i trafikk er det 25 tog som har fått endret sin rute, et som er lagt til og fire fjernet, altså er det totalt 30 av opprinnelig 305 tog som har fått endringer. Dette utgjør 10 % av det totale antallet tog.

Alle andre forutsetninger som i grunnsimuleringen, se avsnitt 4.3.5.

4.5.4.2 Resultater for simuleringen

Effekten som trekkes for Oslo-området er blir nå 161,1 MW og 11,8 MVar for momentanverdi og for 6-minutters MEAN-verdi fås 84,1 MW og 6,4 MVar. Dette er henholdsvis 3,1 og 2,2 MW mer effekt for 2-sekunders- og 6-minuttersverdi enn i simuleringen med den opprinnelige ruteplanen, se avsnitt 4.3.5. Ellers viser Tabell 4-59 at maksimalverdiene for belastningen for omformerstasjonene har endret seg noe, Oslo og Asker omformerstasjon får nå noe lavere effekt mens mange andre stasjoner får større belastning. Den største endringen av belastningen oppstår for Fåvang omformer på 10 prosentpoeng, men denne er særlig relevant her.

Tabell 4-59 Maksimal belastning av omformerstasjonene. Prosentvis belastning av aggregater i drift ved den belastningsgraden som gjelder i hver av tidsperiodene.

| Belastning av omformerstasjonene normal drift, omfattende utbygging av AT-system. Ny Oslo omformerstasjon på 6x24 MVA og HOL og ALN er nedlagt. Opprettet rute. | | | | | | | |
|---|----------------|---------------------|------|------------|------|--------|------|
| Omformerstasjon | Innsatt ytelse | Strøm i RMS-verdier | | | | | |
| | | 2-sek | | 6-minutter | | 1-time | |
| | | [MVA] | [kA] | % | [kA] | % | [kA] |
| Oslo | 6 x 24 | 8,016 | 73 | 4,867 | 45 | 4,442 | 51 |
| Asker | 3 x 10 | 1,780 | 50 | 1,015 | 41 | 0,914 | 52 |
| Lillestrøm | 3 x 12 | 1,558 | 48 | 0,903 | 35 | 0,809 | 37 |
| Jessheim | 2 x 12 | 1,495 | 69 | 0,803 | 47 | 0,595 | 41 |
| Jessnes | 3 x 12 | 1,636 | 60 | 1,014 | 37 | 0,755 | 35 |
| Fåvang | 1 x 12 | 0,479 | 53 | 0,297 | 33 | 0,211 | 29 |
| Smørbekk | 2 x 14 | 1,374 | 63 | 0,813 | 48 | 0,685 | 40 |
| Sarpsborg | 2 x 12 | 0,756 | 45 | 0,471 | 28 | 0,368 | 25 |
| Kongsvinger | 2 x 5,8 | 0,461 | 37 | 0,238 | 25 | 0,211 | 30 |
| Lunner | 4 x 5,8 | 1,405 | 56 | 0,639 | 33 | 0,481 | 34 |
| Nordagutu | 2 x 7 | 0,869 | 53 | 0,425 | 33 | 0,309 | 38 |
| Skoppum | 2 x 7 | 0,726 | 44 | 0,452 | 35 | 0,386 | 47 |
| Porsgrunn | 2 x 12 | 1,093 | 60 | 0,743 | 41 | 0,629 | 43 |

4.5.5 Simulering med forskyvning av togrutene slik at annethvert tog kjører 2 minutter tidligere

Det er gjort forsøk med å se hva forskyvning av togrutene får å bety.

4.5.5.1 Forutsetninger for simuleringen

Rute:

- Annethvert tog får avgang to minutter tidligere enn i opprinnelig (opprettet ruteplan).
- Avgangstiden for alle underveisstasjoner er fjernet.
- Togene stopper i 30 sekunder på alle stasjoner, unntatt på Oslo s der togene venter i 2,5 minutter.

Alle andre forutsetninger som i grunnsimuleringen, se avsnitt 4.3.5.

4.5.5.2 Resultater for simuleringen

Effekten som trekkes for Oslo-området er blir nå 138,4 MW og 9,4 MVA_r for momentanverdi og for 6-minutters MEAN-verdi fås 78,6 MW og 4,9 MVA_r. Maksimal belastning for omformerstasjonene er vist i Tabell 4-60 og sammenlignes dette med resultatene der opprinnelig rute ble simulert, se avsnitt 4.5.4, er forskjellene ikke store. Tendensen er at nesten alle stasjoner leverer mindre effekt for 2-sekundersverdien, unntatt Porsgrunn, Skoppum og Kongsvinger. Når det gjelder 6-minutters og 1-timesverdiene er endringene noe mindre, og stort sett er verdiene nå mindre.

Tabell 4-60 Maksimal belastning av omformerstasjonene. Prosentvis belastning av aggregater i drift ved den belastningsgraden som gjelder i hver av tidsperiodene.

| Belastning av omformerstasjonene normal drift, omfattende utbygging av AT-system. Ny Oslo omformerstasjon på 6x24 MVA og HOL og ALN er nedlagt. Opprettet rute med to minutters forskyvninger frem for annethvert tog. | | | | | | | |
|--|----------------|---------------------|----|------------|----|--------|----|
| Omformerstasjon | Innsatt ytelse | Strøm i RMS-verdier | | | | | |
| | | 2-sek | | 6-minutter | | 1-time | |
| | | [kA] | % | [kA] | % | [kA] | % |
| Oslo | 6 x 24 | 7,407 | 68 | 4,252 | 39 | 3,855 | 44 |
| Asker | 3 x 10 | 1,674 | 47 | 0,917 | 37 | 0,812 | 46 |
| Lillestrøm | 3 x 12 | 1,462 | 45 | 0,790 | 31 | 0,687 | 31 |
| Jessheim | 2 x 12 | 1,139 | 52 | 0,668 | 39 | 0,462 | 32 |
| Jessnes | 3 x 12 | 1,298 | 48 | 0,800 | 29 | 0,626 | 29 |
| Fåvang | 1 x 12 | 0,314 | 35 | 0,215 | 24 | 0,176 | 24 |
| Smørbekk | 2 x 14 | 1,108 | 51 | 0,718 | 42 | 0,589 | 35 |
| Sarpsborg | 2 x 12 | 0,593 | 35 | 0,373 | 22 | 0,314 | 22 |
| Kongsvinger | 2 x 5,8 | 0,627 | 50 | 0,243 | 25 | 0,186 | 27 |
| Lunner | 4 x 5,8 | 1,395 | 56 | 0,566 | 29 | 0,437 | 31 |
| Nordagutu | 2 x 7 | 0,821 | 50 | 0,388 | 30 | 0,289 | 35 |
| Skoppum | 2 x 7 | 0,902 | 55 | 0,510 | 39 | 0,379 | 46 |
| Porsgrunn | 2 x 12 | 1,270 | 70 | 0,749 | 41 | 0,608 | 42 |

4.5.6 Simulering med tilfeldige forskyvninger av togrutene

4.5.6.1 Forutsetninger for simuleringen

Rute:

- Annethvert tog får avgang to minutter tidligere eller senere enn i opprinnelig (opprettet ruteplan). Dette er tilfeldig hvilke tog som får forskyvning frem eller tilbake.
- Avgangstiden for alle underveisstasjoner er fjernet.
- Togene stopper i 30 sekunder på alle stasjoner, unntatt på Oslo s der togene venter i 2,5 minutter.

Alle andre forutsetninger som i grunnsimuleringen, se avsnitt 4.3.5.

4.5.6.2 Resultater for simuleringen

Med tilfeldige forskyvninger av togene (med opprettet rute) er tendensen også nå at alle omformerstasjoner belastes noe mindre, se Tabell 4-61 og sammenlign med avsnitt 4.5.4. Blant annet kan en se at Oslo er belastet hele 13 prosentpoeng mindre enn uten forskyvninger for sin 2-sekunders verdi. Effekten som trekkes for Oslo-området er blir nå 160,6 MW og 9,7 MVA for momentanverdi og for 6-minutters MEAN-verdi fås 80,0 MW og 5,1 MVA.

Tabell 4-61 Maksimal belastning av omformerstasjonene. Prosentvis belastning av aggregater i drift ved den belastningsgraden som gjelder i hver av tidsperiodene.

| Belastning av omformerstasjonene normal drift, omfattende utbygging av AT-system. Ny Oslo omformerstasjon på 6x24 MVA og HOL og ALN er nedlagt. Opprettet rute med tilfeldige to minuttersforskyvninger frem eller tilbake for annethvert tog. Togene holder 100 % hastighet. | | | | | | | |
|---|----------------|---------------------|----|------------|----|--------|----|
| Omformerstasjon | Innsatt ytelse | Strøm i RMS-verdier | | | | | |
| | | 2-sek | | 6-minutter | | 1-time | |
| | | [kA] | % | [kA] | % | [kA] | % |
| | [MVA] | | | | | | |
| Oslo | 6 x 24 | 6,545 | 60 | 4,236 | 39 | 3,896 | 45 |
| Asker | 3 x 10 | 1,529 | 43 | 0,881 | 36 | 0,807 | 46 |
| Lillestrøm | 3 x 12 | 1,197 | 37 | 0,776 | 31 | 0,695 | 32 |
| Jessheim | 2 x 12 | 1,019 | 47 | 0,612 | 36 | 0,462 | 32 |
| Jessnes | 3 x 12 | 1,441 | 53 | 0,874 | 32 | 0,640 | 29 |
| Fåvang | 1 x 12 | 0,342 | 38 | 0,217 | 24 | 0,178 | 24 |
| Smørbekk | 2 x 14 | 1,148 | 53 | 0,666 | 39 | 0,584 | 34 |
| Sarpsborg | 2 x 12 | 0,668 | 39 | 0,377 | 22 | 0,311 | 21 |
| Kongsvinger | 2 x 5,8 | 0,566 | 45 | 0,230 | 24 | 0,188 | 27 |
| Lunner | 4 x 5,8 | 1,291 | 52 | 0,584 | 30 | 0,444 | 32 |
| Nordagutu | 2 x 7 | 0,809 | 49 | 0,409 | 32 | 0,295 | 36 |
| Skoppum | 2 x 7 | 0,748 | 45 | 0,467 | 36 | 0,367 | 45 |
| Porsgrunn | 2 x 12 | 1,098 | 60 | 0,719 | 40 | 0,601 | 41 |

5 OPPSUMMERING, VURDERINGER, KONKLUSJON OG ANBEFALING

5.1 Oppsummering av resultatene

5.1.1 Simuleringsresultater

Simuleringsresultater for de alternative systemløsningene er vist i Tabell 5-1. For hver simulering viser tabellen hvorvidt omformere eller linjer blir overbelastet over akseptabelt nivå, eller togspenning faller under akseptabelt nivå. Forkortelsene er referert til forklaring i avsnitt 4.1.

Tabell 5-1 Oppsummerte simuleringsresultater

| Forkortelse | Overlast omf. | Overlast linjer | For lav spenning |
|--------------|---------------|-----------------|------------------|
| AT1-N | Ja | Ja (antatt) | Ja |
| AT1-N-O-1 | Nei | Ja | Ja |
| AT1-V1-O-1 | Ja | Ja | Ja (antatt) |
| AT2-N-O-23 | Nei | Nei (antatt) | Ja |
| AT2-V1-O-23 | Ja | Nei (antatt) | Nei |
| AT2-V2-O-23 | Ja | Nei (antatt) | Nei |
| AT3-N | Ja | Nei (antatt) | Nei |
| AT3-N-O-1 | Nei | Nei (antatt) | Nei (antatt) |
| AT3-V1-O-1 | Nei | Nei (antatt) | Nei (antatt) |
| AT3-V1-O-1-R | Nei | Nei (antatt) | Nei (antatt) |
| AT3-N-O-23 | Nei | Nei | Nei (antatt) |
| AT3-V1-O-23 | Nei | Nei | Nei (antatt) |
| AT3-V2-O-23 | Nei | Nei | Nei (antatt) |
| AT3-V3-O-23 | Ja | Nei (antatt) | Nei (antatt) |
| AT3-N-Å-1 | Nei | Nei (antatt) | Nei (antatt) |
| AT3-N-Å-23 | Nei | Nei (antatt) | Nei (antatt) |
| AT3-V1-Å-23 | Nei | Nei (antatt) | Nei (antatt) |
| AT3-N-OS-4 | Nei | Nei (antatt) | Nei (antatt) |
| AT3-N-OS-35 | Nei | Nei (antatt) | Nei (antatt) |
| AT3-V1-OS-35 | Nei(antatt) | Nei (antatt) | Nei (antatt) |
| AT3-V3-OS-35 | Ja | Nei (antatt) | Nei |

Tabellen viser at for å oppnå en akseptabel systemløsning er det nødvendig med svært utstrakt AT-utbygging. Alternativer med ny omformerstasjon i Oslo, Åsland og i både Oslo og Ski er alle robuste nok til å ivareta kravene ved dimensjonerende avvikssimuleringer.

5.1.2 Samlet effektopptak

Med svært utstrakt utbygging av AT-system blir den maksimale effekten som trekkes i Oslo-området rundt 158 MW for 2-sekunders MEAN-verdi og rundt 82 MW for 6-minutters MEAN-verdi. Dette er en nokså stor økning fra fase 1 der 50 nye FLIRT-tog ble introdusert og belastningen ble henholdsvis 103 og 53 MW for 2-sekunders og 6-minuttersverdi. Oslo-området er for øvrig definert som det grønne området i figurene som viser lastflyten.

5.1.3 Omformerbehov og plassering

En svært omfattende økning av omformerkapasiteten i Oslo-området er nødvendig. Følgende bestykning i omformerstasjoner er vurdert og funnet tilfredsstillende dersom Holmlia og Alnabru omformerstasjon fortsatt er i drift:

4. Oslo omformerstasjon på 4 x 24 MVA (kortvarig 30 MVA).
5. Åsland omformerstasjon på 4 x 24 MVA.
6. Oslo omformerstasjon på 3 x 24 MVA og Ski på 3 x 12 MVA

Følgende alternativer er vurdert under forutsetningen at Holmlia og Alnabru omformerstasjoner legges ned:

4. Oslo omformerstasjon på 5 x 24 MVA (kortvarig 30 MVA).
5. Åsland omformerstasjon på 5 x 24 MVA.
6. Oslo omformerstasjon på 4 x 24 MVA og Ski på 3 x 12 MVA

Disse tre hovedalternativene er teknisk sett likeverdige med hensyn på tilfredsstillende spenning for togene om det gjøres omfattende utbygging med AT-system som beskrevet nedenfor. Alternativene vil måtte gå gjennom en investeringsanalyse og bør også vurderes ut fra redundans. En fordel med etablering av ny omformerstasjon både i Oslo og på Ski er at konsekvensene med utfall av en hel omformerstasjon vil bli noe mindre. Imidlertid kan Oslo omformerstasjon bygges med stor redundans, og for eksempel med to uavhengige matinger fra overliggende nett. Dermed er muligens dette ikke noe viktig argument i seg selv.

5.1.4 Innstilling av spenningsregulatorer

Verdiene for spenningsregulatorenes statikk som en fant optimale:

- Alle omformerstasjoner gis -12 % statikk i normal drift.
- Unntatt Nordagutu som gis -4 %.

Reaktans i statiske omformerstasjoner (X_q) om Oslo omformerstasjon på 4 x 24 MVA velges:

- Oslo omformerstasjon 0,75 pu.
- Lillestrøm 0,85 pu ($X_{qM} = 0,3$ pu og $X_{qG} = 0,55$ pu).
- Jessheim og Smørbekk 1,02 pu ($X_{qM} = 0,9$ pu og $X_{qG} = 0,8$ pu).
- De øvrige statiske omformerne 0,68 pu ($X_{qM} = 0,52$ pu og $X_{qG} = 0,62$ pu).

Reaktans i statiske omformerstasjoner (X_q) om alternativet med Oslo omformerstasjon på 5 x 24 MVA og nedleggelse av Holmlia og Alnabru velges:

- Oslo omformerstasjon 1,02 pu ($X_{qM} = 0,9$ pu og $X_{qG} = 0,8$ pu).
- Lillestrøm og Smørbekk 0,85 pu ($X_{qM} = 0,3$ pu og $X_{qG} = 0,55$ pu).
- Jessheim 1,02 pu ($X_{qM} = 0,9$ pu og $X_{qG} = 0,8$ pu).
- De øvrige statiske omformerne 0,68 pu ($X_{qM} = 0,52$ pu og $X_{qG} = 0,62$ pu).

Reaktans i statiske omformerstasjoner (X_q) om alternativet med Åsland omformerstasjon på 4 x 24 MVA eller alternativet med Åsland omformerstasjon på 5 x 24 MVA og nedleggelse av Holmlia og Alnabru velges:

- Åsland omformerstasjon 0,85 pu ($X_{qM} = 0,3$ pu og $X_{qG} = 0,55$ pu).
- Lillestrøm og Smørbekk 0,85 pu ($X_{qM} = 0,3$ pu og $X_{qG} = 0,55$ pu).
- Jessheim 1,02 pu ($X_{qM} = 0,9$ pu og $X_{qG} = 0,8$ pu).
- De øvrige statiske omformerne 0,68 pu ($X_{qM} = 0,52$ pu og $X_{qG} = 0,62$ pu).

Reaktans i statiske omformerstasjoner (X_q) om alternativet med omformerstasjon i Oslo på 3 x 24 MVA og Ski på 3 x 15 MVA velges:

- Oslo omformerstasjon 0,51 pu ($X_{qM} = 0,46$ pu og $X_{qG} = 0,49$ pu).
- Lillestrøm, Ski og Smørbekk 0,85 pu ($X_{qM} = 0,3$ pu og $X_{qG} = 0,55$ pu).
- Jessheim 1,02 pu ($X_{qM} = 0,9$ pu og $X_{qG} = 0,8$ pu).
- De øvrige statiske omformerne 0,68 pu ($X_{qM} = 0,52$ pu og $X_{qG} = 0,62$ pu).

Reaktans i statiske omformerstasjoner (X_q) om alternativet med omformerstasjon i Oslo på 4 x 24 MVA og Ski på 3 x 15 MVA og nedleggelse av Holmlia og Alnabru velges:

- Lillestrøm, Ski og Smørbekk 0,85 pu ($X_{qM} = 0,3$ pu og $X_{qG} = 0,55$ pu).
- Jessheim 1,02 pu ($X_{qM} = 0,9$ pu og $X_{qG} = 0,8$ pu)
- De øvrige statiske omformerne, samt Ski 0,68 pu ($X_{qM} = 0,52$ pu og $X_{qG} = 0,62$ pu).

5.1.5 Behov for AT-system

Simuleringene har vist at omfattende utbygging av AT-system må gjøres for å kunne tillate den store trafikkapasiteten som er lagt til grunn i dimensjonerende ruteplan. Følgende banestrekninger forutsettes å få bygget AT-system for å tilfredsstille krav til strømføringssevne og spenning for togene, eller vil få nytt kl-anlegg på grunn av høy alder:

- Follobanen – nybygg, strømføringssevne og spenning.
- Østfoldbanen fra Ski til Halden, – nybygg, strømføringssevne og spenning.
- Østfoldbanen østre linje, – undersøkt at behov grunnet spenning.
- Gardermobanen fra Oslo til Lillestrøm, – undersøkt behov grunnet strømføringssevne.
- Drammensbanen fra Oslo til Lysaker, – undersøkt behov grunnet strømføringssevne.
- Askerbanen fra Lysaker til Asker, – undersøkt behov grunnet strømføringssevne.
- Dovrebanen Eidsvoll – Lillehammer, – nybygg, strømføringssevne og spenning.
- Vestfoldbanen fra Drammen til Porsgrunn, – nybygg, strømføringssevne og spenning.
- Hovedbanen fra Oslo til Lillestrøm, – nybygg grunnet alder.
- Gjøvikbanen fra Oslo til Gjøvik, – undersøkt behov grunnet spenning og strømføringssevne.
- Bergensbanen fra Roa til Nesbyen, – nybygg grunnet alder.
- Kongsvingerbanen, – nybygg grunnet alder.

Følgende baner trenger ikke AT-system, men for strømføringssevnen og effektutvekslingen, spesielt i avvikssituasjoner, vil det være gunstig:

- Drammenbanen fra Asker til Drammen, – forbedrer effektutvekslingen spesielt i avvikssituasjoner.
- Gardermobanen fra Lillestrøm til Eidsvoll om togene her fortsatt skal tillates 900 A.
- Hovedbanen fra Lillestrøm til Eidsvoll, – nødvendig om det ikke kommer AT-system på Gardermobanen fra Lillestrøm til Eidsvoll. Ellers gunstig for effektutveksling eller når alderen på anlegget tilsier utskifting.
- Østfoldbanen mellom Oslo og Ski, – forbedrer effektutvekslingen eller når alderen på anlegget tilsier utskifting.

Dette inngår i undersøkelsene for forutsetningene kalt “svært utstrakt bygging av AT-system”. Forlengelse av fjernledningen for å unngå AT-system på Asker- og Gardermobanen er forsøkt simulert, men strømbelastningen på disse kl-anleggene ble så stor at forsterkningsleder i tillegg er nødvendig. Imidlertid kan det tenkes at andre transformatorer med lavere reaktans og lavere impedans i kablene kan forbedre dette. I stedet for AT-system på noen av de nyeste

kl-anleggene som Oslo – Asker og Oslo – Lillestrøm, og eventuelt videre på Gardermobanen kan forsterkningsleder også vurderes.

5.1.6 Følsomhetsanalyse for lokomotivføreres kjørestil og ruteplanendringer

Variasjon av parameter for å etterligne forskjellige lokomotivføreres kjørestil har vist at samlet effektopptak innenfor Oslo-området kan variere en del. Med hardest kjørestil, i tillegg til best mulige adhesjonsforhold og mulighet til å trekke opptil 900 A for persontogene, er høyeste effektopptak ca. 168 MW for 2-sekundersverdien. Med moderat kjørestil kan effektuttaket bli 146 MW for 2-sekundersverdien. Dette er 5 % lavere enn verdien på 158 MW om denne velges som referanse for hard kjørestil. Med moderat kjørestil kan en forvente nærmere 8 % lavere samlet effektopptak.

5.2 Vurderinger rundt simuleringene

5.2.1 Spissbelastningens størrelse og usikkerhetene rundt dette

Simuleringene har vist at endringer av ruteplanen får en viss betydning for det maksimale effektopptaket til omformerstasjonene. Med den opprinnelige ruten og ny omformerstasjon i Oslo på 5 x 24 MVA kan følgende oppsummeres:

- Størst kortvarig effektopptak blir 158 MW og for 6-minuttersverdien 82 MW.
- Med oppretting og ny rute for ca. 10 % av togene blir den kortvarige belastningen 161 MW og for 6-minuttersverdien fås 84,1 MW. Stort sett noe lavere maksimal belastning for omformerstasjonene, unntatt Jessheim som belastes noe mer.
- Med forskyvninger to minutter frem for annethvert tog fås størst samlet effektopptak på 138 MW og 78,6 MW for 6-minuttersverdien. Stort sett en noe eller nokså mye lavere maksimalbelastning for omformerstasjonene.
- Med tilfeldig forskyvninger frem eller tilbake for annethvert tog fås samlet effektopptak på 161 MW og 80 MW for 6-minuttersverdien. Stort sett nokså mye lavere maksimalbelastning for omformerstasjonene.
- Endringene er mist for 6-minutters og 1-timesverdiene for maksimal belastningen av omformerstasjonene.

Økningen fra største kortvarig samlet effektopptak for Oslo-området til høyeste er for disse forskjellige alternativene ca. 17 %.

Også store endringer fås for endringer av togenes kjøreforhold og kjørestil for lokomotivførerne. Med aller mest effektpådrag i togene blir høyeste samlet effektbehov i Oslo-området på 168 MW. Da blir Oslo omformerstasjon kortvarig belastet nesten helt opp til høyeste tillatte grense. Derimot om togene kjører moderat og fås maksimalt samlet effektopptak for Oslo-området på 146 MW. Altså er forskjellen fra minste til største samlede maksimale effektopptak 15 %.

Største effektopptak for Oslo-området der en endrer på kjørestilen og kjøreforholdene blir altså 168 MW, og økningen fra opprinnelig rute er på 6 %. Med endring av ruten fås en økning fra 158 til 161 MW, dette tilsvarer en økning på ca. 2 %. Om en både får en endring av ruten og størst mulig effektopptak fra togene skulle en da forvente ett maksimalt samlet effektopptak for Oslo-området på 171 MW. Altså ikke noen stor endring.

Til tross for dette kan nok virkeligheten by på større endringer enn det som er sett på her. Imidlertid forventer en ikke store endringer av samlet effektopptak når det er veldig mange tog i trafikk som skyldes ruteendringer. Størst forskjeller vil en nok se som skyldes kjørestil og kjøreforhold. Og heller ikke for dette ble endringene dramatiske. En vil tro at stort verre en det som er simulert i avsnitt 4.5.2 neppe kan forventes, altså tog som kjører veldig hardt og veldig gode adhesjonsforhold.

Sammenligner som er gjort mellom målinger og simuleringer for Oslo-området høsten 2011 viser at simuleringene er konservative, se [12]. Her ble det funnet at simuleringene gir 15 – 20 % større belastning enn målingene. Det kan være veldig mange årsaker til dette, men personlig kjørestil er påpekt til sannsynligvis å være den største kilden til uoverensstemmelse, samt sammenlagring av strømmen fra flere tog. Personlig kjørestil kan endres innenfor et nokså bredt område, og det er også mulig å benytte en kjørestil som er energioptimal. Den energioptimale kjøringen er gjerne mer belastende for banestrømforsyningen enn en kjørestil som tar hensyn til komfort. I appendiks 3 kan en se at målinger for effektopptaket for et FLIRT-togsett ikke er vesentlig forskjellig fra simuleringene. Det er også i [12] påpekt at simuleringer utført i forskjellige programmer gir veldig like resultater som målinger. Dermed vil en anta at med flere tog som kjører i automatisk modus og mindre slak i ruteplanen, desto mindre vil ulikhetene mellom målinger og simuleringer bli. Ut fra dette mener en at de marginer en har ved dimensjonering av banestrømforsyningen er realistiske.

I simuleringene i fase 1, se [1] ble samlet effektbehov i Oslo-området ca. 109 MW kortvarig og for 6-minuttersverdien ble det 53 MW. Økningen her skyldes at alle tog er av Type 74 og 75, mens det i fase 1 ble simulert med ruter med mange Type 69 med vesentlig mindre installert ytelse.

5.2.2 Usikkerhet rundt virkningsgrad og simuleringmodellen for Type 74/75

Oppgitte data for FLIRT-togsettene som simuleringmodellen bygger på, er basert på data før disse togene ble satt i produksjon. Dermed kan det oppstå endringer av parameterne når disse prøvekjøres. Spesielt var den oppgitte virkningsgraden lav, ikke mer enn 70 %, som kan sies å være uvanlig lavt. I appendiks 3 er det vist testkjøring på Vestfoldbanen som viser at denne sannsynligvis er vesentlig bedre. Dette kan dette få store konsekvenser for resultatene en har kommet frem til her. Med andre ord at en har overestimert behovet for installert ytelse i omformerstasjonene.

5.2.3 Kan stort effektbehov Oslo – Lysaker skyldes at noe er galt med ruteplanen

Antallet autotransformatorer mellom Oslo og Lysaker ser påfallende stort ut, se vurderinger og tabeller i avsnitt 4.3.5. Det samme kan sies om strømmen på avgangene fra Oslo koblingshus mot Drammensbanen. En kan spørre seg om det virkelig kan trekkes mer strøm på denne korte strekningen enn på for eksempel Follobanen der antallet nødvendige autotransformatorer er mindre? Strømmen fra Oslo koblingshus mot Follobanen er også mindre. Dette til tross for at Follobanen er mye lengre enn strekningen Oslo – Lysaker. I vedlegg 1 er ruteplanen for hele området som simuleres vedlagt. Om en ser på blad 8A-1 og 8A-1 forstørret, ser en at det er flere tog mellom Oslo og Lysaker som ser ut til å gå nesten samtidig. Sannsynligvis vil noen slike tilfeller oppstå når det lages en skisse til ruteplan. Ofte må en godt dette fordi en ruteplan helt uten konflikter kan være meget tidkrevende å lage. I dette tilfellet kan det se ut til at effektopptaket blir unormalt høyt. Senere studier bør fokusere

på å få bearbeidet ruteplanen slik at mange slike uregelmessigheter ikke gir unormalt høy strøm.

