
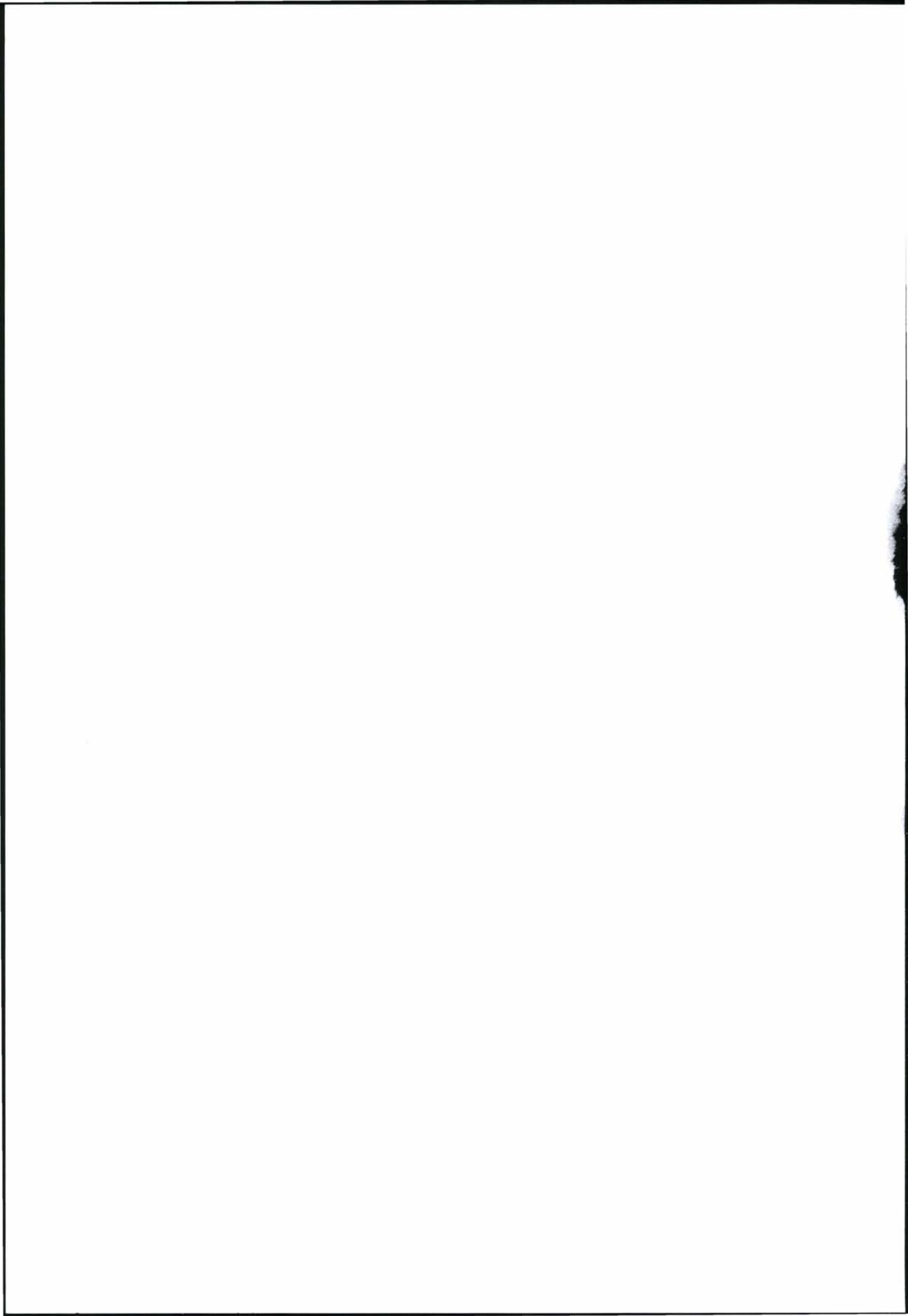


SIMULERINGSRAPPORT

Sammenligning mellom målinger og simuleringer for effektforbruket for omformerstasjonene i Oslo- området høsten 2011

000	Endelig versjon	26.06.2012	FM	DALING	TELTOR
Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Utarb. av	Kontr. av	Godkj. av
Banestrømforsyning Sammenligning mellom målinger og simuleringer for effektforbruket for omformerstasjonene i Oslo-området Simuleringsrapport		Ant. sider	Fritekst 1d		
		91	Fritekst 2d		
			Fritekst 3d		
			Produsent		
		Prod. dok. nr.			
Erstatning for					
Erstattet av					
 Jernbaneverket		Dokument nr.	EB.800122-000		Rev. 000



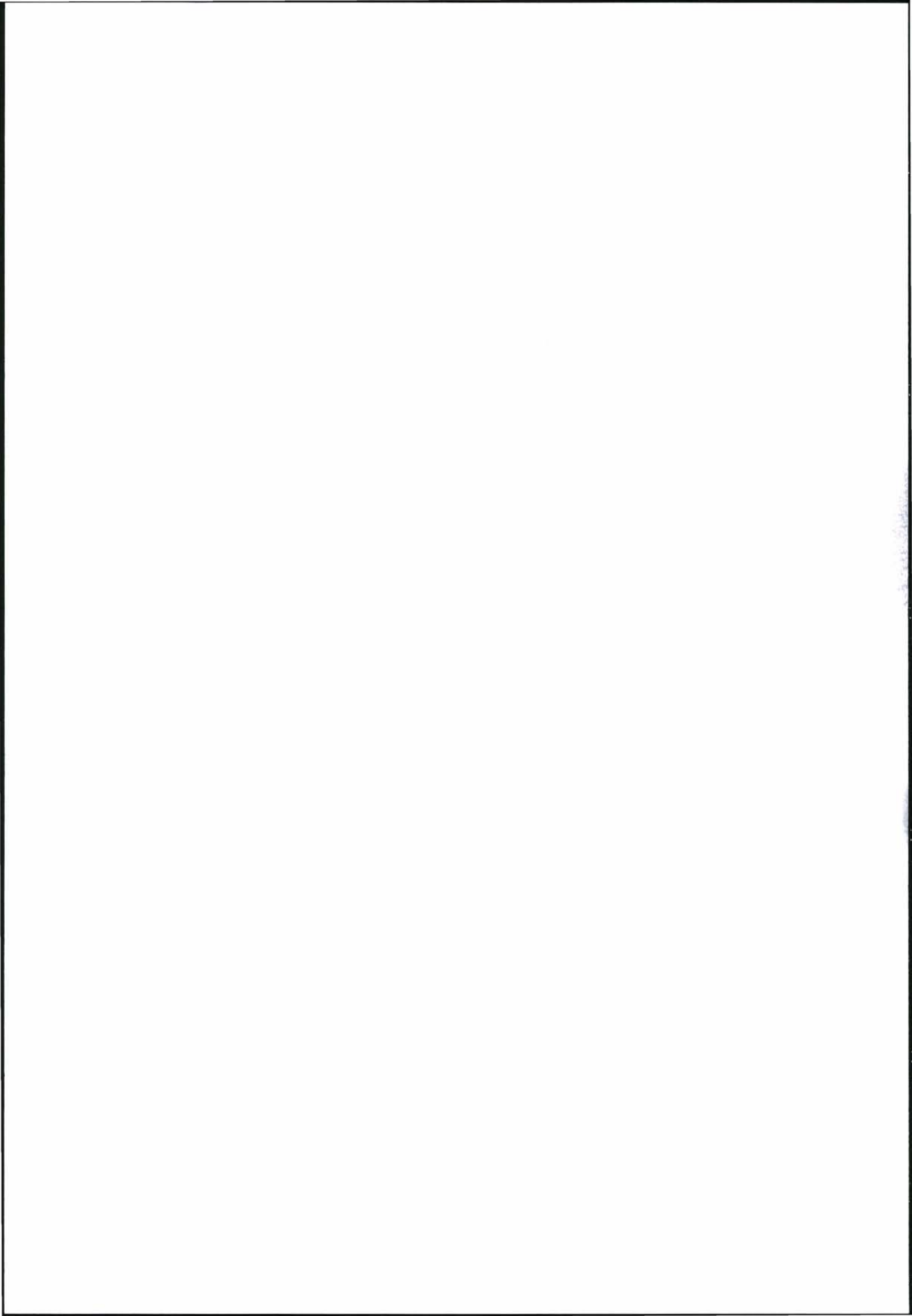
SAMMENDRAG

Det er i denne rapporten beskrevet sammenligninger for effektforbruket for simuleringer og målinger i Oslo-området. Målingene er utført i omformerstasjonene i Lillestrøm, Asker og Holmlia, og er gjort for fem dager i uke 39 i 2011 mellom klokken 15:00 og 18:00. For Alnabu er målingene utført for uke 45. Målingene viser kontinuerlige verdier for målingene med samplingstid på ett sekund (Asker og Holmlia) og bearbejdede verdier på ett minutt basert (Lillestrøm og Alnabu). Ved sammenligninger mellom målinger og simuleringer har en dermed mulighet for å se på forskjeller for kurvene for effekten. En spesiell problemstilling her er at med samplingstid på ett minutt