5.2.4 Avansert styring av effektfordelingen i Oslo

En har i det foregående avsnitt 5.2.2 vurdert forhold rundt behovet for så stor omformerytelse i Oslo-området. Det er mulig at justering av X_q i forhold til belastningen kan styre effekten bedre og at en kan ha mindre samlet omformerytelse. En annen og mer sofistikert mulighet er et systemorgan som justerer opp X_q og/eller justerer ned statikken for omformerstasjoner der aggregater har falt ut og motsatt i stasjoner med ekstra kapasitet. Enda en mulighet er å la de statiske omformerstasjonene forsyne Oslo-området alene og innføre frekvensstatikk. Disse forslagene vurderes dog til å være vanskelige å realisere ved at de er kompliserte og krevende å innføre, eller ligge langt inn i fremtiden.

5.2.5 Forhold rundt redundans

En fordel med omformerstasjon både Oslo og Ski er at utfall av hele Oslo omformerstasjon blir mindre kritisk om Ski etableres. Dette er undersøkt i avsnitt 4.3.9 og 4.3.16 der det ble påvist at med utfall av Oslo og med etablering av Ski omformerstasjon vil belastningen på de andre stasjonene bli større. Spesielt vil Asker belastes så mye at den vil falle ut, mens de andre statiske omformerstasjonene går i strømgrense. Teknisk sett er alternativene likeverdige, men ut fra redundansbetraktninger er det klart at en så stor ytelse i Oslo kan gi noe større sårbarhet. Imidlertid kan den nye Oslo omformerstasjon utstyres med to uavhengige høyspente forsyningslinjer inn. I tillegg kan utrustningen inne være avdelt slik at selv en så alvorlig feil som brann bare fører til at en del av stasjonen blir uvirksom.

Med omformerstasjon i Åsland blir forholdene nesten de samme som med Oslo, men overføringen på høyere spenningsnivå betyr at flere komponenter kan svikte. Sannsynligheten er kanskje ikke stor for at et kabelanlegg og transformatorer skal svikte, men tiden det tar å reparere eller få nye slike komponenter er lang.

5.2.6 Tap og energiforbruk

Simuleringene har vist nokså små forskjeller mellom de forskjellige alternativene når det gjelder energiforbruket. Imidlertid er det ikke benyttet simuleringmodeller som tar hensyn til tomgangstapene i omformerstasjonene med roterende aggregater. Disse tapene vil være en del større enn for statiske omformere. Dette er det vanskelig å gjøre noe med, men det er et argument for å velge å legge ned omformerstasjonene i Holmlia og Alnabru. Tapene med AT-system går ned, men autotransformatorene har en del tomgangstap.

5.2.7 Regenerativ bremsing

I simuleringen i avsnitt 4.5.2 ble det forsøkt å redusere regenerativ bremsing for togene til 5 MW. Dette er den eneste simuleringen der dette ble testet. Sammenlignet med den foregående simuleringen der togene tillates å bremse regenerativ så mye som de kan, se avsnitt 4.5.1, er forskjellene for belastningen ikke stor. Både forskjellen for belastningen for hver enkelt omformer og for hele Oslo-området er liten. Selv om også andre parametere ble endret i samme simulering tyder dette på at regenerativ bremsing ikke har mye å si for maksimalbelastningene som oppstår.

5.2.8 Stort behov for kabler kan være utfordrende

Ved omfattende installasjon av kabler og kapasitive filtre tilknyttet statiske omformere og tog (spesielt RC-lokomotiver) reduseres systemets resonansfrekvens. Samtidig kan styring i moderne tog være aktiv ved høyere frekvenser enn tidligere. I kombinasjon kan dette medføre at moderne traksjonsmaterieell eksiterer nettets elektromagnetiske resonansfrekvens. Resultatet av dette kan være forhøyede og skadelige spenninger, samt at det kan forstyrre styringen til moderne tog og omformere slik at de stopper. Egne analyser må gjøres for å finne ut av om dette vil være et problem. Siden problemet er størst med togmaterieell som har tyristorstyrte DC-motorer kan en forvente at dette ikke blir så stort problem med overgang til moderne tog. Moderne tog trekker strøm uten så stort innslag av overharmoniske og dermed kan det hende at dette problemet ikke oppstår. Skulle problemet oppstå er det mulig å gjøre visse avbøtende tiltak. Det er mulig å installere filtre og kapasitansen i kabler kan begrenses ved å øke ledertverrsnittet.

5.2.9 Overbelastningsvern vil kunne bli nødvendig for avgangene fra omformerstasjonene

Med de nye FLIRT-togene i trafikk, nye baner og en svært stor økning av omformerytelsen i Oslo-området gjør at det er større effektmengder som skal overføres enn en har vært vant med til nå. Ved unormale driftsituasjoner kan overføringen på kl-anleggene bli så store at det vil være fare for skadelige temperaturer, spesielt om det blir nødvendig med omfattende utbygging av kabelanlegg. Det vil da være et relevant tiltak å sette inn overbelastningsvern på avganger fra omformerstasjoner og koblingshus.

5.2.10 Behov for autotransformatorer og topolte koblingshus

Undersøkelsene i avsnitt 4.3.5 og 4.4.2 viste et stort behov for autotransformatorer ved sentrale koblingshus. For å unngå så omfattende behov for autotransformatorer bør det velges to-polte koblingshus, det vil si at en har gjennomgående forbindelse for negativ- og positivleder og en samleskinne for hver av disse. Skal en gå ned i spenningsnivå blir en nødt til å ha mange autotransformatorer for linjene inn mot koblingshuset, men ved overføring på 30 kV trenges bare den/ de som er nødvendig for å levere effekt til nærområdet.

Behovet for autotransformatorer ved Ski er undersøkt med tanke på at kun Follobanen får AT-system og at Østfoldbanen både mot nord og sør har konvensjonelt BT-system, i tillegg til at det heller ikke på Østre linje kommer AT-system. Det er forutsatt ett topolet samleskinneanlegg i koblingshuset her. Da er det mulig å ha felles autotransformatorer for alle avgangene (Altså ikke behov for separate autotransformatorer etter effektbryteravgangene slik som på omformerstasjoner med 15 kV-samleskinne). Ski er det da funnet behov for fire autotransformatorer for å transformere effekten mellom 30 kV-nivået på Follobanen og de andre banene.

En svakhet med beregningen er at det ikke er tatt hensyn til dagens trase for Østfoldbanen videre sørover. Dagens trase og trafikk vil kreve mindre effekt og det kan være mulig at færre autotransformatorer kunne vært brukt. Dette er gjort under forutsetning om at ny omformerstasjon kommer i Oslo. Ny omformerstasjon på Åsland vil neppe endre på dette.

Koblingshus som Lysaker som bare er en-polte bør således bygges om fremfor at det skal stå mange autotransformatorer i tilknytning til den. Likeledes vil en også kunne slippe mange

autotransformatorer om en ikke har overgang fra banestrekningen med 15 kV (BT-system) og 30 kV (AT-system) som i Drammen om strekningen Asker – Drammen har BT-system.

5.2.11 Forsterkningsledning istedenfor AT-system på visse strekninger

På Drammensbanen, Askerbanen og Gardermobanen er det nokså nye kl-anlegg og ombygging til AT-system kan bli kostbart når det gjøres på helt nye anlegg. Her er det mulig å sette på spir på kl-mastene for NL og PL, men på Gardermobanen med sine helt spesielle kl-master kan dette bli vanskeligere. I tunneler kan NL og PL gjennomføres som kabler, men stort antall kabler kan også være problematisk, se avsnitt 5.2.8. En ytterligere utfordring kan bli et stort antall autotransformatorer ved eksisterende omformerstasjoner som Asker og Lillestrøm.

Forsterkningsleder kan da være en mulighet og det vil da være snakk om en blank aluminiumsleder som kobles i parallell med kontaktledningen. En forsterkningsleder på 240 mm² Al tverrsnitt har i tidligere sammenhenger vært omtalt som et passende tverrsnitt for en forsterkningsleder. Simuleringsresultatene i avsnitt 4.3.5 viser hvilke strømmer som kan forventes. Denne vil kunne ha en nominell strømføringssevne på 495 A, se [7]. Til sammen blir da strømføringssevnen 1095 A om kl-anleggets strømføringssevne er 600 A. (Avlesning av figuren i avsnitt 2.3 ga noe lavere verdi.)

I avsnitt 4.4.5 så en at forsterkningsleder istedenfor AT-system på strekningene Asker - Lysaker på Askerbanen, Lysaker – Oslo og Oslo – Lillestrøm på Gardermobanen ikke fikk stor betydning for den maksimale belastningen av omformerstasjonene. Imidlertid kan det for tunnelene på disse banene tenkes at det er nødvendig med høyere tverrsnitt på forsterkningslederen enn på 240 mm² Al. Dette fordi kabler har lavere strømføringssevne, dessuten viser undersøkelsen i avsnitt 4.3.5 at strømmen på avgangene til Gardermobanen fra Oslo er spesielt store.

En annen løsning for å få et enklere AT-system er og la NL og PL gå mellom omformerstasjonen og koblingshusene på de omtalte strekningene. Eventuelt også utenom kl-anlegget, slik at dette berøres minst mulig. Altså at en beholder dagens sugetransformatorer, returledninger og andre installasjoner, samt at Lysaker koblingshus beholdes som et enpolet anlegg. På denne måten trenges bare ett sett med NL og PL mellom Asker – Lysaker koblingshus – Oslo koblingshus – Lillestrøm og eventuelt vider mot Jessheim. Disse kan da velges som kabelanlegg hele vegen eller som blanke ledere på toppen av mastene, men bare på ett av sporene. Gjøres dette vil nok også antallet autotransformatorer bli mindre.

5.2.12 Nedleggelse av Holmlia og Alnabru vil senke kortslutningsnivået i Oslo-området

Høy kortslutningsytelse spesielt i Oslo-området kan bli et problem, spesielt ved etablering av AT-system. Høy kortslutningsytelse medfører at kabelskjermer og jordingsanlegg må dimensjoneres for å tåle den termiske påkjenningen som oppstår ved en kortslutning. Ved innføring av AT-system vil ikke nødvendigvis ytelsen i området øke, men omformere kommer elektrisk nærmere kortslutningsstedet. Dermed vil det i seg selv være gunstig om økt ytelse i Oslo skjer ved at statiske omformere innføres fordi disse har liten kortslutningsytelse sammenlignet med roterende. Samtidig som en ny stor statisk omformerstasjon etableres vil det også være gunstig om Holmlia og Alnabru omformerstasjoner nedlegges.

En 10 MVA roterende omformer (ASEA Q48) har en subtransient kortslutningsstrøm på 3,8 kA. En tilsvarende 12 MVA omformerenhet har til sammenlikning en maksimal kortslutningsstrøm på 1,3 kA, det vil si en reduksjon på ca. 66 %. Å erstatte roterende omformere med statiske er derfor en effektiv måte å redusere kortslutningsytelsen på.

Andre metoder for å redusere kortslutningsytelsen vil bli mer gjennomgripende. Eksempler kan være å dele opp hele nettet i to parallelle nett, for eksempel slik at østgående og vestgående spor mates uavhengig av hverandre, eller med brudd og dødseksjoner ved enkelte snitt i nettet. Dette er omfattende tiltak som en ønsker å unngå.

5.2.13 Ytterligere utbygging i Oslo-området

Med utbygging av en ny Oslotunnel vil kapasiteten i hele Østlandsområdet kunne økes betraktelig. Denne trafikkøkningen vil kunne føre til at ytterligere omformerkapasitet må bygges ut. Ved planlegging av ny omformerstasjon i Oslo-området bør det derfor tas høyde for at ytterligere utvidelser av stasjonen kan komme i en ikke altfor fjern fortid. Også en ny Ringeriksforbindelse kan økte effektbehov, men neppe på langt nær så mye som en ny Oslotunnel.

5.2.14 Vurderinger rundt omformerkapasitet på andre linjer

Modellen for kraftsystemet tar ikke bare for seg Oslo-området i detalj, men er med hensikt gjort veldig stor. Ved at store deler av Østlandsområdet er inkludert får en frem data for omformerstasjonene sin belastning på de nye dobbeltsporene. Ruteplanen som er benyttet gjelder for rushtrafikken i Oslo-området og denne trafikken brer seg ut i periferien, og vil være representativ for forventet maksimal belastning. Imidlertid kommer det inn ett forbehold, og det er at bygging av en ny Oslotunnel vil kunne øke trafikkbelastningen i hele Østlandsområdet. Her følger en vurdering av behovet for omformerkapasitet på de forskjellige banene på Østlandet:

Gjøvikbanen

Omformerstasjonen på Lunner blir moderat belastet med aggregater på 4 x 5,8 MVA. Dette synes som en altfor stor omformerstasjon. Et forbehold er at hensikten med den store omformerstasjonen her er å legge ned Hønefoss omformerstasjon, se [6]. Hønefoss er med i simuleringene slik at denne bidrar til å redusere belastningen for Lunner. Et annet forbehold er at det er veldig lite trafikk mellom Roa og Hønefoss og videre på Bergensbanen i ruteplanen som er benyttet her. Det kan tenkes at det store effektbehovet kommer av at effektutvekslingen med Oslo-området ikke er modellert riktig i tidligere simulering. Altså at det er undervurdert hvor mye Oslo-området kan bidra med effekt oppover mot Gjøvikbanen.

Uten AT-system på Gjøvikbanen vil spenning bli svært lav og dette ansees som nødvendig å innføre for å kunne kjøre de nye FLIRT-togene etter denne ruteplanen. Det er imidlertid mulig at et sterkt redusert ruteopplegg kan gjennomføres uten at spenningene blir under 12 kV.

Dovrebanen

Her er det planlagt at Tangen, Rudshøgda og Fåberg skal legges ned og at Jessnes med 3 x 12 MVA (eller annen plassering ved Hamar) og Fåvang etableres 2 x 12 MVA. Fra tidligere simuleringer, se [10], er ytelsen på disse stasjonene foreslått, og det ser ut til at denne ytelsen ikke er for liten. Tilknytningen til Oslo-området vil nok ha mindre å si for disse omformerstasjonene. Dette fordi avstanden til Oslo er stor og at spesielt Jessheim, men også

Lillestrøm, er store omformerstasjoner som bidrar mye. AT-system på Hovedbanen og eventuelt også på Gardermobanen vil bidra til å overføre effekt fra Lillestrøm til Dovrebanen.

Utbyggingen av dobbeltsporet mot Hamar og Lillehammer vil skje gradvis og i mellomtiden vil dagens eksisterende omformerstasjoner måtte opprettholde driften. Sannsynligvis vil det måtte bli nødvendig å bygge opp Jessnes omformerstasjon innen deler av dobbeltsportraseen kommer. Dette fordi effektbehovet kan bli større enn hva Rudshøgda og Fåberg kan tilfredsstille for tog med stor hastighet.

Kongsvingerbanen

Her er aggregater på 2 x 5,8 MVA (Q38) passende stor ytelse. Belastningen på Kongsvingerbanen synes å bli moderat, men nokså lav og varierende hastighet gir varierende effektbehov. Dessuten gjør AT-systemet at effektutvekslingen med Lillestrøm blir god slik at denne avlaster Kongsvinger omformerstasjon. Godstrafikken på andre tider av døgnet kan muligens øke den termiske belastningen, men neppe spissbelastningen siden multiple FLIRT-tog har en installert ytelse større enn de fleste multiple lokomotiver.

Østfoldbanen med Østre linje

Her vil ytelsen i Smørbekk og Sarpsborg være tilfredsstillende. På Østre linje må det bygges nytt kl-anlegg med AT-system om ikke spenningen skal bli for lav. Utbyggingen av nytt dobbeltspor på Østfoldbanen vil skje gradvis og det antas med stor sikkerhet at disse omformerstasjonene vil være tilfredsstillende. Den største utfordringen vil nok være å bestemme antallet autotransformatorer i overgangen mellom nytt kl-anlegg med AT-system og det eksisterende konvensjonelle systemet.

Vestfoldbanen

Skoppum omformerstasjon med aggregater på 2 x 7 MVA (roterende) og Porsgrunn på 2 x 12 MVA er bestemt ut fra studien i [11] og ser ut til å være passende størrelser. Det forutsettes at dagens omformerstasjon i Larvik legges ned, det samme gjelder Sande transformatorstasjon. Utbyggingen vil skje gradvis og dagens omformerstasjon på Skoppum bør utvides i tråd med fremtidens behov snarest. Larvik vil eksistere i flere år før den nye i Porsgrunn etableres. Om Larvik får midlertidig utvidet sin ytelse med roterende aggregater på 2 x 7 MVA vil dette omtrent tilsvare den anbefalte ytelsen i Porsgrunn. Gjøres dette vil det sannsynligvis være nok effekt til Vestfoldbanen, men med konvensjonelt kl-anlegg på delstrekninger vil nok spenningene kunne bli noe lav med de nye togene.

Sande transformatorstasjon er forutsatt fjernet i simuleringene og med AT-system på Vestfoldbanen er det heller ikke behov for denne. Men det er godt mulig at dette innmatepunktet kan støtte opp banestrømforsyningen i området så lenge det er konvensjonelt system mellom Skoppum – Sande – Drammen – Asker.

Randsfjordbanen og Sørlandsbanen

På strekningen fra Drammen mot Nordagutu oppstår noe lave spenninger for flere tog og selv om det ble satt inn en transformator med trinnkobler på Skollenborg. Det er forutsatt at det ikke er behov for AT-system på strekningene som får innmating fra fjernledningen. Økning av antall transformatorer på strekningen bør vurderes, helst med automatisk trinnkobler. Mellom Asker – Drammen – Skoppum og videre på Vestfoldbanen vil bygging av AT-system være best. Det må da være et topolet koblingshus i Drammen med utmating på 15 kV-nivå mot Hokksund.

Når en ser hvor liten effektutvekslingen mellom for eksempel Asker og Nordagutu er, kan en trekke i tvil om det er noen hensikt med fjernledningen. Det er mulig at hensikten er størst for å overføre effekt fra Hakavik kraftverk til innmatepunktene langs linjene. Egne studier for behovet for fjernledningen bør gjøres og det er mulig at en høyspentlinje fra Hakavik og til nærmeste bane med AT-system er tilstrekkelig.

5.3 Konklusjon og anbefaling

Simuleringene har vist et stort behov for ny installert ytelse og økt overføringskapasitet i Oslo-området. Følgende utbygging av AT-system er nødvendig i Oslo-området for å gi en akseptabel systemløsning:

- Follobanen, – nybygg.
- Østfoldbanen fra Ski til Halden, – nybygg.
- Østfoldbanen østre linje, – undersøkt at behovet er lav spenning.
- Gardermobanen fra Oslo til Lillestrøm, – undersøkt, og funnet behov grunnet strømføringsevne.
- Drammensbanen fra Oslo til Lysaker, – undersøkt, og funnet behov grunnet strømføringsevne.
- Askerbanen fra Lysaker til Asker, – undersøkt, og funnet behov grunnet strømføringsevne.
- Dovrebanen Eidsvoll – Lillehammer, – nybygg.
- Vestfoldbanen fra Drammen til Porsgrunn, – nybygg.
- Hovedbanen fra Oslo til Lillestrøm, – nybygg grunnet alder.
- Gjøvikbanen fra Oslo til Gjøvik, – undersøkt behov grunnet spenning og strømføringsevne.
- Kongsvingerbanen, – nybygg grunnet alder.

Dette alternativet er i rapporten kalt svært utstrakt bygging av AT-system.

Alternativer for ny omformerytelse som anbefales er i hovedsak:

- Ny omformerstasjon i Oslo eller Åsland på 3 x 24 MVA.
- Nedleggelse av Holmlia og Alnabru og ny omformerstasjon i Oslo eller Åsland på 5 x 24 MVA.
- Ny omformer i Oslo og Ski på henholdsvis 3 x 24 MVA og 3 x 12 MVA.
- Nedleggelse av Holmlia og Alnabru og ny omformerstasjon i Oslo og Ski på henholdsvis 4 x 24 MVA og 3 x 12 MVA.

En ny omformerstasjon i Oslo behøver ikke nødvendigvis å ligge i Oslo sentrum, men det er forutsatt at den leverer effekt til Oslo koblingshus. Et alternativ er å plassere den i Åsland, midt på den nye Follobanetunnelen. Denne stasjonen kan enten forsyne Oslo koblingshus alene eller både Oslo koblingshus og kl-anlegget i de to sporene på Follobanen. Alternativet med Åsland har den ulempen at effekten må overføres via et kabelanlegg og at transformatorer må benyttes. Dette vil gi flere komponenter som vil påvirke anleggets tilgjengelighet.

Alle de undersøkte og anbefalte alternativene vil gi en tilfredsstillende banestrømforsyning i henhold til Teknisk regelverk, - JD 540, sine krav. Allikevel bør det vurderes å legge ned Holmlia og Alnabru omformerstasjoner for å redusere de totale tapene og for å senke kortslutningsytelsen i Oslo området. Ut fra helt overordnet redundansvurderinger anbefales

det at den nye omformerstasjonen legges så nært Oslo koblingshus som mulig. Dette for at overføringene til dette blir enklest mulig. Egne økonomiske vurderinger må gjøres av alternativene og disse vil føre frem til endelig valg. Vurderinger med hensyn på redundans bør også gjennomføres.

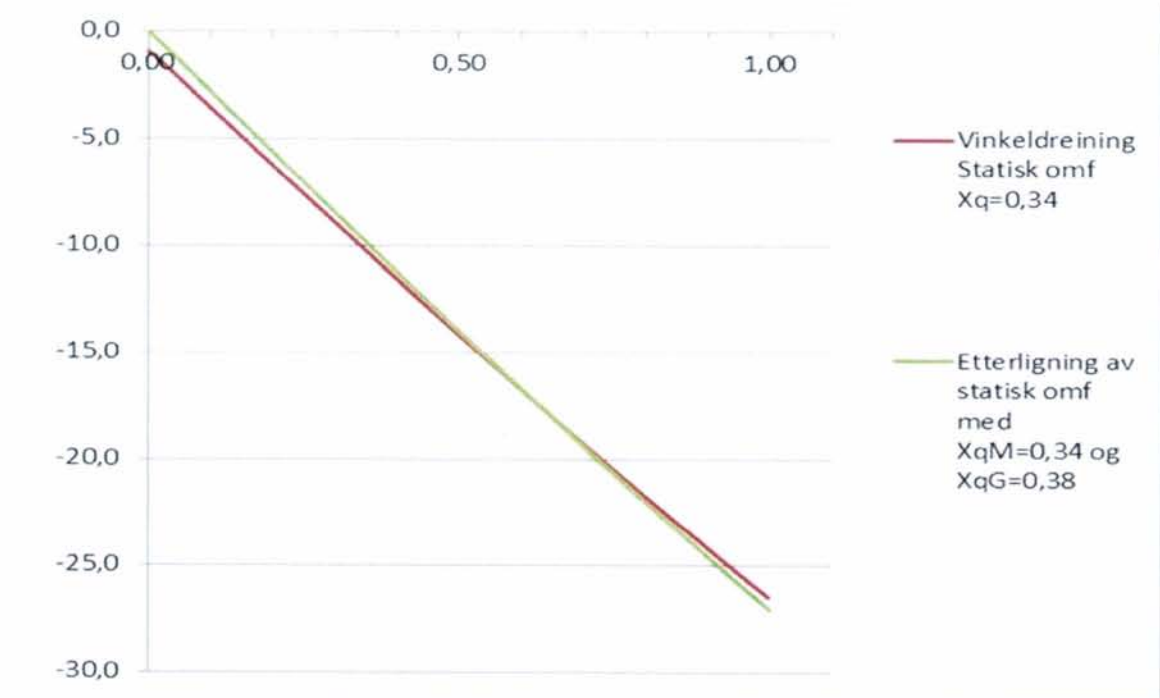
Simuleringene som er sammenlignet med målinger ved testkjøring av Type 74/75 viser at virkningsgraden i virkeligheten er bedre. Det er også påvist at noen tog mellom Oslo og Lysaker kjører omentrent samtidig. Dette kan være kilder til overestimering av nødvendig ytelse. På grunn av dette kan det være nødvendig å utføre nye analyser der dette er endret.

6 REFERANSER

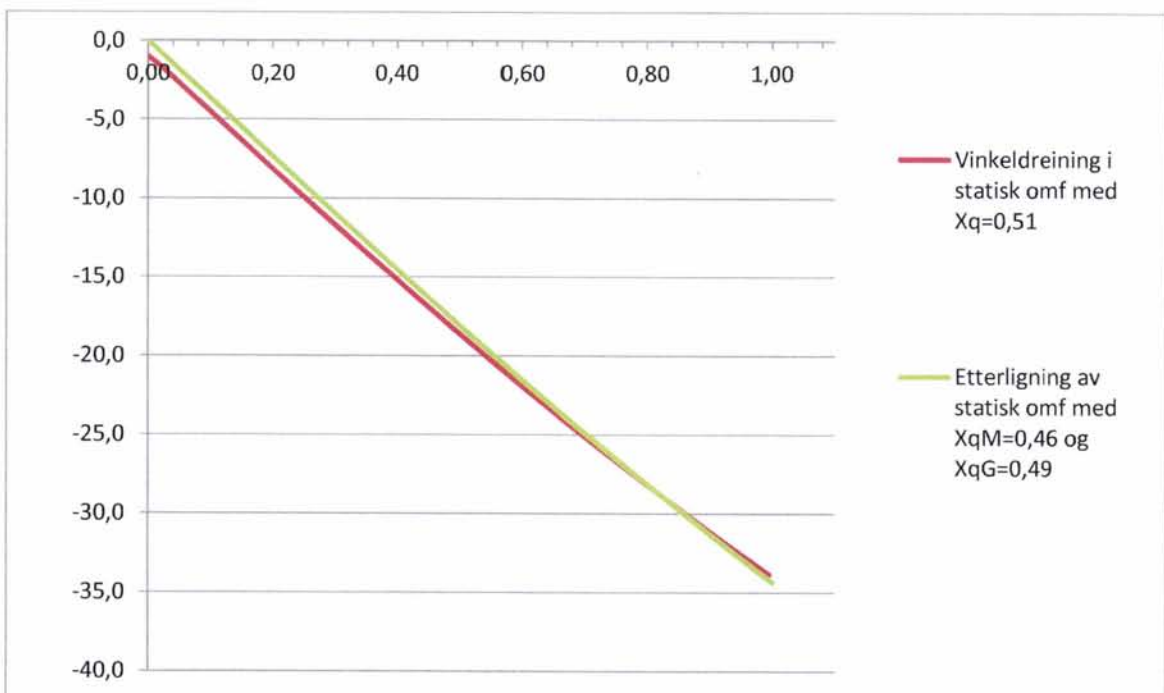
1. Frank Martinsen: "Banestrømforsyningen i Oslo-området med trafikkøkninger i forbindelse med ruteplan R2012", Fase 1 – Trafikk og infrastruktur i nær fremtid". Simuleringsrapport, Jernbaneverket, 18.6.2010. Dokument nr EB-100776-000.
2. Frank Martinsen: "Banestrømforsyningen i Oslo-området med trafikkøkninger i forbindelse med ruteplan R2012", Fase 2 – Trafikk og infrastruktur i nær fremtid". Simuleringsrapport, Jernbaneverket, nn.nn.2011. Dokument nr. EB-100830-000.
3. Eivind Toreid: "Simulering og måling av effektopptak for godstog med lokomotiv CE119". Sommerjobb i 2010. Jernbaneverket 01.04.2011. EB.800121-000.
4. György Varju: "Further investigation of AT-system for the Norwegian Railway, Part 2 – EMC study for ATPLNL system in Norway", Budapest 2005.
5. Frode Johannessen: "Landsdekkende kraftsystemplaner, delrapport 1 av 7 – Utredning av alternativer", april 1999.
6. Samson Yared: "Fremtidig banestrømforsyning på Gjøvikbanen". Simuleringsrapport, Jernbaneverket 24.01.2010. Dokument nr. EB.100774-000.
7. ALCATEL Kabel Norge: "Energioverføring – Kabel – Line – Utstyr – Tjensester".
8. Norconsult: "Beregning av termisk belastbarhet for høyspentkabler – AT-system i jernbanetunneler", 02-05.2005.
9. Jernbaneverket: "Valg av tverrsnitt for NL og PL ledere i AT-system med seksjonert kontaktledning", 2006.
10. Samson Yared: "Utredning av banestrømforsyningen på Dovrebanen". Simuleringsrapport, Jernbaneverket, 10.01.2012. Dokument nr. EB-100855-000.
11. Frank Martinsen: "Vestfoldbanen med gradvis utbygget dobbeltspor og FLIRT-tog i trafikk. Simuleringsrapport, Jernbaneverket 22.11.2011. Dokument nr. EB-100837-000.
12. Frank Martinsen: "Sammenligning mellom målinger og simuleringer for effektforbruket for omformerstasjonene i Oslo-området høsten 2011". Simuleringsrapport, Jernbaneverket, 26.06.2012. Dokument nr. EB-100835-000.

7 APPENDIKS 1

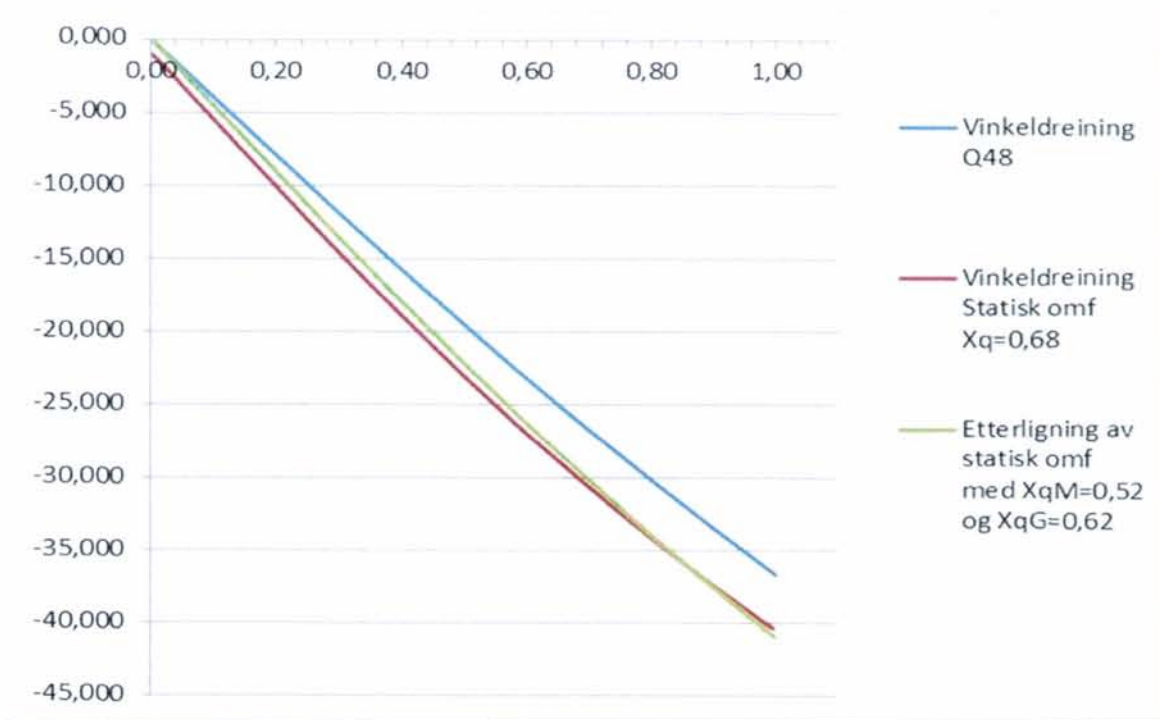
Etterligning av statisk omformer med $X_{qM}=0,34$ og $X_{qG}=0,38$



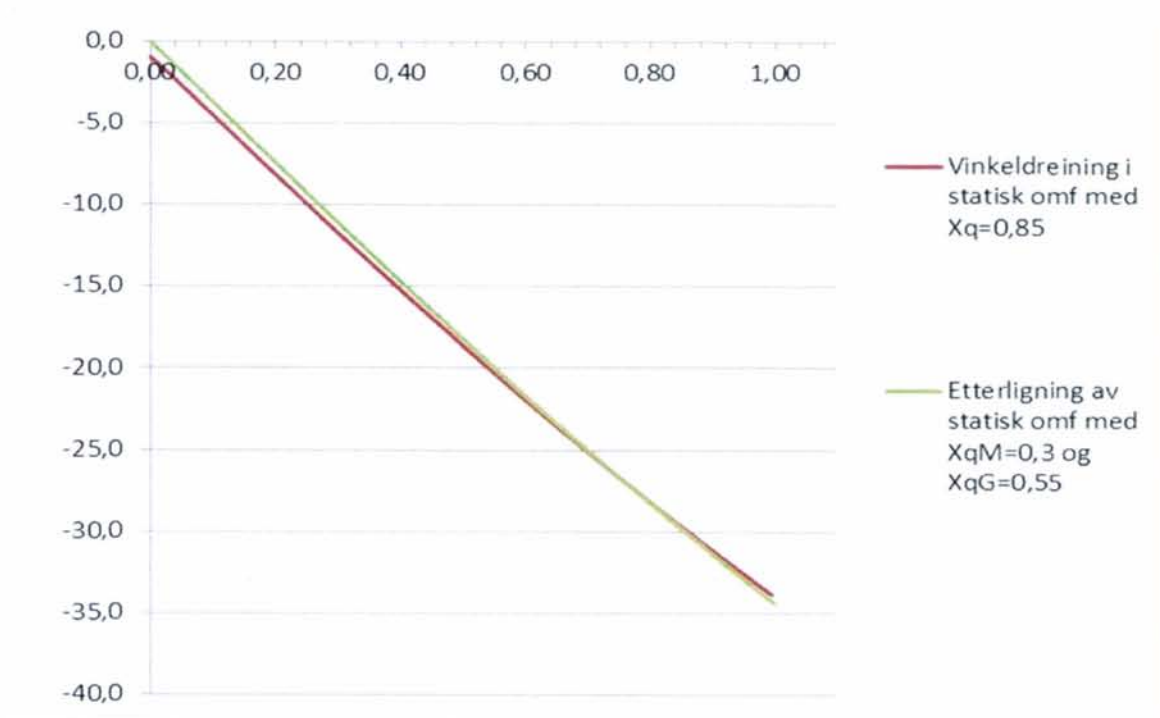
Etterligning av statisk omformer med $X_{qM}=0,46$ og $X_{qG}=0,49$



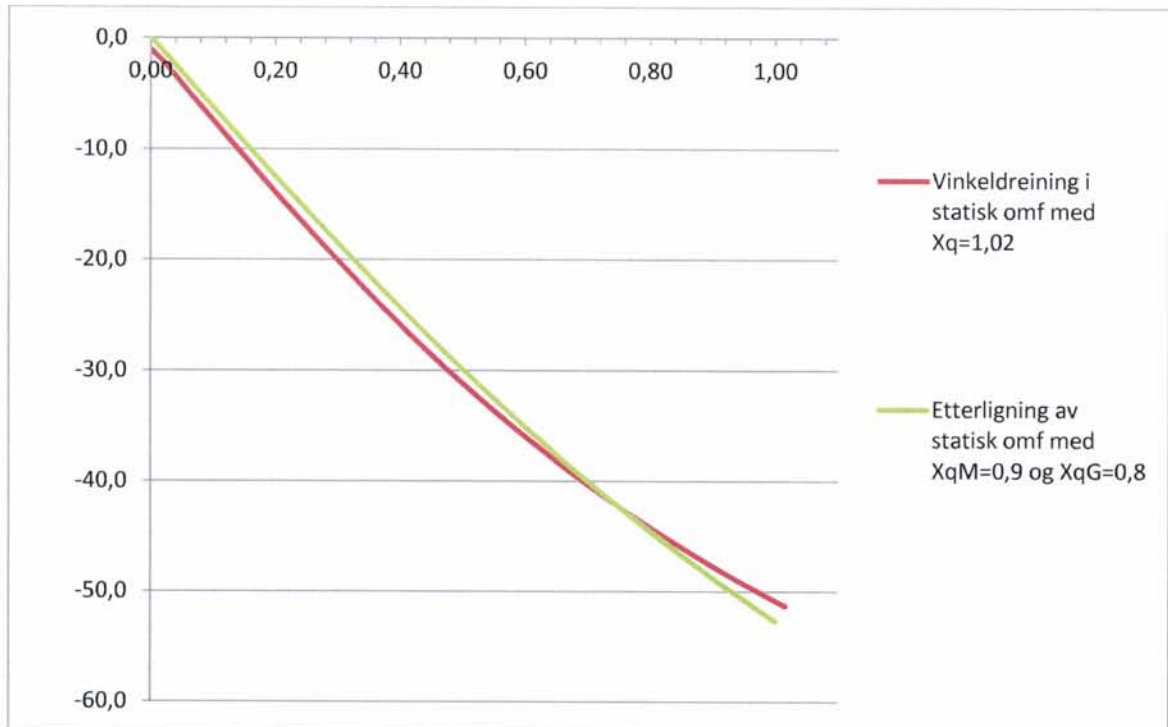
Etterligning av statisk omformer med $X_{qM}=0,52$ og $X_{qG}=0,62$



Etterligning av statisk omformer med $X_{qM}=0,3$ og $X_{qG}=0,55$



Etterligning av statisk omformer med $X_{qM}=0,9$ og $X_{qG}=0,8$



8 APPENDIKS 2

Når de fleste av simuleringene var utført ble det oppdaget en feil med simuleringsmodellen. Feilen gjald forbindelsen fra Gjøvikbanen og ned mot Oslo. Det var en forbindelse mellom dobbeltsporet ved Grefsen som ikke var koblet sammen. Dermed ble det ensidig mating fra Roa og nesten helt ned til Oslo s. Slik skal det selvsagt ikke være i en normal situasjon. Denne feilen vil få betydning for utveksling av effekt mellom Lunner omformerstasjon og Oslo-området. Den vil også føre til lavere spenning på Gjøvikbanens sørlige del enn det som er tilfelle i virkeligheten.

På den annen siden vil denne feilen ikke være avgjørende for effektflyten og dermed for maksimal belastningen av omformerne i Oslo. I de følgende avsnittene er noen viktige simuleringer undersøkt og en ser at betydningen av feilen er veldig liten.

8.1.1 Simulering med ny Oslo omformerstasjon på 4 x 24 MVA (Alternativ AT1-N-O-1-R) med forbindelsen Oslo – Gjøvikbanen inne

8.1.1.1 Forutsetninger for simuleringen

Forutsetningene her er akkurat de samme som i avsnitt 4.3.2 for det opprinnelige alternativet AT1-N-O-1. Eneste forskjell er at nå ligger forbindelsen mellom Gjøvikbanen og Oslo koblingshus inne.

8.1.1.2 Resultater

Nedenfor Tabell 8-1 viser at med forbindelsen mot Gjøvikbanen inne blir forskjellene fra simuleringen der denne var utkoblet liten liten. Den maksimale belastningen som oppstår for omformerstasjonene er nesten helt lik for alle, det store unntaket er Lunner som blir belastet en del mindre. Det er heller ikke så rart, siden denne nå i større grad blir avlastet av omformerne i Oslo-området. For analyser og resonnementer rundt denne simuleringen ser det altså ut til at feilen hadde liten betydning.

Når det gjelder lave spenninger for togene er dette undersøkt spesielt i Tabell 8-2. Som en ser oppstår det lave spenninger på flere linjer, men dog ikke på strekningen Roa-Oslo S. Nå kan en se at de lave spenningene kun oppstår nord for Lunner på Gjøvikbanen.

Tabell 8-1 Maksimal belastning av omformerstasjonene. Prosentvis belastning av aggregater i drift ved den belastningsgraden som gjelder i hver av tidsperiodene.

| Belastning av omformerstasjonene normal drift. Ny omformer i Oslo på 4 x 24 MVA. Rette feil der Gjøvikbanen ikke var koblet mot Oslo koblingshus. | | | | | | | |
|---|-------------------------|---------------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|
| Omformerstasjon | Innsatt ytelse [MVA] | Strøm i RMS-verdier | | | | | |
| | | 2-sek | | 6-minuitter | | 1-time | |
| | | [kA] | % | [kA] | % | [kA] | % |
| Oslo | 4 x 24 | 6,273 | 86 | 2,364 | 33 | 3,363 | 58 |
| Asker | 3 x 10 | 2,360 | 67 | 1,409 | 57 | 1,065 | 60 |
| Holmlia | 2 x 10 | 0,996 | 42 | 0,604 | 37 | 0,545 | 46 |
| Alnabru | 2 x 10 | 0,890 | 38 | 0,612 | 37 | 0,562 | 48 |
| Lillestrøm | 3 x 12 | 1,904 | 75 | 1,100 | 43 | 0,967 | 44 |
| Jessheim | 2 x 12 | 1,636 | 96 | 0,945 | 56 | 0,687 | 47 |
| Jessnes | 3 x 12 | 1,600 | 59 | 1,019 | 37 | 0,793 | 36 |
| Fåvang | 1 x 12 | 0,394 | 43 | 0,268 | 29 | 0,216 | 30 |
| Smørbekk | 2 x 14 | 1,525 | 77 | 0,875 | 44 | 0,717 | 42 |
| Sarpsborg | 2 x 12 | 0,835 | 49 | 0,497 | 29 | 0,385 | 27 |
| Kongsvinger | 2 x 5,8 | 0,604 | 48 | 0,254 | 26 | 0,189 | 27 |
| Lunner | 2 x 5,8 | 0,788 | 63 | 0,403 | 42 | 0,282 | 40 |
| Hønefoss | 1 x 5,8 | 0,408 | 65 | 0,231 | 48 | 0,147 | 42 |
| Nordagutu | 2 x 7 | 0,804 | 49 | 0,408 | 32 | 0,322 | 39 |
| Skoppum | 2 x 7 | 1,024 | 62 | 0,630 | 49 | 0,496 | 60 |
| Porsgrunn | 2 x 12 | 1,300 | 72 | 0,889 | 49 | 0,722 | 50 |

Tabell 8-2 Laveste oppstående spenning for togene og omtrentlig angivelse av banestrekning. Kun tog som får spenninger under 13,0 kV er undersøkt.

| Tog | Laveste spenning for togene [kV] | | |
|---------------------|----------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| | Momentan | 2-minutters RMS-verdi | Sted |
| T_207 | 12,21 | 13,65 | Lunner - Gjøvik |
| T_209 Tp74_1 | 12,24 | 13,62 | Lunner - Gjøvik |
| T_211 Tp74_1 | 11,56 | 12,56 | Lunner - Gjøvik |
| T_214 Tp74_1 | 12,17 | 12,25 | Lunner - Gjøvik |
| T_1015 Tp74_1 | 12,88 | 14,13 | Lillestrøm - Kongsvinger |
| T_1017 Tp74_1 | 12,91 | 14,15 | Lillestrøm - Kongsvinger |
| T_1019 Tp74_2 | 12,23 | 13,39 | Lillestrøm - Kongsvinger |
| T_1020 Tp74_2 | 12,76 | 13,37 | Lillestrøm - Kongsvinger |
| T_1021 Tp74_2 | 12,54 | 13,42 | Lillestrøm - Kongsvinger |
| T_1022 Tp74_2 | 12,74 | 13,35 | Lillestrøm - Kongsvinger |
| T_1024 Tp74_1 | 12,79 | 13,90 | Lillestrøm - Kongsvinger |
| T_1069 Tp74_1 | 12,94 | 13,75 | Lillestrøm - Kongsvinger |
| T_1071 Tp74_2 | 12,64 | 13,86 | Lillestrøm - Kongsvinger |
| T_1073 Tp74_2 | 12,95 | 14,03 | Lillestrøm - Kongsvinger |
| T_1074 Tp74_2 | 12,03 | 13,09 | Lillestrøm - Kongsvinger |
| T_1076 Tp74_2 | 12,27 | 13,21 | Lillestrøm - Kongsvinger |
| T_1221 Tp74_2 | 12,43 | 14,35 | Østre linje |
| T_1226 Tp74_1 | 12,93 | 13,93 | Østre linje |
| T_1228 Tp74_1 | 11,74 | 13,06 | Østre linje |
| T_1251 Tp74_2 | 11,78 | 13,17 | Østre linje |
| T_1253 Tp74_2 | 17,74 | 13,10 | Østre linje |
| T_64 Tp73_2 | 12,42 | 13,92 | Drammen - Hoksund |
| T_67 Tp73_2 | 12,72 | 13,89 | Drammen - Hoksund |
| T_79 Tp73_2 | 12,86 | 14,08 | Nordagutu - Neslandsvatn |
| T_5804 BR185-2_1200 | 12,85 | 14,14 | Nordagutu - Neslandsvatn |

8.1.2 Simulering med omformerstasjon i Oslo på 4 x 24 MVA og utfall av ett aggregat i Oslo og i Lillestrøm (Alternativ AT3-V1-O-1) med forbindelsen Oslo – Gjøvikbanen inne

8.1.2.1 Forutsetninger for simuleringen

Forutsetningene her er akkurat de samme som i avsnitt 4.3.3 for det opprinnelige alternativet AT3-V1-O-1. Eneste forskjell er at nå ligger forbindelsen mellom Gjøvikbanen og Oslo koblingshus inne.

8.1.2.2 Resultater

Nedenfor Tabell 8-3 viser at med forbindelsen mot gjøvikbanen inne blir belastningen av omformerstasjonene nesten de samme som opprinnelig. Den største forskjellen er at Lunner omformerstasjon nå blir noe mindre belastet. Av dette kan det se ut som om denne feilen har liten betydning for belastningen og dermed for analysene i Oslo-området.

Tabell 8-3 Maksimal belastning av omformerstasjonene. Prosentvis belastning av aggregater i drift ved den belastningsgraden som gjelder i hver av tidsperiodene.

| Belastning av omformerstasjonene, omfattende utbygging av AT-system. Ny Oslo omformerstasjon på 4x24 MVA. Utfall av ett aggregat i Oslo og Lillestrøm. Rette feil der Gjøvikbanen ikke var koblet mot Oslo koblingshus. | | | | | | | |
|---|-------------------------|---------------------|----|------------|----|--------|----|
| Omformerstasjon | Innsatt ytelse [MVA] | Strøm i RMS-verdier | | | | | |
| | | 2-sek | | 6-minutter | | 1-time | |
| | | [kA] | % | [kA] | % | [kA] | % |
| Oslo | 3 x 24 | 4,675 | 86 | 2,636 | 48 | 2,394 | 55 |
| Asker | 3 x 10 | 2,193 | 62 | 1,314 | 53 | 1,107 | 63 |
| Holmlia | 2 x 10 | 1,330 | 56 | 0,799 | 48 | 0,723 | 61 |
| Alnabru | 2 x 10 | 1,236 | 52 | 0,776 | 47 | 0,718 | 61 |
| Lillestrøm | 2 x 12 | 1,294 | 59 | 0,761 | 45 | 0,687 | 47 |
| Jessheim | 2 x 12 | 1,502 | 69 | 0,881 | 52 | 0,677 | 47 |
| Jessnes | 3 x 12 | 1,628 | 60 | 1,037 | 38 | 0,829 | 38 |
| Fåvang | 1 x 12 | 0,411 | 45 | 0,280 | 31 | 0,231 | 32 |
| Smørbekk | 2 x 14 | 1,494 | 68 | 0,874 | 52 | 0,728 | 43 |
| Sarpsborg | 2 x 12 | 0,860 | 51 | 0,535 | 32 | 0,433 | 30 |
| Kongsvinger | 2 x 5,8 | 0,528 | 42 | 0,283 | 29 | 0,250 | 36 |
| Lunner | 4 x 5,8 | 1,029 | 41 | 0,608 | 32 | 0,527 | 38 |
| Nordagutu | 2 x 7 | 0,850 | 52 | 0,335 | 26 | 0,335 | 41 |
| Skoppum | 2 x 7 | 0,866 | 52 | 0,537 | 42 | 0,438 | 53 |
| Porsgrunn | 2 x 12 | 1,168 | 64 | 0,854 | 47 | 0,706 | 49 |

8.1.3 Simulering med omformerstasjon i Oslo på 6 x 24 MVA nedleggelse av Holmlia og Alnabru og utfall av ett aggregat i Oslo og ett i Lillestrøm (Alternativ AT3-V1-O-23-R) med forbindelsen Oslo – Gjøvikbanen inne

8.1.3.1 Forutsetninger for simuleringen

Forutsetningene her er akkurat de samme som i avsnitt 4.3.5 for det opprinnelige alternativet AT3-V1-O-1. Eneste forskjell er at nå ligger forbindelsen mellom Gjøvikbanen og Oslo koblingshus inne.

8.1.3.2 Resultater

Nedenfor viser Tabell 8-4 at med forbindelsen mot Gjøvikbanen inne blir maksimal belastningen av omformerstasjonene nesten de samme som opprinnelig. Den største forskjellen er at Lunner omformerstasjon nå blir noe mindre belastet. Også her ser det ut til at feilen får liten betydning.

Tabell 8-4 Maksimal belastning av omformerstasjonene. Prosentvis belastning av aggregater i drift ved den belastningsgraden som gjelder i hver av tidsperiodene.

| Belastning av omformerstasjonene unormal drift, omfattende utbygging av AT-system. Ny Oslo omformerstasjon på 6x24 MVA og HOL og ALN er nedlagt. Utfall av ett aggregat i Oslo og Lillestrøm. Rette feil der Gjøvikbanen ikke var koblet mot Oslo koblingshus | | | | | | | |
|---|----------------|---------------------|----|------------|----|--------|----|
| Omformerstasjon | Innsatt ytelse | Strøm i RMS-verdier | | | | | |
| | | 2-sek | | 6-minutter | | 1-time | |
| | | [kA] | % | [kA] | % | [kA] | % |
| Oslo | 5 x 24 | 7,996 | 88 | 4,644 | 51 | 4,232 | 58 |
| Asker | 3 x 10 | 2,006 | 57 | 1,206 | 49 | 1,010 | 57 |
| Lillestrøm | 2 x 12 | 1,177 | 54 | 0,701 | 41 | 0,632 | 43 |
| Jessheim | 2 x 12 | 1,423 | 65 | 0,846 | 50 | 0,646 | 44 |
| Jessnes | 3 x 12 | 1,579 | 58 | 0,999 | 37 | 0,791 | 36 |
| Fåvang | 1 x 12 | 0,401 | 44 | 0,269 | 30 | 0,219 | 30 |
| Smørbekk | 2 x 14 | 1,529 | 70 | 0,903 | 53 | 0,755 | 45 |
| Sarpsborg | 2 x 12 | 0,820 | 48 | 0,505 | 30 | 0,405 | 28 |
| Kongsvinger | 2 x 5,8 | 0,506 | 40 | 0,266 | 28 | 0,233 | 33 |
| Lunner | 4 x 5,8 | 0,949 | 38 | 0,560 | 29 | 0,482 | 34 |
| Nordagutu | 2 x 7 | 0,856 | 52 | 0,416 | 32 | 0,321 | 39 |
| Skoppum | 2 x 7 | 0,832 | 50 | 0,517 | 40 | 0,417 | 51 |
| Porsgrunn | 2 x 12 | 1,126 | 62 | 0,818 | 45 | 0,671 | 46 |

8.1.4 Simulering med omformerstasjon i Oslo på 4 x 24 MVA og Ski på 3 x 12 MVA nedleggelse av Holmlia og Alnabru utfall av ett aggregat i Oslo og Ski (Alternativ AT3-V1-OS-35-R) med forbindelsen Oslo – Gjøvikbanen inne

8.1.4.1 Forutsetninger for simuleringen

Forutsetningene her er akkurat de samme som i avsnitt 4.3.14 for det opprinnelige alternativet AT3-V1-O-1. Eneste forskjell er at nå ligger forbindelsen mellom Gjøvikbanen og Oslo koblingshus inne.

8.1.4.2 Resultater

Nedenfor viser Tabell 8-5 at med forbindelsen mot Gjøvikbanen inne blir maksimal belastningen av omformerstasjonene nesten de samme som opprinnelig. Den største forskjellen er at Lunner omformerstasjon nå blir noe mindre belastet. Altså får feilen liten betydning for det som skjer i Oslo-området.

Tabell 8-5 Maksimal belastning av omformerstasjonene. Prosentvis belastning av aggregater i drift ved den belastningsgraden som gjelder i hver av tidsperiodene.

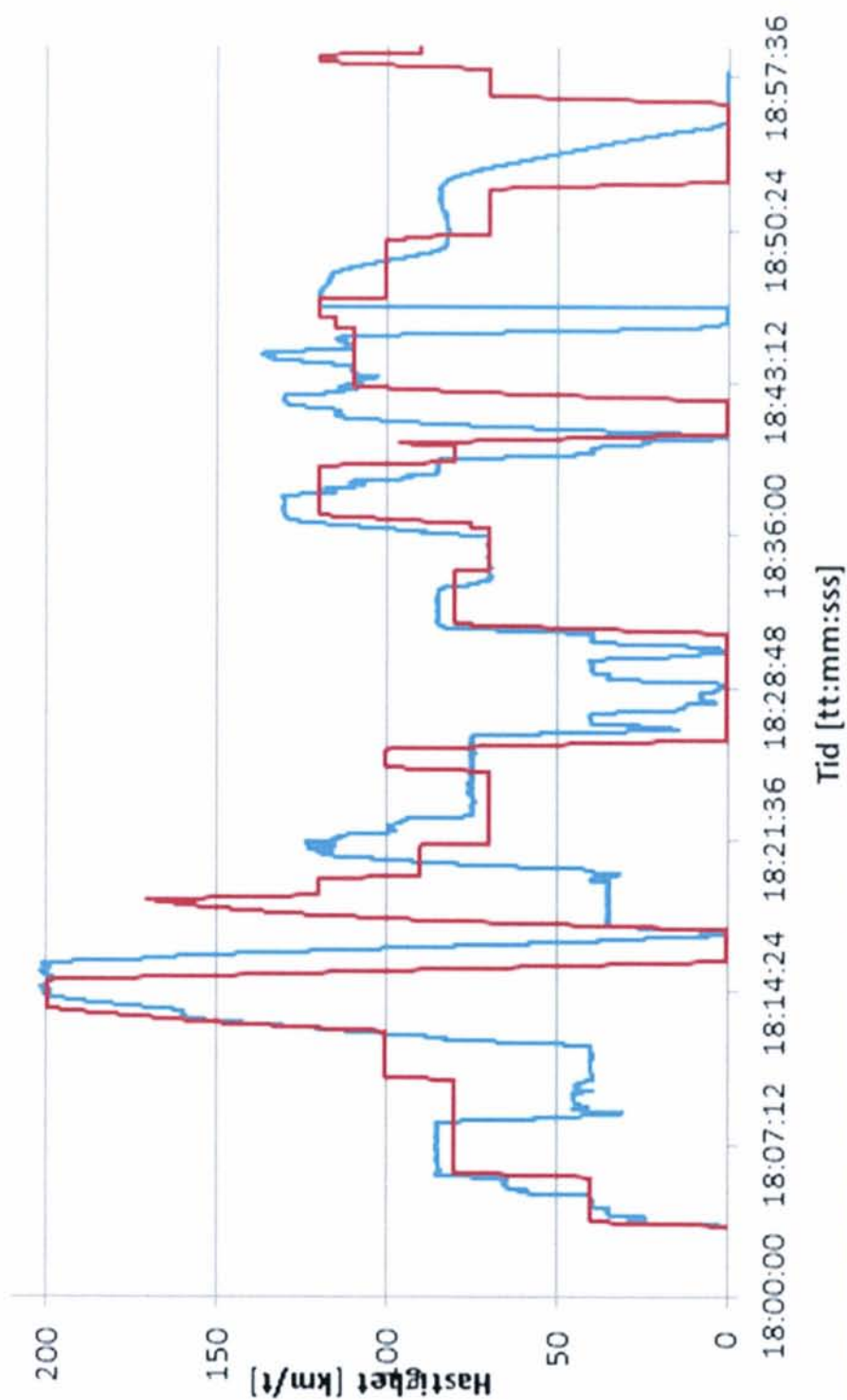
| Belastning av omformerstasjonene normal drift, omfattende utbygging av AT-system. Ny Oslo omformerstasjon på 4x24 MVA og Ski på 3x15 MVA. HOL og ALN er nedlagt. Utfall av ett aggregat i OSS og LIL. Rette feil der Gjøvikbanen ikke var koblet mot Oslo koblingshus | | | | | | | |
|---|----------------|---------------------|------|------------|------|--------|------|
| Omformerstasjon | Innsatt ytelse | Strøm i RMS-verdier | | | | | |
| | | 2-sek | | 6-minutter | | 1-time | |
| | | [MVA] | [kA] | % | [kA] | % | [kA] |
| Oslo | 3 x 24 | 4,881 | 89 | 2,785 | 51 | 2,540 | 58 |
| Ski | 2 x 12 | 1,460 | 80 | 0,830 | 46 | 0,723 | 50 |
| Asker | 3 x 10 | 2,243 | 63 | 1,358 | 55 | 1,150 | 65 |
| Lillestrøm | 3 x 12 | 1,983 | 61 | 1,186 | 47 | 1,075 | 49 |
| Jessheim | 2 x 12 | 1,519 | 70 | 0,895 | 53 | 0,693 | 48 |
| Jessnes | 3 x 12 | 1,648 | 60 | 1,053 | 39 | 0,845 | 39 |
| Fåvang | 1 x 12 | 0,417 | 46 | 0,285 | 31 | 0,235 | 32 |
| Smørbekk | 2 x 14 | 1,573 | 72 | 0,942 | 56 | 0,800 | 55 |
| Sarpsborg | 2 x 12 | 0,826 | 49 | 0,516 | 30 | 0,421 | 29 |
| Kongsvinger | 2 x 5,8 | 0,535 | 43 | 0,291 | 30 | 0,258 | 37 |
| Lunner | 4 x 5,8 | 1,041 | 42 | 0,626 | 32 | 0,544 | 39 |
| Nordagutu | 2 x 7 | 0,850 | 52 | 0,423 | 33 | 0,342 | 41 |
| Skoppum | 2 x 7 | 0,876 | 53 | 0,547 | 42 | 0,447 | 54 |
| Porsgrunn | 2 x 12 | 1,190 | 65 | 0,867 | 48 | 0,719 | 49 |

9 APPENDIKS 3

Det er gjort en sammenligning mellom målinger fra testkjøringene for FLIRT-togene på Vestfoldbanen og simuleringer utført her. Nedenfor viser Figur 9-1 hastigheten for testtoget mellom Drammen og Tønsberg (blå kurve) og simuleringen (rød kurve). Testtoget kjører flere steder i bare 40 km/t, selv om skiltet hastighet er større. Andre steder ser det ut til at testtoget kjører fortere enn skiltet hastighet. Hva dette skyldes er uklart og ikke forsøkt undersøkt. Uansett ser det ut til at testtoget bare delvis følger skiltet hastighet, og at det ikke følger noen oppsatt rute selv om det gjøre stopp på stasjonene som det simulerte toget i rute følger.