Simuleringsmodellene er endret for å sammenligne utslaget for simuleringer og finne ut hvilke parametere som får simuleringene til å ligne mest mulig på målingen. Dette er gjort for de parametere en vurderer å være realistiske å påvirke. De parametere som er endret er:

- Antallet tog, materiell og for godstog også vekten. (Kontrollert mot TIOS.)
- Luftmotstand i tunneler. (Basert på målinger i Sveits.)
- Hastigheten togene holder. (Basert på opplysninger fra NSB og Flytoget.)
- Redusert høyeste pådrag for godstogene. (Basert på tidligere målinger for godstog.)
- Effekt brukt i togene til oppvarming. (Basert på vurdering ut fra vært de aktuelle dagene.)

Når alle disse parametere endres samtidig kommer forskjellen mellom målinger og simuleringer på ca. 15 – 20 %. Det er diskutert en rekke forskjellige forhold som kan være årsak til disse forskjellene og lokomotivførernes kjørestil utpekes til å ha størst betydning.



INNHOOLD

SAMMENDRAG.....	2
INNHOOLD	3
1. INNLEDING.....	4
1.1 BAKGRUNN.....	4
1.2 MÅLSETNINGER.....	4
1.3 FORUTSETNINGER.....	4
1.4 METODIKK	5
2. SIMULERINGSRESULTATER OG VURDERINGER.....	7
2.1 SIMULERING MED OPPRINNELIG RUTEPLAN OG MATERIELL	7
2.2 SIMULERING MED KORRIGERT RUTEPLAN OG MATERIELL	13
2.3 SIMULERING MED KORRIGERT RUTEPLAN OG REDUSERT LUFTMOTSTAND I TUNNELENE	22
2.4 SIMULERING MED KORRIGERT RUTEPLAN OG REDUSERT HASTIGHET I TUNNELENE	27
2.5 SIMULERING MED KORRIGERT RUTEPLAN REDUSERT HASTIGHET OG LUFTMOTSTAND I TUNNELENE	32
2.6 SIMULERING MED KORRIGERT RUTEPLAN REDUSERT HASTIGHET OG LUFTMOTSTAND I TUNNELENE SAMT REDUSERT PÅDRAG FOR GODSTOGENE	37
2.7 SIMULERING MED KORRIGERT RUTEPLAN REDUSERT HASTIGHET OG LUFTMOTSTAND I TUNNELENE SAMT REDUSERT PÅDRAG FOR GODSTOGENE. KUN ETT AGGREGAT I DRIFT I LILLESTRØM OMFORMERSTASJON	54
2.8 SIMULERING MED KORRIGERT RUTEPLAN REDUSERT HASTIGHET OG LUFTMOTSTAND I TUNNELENE REDUSERT PÅDRAG FOR GODSTOGENE SAMT REDUSERT TOGVARMEEFFEKTEN.....	59
3. OPPSUMMERING DISKUSJON OG ANBEFALING	66
3.1 OPPSUMMERING	66
3.2 DISKUSJON	66
3.2.1 Feilkilder.....	66
3.2.2 Svakheter med modellene.....	67
3.2.3 Antatt mest sannsynlig feilkilde er personlig kjørestil.....	68
3.2.4 Marginer ved dimensjonering av banestromforsyningen.....	69
4. ANBEFALING OG KONKLUSJON	71
5. FORSLAG TIL VIDERE ARBEID.....	72
6. APPENDIKS – SIMULERING MED TOMGANGSLASTFLYT I OSLO-OMRÅDET.....	73
7. REFERANSER.....	89

1. INNLEDING

1.1 Bakgrunn

Mulighetene for å foreta målinger for elektriske parametere i banestrømforsyningen har vært nokså begrenset. Først i de siste årene har Bane Energi fått installert utstyr for nøyaktig måling. Det er derfor av stor interesse å få sammenlignet målingene med resultatene som kommer fra simuleringene i TracFeed/SIMPOW. I denne studien blir det gjort sammenligninger mellom simuleringer og målinger i Oslo-området. Det har vært gjort kontinuerlige målinger for flere omformerstasjoner høsten 2011. Simuleringer for ruteplanen og det togmateriellet som er i drift i denne tiden blir sammenlignet i dette arbeidet. Spesielt i forbindelse med simuleringene for Oslo-området med innføring av ny grunnrutemodell er dette av stor interesse. Store investeringer skal gjøres og det er derfor vesentlig å kjenne til nøyaktigheten av trafikksimuleringene.

1.2 Målsetninger

I dette arbeidet blir sammenligninger mellom simuleringer og målinger utført. Dermed kan en fastslå hvor stor feilmargin som kan påregnes for simuleringene, samt at en kan se hvordan simuleringsmodellen kan forbedres. Dermed kan en for simuleringene for Oslo-området i forbindelse med ny grunnrutemodell og nye fremtidige dobbeltspor, få en både et anslag for feilmargin samt innspill til endring av standardmodellene.

1.3 Forutsetninger

I denne undersøkelsen er det simuleringsmodellen for Fase 1 for Oslo-området som benyttes, denne er beskrevet grundig i [1] og den henvises til denne. Videre er det ruteplan R160.2 som gjelder høsten 2011 og med det materiell oppgitt til Ruteplankontoret som er benyttet. Det vil si at det først og fremst er Type 69-materiell som trafikkerer strekningene. Simuleringene og målingene tar for seg hverdagene i uke 37, og det er kun rushtiden mellom 15:00 og 18:00 som blir analysert. En er ikke kjent med at det har vært vesentlige forsinkelser eller andre driftsavvik i disse dagene.

Det er tatt hensyn til at togene i denne ruteordningen skal krysse mellom Hovedbanen og Gardermobanen ved Langeland. Likeledes er det tatt hensyn til at togene skal kunne krysse mellom Drammen- og Askerbanen ved Sandvika.

Når det gjelder omformerstasjonene har det vært havari av flere omformeraggregater. Dermed er det kun to av tre aggregater i drift i Asker, det er videre kun ett av to aggregater i drift i Alnabru og Holmlia. Ellers skjer ut og innkobling av aggregatene slik som gitt av Bane Energi sin driftssentral. Det forutsettes fallende spenningsstatikk for de sentrale roterende aggregatene slik som målinger utført av Bane Energi oppgir, nemlig:

- Holmlia aggregat 1 (alene i drift)
Tomgangsspenning: 15,6 kV
Statikk: 3,2 % ved full merkelast induktiv (ref. 10 MVA)
- Asker aggregat 1+2 (begge i drift)
Tomgangsspenning: 16,7 kV
Statikk: 5,4 % ved full merkelast induktiv (ref. 20 MVA)

- Alnabru aggregat 1 (alene i drift)
 - Tomgangsspenning: 16,2 kV
 - Statikk: 8,5 % ved full merkelast induktiv (ref. 10 MVA)
- Lillestrøm: 1 eller 2 aggregater i drift
 - Tomgangsspenning: 16,2 kV
 - Statikk: 0 % ved full merkelast induktiv (ref. 12 eller 24 MVA)

For de statiske aggregatene på Lillestrøm, Jessheim, Smørbekk og Sarpsborg har det vært vanskelig å finne innstilt statikk, men en har funnet at disse sannsynligvis har flat statikk og tomgangsspenning 16,2 kV, og 16,3 kV for Sarpsborg. For Tangen og Fåberg omformerstasjoner er innstillingene oppgitt til å gi -12 % statikk og 16,5 kV tomgangsspenning, mens Rudshøgda har 16,1 kV og flat statikk. Resten av omformerstasjonene forutsettes å ha en flat statikk og tomgangsspenning på 16,2 kV. Ved utfall av ett av to aggregater vil det oppstå en fallende statikk på 2,5 % ved full reaktiv merkelast på det gjenværende (altså stabilisering på 5 % og komponering på 2,5 %).

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:

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

1.4 Metodikk

Simuleringer og målinger sammenlignes for å se på aktuelle maksimalverdier. Det vil være naturlig å sammenligne de størrelser en vanligvis undersøker i simuleringsrapportene, og det vil si 2-sekunders, 6-minutters og 1-timesverdi av strøm. Det vil også være naturlig å sammenligne kurvene for å se på formlikhet og minimums- og maksimalverdier. En forventer at spesielt kortvarige verdier av effekt eller strøm levert fra en omformerstasjon vil kunne variere en hel del, selv for samme ruteplan og ellers samme forhold. Dette skyldes personlig kjørestil for togene, små eller store forsinkelser etc. Imidlertid forventer en at disse forskjellene blir mindre desto flere tog som er i drift i samme område. Hvordan dette forholder seg i Oslo-området har knapt vært undersøkt tidligere. Når en skal sammenligne formlikhet må en nok derfor se på det store bildet og ta med i vurderingene at variasjonene kan være store. Totalt energiforbruk over tidsperioden er også aktuelt for sammenligning, og det forventes lavere avvik for disse verdiene enn for maksimalverdier.

Om det finnes omforente feilmarginer for simuleringer når disse sammenlignes med målinger er ikke kjent. Ideelt sett burde disse vært sammenfallende. Allikevel er det i uansett en velbrukt ingeniørtilnærming å si at modellene utformes slik at resultatene blir konservative.

Fremgangsmåten i studiene her vil være som følger:

- Simulering med den oppgitte ruteplan og oppgitte materiell. Sammenligne dette med målingene.
- Undersøke om ruteplan, antall tog og materiell er det samme i simuleringen som i virkeligheten. Sammenligningen gjøres mot TIOS for aktuelle dager og en korrigert ruteplan velges. Ny korrigert ruteplan lages og ny simulering utføres som sammenlignes med målingene.

Ideelt skal simuleringer og målinger nå være like. Men om det er ulikheter oppstår fortsettes det med undersøkelser vedrørende modellene. Den korrigerte ruteplanen benyttes. Aktuelle ting å undersøke er:

- Luftmotstand i tunnelene. Det har alltid vært benyttet en luftmotstandskoeffisient på 2, men i [3] antydes det at denne faktoren kan ha verdier mellom 1,5 og 3.
- Hastighet for togene. Sannsynligvis holdes noe lavere hastighet enn skiltet hastighet, spesielt i tunnelene.
- Pådrag og kjørestil. Det forutsettes at i utgangspunktet må alle togene holde høyest mulig pådrag for å holde rutene. Unntakene kan være godstogene.
- Adhesjonsforhold. Standardfaktorene i Curtius og Kniffers formel kan korrigeres. Imidlertid har en via Yr.no funnet at det knapt var nedbør i de aktuelle dagene for målinger, men at det var varme og tørre høstdager.

Dette er faktorene som antas å ha størst betydning. I tillegg kan det tenkes andre forhold som påvirker og som eventuelt kan undersøkes, dette er:

- Vekten for togene.
- Bruk av energi i togene til oppvarming og hjelpesystemer. Dette kan tenkes å ha en vis betydning, selv om variasjonsområdet ikke er stort sett i sammenheng med den totale energiomsetningen.
- Ikke samme innstilling av spenningsregulatorerne som i virkelighetene. Dette kan skape en annen effektflyt enn den som var gjeldende da målingene ble utført.

Forventning til avvik for simuleringer er ikke tidligere vurdert, men ut fra formuleringer i Teknisk regelverk bok 546, prosjektering forventes et avvik på rundt 5 %. Dette ut fra denne formuleringen:

Normale driftssituasjoner, normale driftssituasjoner med endringer som ofte kan forventes, avvikssituasjoner og unormale driftssituasjoner skal ikke føre til at den elektriske energiforsyningens anlegg og komponenter overbelastes. Margin/reserve mot tillatt belastning av komponenter og systemer bør være minst 5 %.

Her må det imidlertid forutsettes at simuleringene alltid vil vise de verst forekommende verdiene. Målinger har vist at veldig forskjellige verdier kan forekomme.

2. SIMULERINGSRESULTATER OG VURDERINGER

2.1 Simulering med opprinnelig ruteplan og materiell

Nedenfor viser Tabell 2-1 og Tabell 2-2 resultatene av simuleringene for den opprinnelige ruteplanen for henholdsvis aktiv og reaktiv effekt. Resultatene er sammenlignet med målingene og det er angitt hvor mange prosent høyere simuleringene er i forhold til målingene. Som en ser er forskjellene store, imidlertid noe mindre for reaktiv effekt. Det er også vist kurver for belastningene, se Figur 2-1, Figur 2-2, Figur 2-4 og Figur 2-3 for henholdsvis Asker, Holmlia, Lillestrøm og Alnabru. Aktiv effekt er vist i den øverste kurven og reaktiv effekt i den nederste. De fem tykke strekene viser belastningen for de fem ukedagene i uke 39, mens det for Alnabru som nevnt er gjort målinger for ukedagene i uke 45. Kun for reaktiv effekt fra Lillestrøm og Alnabru er kurvene for simuleringer og målinger relativt like.

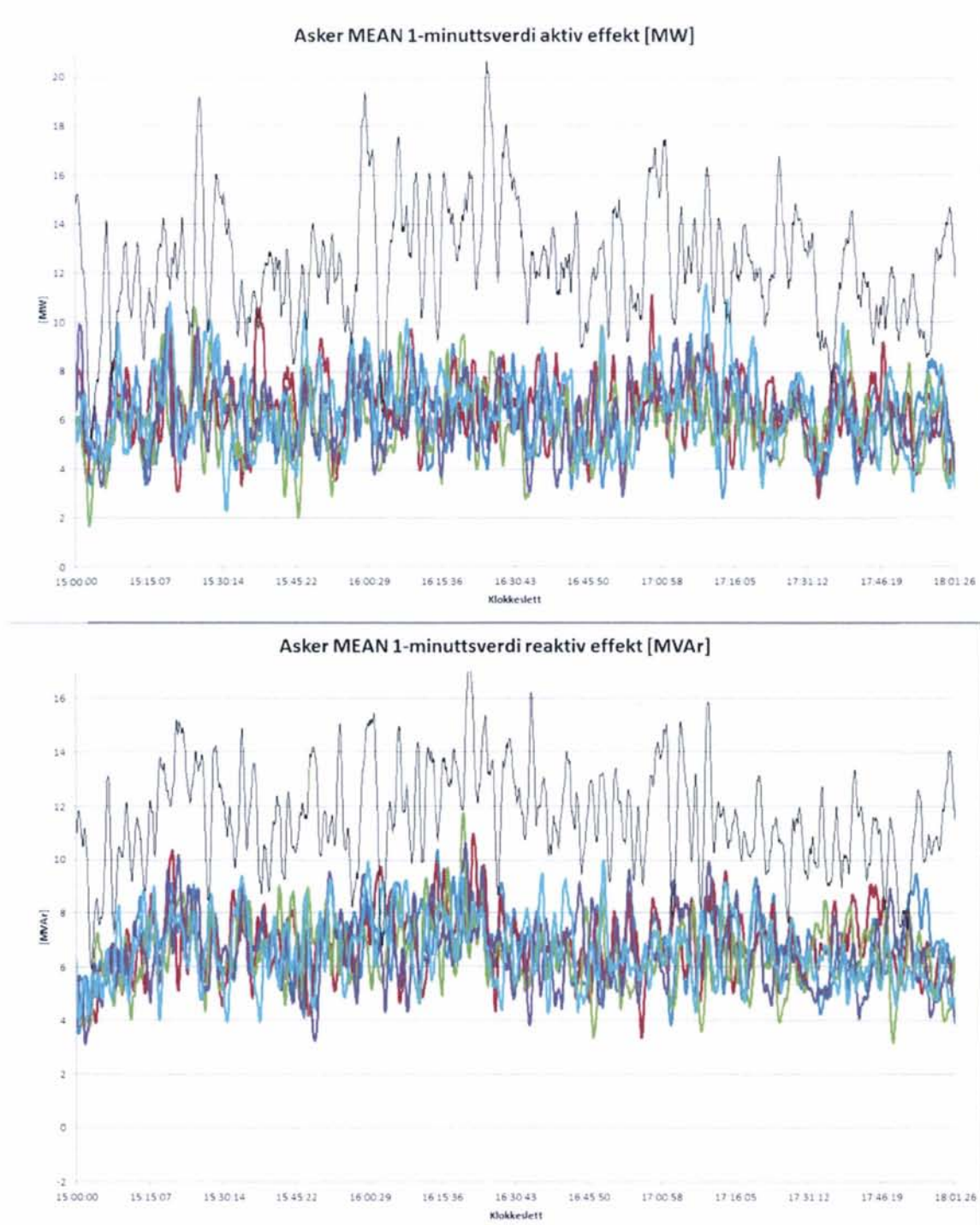
Siden belastningen, i alle fall den reaktive, er såpass ulikt fordelt mellom omformerne er det laget en summasjonskurve som viser samtidig belastning for de sentrale omformerstasjonene Asker, Holmlia, Alnabru og Lillestrøm, se Figur 2-5. Her er det igjen de tykke kurvene som gjelder for de fem ukedagene, mens svart strek er simuleringen. Summasjonskurven kan gi et inntrykk av belastningen innenfor det sentrale Oslo-området. Det antas at impedansen mellom omformerstasjonene her er såpass liten at det er spenningsregulatorenes ujevne innstilling som avgjør belastningsfordelingen. Med denne forutsetningen skulle ideelt sumkurvene for målinger og simuleringer være like. Igjen er simuleringene langt over målte verdier. Her må det imidlertid nevnes en ulikhet mellom målinger og simuleringer. Kurven for simulerte 1-minuttsverdi viser løpende MEAN-verdi av effekten med oppløsning på ett sekund. For Lillestrøm og Alnabru er det fra målingene kun en oppløsning på ett minutt. Dermed er det gjennomsnittet av målingene for ett minutt som er vist, og denne tallbehandlingen vil glatte ut kurven. Dette er forsøkt undersøkt noe mer i avsnitt 2.6.