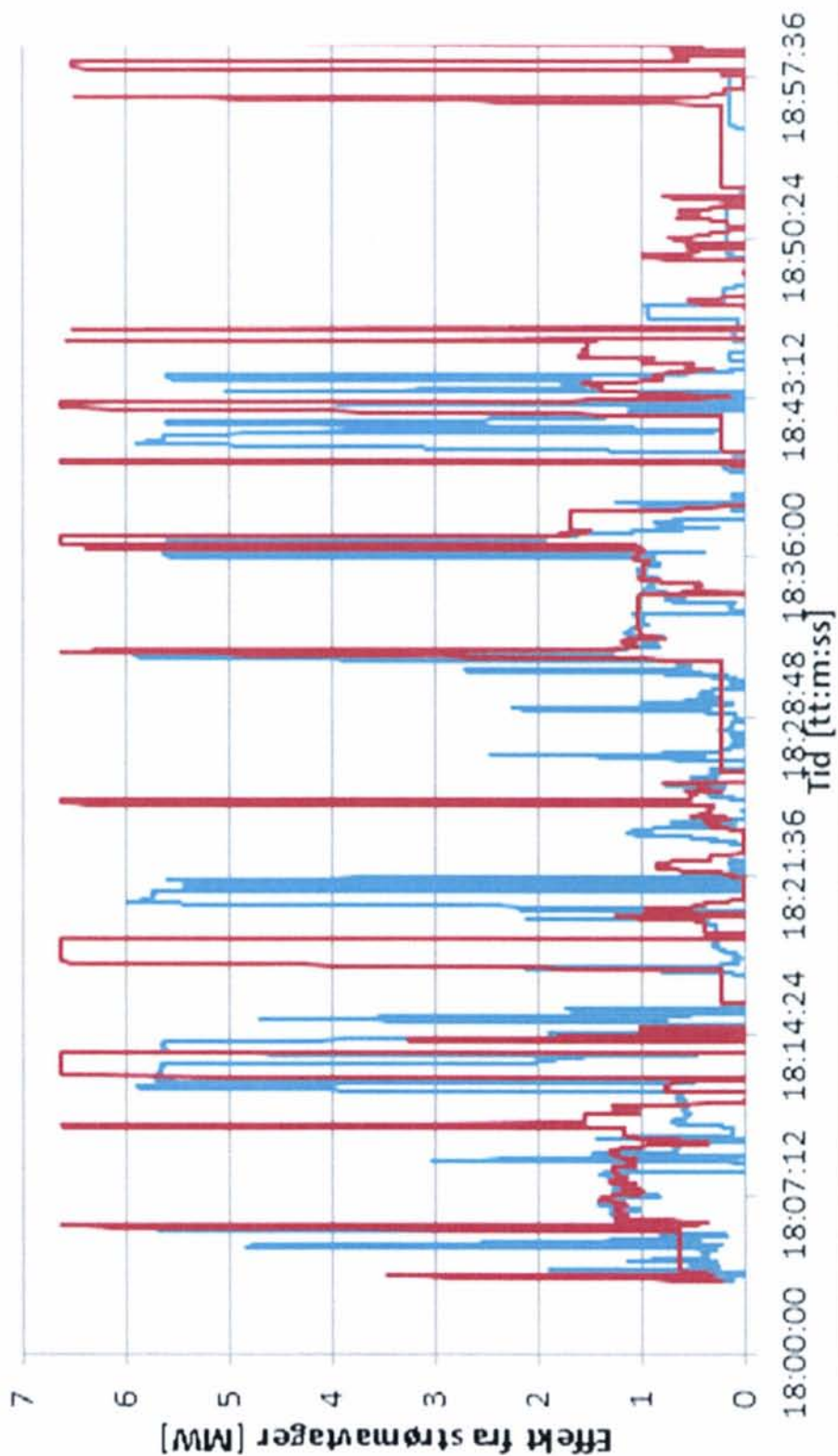
Som en kan forvente av denne kjøringen blir effektopptaket nokså forskjellig fra den simulerte, se Figur 9-2. En stor forskjell som en ser av dette er at simulert maksimalt effektopptak er omentrent 1 MW større enn målt. For å studere effektopptaket mer i detalj er det i Figur 9-3 en forstørrelse av forløpet for tidsrommet med den store akselerasjonen opp til 200 km/t. Her ser en tydelig at det er en del tidsforsinkelse mellom akselerasjonsforløpene. En ser også at den simulerte kurven for effektopptaket kan være noe steilere, men at også de målte forløpene kan være steile.

Hastighet for FLIRT-tog mellom Drammen og Tønsberg

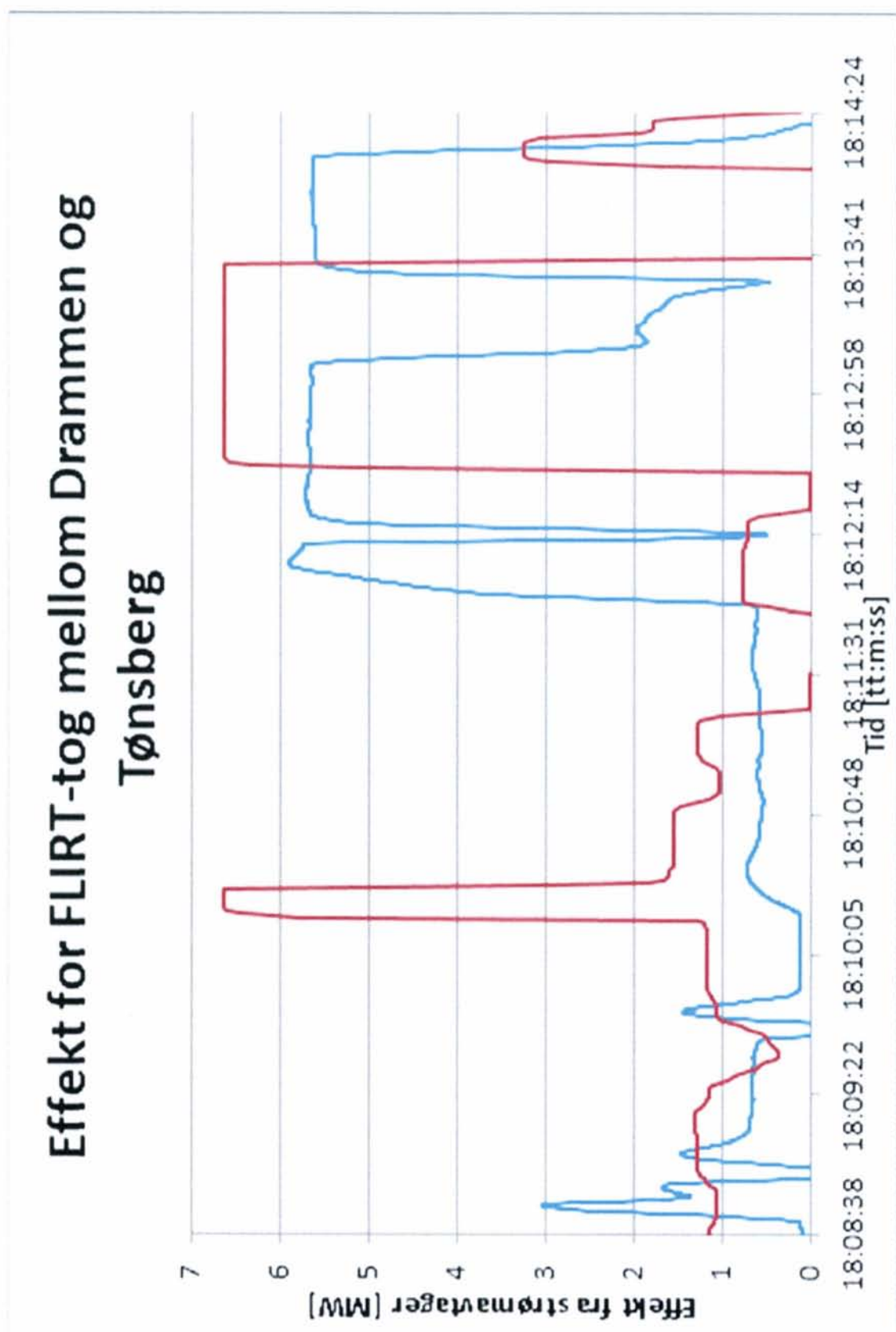


Figur 9-1 Sammenligning av måling (blå) og simulering (rød) for FLIRT-tog på Vestfoldbanen.

Effekt for FLIRT-tog mellom Drammen og Tønsberg



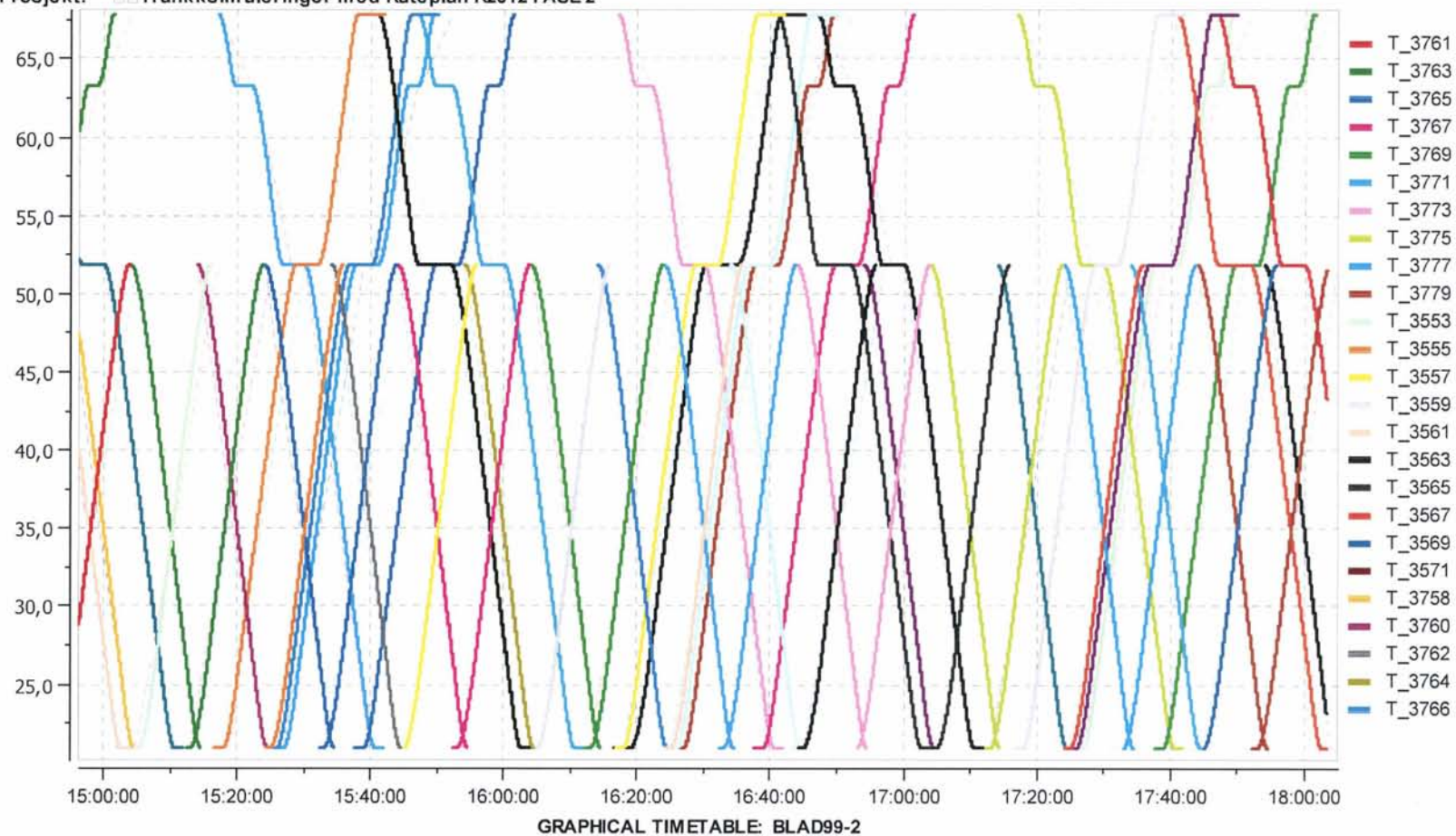
Figur 9-2 Sammenligning av måling (blå) og simulering (rød) for FLIRT-tog på Vestfoldbanen.



Figur 9-3 Sammenligning av måling (blå) og simulering (rød) for FLIRT-tog på Vestfoldbanen.

10 VEDLEGG 1

Filnavn: Sim Oslo.dynpow
Dato: 10.05.2011 15:05
Prosjekt: Trafikksimuleringer med Ruteplan R2012 FASE 2



STRI Software

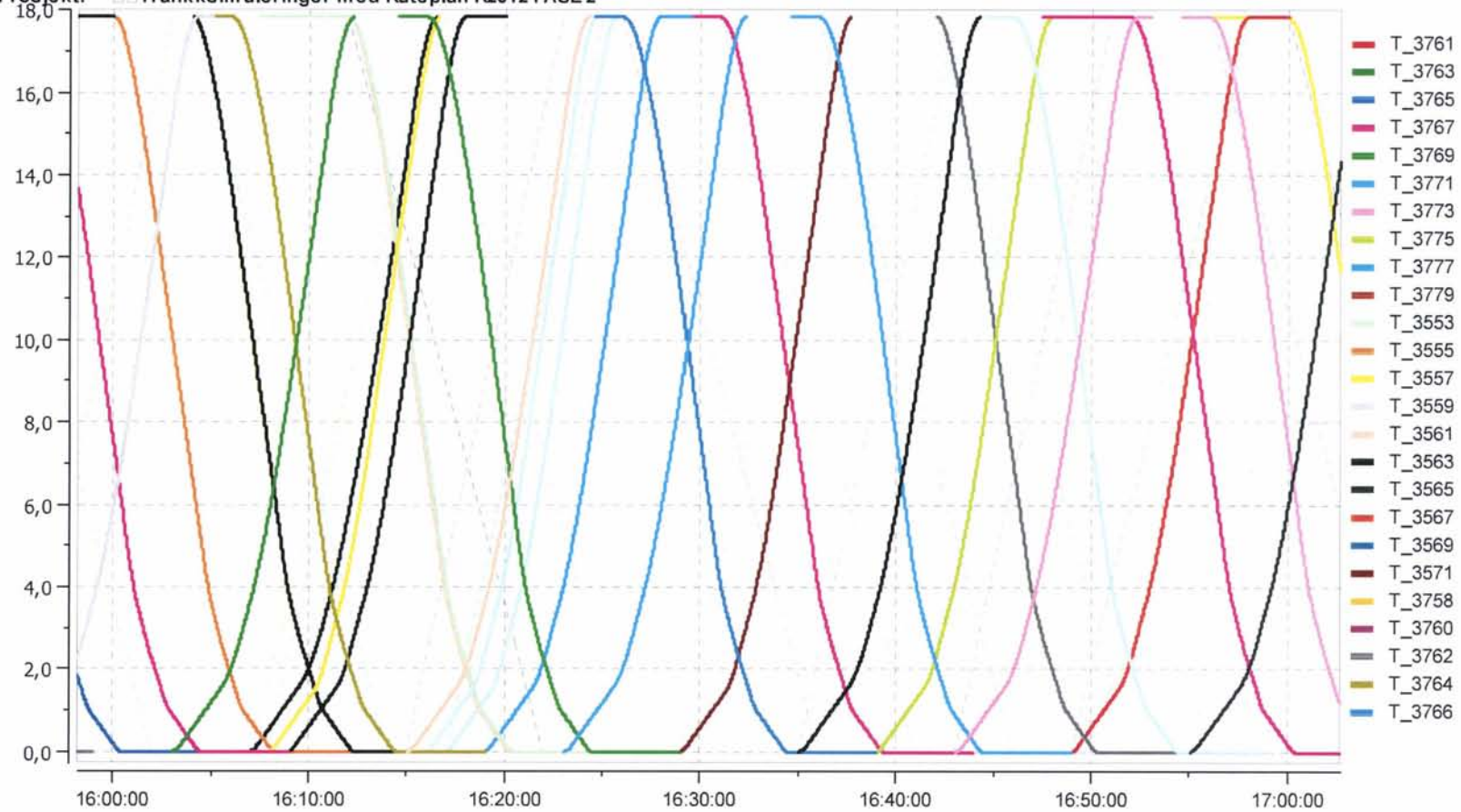
DATE 10 MAY 2011 TIME 15:12:39 JOB simoslo_c Simpow 11.0.009

Diagram :2

Filnavn: SimOslo.dynpow

Dato: 10.05.2011 15:05

Prosjekt: Trafikksimuleringer med Ruteplan R2012 FASE 2



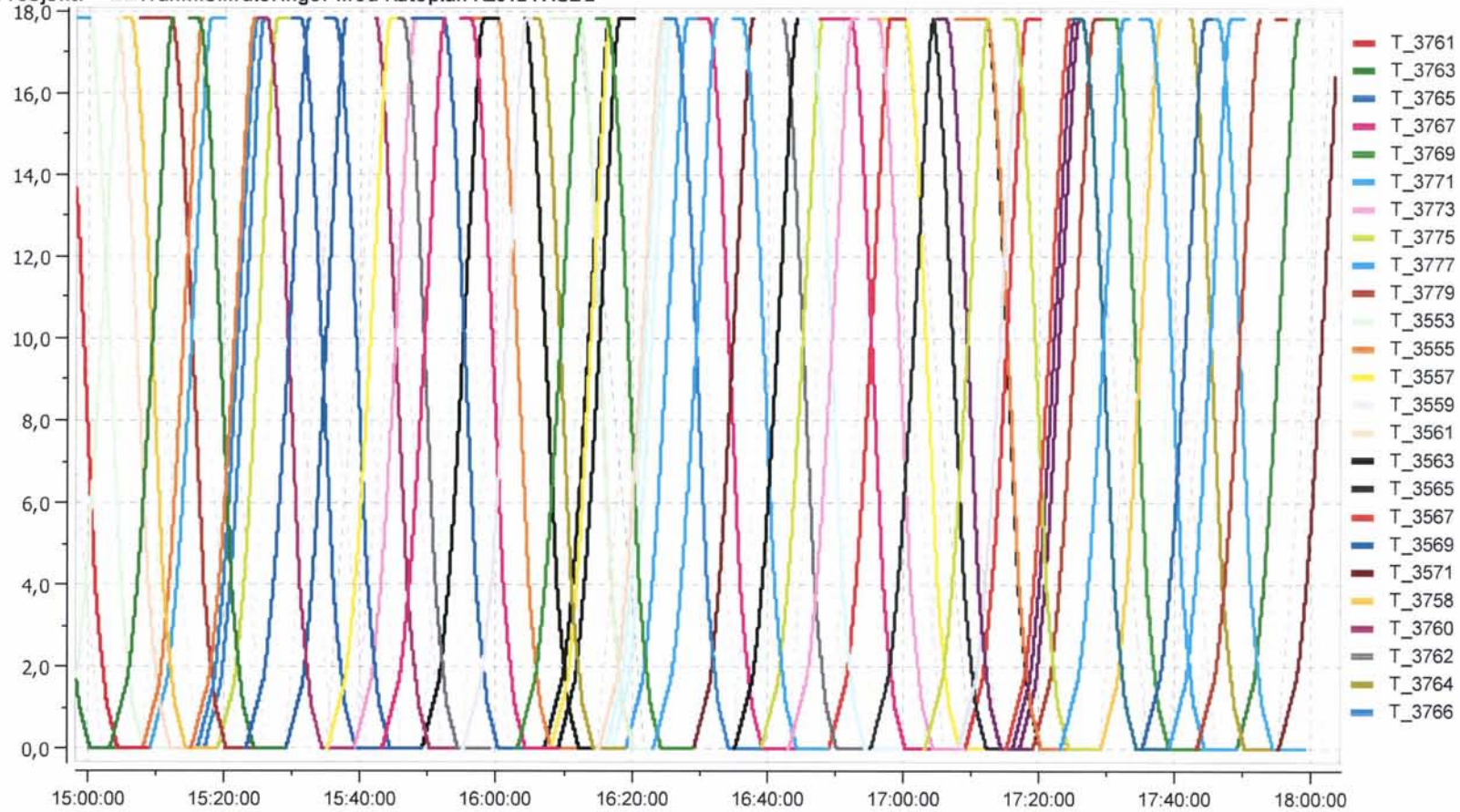
GRAPHICAL TIMETABLE: BLAD99-1

STRI Software

DATE 10 MAY 2011 TIME 15:12:39 JOB simoslo_c Simpov 11.0.009

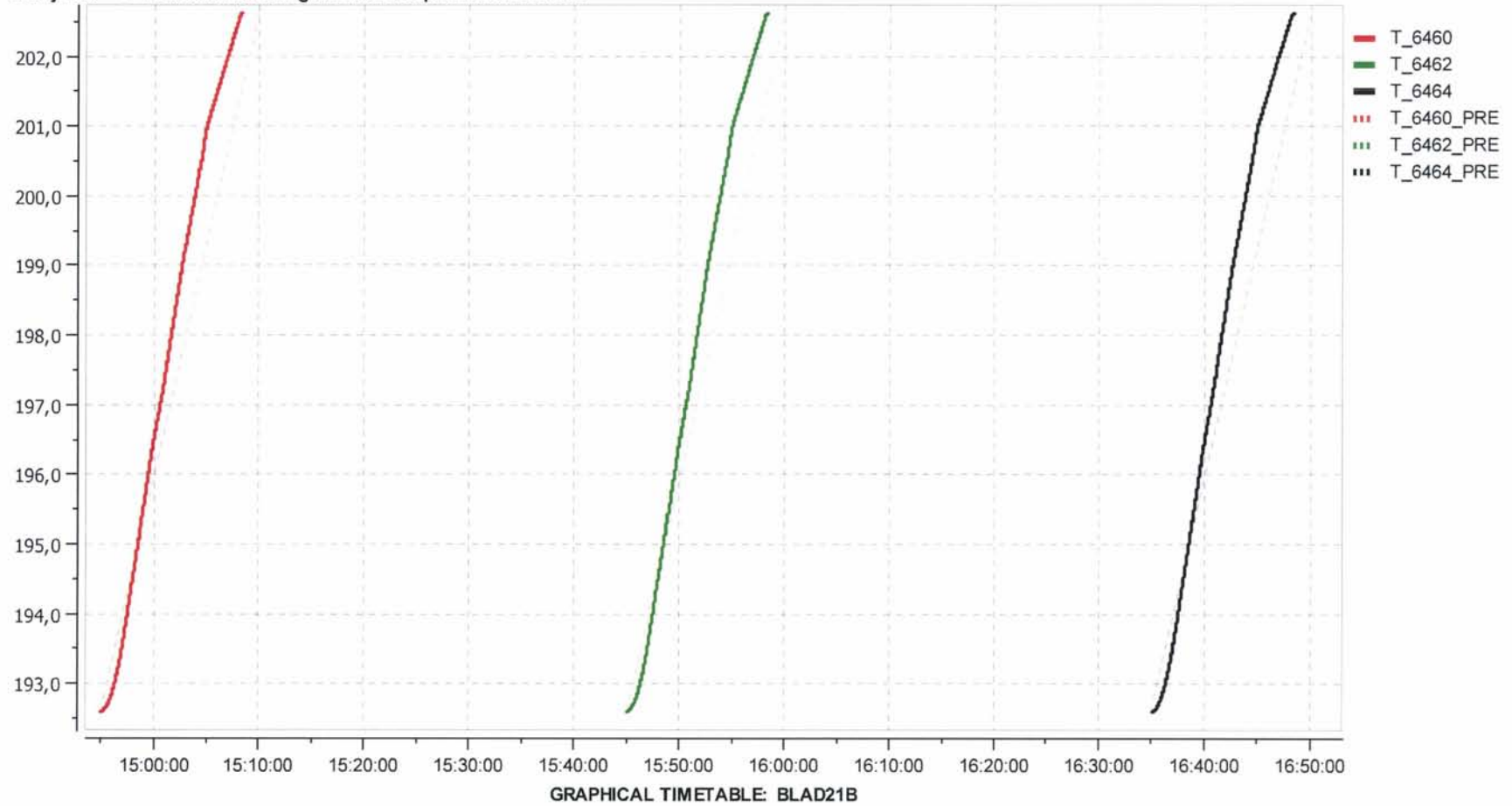
Diagram :2

Filnavn: Sim Oslo.dynpow
Dato: 10.05.2011 15:05
Prosjekt: Trafikksimuleringer med Ruteplan R2012 FASE 2

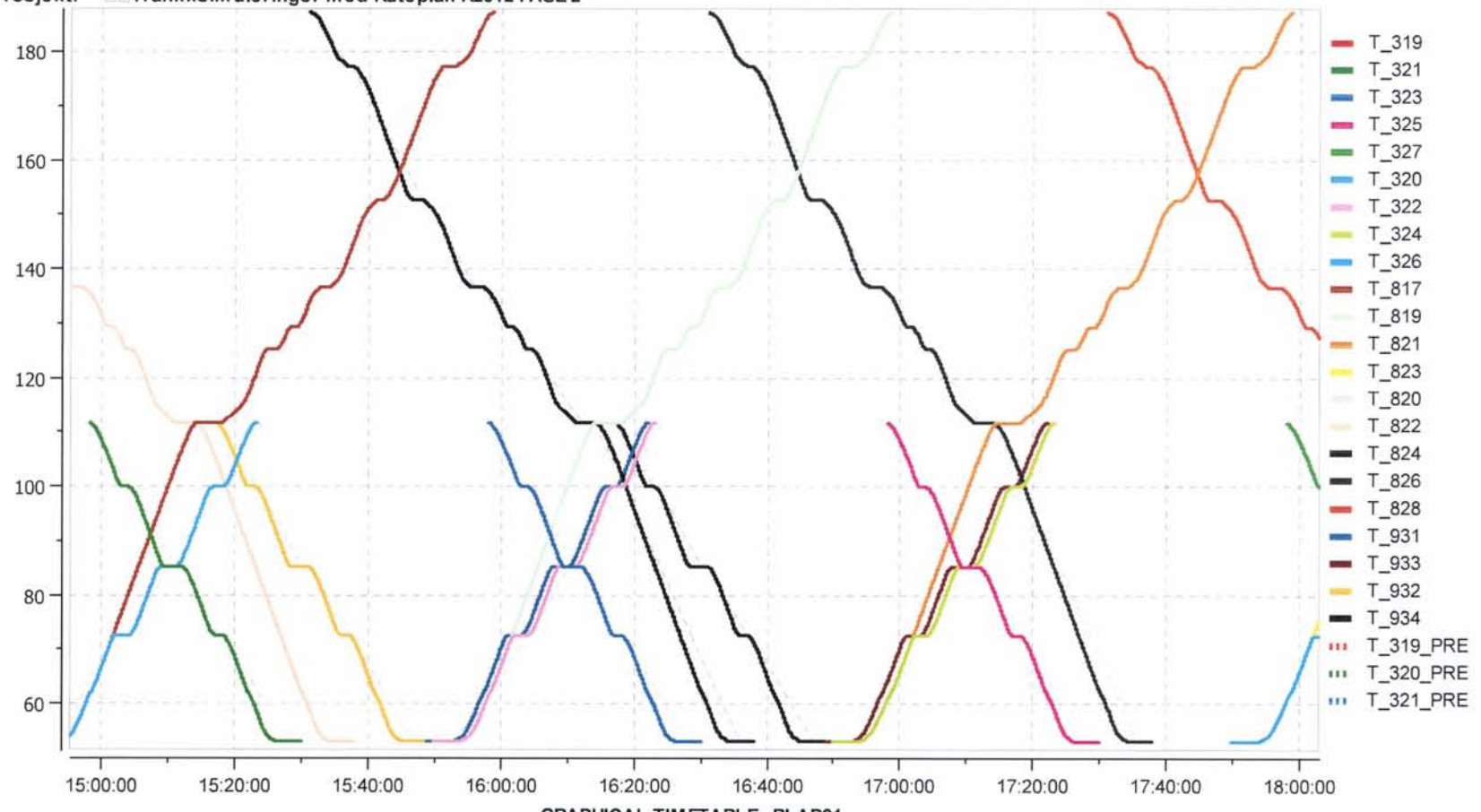


GRAPHICAL TIMETABLE: BLAD99-1

Filnavn: SimOslo.dynpow
Dato: 10.05.2011 15:05
Prosjekt: Trafikksimuleringer med Ruteplan R2012 FASE 2



Filnavn: Sim Oslo.dynpow
 Dato: 10.05.2011 15:05
 Prosjekt: Trafikksimuleringer med Ruteplan R2012 FASE 2

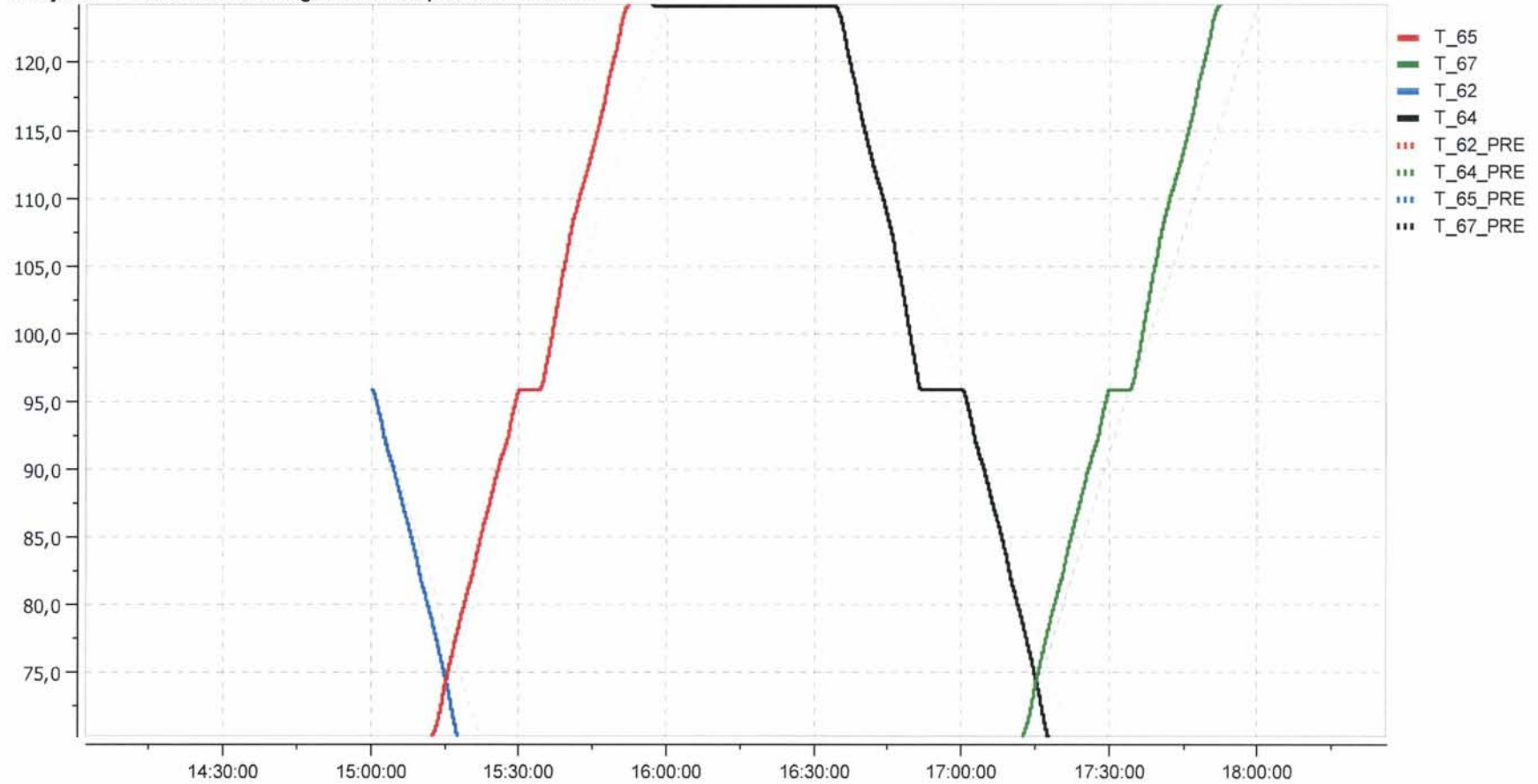


STRI Software

DATE 10 MAY 2011 TIME 15:12:39 JOB simoslo_c Simpov 11.0.009

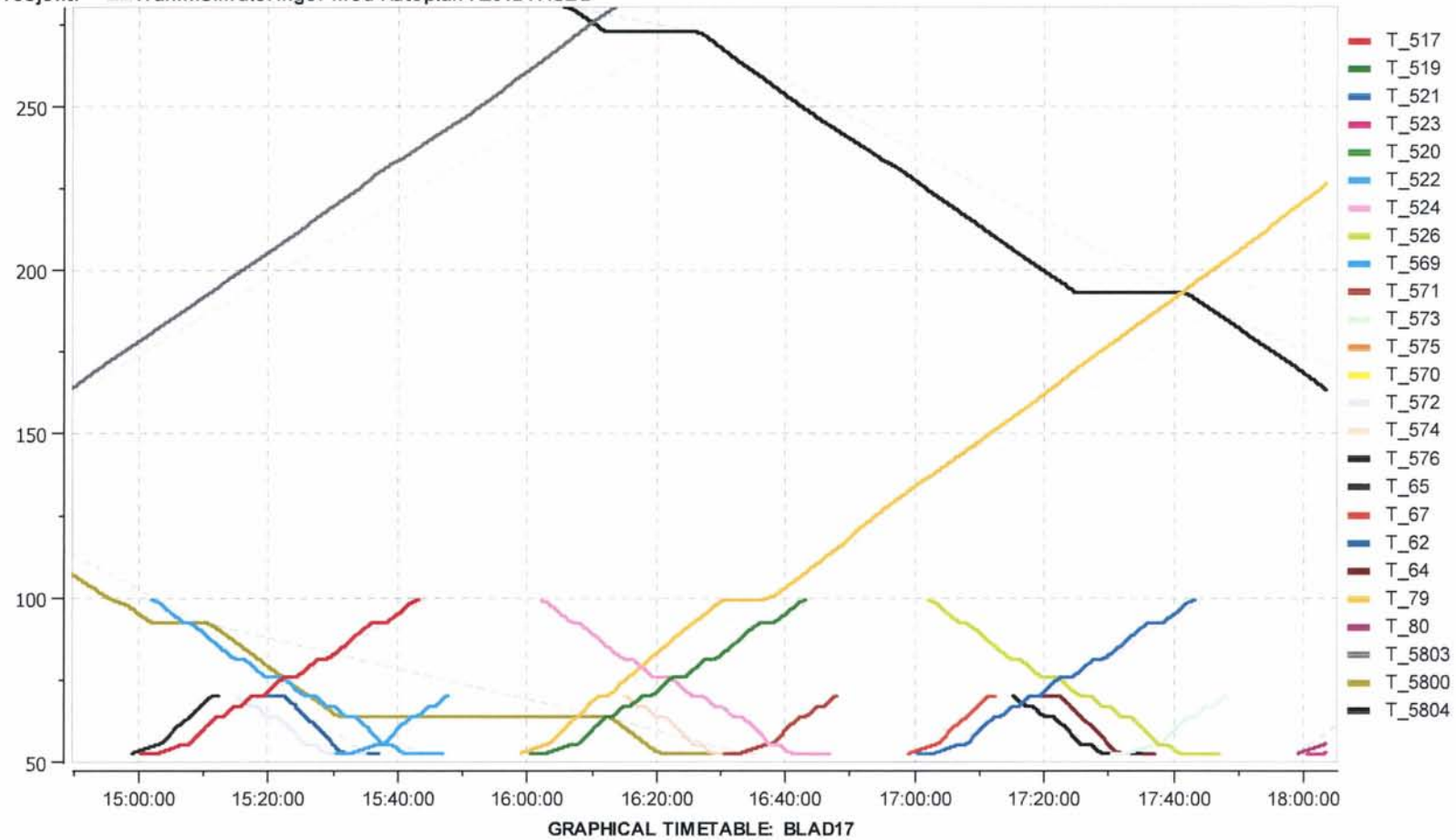
Diagram :2

Filnavn: Sim Oslo.dynpow
Dato: 10.05.2011 15:05
Prosjekt: Trafikksimuleringer med Ruteplan R2012 FASE 2

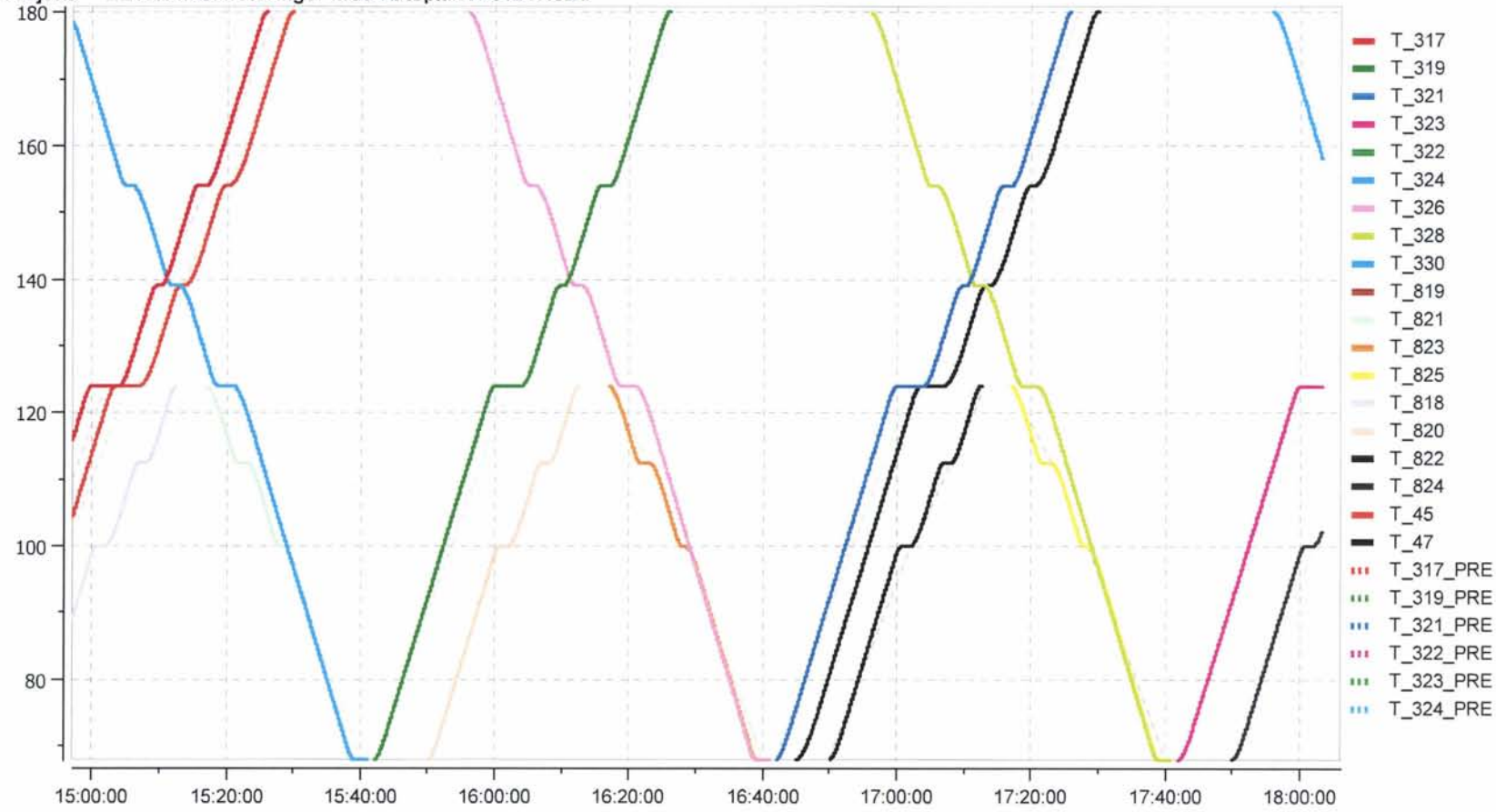


GRAPHICAL TIMETABLE: BLAD20

Filnavn: Sim Oslo.dynpow
 Dato: 10.05.2011 15:05
 Prosjekt: Trafikksimuleringer med Ruteplan R2012 FASE 2



Filnavn: SimOslo.dynpow
 Dato: 10.05.2011 15:05
 Prosjekt: Trafikksimuleringer med Ruteplan R2012 FASE 2

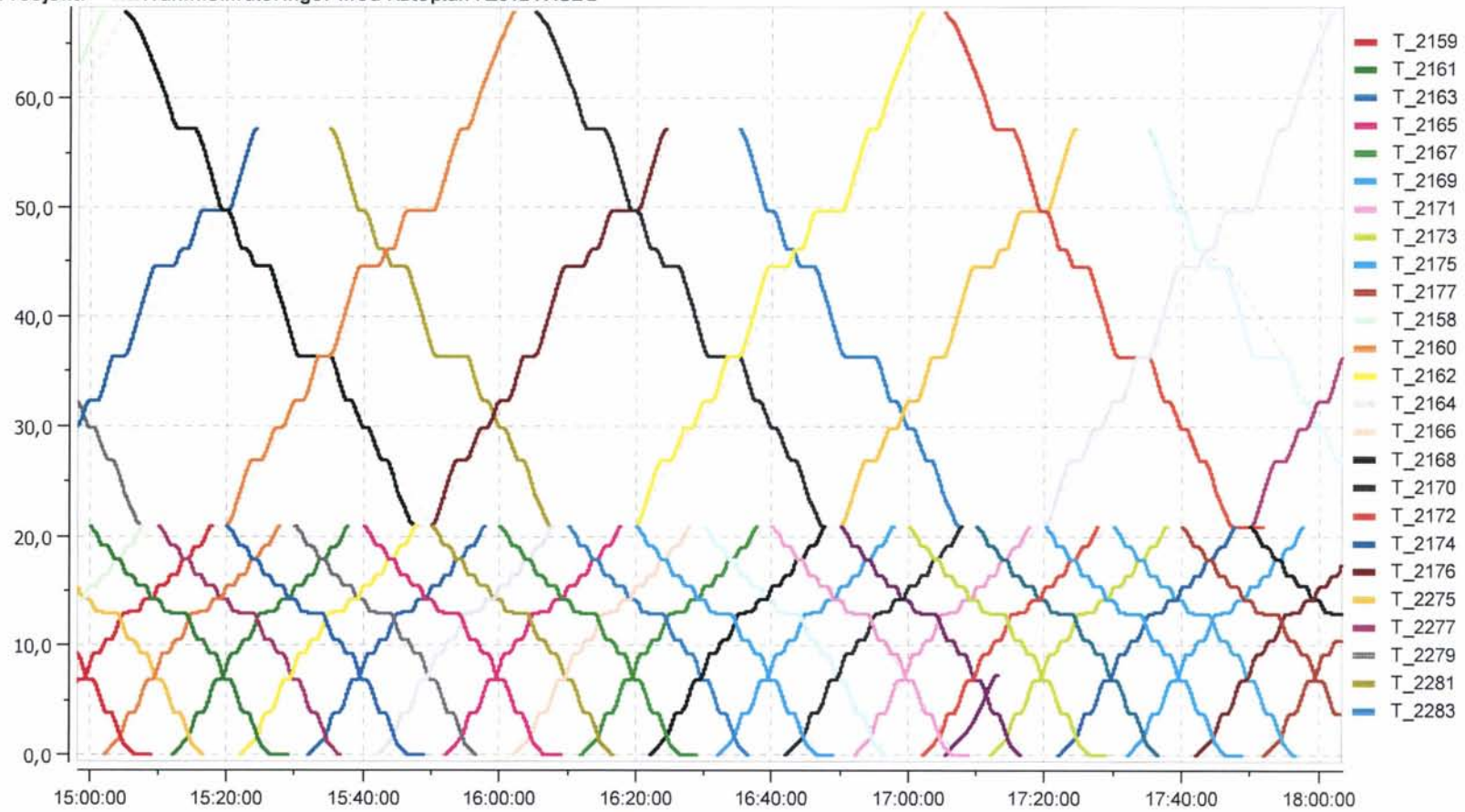


STRI Software

DATE 10 MAY 2011 TIME 15:12:39 JOB simoslo_c Simpov 11.0.009

Diagram:2

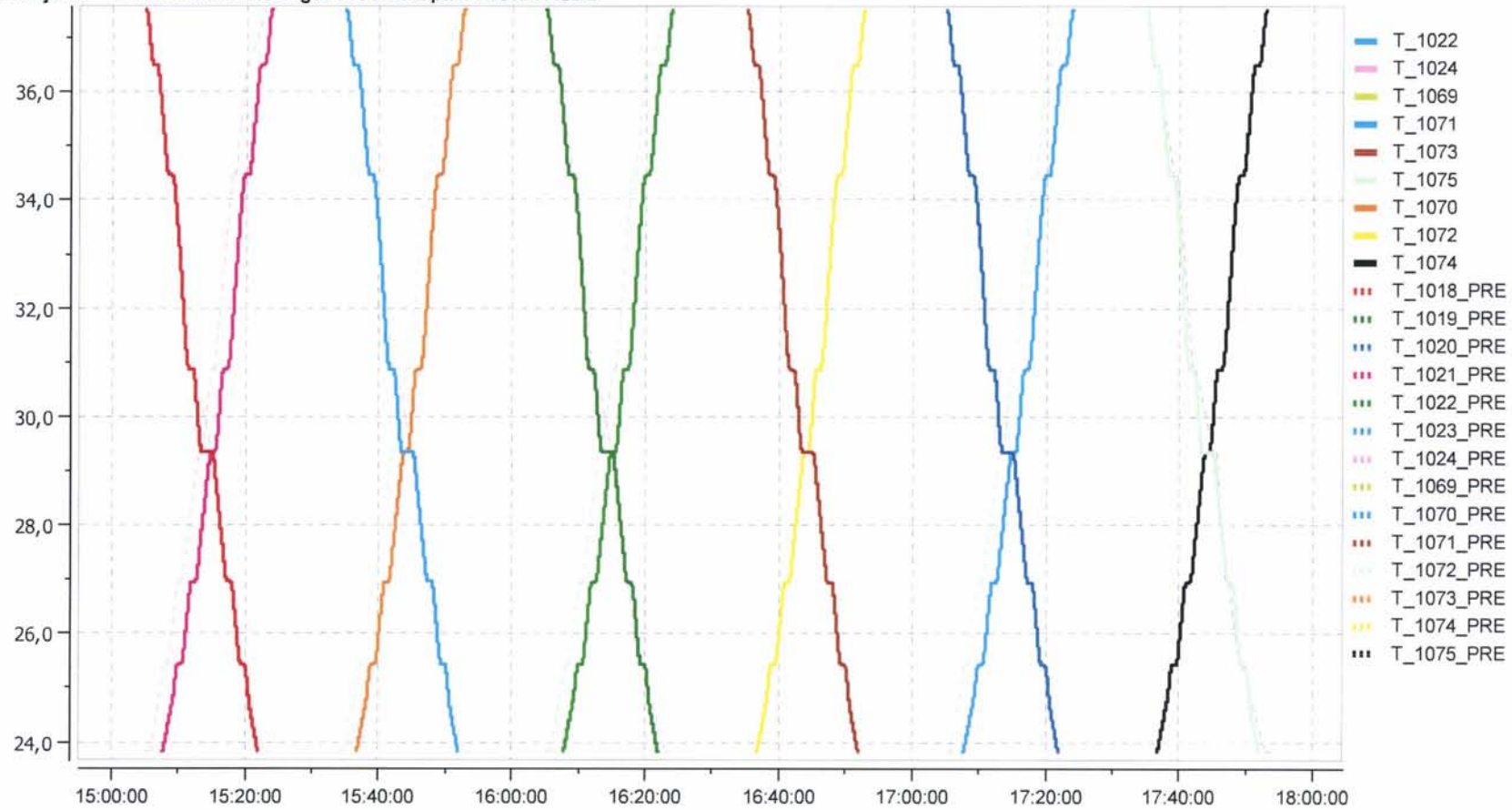
Filnavn: Sim Oslo.dynpow
Dato: 10.05.2011 15:05
Prosjekt: Trafikksimuleringer med Ruteplan R2012 FASE 2



Filnavn: Sim Oslo.dynpow

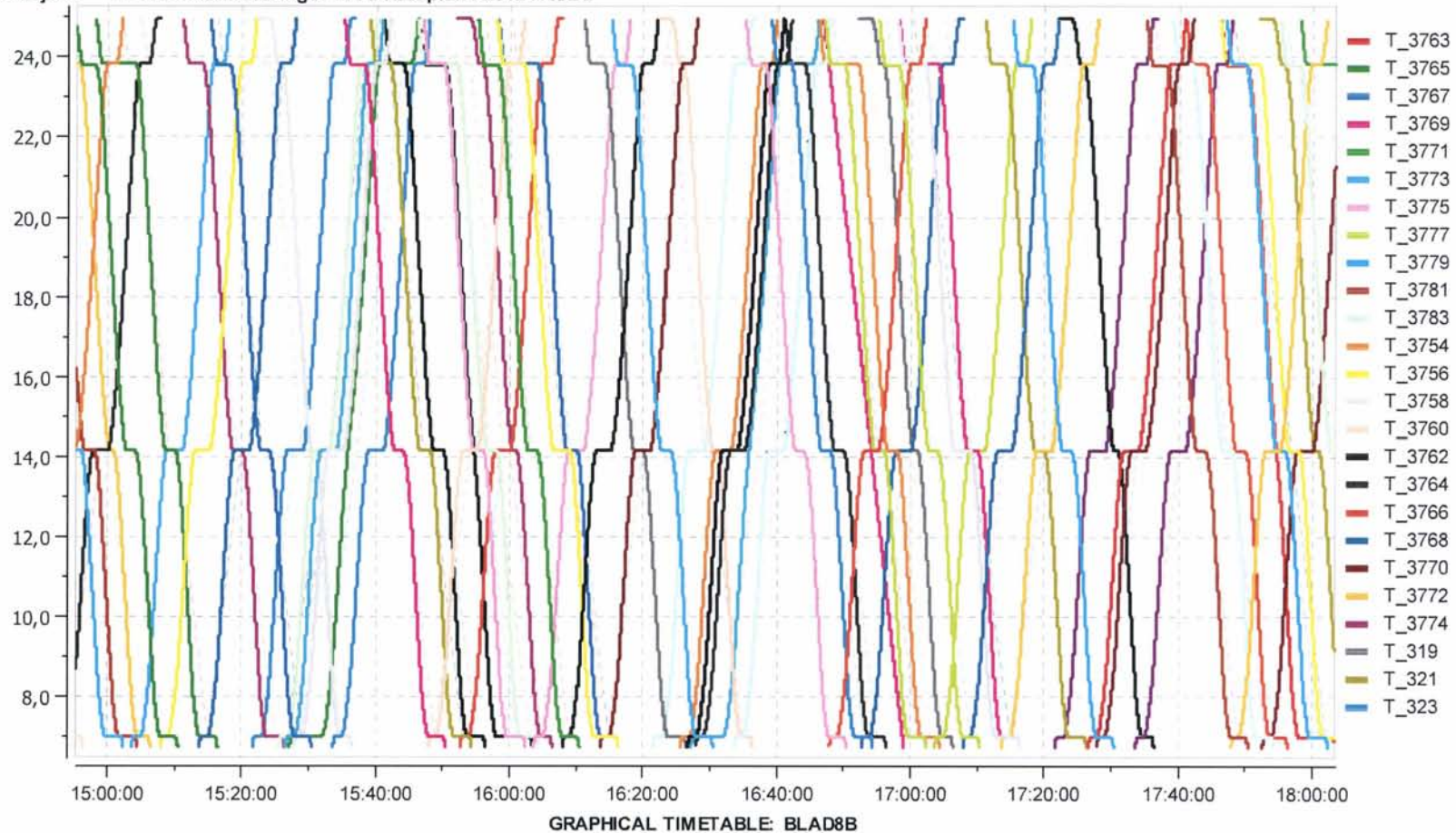
Dato: 10.05.2011 15:05

Prosjekt: Trafikksimuleringer med Ruteplan R2012 FASE 2



GRAPHICAL TIMETABLE: BLAD8C

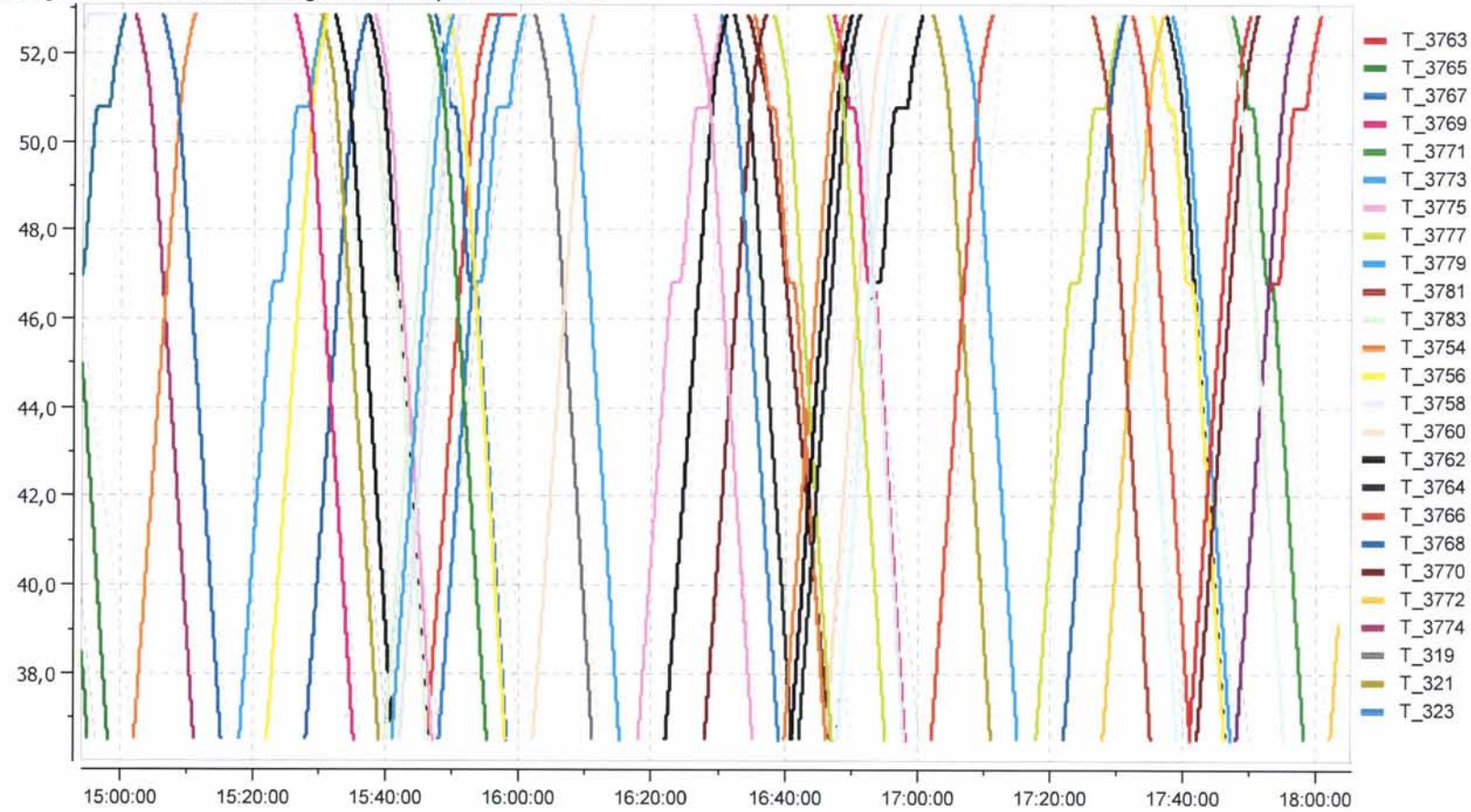
Filnavn: Sim Oslo.dynpow
Dato: 10.05.2011 15:05
Prosjekt: Trafikksimuleringer med Ruteplan R2012 FASE 2