Tabell 2-1 Maksimal belastning av omformerstasjonene for aktiv effekt. Prosentverdien viser hvor mye de simulerte verdiene er over de målte.

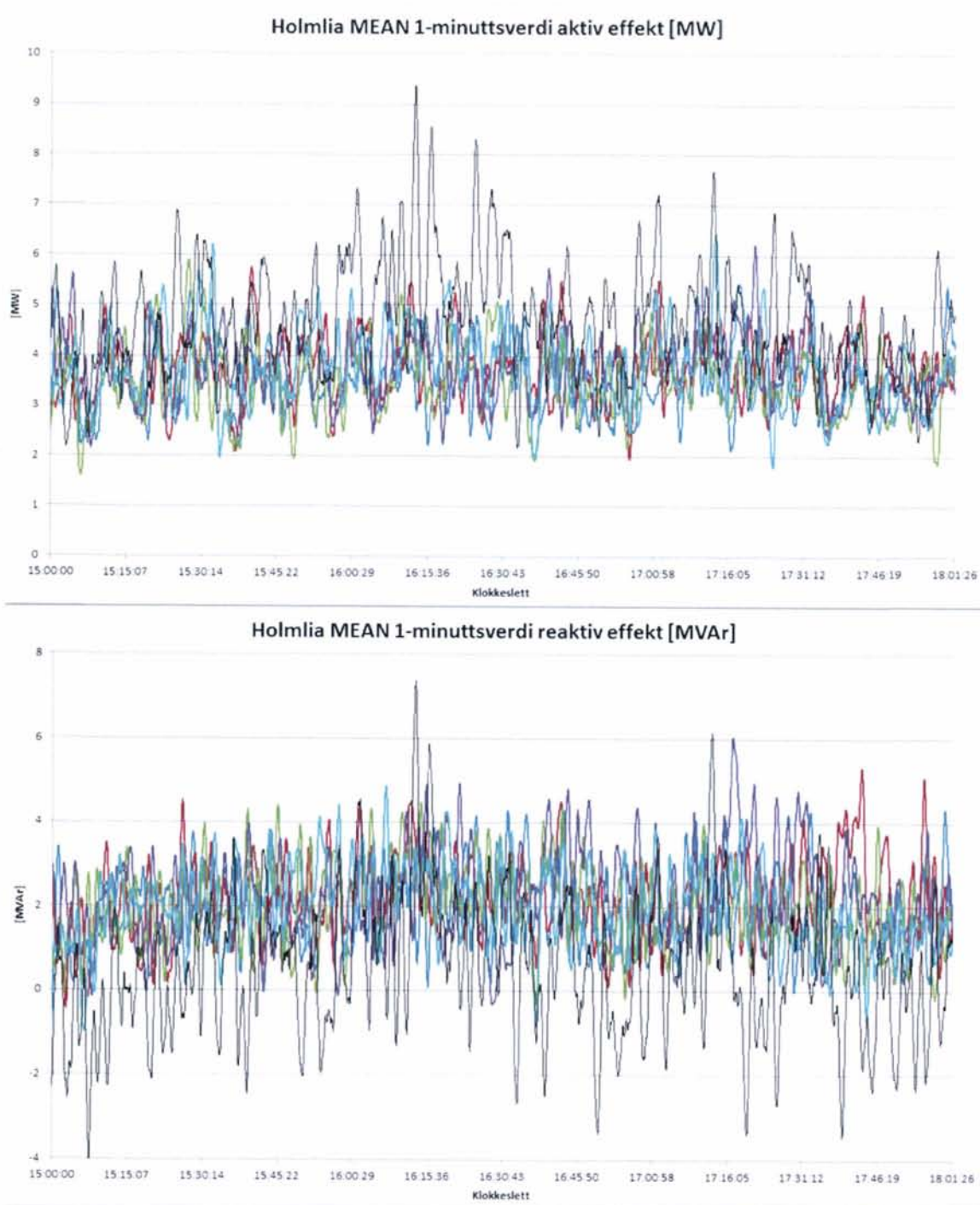
Høyeste belastning av omformerstasjonene målt og simulerte verdier i MW Undersøkelse med opprinnelig ruteplan										
Omformer	Innsatt ytelse [MVA]	Aktiv effekt i MEAN-verdier								
		3-sek			1-minutter			1-time		
		Simulering	Måling	%	Simulering	Måling	%	Simulering	Måling	%
Asker	2 x 10	23,901	15,224	57	20,630	11,572	78	13,448	6,933	94
Holmlia	1 x 10	11,862	6,871	73	9,380	6,446	46	5,276	4,086	29
Alnabru	1 x 10	9,612	-		8,207	5,550	48	5,929	3,792	56
Lillestrøm	2 x 12	28,605	-		23,653	14,710	61	14,674	10,510	40

Tabell 2-2 Maksimal belastning av omformerstasjonene for reaktiv effekt. Prosentverdien viser hvor mye de simulerte verdiene er over de målte.