Filnavn: SimOslo.dynpow

Dato: 10.05.2011 15:05

Prosjekt: Trafikksimuleringer med Ruteplan R2012 FASE 2



GRAPHICAL TIMETABLE: BLAD8A-2

STRI Software

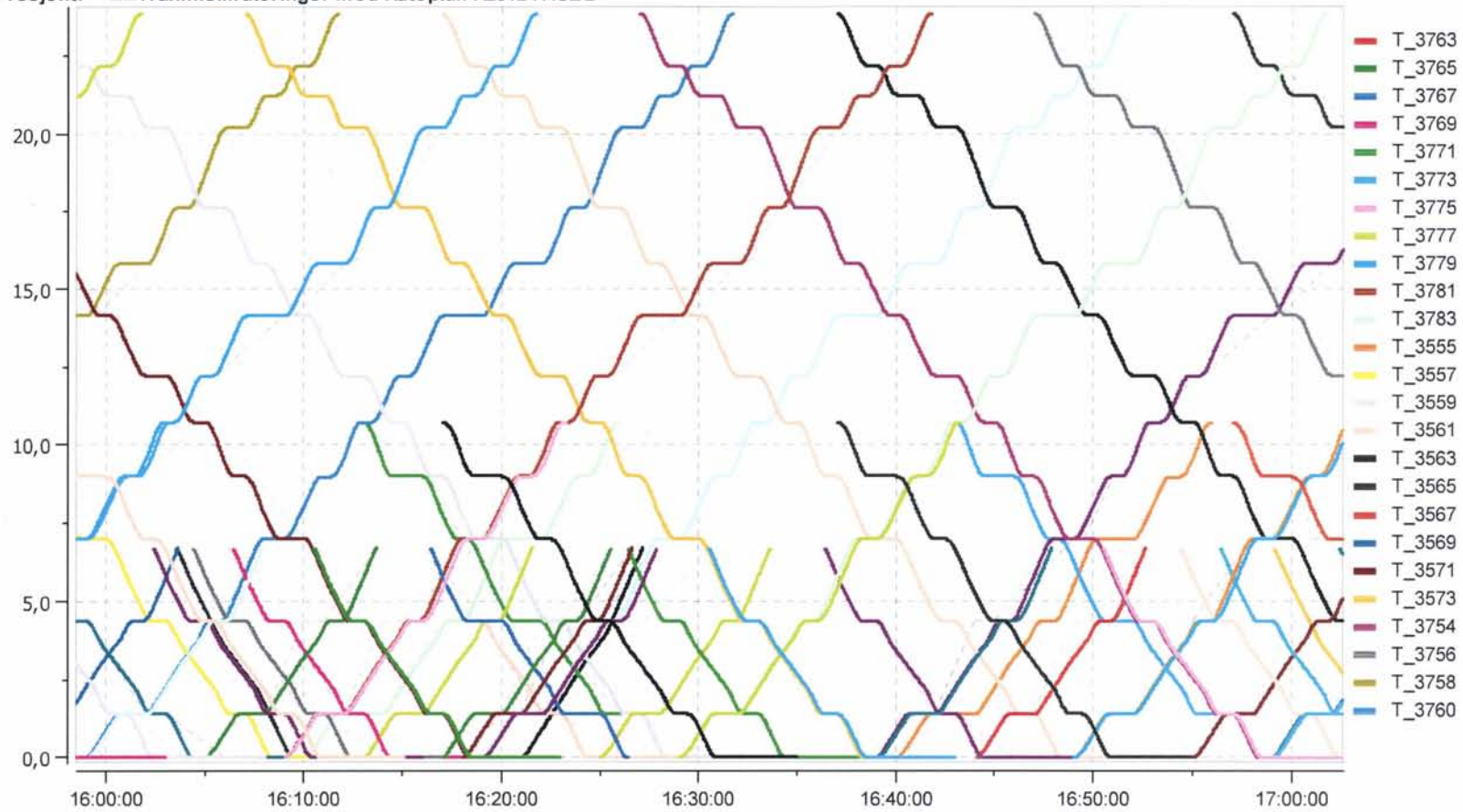
DATE 10 MAY 2011 TIME 15:12:39 JOB simoslo_c Simpov 11.0.009

Diagram :2

Filnavn: Sim Oslo.dynpow

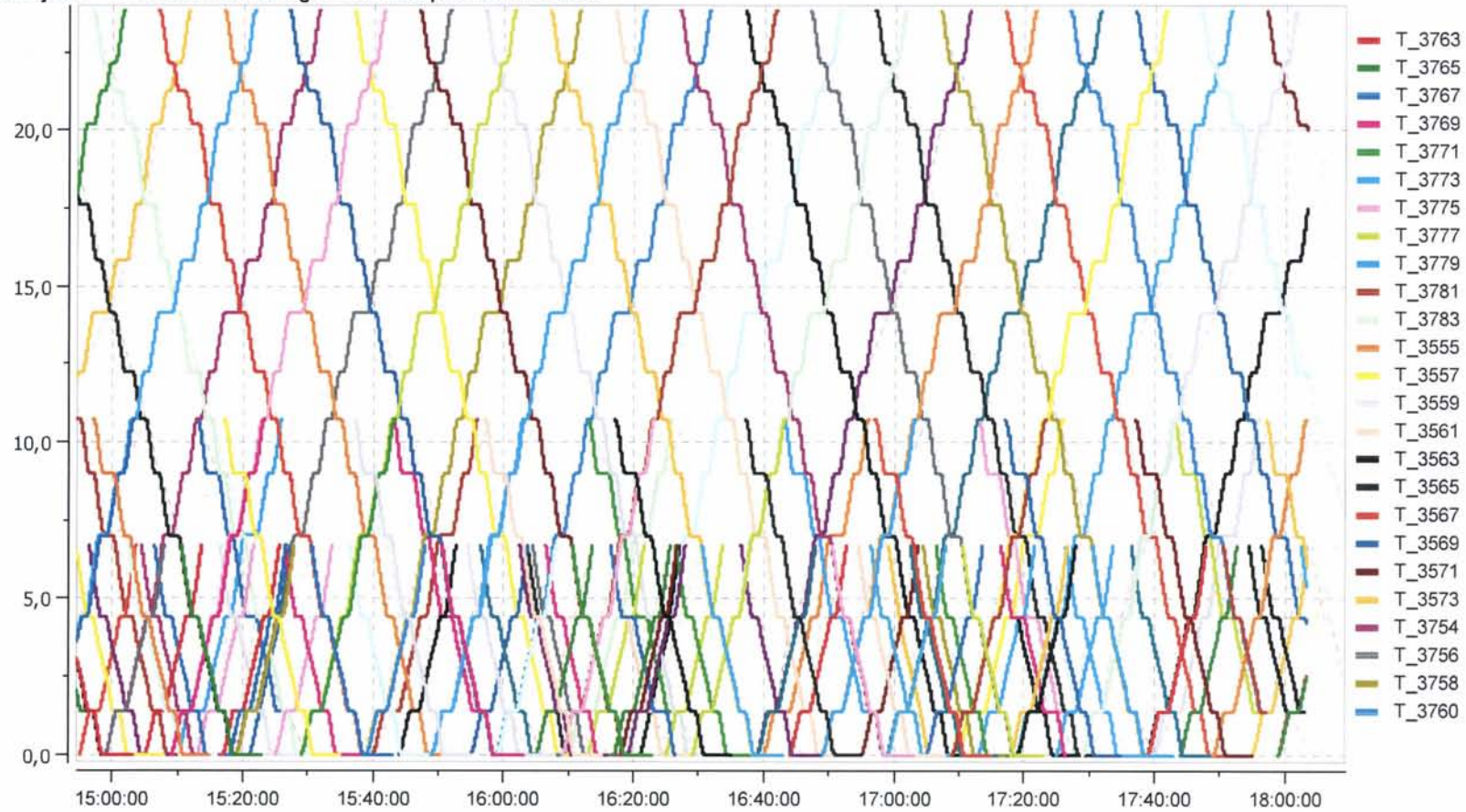
Dato: 10.05.2011 15:05

Prosjekt: Trafikksimuleringer med Ruteplan R2012 FASE 2



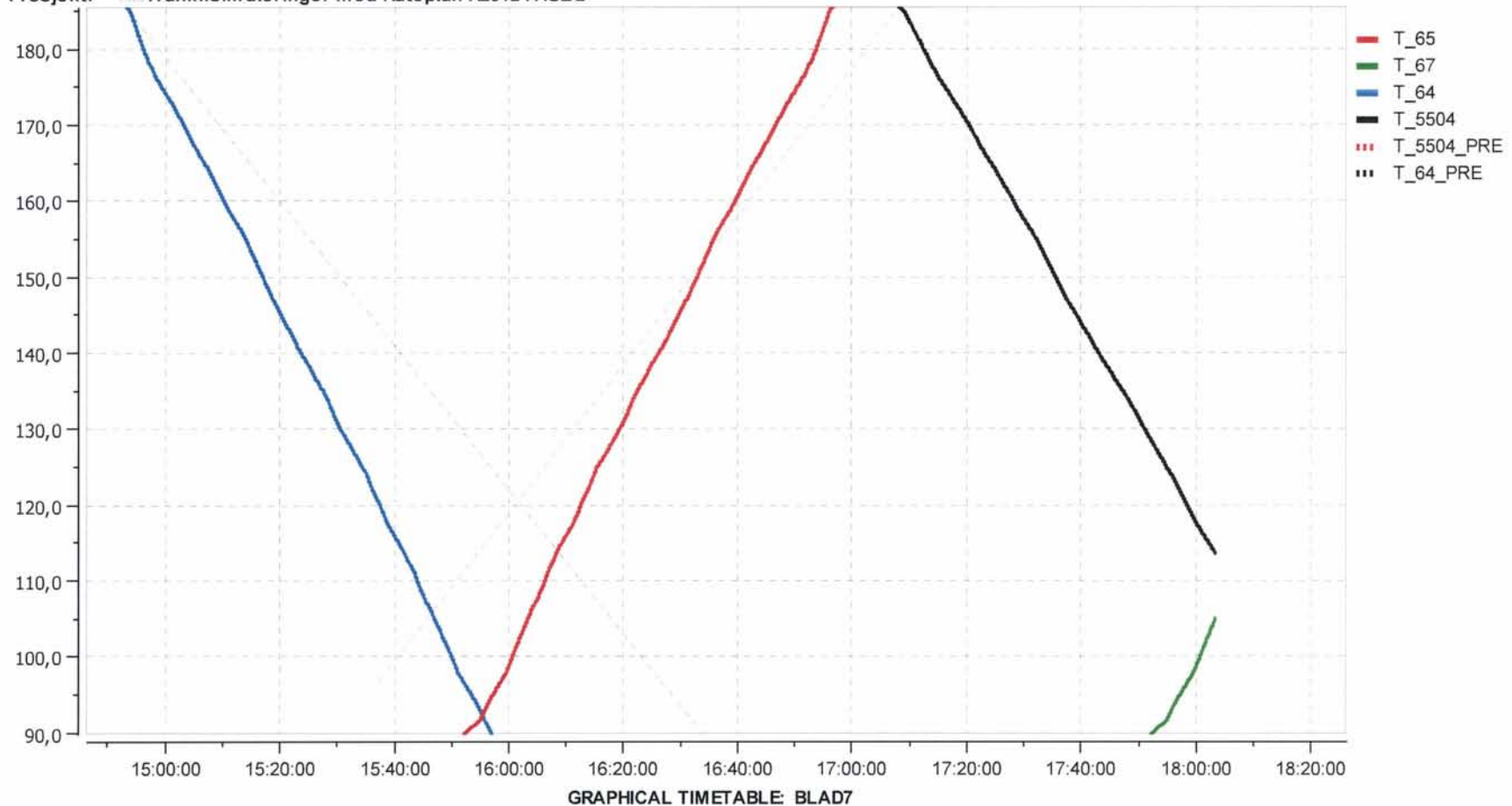
GRAPHICAL TIMETABLE: BLAD8A-1

Filnavn: Sim Oslo.dynpow
Dato: 10.05.2011 15:05
Prosjekt: Trafikksimuleringer med Ruteplan R2012 FASE 2

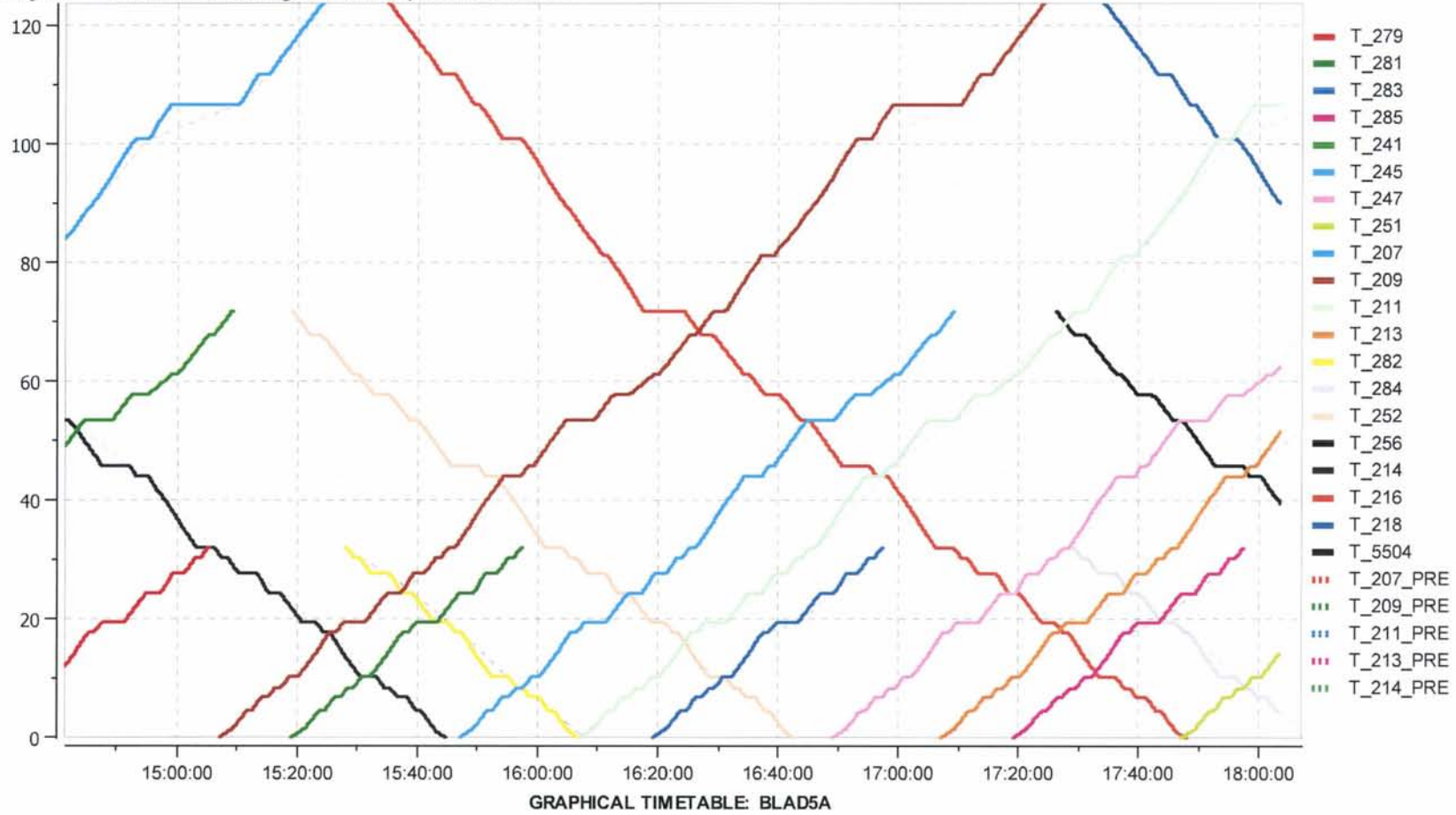


GRAPHICAL TIMETABLE: BLAD8A-1

Filnavn: Sim Oslo.dynpow
Dato: 10.05.2011 15:05
Prosjekt: Trafikksimuleringer med Ruteplan R2012 FASE 2



Filnavn: Sim Oslo.dynpow
 Dato: 10.05.2011 15:05
 Prosjekt: Trafikksimuleringer med Ruteplan R2012 FASE 2

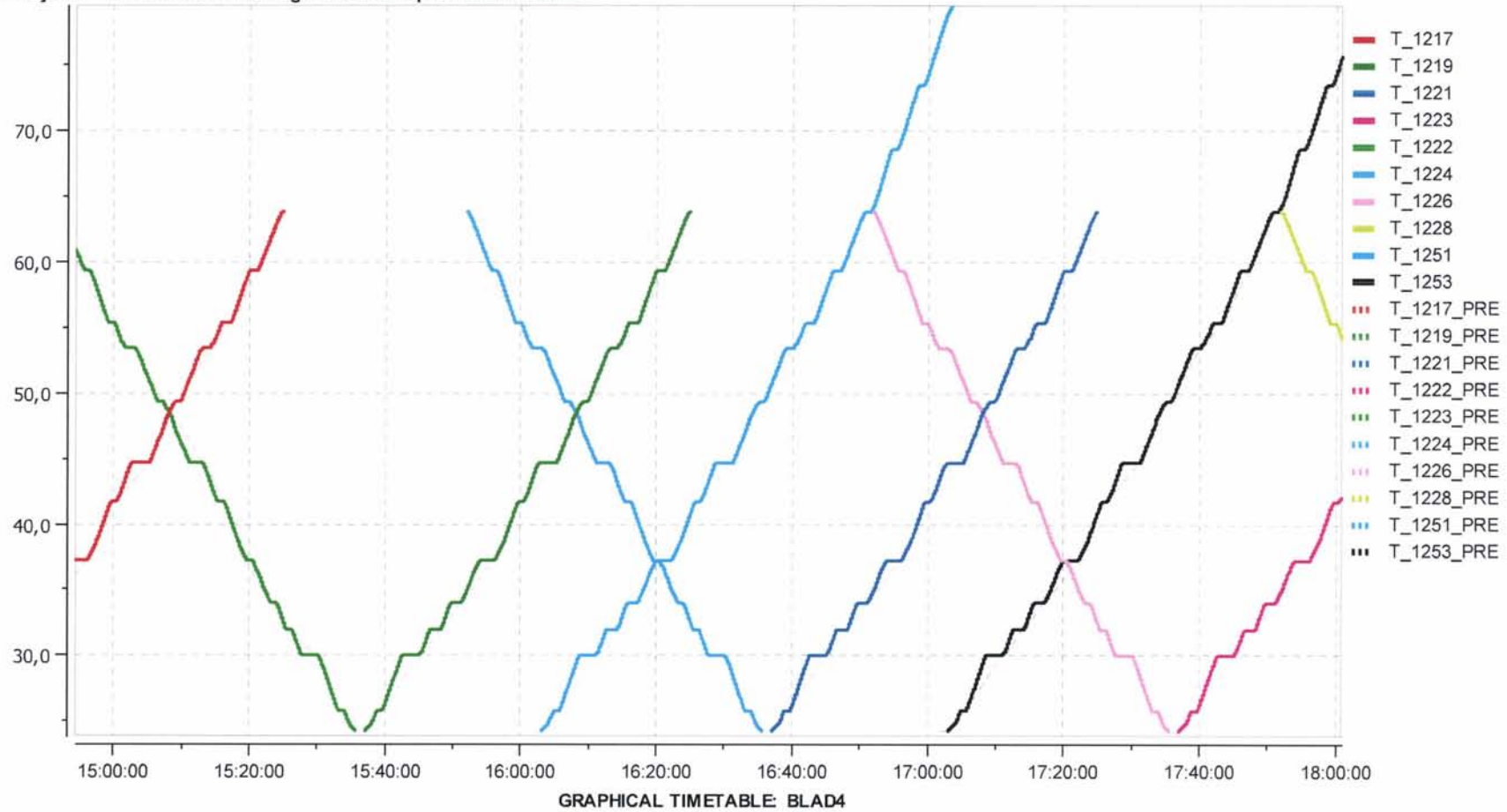


STRI Software

DATE 10 MAY 2011 TIME 15:12:39 JOB simoslo_c Simpov 11.0.009

Diagram:2

Filnavn: Sim Oslo.dynpow
Dato: 10.05.2011 15:05
Prosjekt: Trafikksimuleringer med Ruteplan R2012 FASE 2

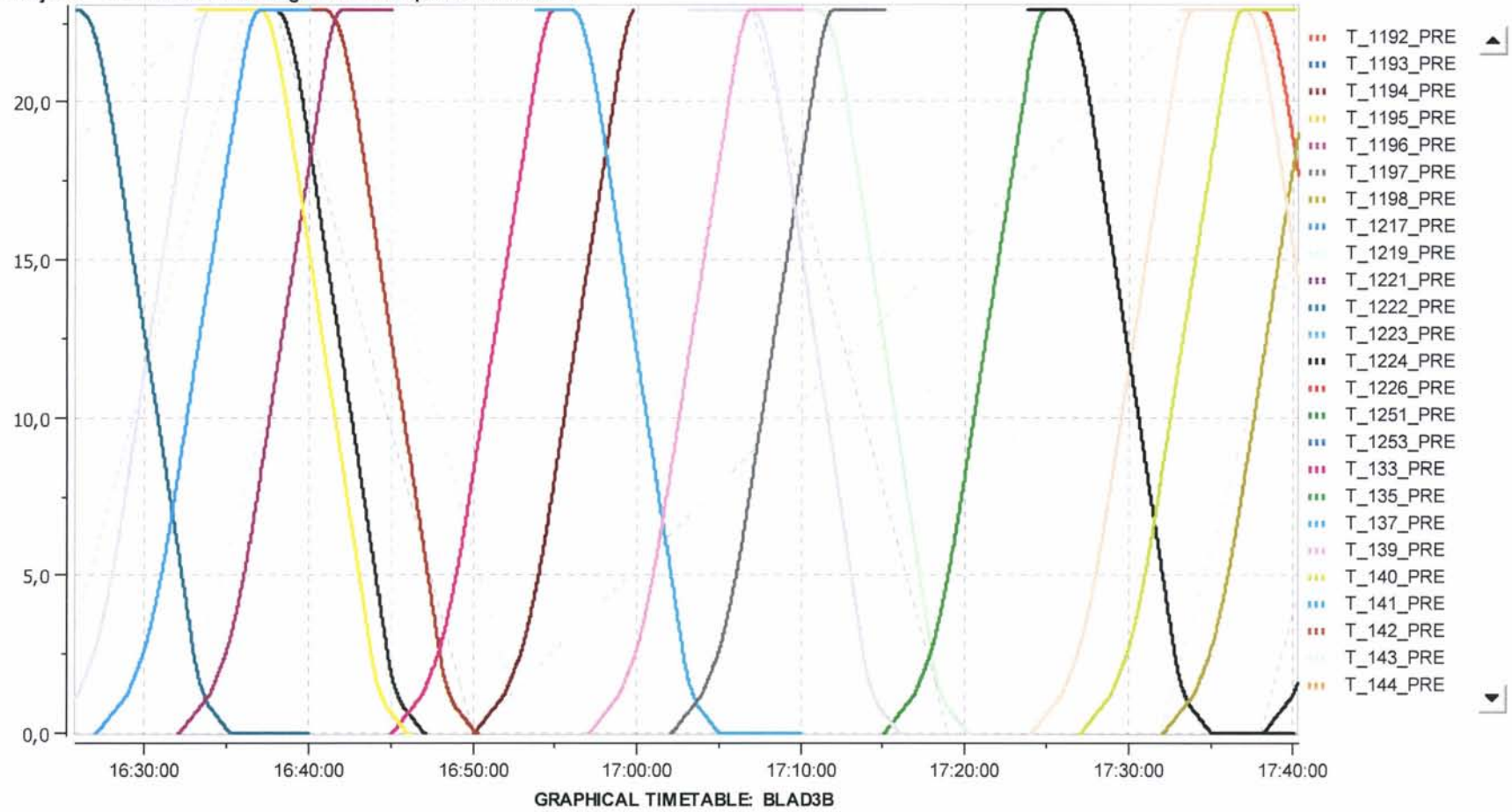


STRI Software

DATE 11 MAY 2011 TIME 17:13:06 JOB simoslo_c Simpov 11.0.009

Diagram:2

Filnavn: Sim Oslo.dynpow
Dato: 10.05.2011 15:05
Prosjekt: Trafikksimuleringer med Ruteplan R2012 FASE 2

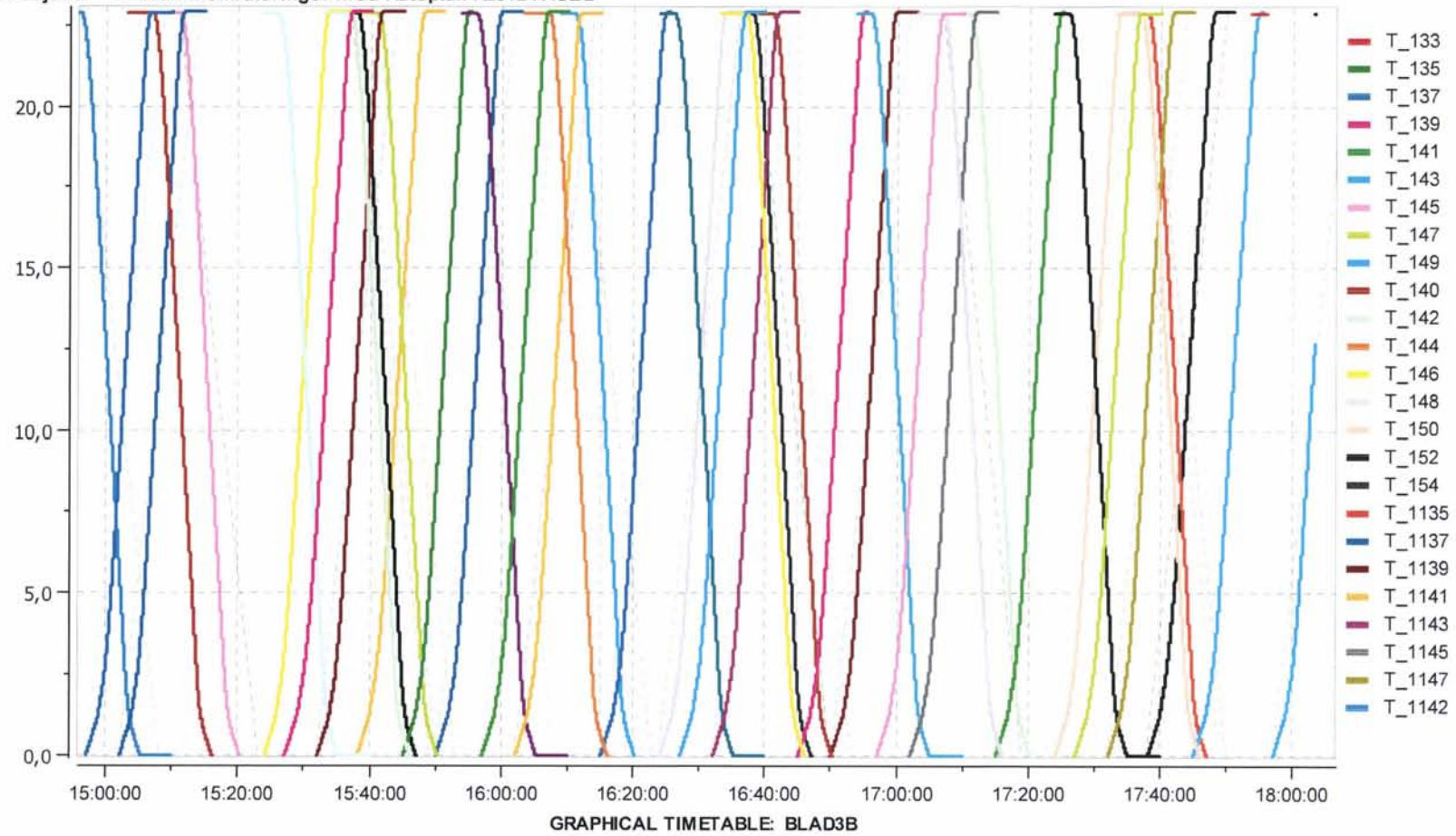


STRI Software

DATE 10 MAY 2011 TIME 15:12:39 JOB simoslo_c Simpow 11.0.009

Diagram:2

Filnavn: Sim Oslo.dynpow
Dato: 10.05.2011 15:05
Prosjekt: Trafikksimuleringer med Ruteplan R2012 FASE 2