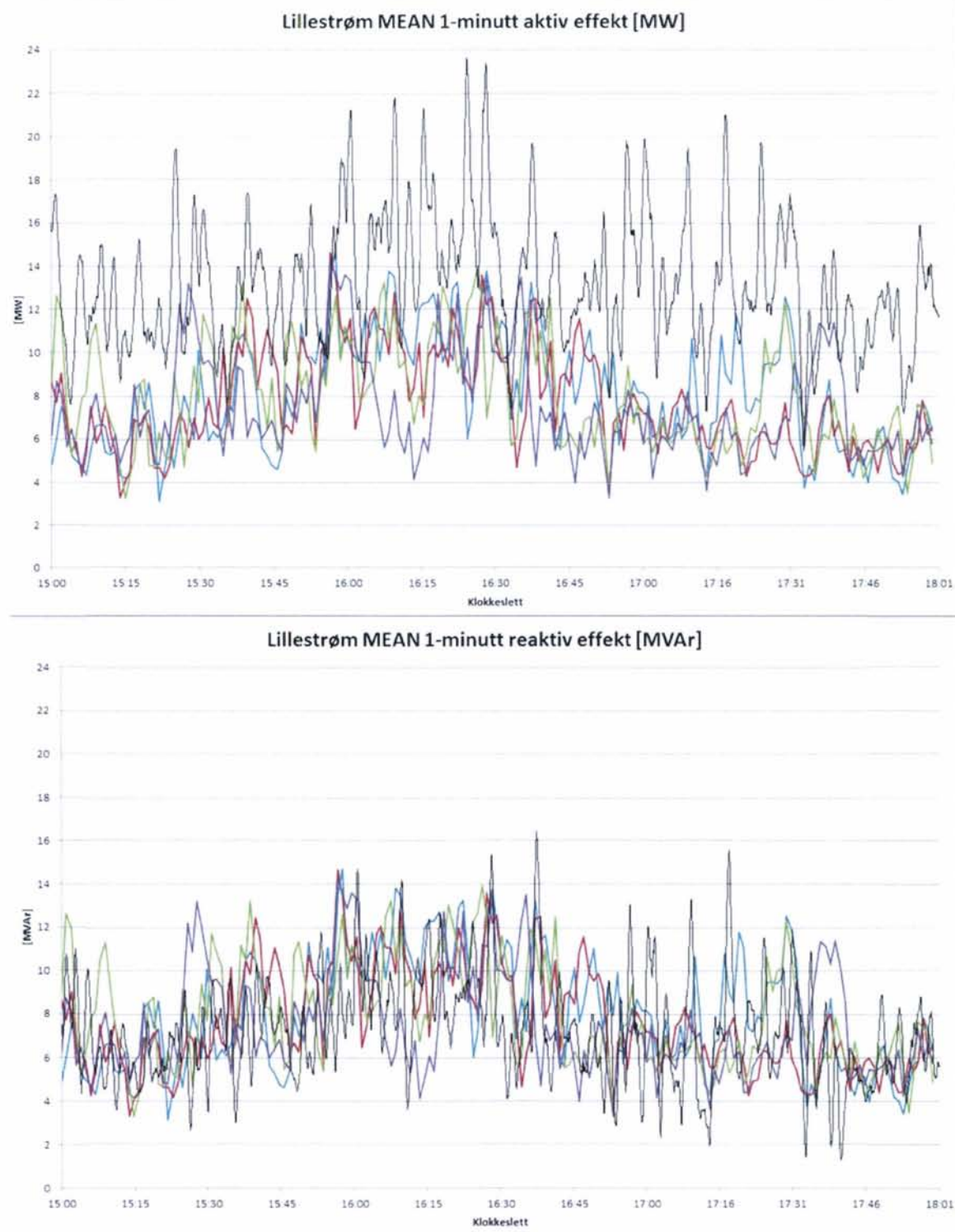
Høyeste belastning av omformerstasjonene målt og simulerte verdier i MVA Undersøkelse med opprinnelig ruteplan										
Omformer	Innsatt ytelse [MVA]	Reaktiv effekt i MEAN-verdier								
		3-sek			1-minutter			1-time		
		Simulering	Måling	%	Simulering	Måling	%	Simulering	Måling	%
Asker	2 x 10	20,969	14,228	47	17,934	14,228	26	12,443	7,229	72
Holmlia	1 x 10	9,363	7,128	31	7,374	6,049	22	1,197	2,870	-58
Alnabru	1 x 10	4,699	-		3,625	3,380	7	2,340	2,355	-1
Lillestrøm	2 x 12	21,886	-		16,431	10,360	59	8,596	5,597	54



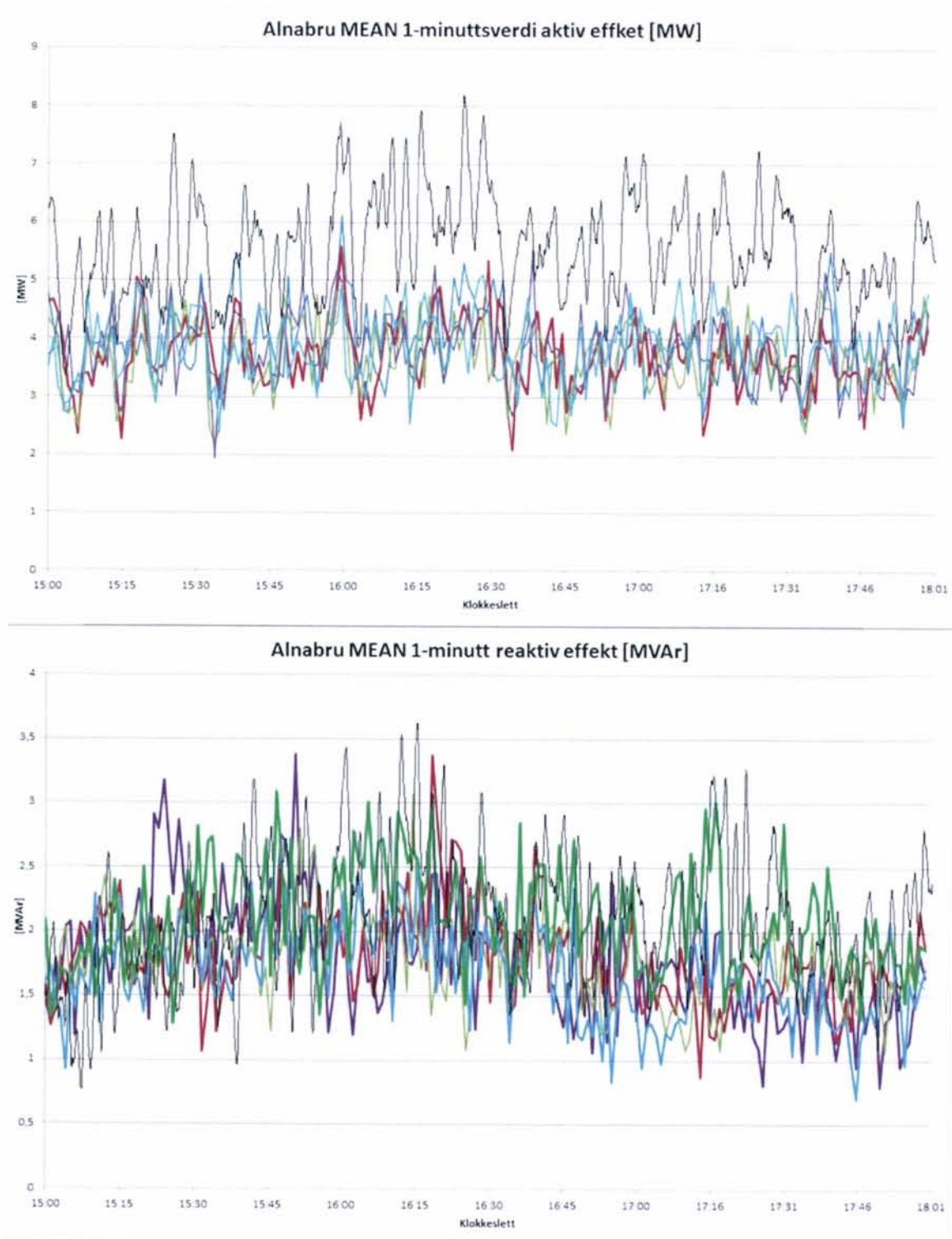
Figur 2-1 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen og de tykke strekene viser blå – 26.sep, brun -27.sep, grønn – 28.sep, fiolett - 29.sep, turkis – 30. sep.



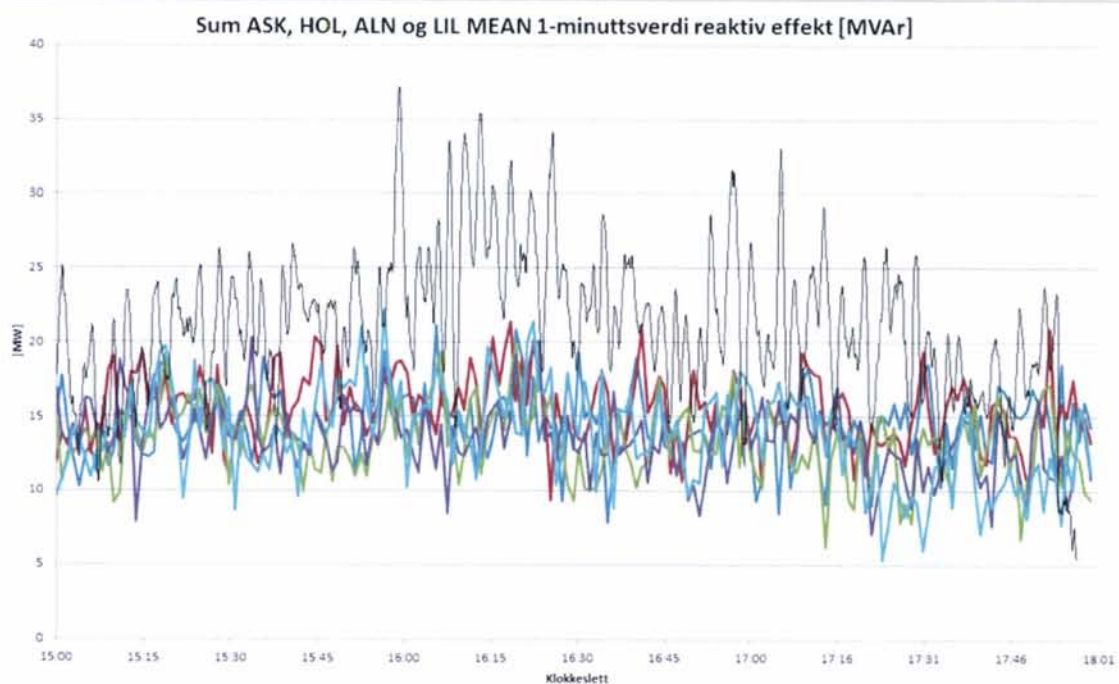
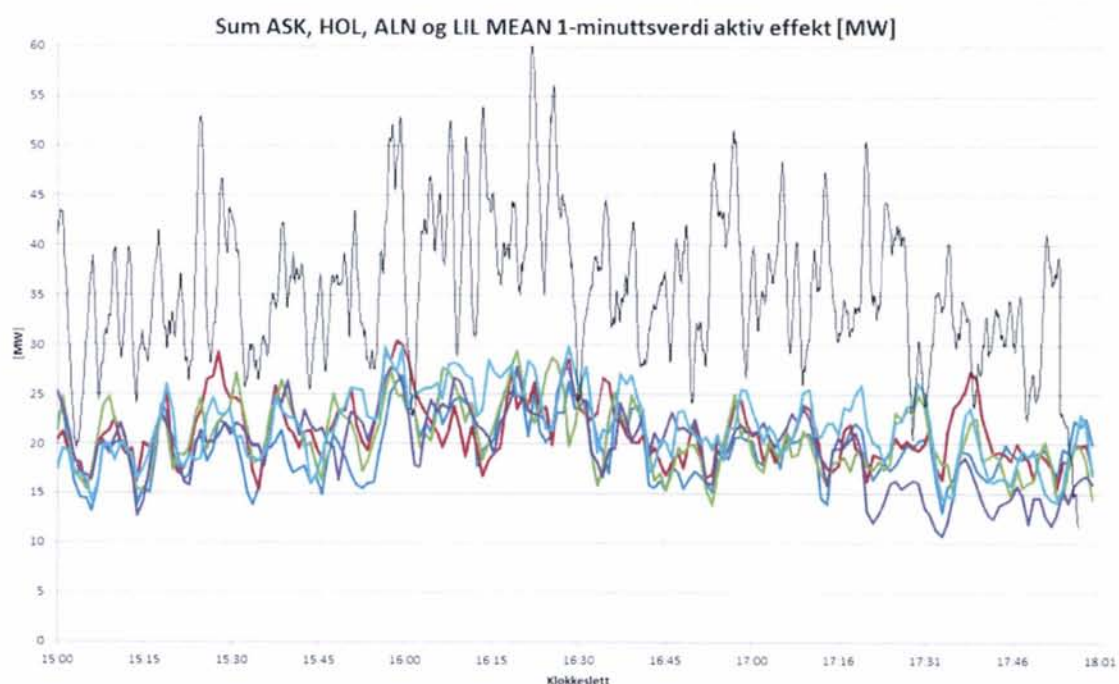
Figur 2-2 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen og de tykke strekene viser blå – 26.sep, brun -27.sep, grønn – 28.sep, fiolett - 29.sep, turkis – 30. sep.



Figur 2-3 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen og de tykke strekene viser blå – 26.sep, brun -27.sep, grønn – 28.sep, fiolett - 29.sep, turkis – 30. sep.



Figur 2-4 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen og de tykke strekene viser blå – 7.nov, turkis – 8.nov, grønn – 9.nov, brun – 10. nov og fiolett – 11.nov.



Figur 2-5 Målte og simulerte verdier for summ aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst) for de fire omformerstasjonene Asker, Holmlia, Alnabru og Lillestrøm. Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen og de tykke strekene viser blå – 26.sep, brun -27.sep, grønn – 28.sep, fiolett - 29.sep, turkis – 30. sep.

2.2 Simulering med korrigeret ruteplan og materiell

I forrige simulering i avsnitt 2 så en at simulerte verdier lå langt over de målte. Ved å undersøke oppgitt ruteplan for simuleringene med TIOS kan en finne ut hvilke ruter som er

kjørt og hvilket materiell som var i bruk. Nedenfor viser Tabell 2-3, Tabell 2-4 og Tabell 2-5 togruter som er forskjellige fra opprinnelig ruteplan for henholdsvis stasjonene Lillestrøm, Holmlia og Asker. Tog som er markert med fiolett er de som passerer to av stasjonene og som dermed står oppført i to av tabellene.

Ruteplanen for simuleringen er modifisert med de riktige togene, og i Tabell 2-6 og Tabell 2-7 er resultatet av simuleringene vist. Sammenlignet med resultatet i avsnitt 2 er maksimalbelastningen nå en del mindre, forskjellen er mange prosent. Grafene for aktiv og reaktiv effekt illustrerer forskjellen best, se Figur 2-6, Figur 2-7, Figur 2-8 og Figur 2-9 for henholdsvis Asker, Holmlia, Alnabru og Lillestrøm. Her er den røde streken resultatet uten korrigeret ruteplan og den svarte streken med samme togruter i simuleringen som i målingene. Som nevnt i avsnitt 2 er målerverdiene for Lillestrøm og Alnabru med bare ett minutt oppløsning, noe som gir en feilkilde ved sammenligning av maksimalverdier i forhold til simuleringene med ett sekunds oppløsning.

I Figur 2-10 er det igjen laget summasjonskurver for 1-minuttersverdiene for aktiv og reaktiv effekt. Igjen ser en at verdiene fra simuleringen er redusert etter at ruteplanen ble korrigeret, men at det fremdeles er stor forskjell på simulerte og målte verdier.

Tabell 2-3 Kontroll av alle passerende tog ved Lillestrøm stasjon mellom klokken 15 og 18.

Tog	Opprinnelig ruteplan	Kontroll mot TIOS
1019	Tp72_1 Linje 460, Skøyen – Årnes	Tp69_3
1020	Tp72_1 Linje 460, Skøyen – Årnes	Tp69_3
1021	Tp72_2 Linje 460, Skøyen – Årnes	Tp69_2_3
1022	Tp72_1 Linje 460, Skøyen – Årnes	Tp69_3
1023	Tp72_1 Linje 460, Skøyen – Årnes	Tp69_3
1024	Tp72_1 Linje 460, Skøyen – Årnes	Tp69_3
1026	Tp72_1 Linje 460, Årnes – Skøyen	Tp69_3
1055	Tp72_1 Linje 460, Oslo S – Kongsvinger	Tp69_3
1671	Tp69_3_3 Linje 440 Drammen – Dal	Tp69_2_3
1673	Tp69_3_3 Linje 440 Drammen – Dal	Tp69_2_3
2145	Tp69_3_3 Linje 400 Lillestrøm – Asker	Tp69_3
2147	Tp69_3_3 Linje 400 Lillestrøm – Asker	Tp69_3
2148	Tp69_3_3 Linje 400 Lillestrøm – Asker	Tp69_3
322	Tp70_1 Linje 20 Oslo S – Lillehammer	E118_6B5
327	Tp70_1 Linje 20 Oslo S – Lillehammer	E118_6B5
4039	Ikke inkludert	Ikke kjørt 29.09.2011
5702	EL14_1000 Trondheim – Alnabru	Ikke kjørt i uke 39
5732	E114_1000 Godstog Trondheim – Alnabru	EL19_981
5933	BR185_800 Alnabru – Trondheim	Ikke kjørt i uke 39
40167	BR185_800 Alnabru – Charlottenberg	Ikke kjørt i uke 39
21062	BR185_800 Alnabru – Charlottenberg	Ikke kjørt i uke 39

Tabell 2-4 Kontroll av alle passerende tog ved Holmlia stasjon mellom klokken 15 og 18.