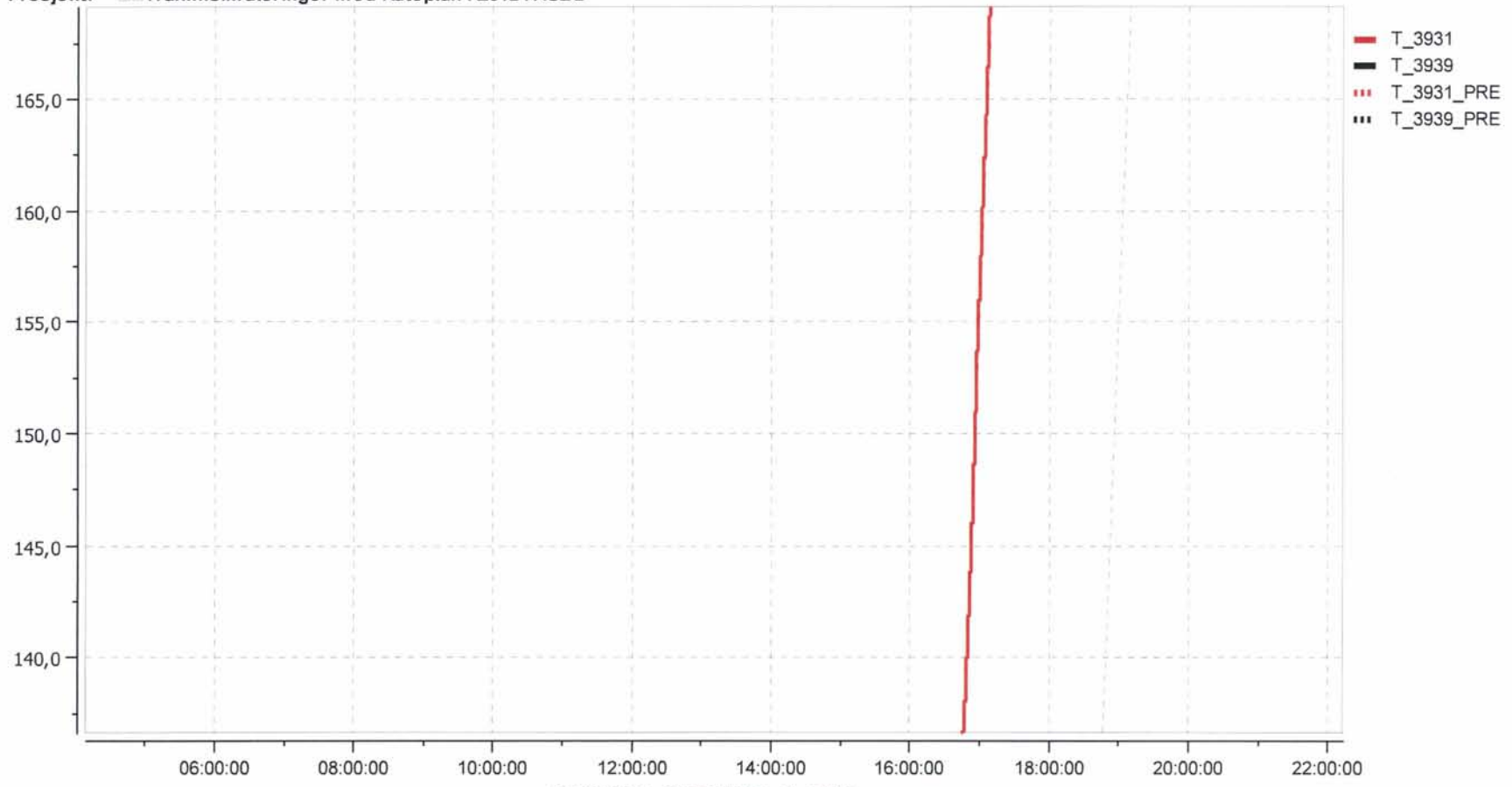


STRI Software

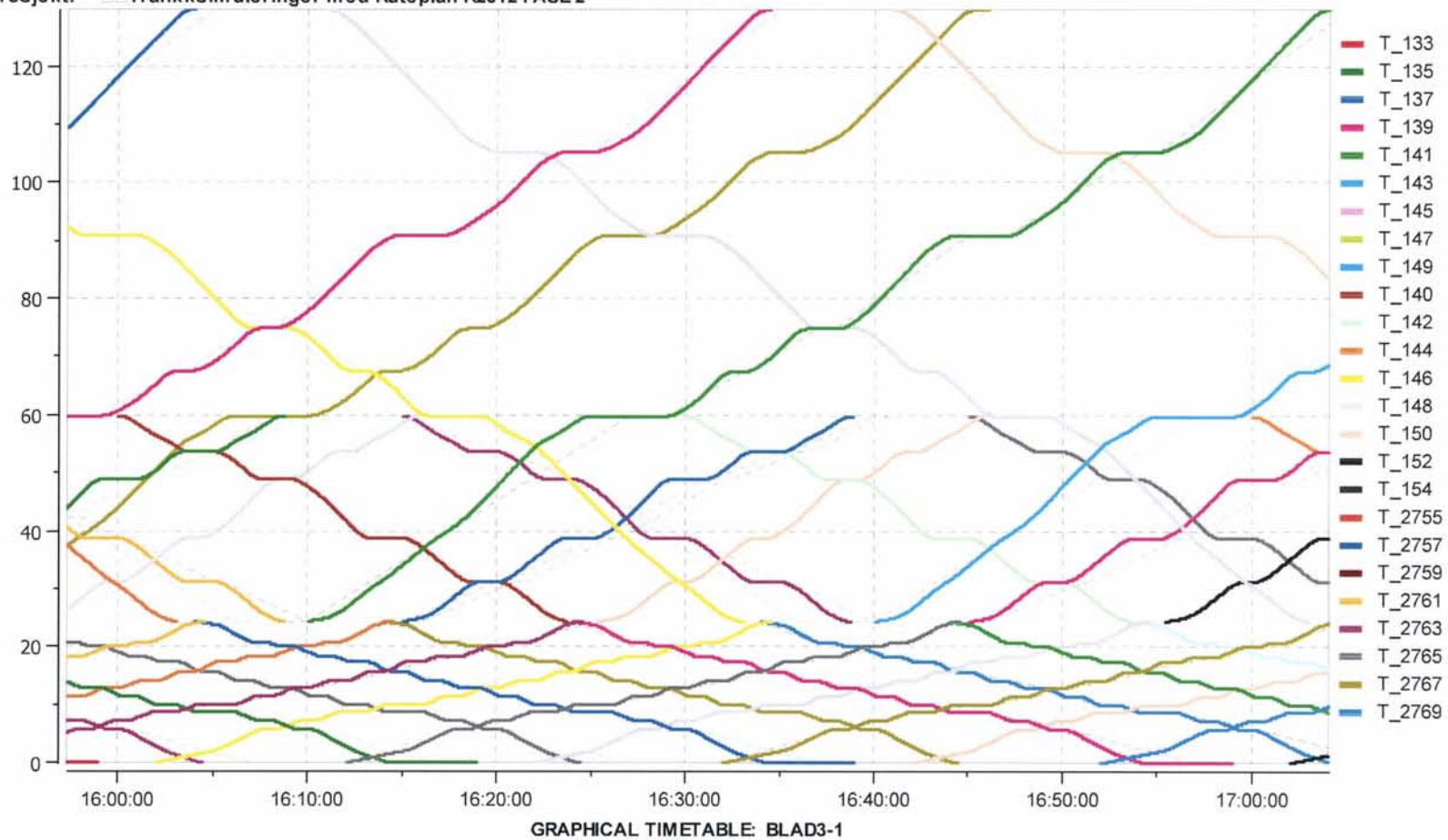
DATE 11 MAY 2011 TIME 17:13:06 JOB simoslo_c Simpov 11.0.009

Diagram :2

Filnavn: Sim Oslo.dynpow
Dato: 10.05.2011 15:05
Prosjekt: Trafikksimuleringer med Ruteplan R2012 FASE 2



Filnavn: Sim Oslo.dynpow
Dato: 10.05.2011 15:05
Prosjekt: Trafikksimuleringer med Ruteplan R2012 FASE 2



STRI Software

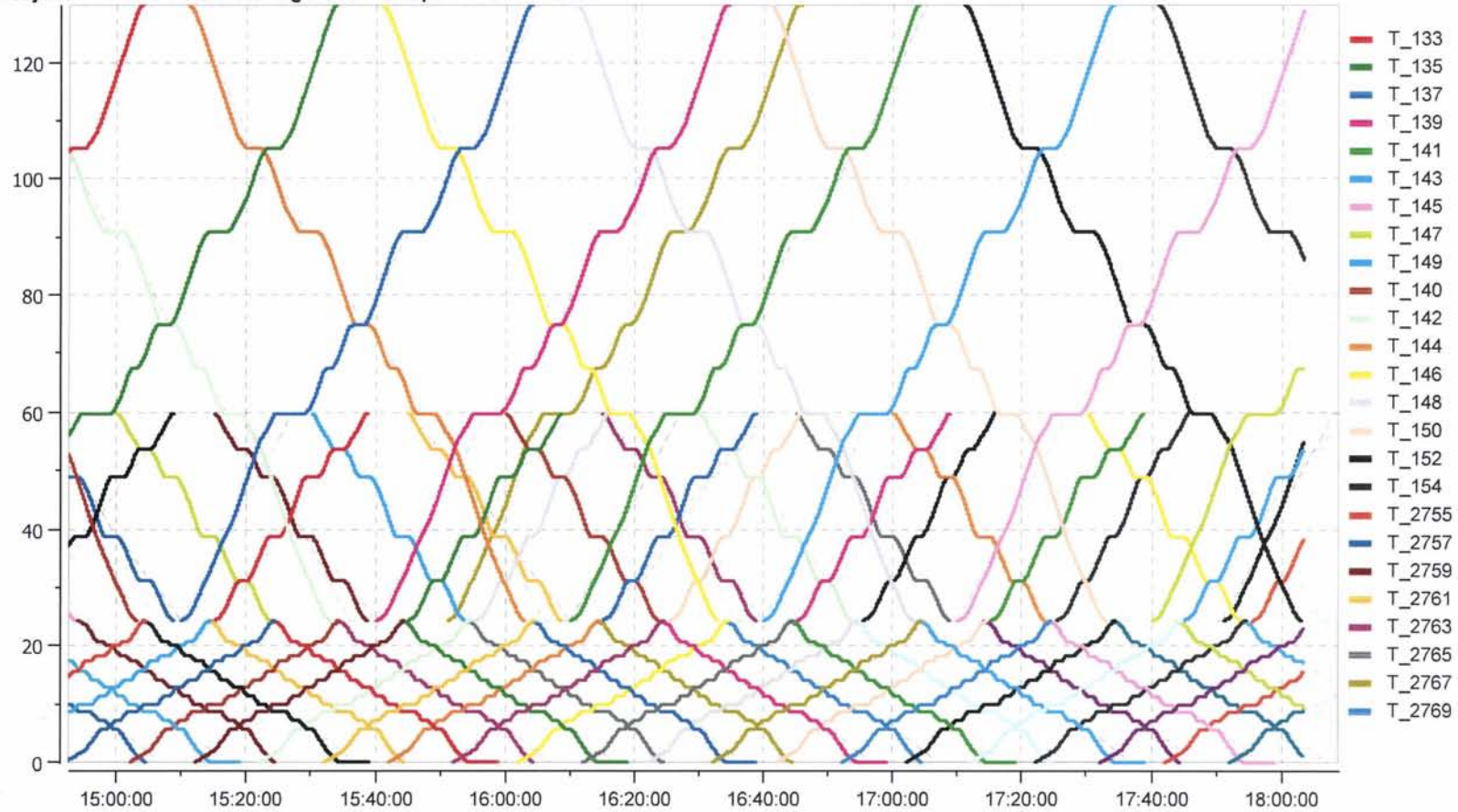
DATE 10 MAY 2011 TIME 15:12:39 JOB simoslo_c Simpov 11.0.009

Diagram :2

Filnavn: Sim Oslo.dynpow

Dato: 10.05.2011 15:05

Prosjekt: Trafikksimuleringer med Ruteplan R2012 FASE 2



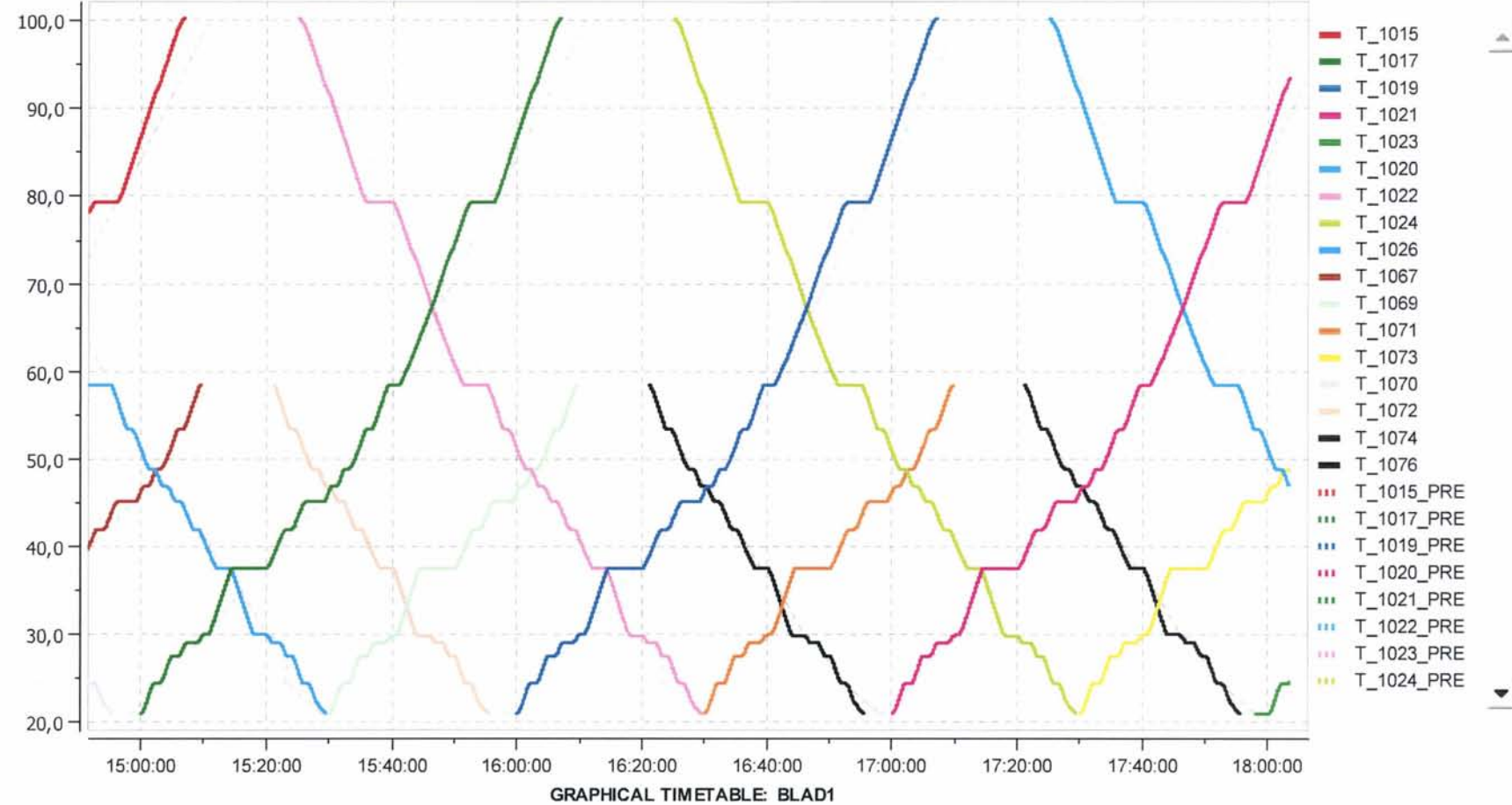
GRAPHICAL TIMETABLE: BLAD3-1

STRI Software

DATE 10 MAY 2011 TIME 15:12:39 JOB simoslo_c Simpov 11.0.009

Diagram:2

Filnavn: Sim Oslo.dynpow
 Dato: 10.05.2011 15:05
 Prosjekt: Trafikksimuleringer med Ruteplan R2012 FASE 2



11 VEDLEGG 2

| Train Nr | Departure | SimID/ ResID | Train Type | Count of MU's or Cars og Weight | Comment | Traffic | Train | Path |
|----------|---|-----------------|---------------|---------------------------------------|---------|---------|--------|--------|
| !!!! | Flytoget: Drammen - Askerbanen - Lysaker - Oslotunnelen - Oslo S - Romeriksporten - Lillestrøm - GMB - Gardermoen | | | | | | | |
| 3761 | 14:43 | | BM71 | 2 | | T_3761 | BM71_2 | P_3761 |
| 3763 | 14:26 | | BM71 | 2 | | T_3763 | BM71_2 | P_3763 |
| 3765 | 14:46 | | BM71 | 2 | | T_3765 | BM71_2 | P_3765 |
| 3767 | 15:06 | | BM71 | 2 | | T_3767 | BM71_2 | P_3767 |
| 3769 | 15:26 | | BM71 | 2 | | T_3769 | BM71_2 | P_3769 |
| 3771 | 15:46 | | BM71 | 2 | | T_3771 | BM71_2 | P_3771 |
| 3773 | 16:06 | | BM71 | 2 | | T_3773 | BM71_2 | P_3773 |
| 3775 | 16:26 | | BM71 | 2 | | T_3775 | BM71_2 | P_3775 |
| 3777 | 16:46 | | BM71 | 2 | | T_3777 | BM71_2 | P_3777 |
| 3779 | 17:06 | | BM71 | 2 | | T_3779 | BM71_2 | P_3779 |
| 3781 | 17:26 | | BM71 | 2 | | T_3781 | BM71_2 | P_3781 |
| 3783 | 17:46 | | BM71 | 2 | | T_3783 | BM71_2 | P_3783 |
| !!!! | Flytoget: Høvik - Drammenbanen - Lysaker - Oslotunnelen - Oslo S - Romeriksporten - Lillestrøm - GMB - Gardermoen | | | | | | | |
| 3553 | 14:55 | | BM71 | 2 | | T_3553 | BM71_2 | P_3553 |
| 3555 | 14:57 | | BM71 | 2 | | T_3555 | BM71_2 | P_3555 |
| 3557 | 15:17 | | BM71 | 2 | | T_3557 | BM71_2 | P_3557 |
| 3559 | 15:37 | | BM71 | 2 | | T_3559 | BM71_2 | P_3559 |
| 3561 | 15:57 | | BM71 | 2 | | T_3561 | BM71_2 | P_3561 |
| 3563 | 16:17 | | BM71 | 2 | | T_3563 | BM71_2 | P_3563 |
| 3565 | 16:37 | | BM71 | 2 | | T_3565 | BM71_2 | P_3565 |
| 3567 | 16:57 | | BM71 | 2 | | T_3567 | BM71_2 | P_3567 |
| 3569 | 17:17 | | BM71 | 2 | | T_3569 | BM71_2 | P_3569 |
| 3571 | 17:37 | | BM71 | 2 | | T_3571 | BM71_2 | P_3571 |
| 3573 | 17:57 | | BM71 | 2 | | T_3573 | BM71_2 | P_3573 |
| !!!! | Flytoget: Gardermoen - GMB - Lillestrøm - Romeriksporten - Oslo S - Oslotunnelen - Lysaker - Askerbanen - Drammen | | | | | | | |
| 3754 | 14:39 | | BM71 | 2 | | T_3754 | BM71_2 | P_3754 |
| 3756 | 14:59 | | BM71 | 2 | | T_3756 | BM71_2 | P_3756 |
| 3758 | 14:54 | | BM71 | 2 | | T_3758 | BM71_2 | P_3758 |
| 3760 | 15:14 | | BM71 | 2 | | T_3760 | BM71_2 | P_3760 |
| 3762 | 15:34 | | BM71 | 2 | | T_3762 | BM71_2 | P_3762 |
| 3764 | 15:54 | | BM71 | 2 | | T_3764 | BM71_2 | P_3764 |
| 3766 | 16:14 | | BM71 | 2 | | T_3766 | BM71_2 | P_3766 |
| 3768 | 16:34 | | BM71 | 2 | | T_3768 | BM71_2 | P_3768 |
| 3770 | 16:54 | | BM71 | 2 | | T_3770 | BM71_2 | P_3770 |
| 3772 | 17:14 | | BM71 | 2 | | T_3772 | BM71_2 | P_3772 |
| 3774 | 17:34 | | BM71 | 2 | | T_3774 | BM71_2 | P_3774 |
| 3776 | 17:54 | | BM71 | 2 | | T_3776 | BM71_2 | P_3776 |
| !!!! | Flytoget: Gardermoen - GMB - Lillestrøm - Romeriksporten - Oslo S - Oslotunnelen - Drammenbanen - Høvik | | | | | | | |
| 3554 | 14:49 | | BM71 | 2 | | T_3554 | BM71_2 | P_3554 |
| 3556 | 14:44 | | BM71 | 2 | | T_3556 | BM71_2 | P_3556 |
| 3558 | 15:04 | | BM71 | 2 | | T_3558 | BM71_2 | P_3558 |
| 3560 | 15:24 | | BM71 | 2 | | T_3560 | BM71_2 | P_3560 |
| 3562 | 15:44 | | BM71 | 2 | | T_3562 | BM71_2 | P_3562 |
| 3564 | 16:04 | | BM71 | 2 | | T_3564 | BM71_2 | P_3564 |

| | | | | | | |
|------|-------|------|---|--------|--------|--------|
| 3566 | 16:24 | BM71 | 2 | T_3566 | BM71_2 | P_3566 |
| 3568 | 16:44 | BM71 | 2 | T_3568 | BM71_2 | P_3568 |
| 3570 | 17:04 | BM71 | 2 | T_3570 | BM71_2 | P_3570 |
| 3572 | 17:24 | BM71 | 2 | T_3572 | BM71_2 | P_3572 |
| 3574 | 17:44 | BM71 | 2 | T_3574 | BM71_2 | P_3574 |

!!!! NSB Pt: linje 001, Oslo S - Follobanen - Ski - Vestre linje - Halden

| | | | | | | |
|-----|-------|------|---|-------|--------|-------|
| 133 | 13:57 | BM74 | 1 | T_133 | BM74_1 | P_133 |
| 135 | 14:27 | BM74 | 1 | T_135 | BM74_1 | P_135 |
| 137 | 14:57 | BM74 | 1 | T_137 | BM74_1 | P_137 |
| 139 | 15:27 | BM73 | 2 | T_139 | BM73_2 | P_139 |
| 141 | 15:57 | BM74 | 2 | T_141 | BM74_2 | P_141 |
| 143 | 16:27 | BM74 | 2 | T_143 | BM74_2 | P_143 |
| 145 | 16:57 | BM74 | 2 | T_145 | BM74_2 | P_145 |
| 147 | 17:27 | BM74 | 2 | T_147 | BM74_2 | P_147 |
| 149 | 17:57 | BM74 | 2 | T_149 | BM74_2 | P_149 |

!!!! NSB Pt: linje 001, Halden - Vestre linje - Ski - Follobanen - Oslo S

| | | | | | | |
|-----|-------|------|---|-------|--------|-------|
| 140 | 14:11 | BM74 | 1 | T_140 | BM74_1 | P_140 |
| 142 | 14:41 | BM74 | 1 | T_142 | BM74_1 | P_142 |
| 144 | 15:11 | BM74 | 1 | T_144 | BM74_1 | P_144 |
| 146 | 15:41 | BM74 | 1 | T_146 | BM74_1 | P_146 |
| 148 | 16:11 | BM74 | 1 | T_148 | BM74_1 | P_148 |
| 150 | 16:41 | BM74 | 1 | T_150 | BM74_1 | P_150 |
| 152 | 17:11 | BM74 | 1 | T_152 | BM74_1 | P_152 |
| 154 | 17:41 | BM74 | 2 | T_154 | BM74_2 | P_154 |

!!!! NSB Pt: linje 002 Tønsberg - Vestfoldbanen - Drammen - Askerbanen - Lysaker - Oslotunnelen - Oslo S - Romeriksporten - Lillestrøm - GMB - Eidsvoll - Dovrebanen - Lillehammer

| | | | | | | |
|-----|-------|------|---|-------|--------|-------|
| 317 | 14:08 | BM74 | 1 | T_317 | BM74_1 | P_317 |
| 319 | 13:58 | BM74 | 1 | T_319 | BM74_1 | P_319 |
| 321 | 14:58 | BM74 | 1 | T_321 | BM74_1 | P_321 |
| 323 | 15:58 | BM74 | 2 | T_323 | BM74_2 | P_323 |
| 325 | 16:58 | BM74 | 2 | T_325 | BM74_2 | P_325 |
| 327 | 17:58 | BM74 | 2 | T_327 | BM74_2 | P_327 |

!!!! NSB Pt: linje 002 Lillehammer - Dovrebanen - Eidsvoll - GMB - Lillestrøm - Romeriksporten - Oslo S - Lysaker - Askerbanen - Drammen - Vestfoldbanen - Tønsberg

| | | | | | | |
|-----|-------|------|---|-------|--------|-------|
| 320 | 14:18 | BM74 | 1 | T_320 | BM74_1 | P_320 |
| 322 | 13:56 | BM74 | 1 | T_322 | BM74_1 | P_322 |
| 324 | 14:56 | BM74 | 2 | T_324 | BM74_2 | P_324 |
| 326 | 15:56 | BM74 | 2 | T_326 | BM74_2 | P_326 |
| 328 | 16:56 | BM74 | 2 | T_328 | BM74_2 | P_328 |
| 330 | 17:56 | BM74 | 2 | T_330 | BM74_2 | P_330 |

!!!! NSB Pt: linje 003 Hamar - Dovrebanen - Eidsvoll - GMB - Lillestrøm - Romeriksporten - Oslo S - Askerbanen - Drammen - Vestfoldbanen - Larvik - Skien

| | | | | | | |
|-----|-------|------|---|-------|--------|-------|
| 817 | 14:18 | BM74 | 1 | T_817 | BM74_1 | P_817 |
| 819 | 14:17 | BM74 | 1 | T_819 | BM74_1 | P_819 |
| 821 | 15:17 | BM74 | 2 | T_821 | BM74_2 | P_821 |
| 823 | 16:17 | BM74 | 2 | T_823 | BM74_2 | P_823 |
| 825 | 17:17 | BM74 | 2 | T_825 | BM74_2 | P_825 |

!!!! NSB Pt: linje 003 Skien - Larvik - Vestfoldbanen - Drammen - Askerbanen - Lysaker - Dovrebanen - Oslotunnelen - Oslo S - Romeriksporten - Lillestrøm - GMB - Eidsvoll - Hamar

| | | | | | | |
|-----|-------|------|---|-------|--------|-------|
| 818 | 14:16 | BM74 | 1 | T_818 | BM74_1 | P_818 |
|-----|-------|------|---|-------|--------|-------|

| | | | | | | |
|-----|-------|------|---|-------|--------|-------|
| 820 | 13:31 | BM74 | 1 | T_820 | BM74_1 | P_820 |
| 822 | 14:31 | BM74 | 1 | T_822 | BM74_1 | P_822 |
| 824 | 15:31 | BM74 | 2 | T_824 | BM74_2 | P_824 |
| 826 | 16:31 | BM74 | 2 | T_826 | BM74_2 | P_826 |
| 828 | 17:31 | BM74 | 2 | T_828 | BM74_2 | P_828 |

!!!! NSB Pt: linje 03E Oslo S - Oslotunnelen - Lysaker - Askerbanen - Drammen - Vestfoldbanen - Tønsberg

| | | | | | | |
|-----|-------|------|---|-------|--------|-------|
| 931 | 15:17 | BM74 | 1 | T_931 | BM74_1 | P_931 |
| 933 | 16:17 | BM74 | 1 | T_933 | BM74_1 | P_933 |

!!!! NSB Pt: linje 03E Tønsberg - Vestfoldbanen - Drammen - Askerbanen - Lysaker - Oslotunnelen Oslo S

| | | | | | | |
|-----|-------|------|---|-------|--------|-------|
| 932 | 15:17 | BM74 | 1 | T_932 | BM74_1 | P_932 |
| 934 | 16:17 | BM74 | 1 | T_934 | BM74_1 | P_934 |

!!!! NSB Pt: linje 400, Lillestrøm - Brynsbakken/Hovedbanen - Oslo S - Oslotunnelen - Lysaker - Drammenbanen - Asker

| | | | | | | |
|------|-------|------|---|--------|--------|--------|
| 2155 | 14:29 | BM76 | 1 | T_2155 | BM76_1 | P_2155 |
| 2157 | 14:49 | BM76 | 1 | T_2157 | BM76_1 | P_2157 |
| 2159 | 14:40 | BM76 | 1 | T_2159 | BM76_1 | P_2159 |
| 2161 | 15:00 | BM76 | 1 | T_2161 | BM76_1 | P_2161 |
| 2163 | 15:20 | BM76 | 2 | T_2163 | BM76_2 | P_2163 |
| 2165 | 15:40 | BM76 | 2 | T_2165 | BM76_2 | P_2165 |
| 2167 | 16:00 | BM76 | 2 | T_2167 | BM76_2 | P_2167 |
| 2169 | 16:20 | BM76 | 2 | T_2169 | BM76_2 | P_2169 |
| 2171 | 16:40 | BM76 | 2 | T_2171 | BM76_2 | P_2171 |
| 2173 | 17:00 | BM76 | 2 | T_2173 | BM76_2 | P_2173 |
| 2175 | 17:20 | BM76 | 2 | T_2175 | BM76_2 | P_2175 |
| 2177 | 17:40 | BM76 | 1 | T_2177 | BM76_1 | P_2177 |

!!!! NSB Pt: linje 400, Asker - Drammenbanen - Lysaker - Oslotunnelen - Oslo S - Brynsbakken/Hovedbanen - Lillestrøm

| | | | | | | |
|------|-------|------|---|--------|--------|--------|
| 2158 | 14:42 | BM76 | 1 | T_2158 | BM76_1 | P_2158 |
| 2160 | 14:27 | BM76 | 1 | T_2160 | BM76_1 | P_2160 |
| 2162 | 14:47 | BM76 | 1 | T_2162 | BM76_1 | P_2162 |
| 2164 | 15:07 | BM76 | 1 | T_2164 | BM76_1 | P_2164 |
| 2166 | 15:27 | BM76 | 2 | T_2166 | BM76_2 | P_2166 |
| 2168 | 15:47 | BM76 | 2 | T_2168 | BM76_2 | P_2168 |
| 2170 | 16:07 | BM76 | 2 | T_2170 | BM76_2 | P_2170 |
| 2172 | 16:27 | BM76 | 2 | T_2172 | BM76_2 | P_2172 |
| 2174 | 16:47 | BM76 | 2 | T_2174 | BM76_2 | P_2174 |
| 2176 | 17:07 | BM76 | 2 | T_2176 | BM76_2 | P_2176 |
| 2178 | 17:27 | BM76 | 2 | T_2178 | BM76_2 | P_2178 |
| 2180 | 17:47 | BM76 | 1 | T_2180 | BM76_1 | P_2180 |

!!!! NSB Pt: linje 410, Lillestrøm - Brynsbakken/Hovedbanen - Oslo S

| | | | | | | |
|------|-------|------|---|--------|--------|--------|
| 2275 | 14:50 | MB76 | 1 | T_2275 | MB76_1 | P_2275 |
| 2277 | 15:10 | MB76 | 1 | T_2277 | MB76_1 | P_2277 |
| 2279 | 15:30 | MB76 | 1 | T_2279 | MB76_1 | P_2279 |
| 2281 | 15:50 | MB76 | 1 | T_2281 | MB76_1 | P_2281 |
| 2283 | 16:10 | MB76 | 1 | T_2283 | MB76_1 | P_2283 |
| 2285 | 16:30 | MB76 | 1 | T_2285 | MB76_1 | P_2285 |
| 2287 | 16:50 | MB76 | 1 | T_2287 | MB76_1 | P_2287 |
| 2289 | 17:10 | MB76 | 1 | T_2289 | MB76_1 | P_2289 |
| 2291 | 17:30 | MB76 | 1 | T_2291 | MB76_1 | P_2291 |

| | | | | | | |
|------|-------|------|---|--------|--------|--------|
| 2293 | 17:50 | MB76 | 1 | T_2293 | MB76_1 | P_2293 |
|------|-------|------|---|--------|--------|--------|

!!!! NSB Pt: linje 410, Oslo S - Brynsbakken/Hovedbanen - Lillestrøm

| | | | | | | |
|------|-------|------|---|--------|--------|--------|
| 2276 | 14:52 | MB76 | 1 | T_2276 | MB76_1 | P_2276 |
| 2278 | 15:12 | MB76 | 1 | T_2278 | MB76_1 | P_2278 |
| 2280 | 15:32 | MB76 | 1 | T_2280 | MB76_1 | P_2280 |
| 2282 | 15:52 | MB76 | 1 | T_2282 | MB76_1 | P_2282 |
| 2284 | 16:12 | MB76 | 1 | T_2284 | MB76_1 | P_2284 |
| 2286 | 16:32 | MB76 | 1 | T_2286 | MB76_1 | P_2286 |
| 2288 | 16:52 | MB76 | 1 | T_2288 | MB76_1 | P_2288 |
| 2290 | 17:12 | MB76 | 1 | T_2290 | MB76_1 | P_2290 |
| 2292 | 17:32 | MB76 | 1 | T_2292 | MB76_1 | P_2292 |
| 2294 | 17:52 | MB76 | 1 | T_2294 | MB76_1 | P_2294 |

!!!! NSB Pt: linje 440 Drammen - Askerbanen - Lysaker - Oslotunnelen - Oslo S - Romeriksporten - Lillestrøm - Hovedbanen - Dal - Eidsvoll

| | | | | | | |
|------|-------|------|---|--------|--------|--------|
| 1617 | 14:09 | BM75 | 1 | T_1617 | BM75_1 | P_1617 |
| 1619 | 14:32 | BM75 | 2 | T_1619 | BM75_2 | P_1619 |
| 1621 | 15:32 | BM75 | 2 | T_1621 | BM75_2 | P_1621 |
| 1623 | 16:32 | BM75 | 2 | T_1623 | BM75_2 | P_1623 |
| 1625 | 17:32 | BM75 | 2 | T_1625 | BM75_2 | P_1625 |

!!!! NSB Pt: linje 440 Eidsvoll - Dal - Hovedbanen - Lillestrøm - Romeriksporten - Oslo S - Oslotunnelen - Lysaker - Askerbanen - Drammen

| | | | | | | |
|------|-------|------|---|--------|--------|--------|
| 1620 | 14:05 | BM75 | 2 | T_1620 | BM75_2 | P_1620 |
| 1622 | 15:05 | BM75 | 2 | T_1622 | BM75_2 | P_1622 |
| 1624 | 16:05 | BM75 | 2 | T_1624 | BM75_2 | P_1624 |
| 1626 | 17:05 | BM75 | 2 | T_1626 | BM75_2 | P_1626 |

!!!! NSB Pt: linje 441 Drammen - Askerbanen - Lysaker - Oslotunnelen - Oslo S - Romeriksporten - Lillestrøm - Hovedbanen - Dal

| | | | | | | |
|------|-------|------|---|--------|--------|--------|
| 1667 | 14:39 | BM75 | 1 | T_1667 | BM75_1 | P_1667 |
| 1669 | 15:02 | BM75 | 2 | T_1669 | BM75_2 | P_1669 |
| 1671 | 16:02 | BM75 | 2 | T_1671 | BM75_2 | P_1671 |
| 1673 | 17:02 | BM75 | 2 | T_1673 | BM75_2 | P_1673 |

!!!! NSB Pt: linje 441 Dal - Hovedbanen - Lillestrøm - Romeriksporten - Oslo S - Oslotunnelen - Lysaker - Askerbanen - Drammen

| | | | | | | |
|------|-------|------|---|--------|--------|--------|
| 1670 | 14:35 | BM75 | 2 | T_1670 | BM75_2 | P_1670 |
| 1672 | 15:35 | BM75 | 2 | T_1672 | BM75_2 | P_1672 |
| 1674 | 16:35 | BM75 | 2 | T_1674 | BM75_2 | P_1674 |
| 1676 | 17:35 | BM75 | 2 | T_1676 | BM75_2 | P_1676 |

!!!! NSB Pt: linje 450 Eidsvoll - GMB - Lillestrøm - Romeriksporten - Oslo S - Oslotunnelen - Lysaker - Askerbanen - Drammen - Kongsberg

| | | | | | | |
|-----|-------|------|---|-------|--------|-------|
| 517 | 14:25 | BM75 | 1 | T_517 | BM75_1 | P_517 |
| 519 | 14:47 | BM75 | 2 | T_519 | BM75_2 | P_519 |
| 521 | 15:47 | BM75 | 2 | T_521 | BM75_2 | P_521 |
| 523 | 16:47 | BM75 | 2 | T_523 | BM75_2 | P_523 |
| 525 | 17:47 | BM75 | 1 | T_525 | BM75_1 | P_525 |

!!!! NSB Pt: linje 450 Kongsberg - Drammen - Askerbanen - Lysaker - Oslotunnelen - Oslo S - Romeriksporten - Lillestrøm - GMB - Eidsvoll

| | | | | | | |
|-----|-------|------|---|-------|--------|-------|
| 518 | 14:29 | BM75 | 1 | T_518 | BM75_1 | P_518 |
| 520 | 14:02 | BM75 | 1 | T_520 | BM75_1 | P_520 |
| 522 | 15:02 | BM75 | 1 | T_522 | BM75_1 | P_522 |

| | | | | | | |
|------|--|------|---|--------|--------|--------|
| 524 | 16:02 | BM75 | 1 | T_524 | BM75_1 | P_524 |
| 526 | 17:02 | BM75 | 1 | T_526 | BM75_1 | P_526 |
| !!!! | NSB Pt: linje 451 Eidsvoll - GMB - Lillestrøm - Romeriksporten - Oslo S - Oslotunnelen - Lysaker - Askerbanen - Drammen - Hokksund | | | | | |
| 569 | 14:55 | BM75 | 1 | T_569 | BM75_1 | P_569 |
| 571 | 15:17 | BM75 | 2 | T_571 | BM75_2 | P_571 |
| 573 | 16:17 | BM75 | 2 | T_573 | BM75_2 | P_573 |
| 575 | 17:17 | BM75 | 2 | T_575 | BM75_2 | P_575 |
| !!!! | NSB Pt: linje 451 Hokksund - Drammen - Askerbanen - Lysaker - Oslotunnelen - Oslo S - Romeriksporten - Lillestrøm - GMB - Eidsvoll | | | | | |
| 570 | 14:15 | BM75 | 1 | T_570 | BM75_1 | P_570 |
| 572 | 15:15 | BM75 | 1 | T_572 | BM75_1 | P_572 |
| 574 | 16:15 | BM75 | 1 | T_574 | BM75_1 | P_574 |
| 576 | 17:15 | BM75 | 1 | T_576 | BM75_1 | P_576 |
| !!!! | NSB Pt, linje 460, Spikkestad - Askerbanen - Lysaker - Oslotunnelen - Oslo S - Romeriksporten - Lillestrøm - Årnes - Kongsvinger | | | | | |
| 1015 | 13:49 | BM75 | 1 | T_1015 | BM75_1 | P_1015 |
| 1017 | 14:49 | BM75 | 1 | T_1017 | BM75_1 | P_1017 |
| 1019 | 15:05 | BM75 | 2 | T_1019 | BM75_2 | P_1019 |
| 1021 | 16:05 | BM75 | 2 | T_1021 | BM75_2 | P_1021 |
| 1023 | 17:05 | BM75 | 2 | T_1023 | BM75_2 | P_1023 |
| !!!! | NSB Pt: linje 460 Kongsvinger - Årnes - Lillestrøm - Romeriksporten - Oslo S - Oslotunnelen - Lysaker - Askerbanen - Spikkestad | | | | | |
| 1018 | 14:44 | BM75 | 2 | T_1018 | BM75_2 | P_1018 |
| 1020 | 14:25 | BM75 | 2 | T_1020 | BM75_2 | P_1020 |
| 1022 | 15:25 | BM75 | 2 | T_1022 | BM75_2 | P_1022 |
| 1024 | 16:25 | BM75 | 1 | T_1024 | BM75_1 | P_1024 |
| 1026 | 17:25 | BM75 | 1 | T_1026 | BM75_1 | P_1026 |
| !!!! | NSB Pt, linje 461, Spikkestad - Askerbanen - Lysaker - Oslotunnelen - Oslo S - Romeriksporten - Lillestrøm - Årnes | | | | | |
| 1067 | 14:19 | BM75 | 1 | T_1067 | BM75_1 | P_1067 |
| 1069 | 14:35 | BM75 | 1 | T_1069 | BM75_1 | P_1069 |
| 1071 | 15:35 | BM75 | 2 | T_1071 | BM75_2 | P_1071 |
| 1073 | 16:35 | BM75 | 2 | T_1073 | BM75_2 | P_1073 |
| 1075 | 17:35 | BM75 | 2 | T_1075 | BM75_2 | P_1075 |
| !!!! | NSB Pt: linje 461, Årnes - Lillestrøm - Romeriksporten - Oslo S - Oslotunnelen - Lysaker - Askerbanen - Spikkestad | | | | | |
| 1070 | 14:21 | BM75 | 1 | T_1070 | BM75_1 | P_1070 |
| 1072 | 15:21 | BM75 | 1 | T_1072 | BM75_1 | P_1072 |
| 1074 | 16:21 | BM75 | 2 | T_1074 | BM75_2 | P_1074 |
| 1076 | 17:21 | BM75 | 2 | T_1076 | BM75_2 | P_1076 |
| !!!! | NSB Pt: linje 500, Asker - Drammenbanen - Lysaker - Oslotunnelen - Oslo S - Østfoldbanen - Ski | | | | | |
| 2755 | 14:32 | BM76 | 1 | T_2755 | BM76_1 | P_2755 |
| 2757 | 14:52 | BM76 | 1 | T_2757 | BM76_1 | P_2757 |
| 2759 | 14:37 | BM76 | 1 | T_2759 | BM76_1 | P_2759 |
| 2761 | 14:57 | BM76 | 1 | T_2761 | BM76_1 | P_2761 |
| 2763 | 15:17 | BM76 | 2 | T_2763 | BM76_2 | P_2763 |
| 2765 | 15:37 | BM76 | 2 | T_2765 | BM76_2 | P_2765 |

| | | | | | | |
|------|-------|------|---|--------|--------|--------|
| 2767 | 15:57 | BM76 | 2 | T_2767 | BM76_2 | P_2767 |
| 2769 | 16:17 | BM76 | 2 | T_2769 | BM76_2 | P_2769 |
| 2771 | 16:37 | BM76 | 2 | T_2771 | BM76_2 | P_2771 |
| 2773 | 16:57 | BM76 | 2 | T_2773 | BM76_2 | P_2773 |
| 2775 | 17:17 | BM76 | 2 | T_2775 | BM76_2 | P_2775 |
| 2777 | 17:37 | BM76 | 1 | T_2777 | BM76_1 | P_2777 |
| 2779 | 17:57 | BM76 | 1 | T_2779 | BM76_1 | P_2779 |

!!!! NSB Pt: linje 500, Ski - Østfoldbanen - Oslo S - Oslotunnelen - Lysaker - Drammenbanen - Asker

| | | | | | | |
|------|-------|------|---|--------|--------|--------|
| 2760 | 14:39 | BM76 | 1 | T_2760 | BM76_1 | P_2760 |
| 2762 | 14:59 | BM76 | 1 | T_2762 | BM76_1 | P_2762 |
| 2764 | 14:44 | BM76 | 1 | T_2764 | BM76_1 | P_2764 |
| 2766 | 15:04 | BM76 | 1 | T_2766 | BM76_1 | P_2766 |
| 2768 | 15:24 | BM76 | 1 | T_2768 | BM76_1 | P_2768 |
| 2770 | 15:44 | BM76 | 1 | T_2770 | BM76_1 | P_2770 |
| 2772 | 16:04 | BM76 | 1 | T_2772 | BM76_1 | P_2772 |
| 2774 | 16:24 | BM76 | 1 | T_2774 | BM76_1 | P_2774 |
| 2776 | 16:44 | BM76 | 1 | T_2776 | BM76_1 | P_2776 |
| 2778 | 17:04 | BM76 | 1 | T_2778 | BM76_1 | P_2778 |
| 2780 | 17:24 | BM76 | 1 | T_2780 | BM76_1 | P_2780 |
| 2782 | 17:44 | BM76 | 1 | T_2782 | BM76_1 | P_2782 |

!!!! NSB Pt: linje 510, Oslo S - Østfoldbanen - Ski

| | | | | | | |
|------|-------|------|---|--------|--------|--------|
| 2873 | 14:42 | BM76 | 1 | T_2873 | BM76_1 | P_2873 |
| 2875 | 15:02 | BM76 | 1 | T_2875 | BM76_1 | P_2875 |
| 2877 | 15:22 | BM76 | 1 | T_2877 | BM76_1 | P_2877 |
| 2879 | 15:42 | BM76 | 1 | T_2879 | BM76_1 | P_2879 |
| 2881 | 16:02 | BM76 | 1 | T_2881 | BM76_1 | P_2881 |
| 2883 | 16:22 | BM76 | 1 | T_2883 | BM76_1 | P_2883 |
| 2885 | 16:42 | BM76 | 1 | T_2885 | BM76_1 | P_2885 |
| 2887 | 17:02 | BM76 | 1 | T_2887 | BM76_1 | P_2887 |
| 2889 | 17:22 | BM76 | 1 | T_2889 | BM76_1 | P_2889 |
| 2891 | 17:42 | BM76 | 1 | T_2891 | BM76_1 | P_2891 |

!!!! NSB Pt: linje 510, Ski - Østfoldbanen - Oslo S

| | | | | | | |
|------|-------|------|---|--------|--------|--------|
| 2874 | 14:34 | BM76 | 1 | T_2874 | BM76_1 | P_2874 |
| 2876 | 14:54 | BM76 | 1 | T_2876 | BM76_1 | P_2876 |
| 2878 | 15:14 | BM76 | 1 | T_2878 | BM76_1 | P_2878 |
| 2880 | 15:34 | BM76 | 1 | T_2880 | BM76_1 | P_2880 |
| 2882 | 15:54 | BM76 | 1 | T_2882 | BM76_1 | P_2882 |
| 2884 | 16:14 | BM76 | 1 | T_2884 | BM76_1 | P_2884 |
| 2886 | 16:34 | BM76 | 1 | T_2886 | BM76_1 | P_2886 |
| 2888 | 16:54 | BM76 | 1 | T_2888 | BM76_1 | P_2888 |
| 2890 | 17:14 | BM76 | 1 | T_2890 | BM76_1 | P_2890 |
| 2892 | 17:34 | BM76 | 1 | T_2892 | BM76_1 | P_2892 |
| 2894 | 17:54 | BM76 | 1 | T_2894 | BM76_1 | P_2894 |

!!!! NSB Pt: linje 511, Oslo S - Østfoldbanen - Kolbotn

!!!! NSB Pt: linje 511, Kolbotn - Østfoldbanen - Oslo S

!!!! NSB Pt: linje 550, Høvik - Drammenbanen - Lysaker - Oslotunnelen - Oslo S - Follobanen - Ski - Vestre linje - Moss

| | | | | | | |
|------|-------|------|---|--------|--------|--------|
| 1135 | 14:32 | BM75 | 1 | T_1135 | BM75_1 | P_1135 |
| 1137 | 14:43 | BM75 | 1 | T_1137 | BM75_1 | P_1137 |

| | | | | | | |
|------|-------|------|---|--------|--------|--------|
| 1139 | 15:13 | BM75 | 1 | T_1139 | BM75_1 | P_1139 |
| 1141 | 15:43 | BM75 | 2 | T_1141 | BM75_2 | P_1141 |
| 1143 | 16:13 | BM75 | 2 | T_1143 | BM75_2 | P_1143 |
| 1145 | 16:43 | BM75 | 2 | T_1145 | BM75_2 | P_1145 |
| 1147 | 17:13 | BM75 | 2 | T_1147 | BM75_2 | P_1147 |
| 1149 | 17:43 | BM75 | 2 | T_1149 | BM75_2 | P_1149 |

!!!! NSB Pt: linje 550, Moss - Vestre linje - Ski - Follobanen - Oslo S - Oslotunnelen - Lysaker - Høvik

| | | | | | | |
|------|-------|------|---|--------|--------|--------|
| 1142 | 14:30 | BM75 | 2 | T_1142 | BM75_2 | P_1142 |
| 1144 | 15:00 | BM75 | 2 | T_1144 | BM75_2 | P_1144 |
| 1146 | 15:30 | BM75 | 2 | T_1146 | BM75_2 | P_1146 |
| 1148 | 16:00 | BM75 | 2 | T_1148 | BM75_2 | P_1148 |
| 1150 | 16:30 | BM75 | 1 | T_1150 | BM75_1 | P_1150 |
| 1152 | 17:00 | BM75 | 1 | T_1152 | BM75_1 | P_1152 |
| 1154 | 17:30 | BM75 | 1 | T_1154 | BM75_1 | P_1154 |

!!!! NSB Pt: linje 551, Oslo S - Follobanen - Ski - Vestre linje - Moss

| | | | | | | |
|------|-------|------|---|--------|--------|--------|
| 1189 | 15:45 | BM75 | 2 | T_1189 | BM75_2 | P_1189 |
| 1191 | 16:15 | BM75 | 2 | T_1191 | BM75_2 | P_1191 |
| 1193 | 16:45 | BM75 | 2 | T_1193 | BM75_2 | P_1193 |
| 1195 | 17:15 | BM75 | 2 | T_1195 | BM75_2 | P_1195 |
| 1197 | 17:45 | BM75 | 2 | T_1197 | BM75_2 | P_1197 |

!!!! NSB Pt: linje 551, Moss - Vestre linje - Ski - Follobanen - Oslo S

| | | | | | | |
|------|-------|------|---|--------|--------|--------|
| 1190 | 14:45 | BM75 | 2 | T_1190 | BM75_2 | P_1190 |
| 1192 | 15:15 | BM75 | 2 | T_1192 | BM75_2 | P_1192 |
| 1194 | 15:45 | BM75 | 2 | T_1194 | BM75_2 | P_1194 |
| 1196 | 16:15 | BM75 | 2 | T_1196 | BM75_2 | P_1196 |
| 1198 | 16:45 | BM75 | 2 | T_1198 | BM75_2 | P_1198 |

!!!! NSB Pt: linje 560 Oslo S - Follobanen - Ski - Østre linje - Mysen

| | | | | | | |
|------|-------|------|---|--------|--------|--------|
| 1217 | 14:24 | BM75 | 1 | T_1217 | BM75_1 | P_1217 |
| 1219 | 15:24 | BM75 | 1 | T_1219 | BM75_1 | P_1219 |
| 1221 | 16:24 | BM75 | 2 | T_1221 | BM75_2 | P_1221 |
| 1223 | 17:24 | BM75 | 2 | T_1223 | BM75_2 | P_1223 |

!!!! NSB Pt: linje 560 Mysen - Østre linje - Ski - Follobanen - Oslo S

| | | | | | | |
|------|-------|------|---|--------|--------|--------|
| 1222 | 14:52 | BM75 | 1 | T_1222 | BM75_1 | P_1222 |
| 1224 | 15:52 | BM75 | 1 | T_1224 | BM75_1 | P_1224 |
| 1226 | 16:52 | BM75 | 1 | T_1226 | BM75_1 | P_1226 |
| 1228 | 17:52 | BM75 | 1 | T_1228 | BM75_1 | P_1228 |

!!!! NSB Pt: Linje 561 Oslo S - Follobanen - Ski - Østre linje - Mysen - Rakkestad

| | | | | | | |
|------|-------|------|---|--------|--------|--------|
| 1251 | 15:50 | BM75 | 2 | T_1251 | BM75_2 | P_1251 |
| 1253 | 16:50 | BM75 | 2 | T_1253 | BM75_2 | P_1253 |

!!!! NSB Pt: linje 561 Rakkestad - Mysen - Østre linje - Ski - Follobanen - Oslo S

!!!! NSB Anbud: Linje 320 Oslo S - Gjøvikbanen - Hakadal

| | | | | | | |
|-----|-------|------|---|-------|--------|-------|
| 279 | 14:27 | BM75 | 1 | T_279 | BM75_1 | P_279 |
| 281 | 15:19 | BM75 | 1 | T_281 | BM75_1 | P_281 |
| 283 | 16:19 | BM75 | 1 | T_283 | BM75_1 | P_283 |
| 285 | 17:19 | BM75 | 1 | T_285 | BM75_1 | P_285 |

!!!! NSB Anbud: Linje 310 Oslo S - Gjøvikbanen - Jaren

| | | | | | | |
|------|---|------|-----|--------|----------|--------|
| 241 | 13:47 | BM75 | 1 | T_241 | BM75_1 | P_241 |
| 245 | 15:47 | BM75 | 1 | T_245 | BM75_1 | P_245 |
| 247 | 16:49 | BM75 | 1 | T_247 | BM75_1 | P_247 |
| 251 | 17:47 | BM75 | 1 | T_251 | BM75_1 | P_251 |
| !!!! | NSB Anbud: Linje 300 Oslo S - Gjøvikbanen - Gjøvik | | | | | |
| 207 | 13:07 | BM75 | 1 | T_207 | BM75_1 | P_207 |
| 209 | 15:07 | BM75 | 1 | T_209 | BM75_1 | P_209 |
| 211 | 16:07 | BM75 | 1 | T_211 | BM75_1 | P_211 |
| 213 | 17:07 | BM75 | 1 | T_213 | BM75_1 | P_213 |
| !!!! | NSB Anbud: Linje 320 Hakadal - Gjøvikbanen - Oslo S | | | | | |
| 282 | 15:28 | BM75 | 1 | T_282 | BM75_1 | P_282 |
| 284 | 17:29 | BM75 | 1 | T_284 | BM75_1 | P_284 |
| !!!! | NSB Anbud: Linje 310 Jaren - Gjøvikbanen - Oslo S | | | | | |
| 252 | 15:19 | BM75 | 1 | T_252 | BM75_1 | P_252 |
| 256 | 17:26 | BM75 | 1 | T_256 | BM75_1 | P_256 |
| !!!! | NSB Anbud: Linje 300 Gjøvik - Gjøvikbanen - Oslo S | | | | | |
| 214 | 13:32 | BM75 | 1 | T_214 | BM75_1 | P_214 |
| 216 | 15:35 | BM75 | 1 | T_216 | BM75_1 | P_216 |
| 218 | 17:34 | BM75 | 1 | T_218 | BM75_1 | P_218 |
| !!!! | Fjerntog, Oslo - Askerbanen - Drammen - Hokksund - Hønefoss | | | | | |
| 65 | 14:21 | BM73 | 2 | T_65 | BM73_2 | P_65 |
| 67 | 16:21 | BM73 | 2 | T_67 | BM73_2 | P_67 |
| !!!! | Fjerntog, Hønefoss - Askerbanen - Oslo | | | | | |
| 62 | 15:00 | BM73 | 2 | T_62 | BM73_2 | P_62 |
| 64 | 14:53 | BM73 | 2 | T_64 | BM73_2 | P_64 |
| !!!! | Fjerntog, Halden (Østfoldbanen)-Gøteborg | | | | | |
| 3931 | 15:38 | BM73 | 1 | T_3931 | BM73_1 | P_3931 |
| 3939 | 17:38 | BM73 | 1 | T_3939 | BM73_1 | P_3939 |
| !!!! | Fjerntog, Gøteborg-Halden (Østfoldbanen) | | | | | |
| !!!! | NSB Pt, Fjerntog, Oslo-GMB-Lillehammer | | | | | |
| 45 | 14:07 | BM73 | 2 | T_45 | BM73_2 | P_45 |
| 47 | 16:07 | BM73 | 2 | T_47 | BM73_2 | P_47 |
| !!!! | Fjerntog, Oslo - Askerbanen - Kristiansand - Stavanger | | | | | |
| 79 | 15:21 | BM73 | 2 | T_79 | BM73_2 | P_79 |
| 80 | 17:21 | BM73 | 2 | T_80 | BM73_2 | P_80 |
| !!!! | Godstog, (Alnabru) Bryn - Hjuksebø - Nelaug - (Stavanger) | | | | | |
| 5803 | 14:28 | EL16 | 800 | T_5803 | EL16_800 | P_5803 |
| !!!! | Godstog, (Stavanger) - Nelaug - Alnabru | | | | | |
| 5800 | 14:28 | EL16 | 800 | T_5800 | EL16_800 | P_5800 |
| 5804 | 16:04 | EL16 | 800 | T_5804 | EL16_800 | P_5804 |
| !!!! | Godstog, (Bergen) - Hønefoss - Alnabru | | | | | |
| 5504 | 17:08 | EL16 | 800 | T_5504 | EL16_800 | P_5504 |

!!!! Godstog, Brevik - Eidanger

| | | | | | | |
|------|-------|------|-----|--------|----------|--------|
| 6460 | 14:55 | EI14 | 800 | T_6460 | EI14_800 | P_6460 |
| 6462 | 15:45 | EI14 | 800 | T_6462 | EI14_800 | P_6462 |
| 6464 | 16:35 | EI14 | 800 | T_6464 | EI14_800 | P_6464 |

END