Tog	Opprinnelig ruteplan	Kontroll mot TIOS
1161	Tp72_1 Linje 550 Oslo S – Moss	Tp69_2
1163	TP72_2 Linje 550 Oslo S – Moss	Tp69_3
176	Tp 72_1 Linje 560 Mysen – Skøyen	Tp69_3
178	Tp 72_1 Linje 560 Mysen – Skøyen	Tp69_3
185	Tp 72_1 Linje 560 Skøyen – Mysen	Tp69_3
187	Tp 72_1 Linje 560 Skøyen – Mysen	Tp69_3
2740	Tp 69_3_3 Linje 500 Ski – Skøyen	Tp69_2_3
2741	Tp 69_3_3 Linje 500 Ski – Skøyen	Tp69_2_3
2743	Tp 69_3_3 Linje 500 Ski – Skøyen	Tp69_2_3
2746	Tp 69_3_3 Linje 500 Ski – Skøyen	Tp69_2_3
2748	Tp 69_3_3 Linje 500 Ski – Skøyen	Tp69_2_3
2749	Tp 69_3_3 Linje 500 Ski – Skøyen	Tp69_2_3
2751	Tp 69_3_3 Linje 500 Ski – Skøyen	Tp69_2_3
2754	Tp 69_3_3 Linje 500 Ski – Skøyen	Tp69_2_3
2803	Tp 69_3 Linje 500 Ski – Skøyen	Tp72_1
2805	Tp 69_3_3 Linje 500 Skøyen – Ski	Tp69_3
2809	Tp 69_3_3 Linje 500 Skøyen – Ski	Tp69_2_3

Tabell 2-5 Kontroll av alle passerende tog ved Asker stasjon mellom klokken 15 og 18.

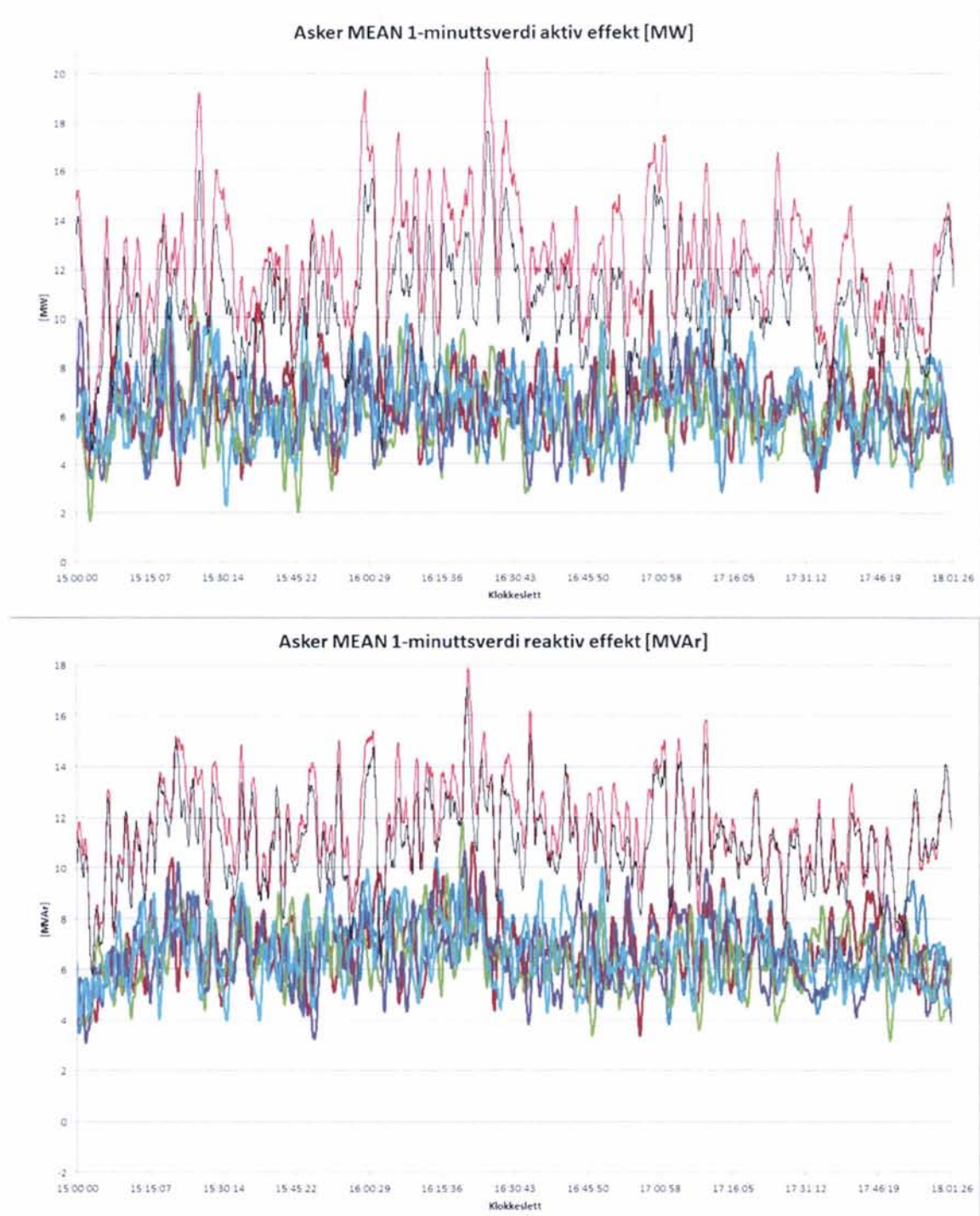
Tog	Opprinnelig ruteplan	Kontroll mot TIOS
2141	Tp69_3_3 Linje 400 Lillestrøm – Asker	Tp69_2_3
2142	Tp69_3_3 Linje 400 Asker – Lillestrøm	Tp69_2_3
1671	Tp69_3_3 Linje 440 Drammen – Dal	Tp69_2_3
1673	Tp69_3_3 Linje 440 Drammen – Dal	Tp69_2_3
1675	Tp69_3 Linje 440 Drammen – Dal	Tp69_2
2143	Tp69_3_3 Linje 400 Lillestrøm – Asker	Tp69_2_3
2144	Tp69_3_3 Linje 400 Asker – Lillestrøm	Tp69_2_3
2145	Tp69_3_3 Linje 400 Lillestrøm – Asker	Tp69_3
2146	Tp69_3_3 Linje 400 Asker – Lillestrøm	Tp69_2_3
2147	Tp69_3_3 Linje 400 Lillestrøm – Drammen	Tp69_3
2148	Tp69_3_3 Linje 400 Asker – Lillestrøm	Tp69_3
2150	Tp69_3 Linje 400 Asker – Lillestrøm	Tp69_2
2297	Tp69_3 Linje 550 Oslo S – Spikkestad	Tp69_2
2299	Tp69_3 Linje 550 Oslo S – Spikkestad	Tp69_2
5509	E114_1000 Godstog Alnabru – Bergen	E114_800
551	Tp72_2 Linje 450 Oslo S – Kongsberg	Tp69_2_3
553	Tp72_1 Linje 450 Oslo S – Kongsberg	Tp69_3
79	Tp73_2 Linje 50 Oslo S – Stavanger	Tp73_1
822	Tp70_2 Linje 20, Skien – Oslo S	Tp70_1
823	Tp70_2 Linje 20 Oslo S – Larvik	Tp70_1
824	Tp70_2 Linje 20, Skien – Oslo S	Tp70_1
826	Tp70_1 Linje 20, Larvik – Oslo S	E118_6B5
871	Tp70_1 Linje 20 Oslo S – Larvik	Ikke kjørt i uke 39
873	E118_8B5 Linje 20 Oslo S – Larvik	Ikke kjørt i uke 39
875	E118_8B5 Linje 20 Oslo S – Larvik	Ikke kjørt i uke 39
3770	Tp71_1 Flytoget: Gardermoen – Drammen	Ikke kjørt 29.09
12222	Tp69_3t Tomtog Spikkestad – Asker	Tp69_2t
12224	Tp69_3t Tomtog Spikkestad – Filipstad	Tp69_2t
12226	Tp69_3t Tomtog Drammen – Filipstad	Ikke kjørt i uke 39

Tabell 2-6 Maksimal belastning av omformerstasjonene for aktiv effekt. Prosentverdien viser hvor mye de simulerte verdiene er over de målte.

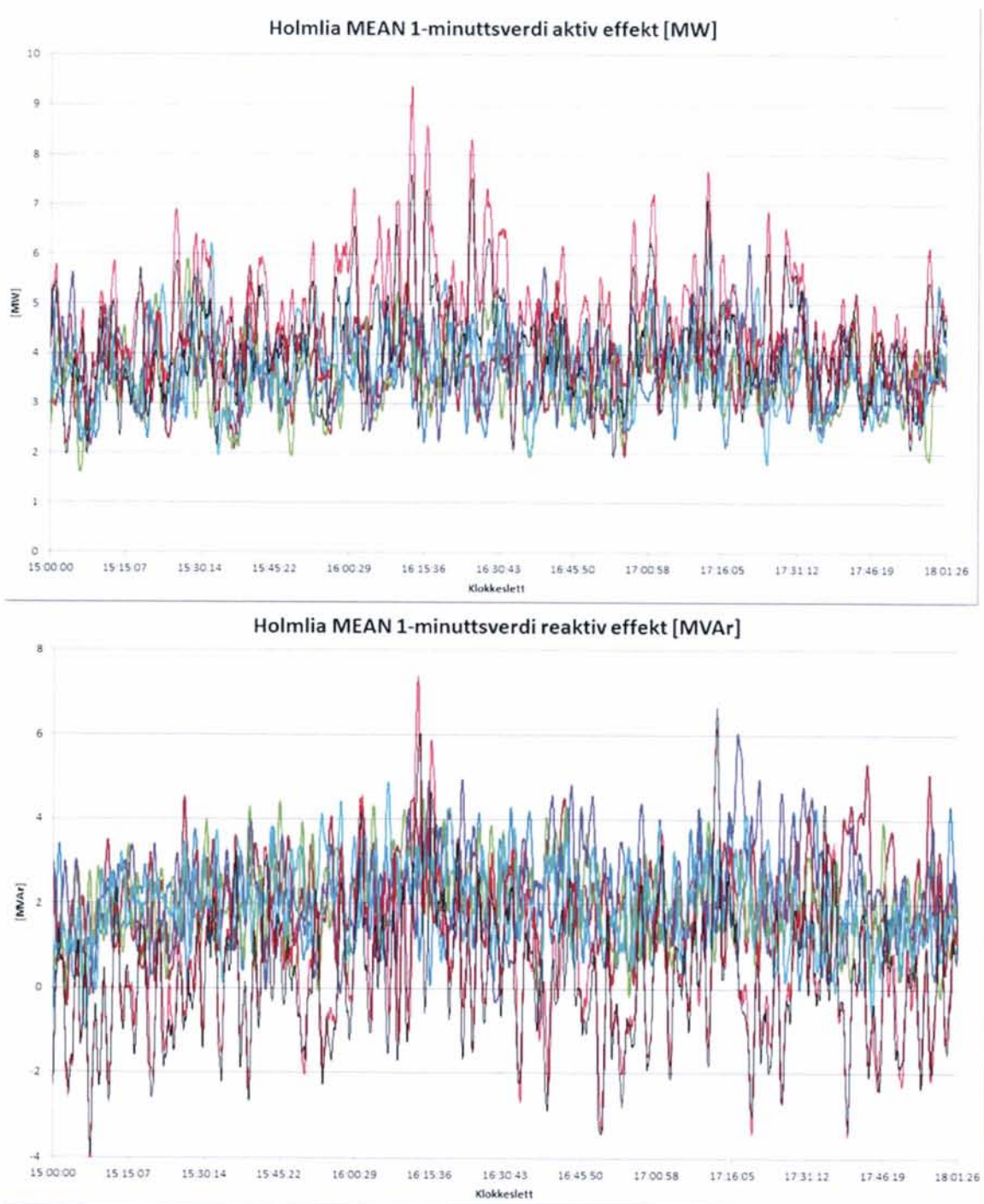
Høyeste belastning av omformerstasjonene målt og simulerte verdier i MW Undersøkelse med korrigert ruteplan										
Omformer	Innsatt ytelse [MVA]	Aktiv effekt i MEAN-verdier								
		3-sek			1-minutter			1-time		
		Simulering	Måling	%	Simulering	Måling	%	Simulering	Måling	%
Asker	2 x 10	19,854	15,224	30	17,654	11,572	53	11,290	6,933	63
Holmlia	1 x 10	10,755	6,871	57	7,607	6,446	18	4,522	4,086	11
Alnabru	1 x 10	8,822	-	-	7,308	5,550	32	5,197	3,792	37
Lillestrøm	2 x 12	24,916	-	-	18,562	14,710	26	12,490	10,510	19

Tabell 2-7 Maksimal belastning av omformerstasjonene for reaktiv effekt. Prosentverdien viser hvor mye de simulerte verdiene er over de målte.

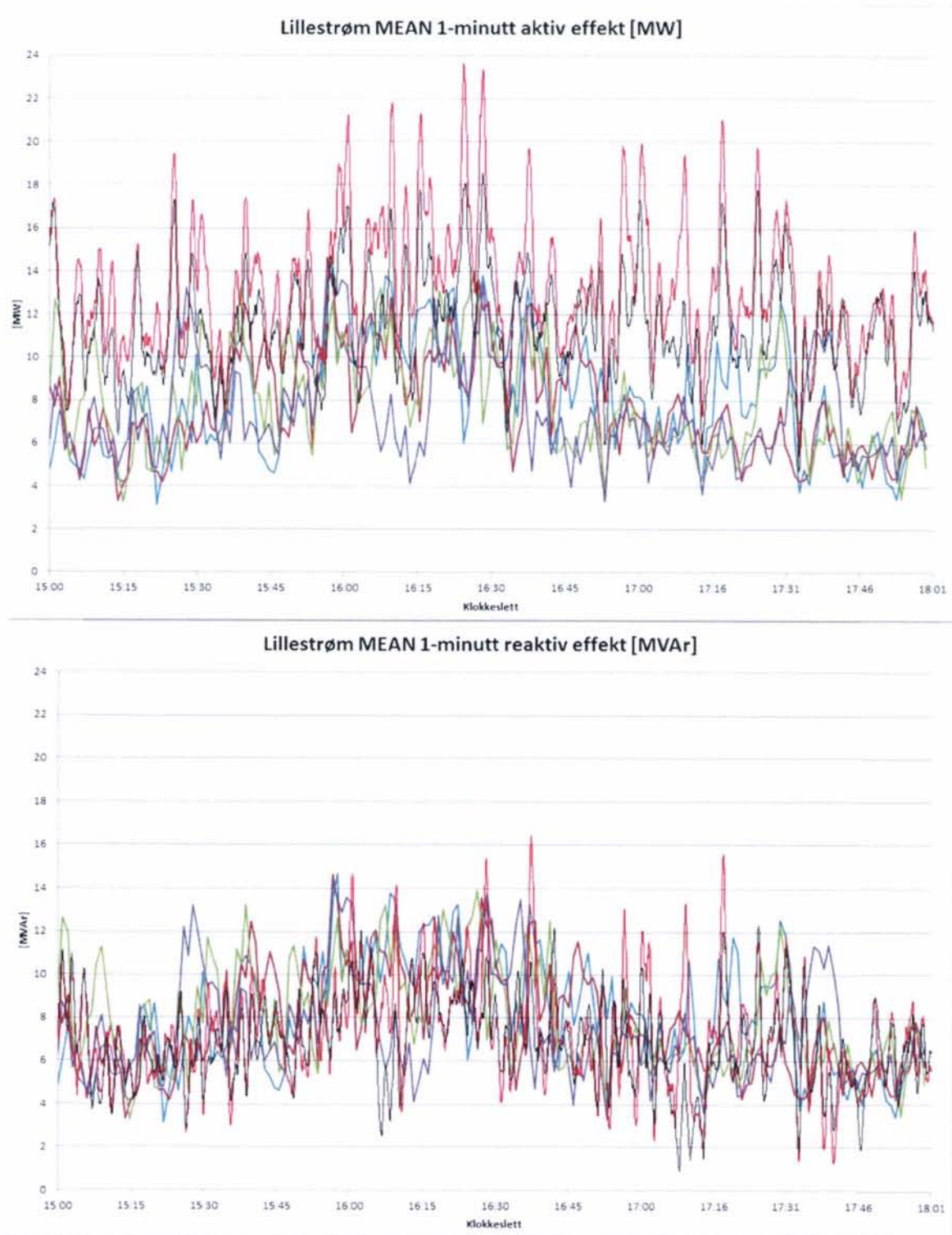
Høyeste belastning av omformerstasjonene målt og simulerte verdier i MVAR Undersøkelse med korrigert ruteplan										
Omformer	Innsatt ytelse [MVA]	Reaktiv effekt i MEAN-verdier								
		3-sek			1-minutter			1-time		
		Simulering	Måling	%	Simulering	Måling	%	Simulering	Måling	%
Asker	2 x 10	19,320	14,228	36	17,165	14,228	21	11,587	7,229	60
Holmlia	1 x 10	9,186	7,128	29	6,663	6,049	10	0,748	2,870	-74
Alnabru	1 x 10	4,037	-	-	3,235	3,380	-4	2,157	2,355	-8
Lillestrøm	2 x 12	17,090	-	-	12,313	10,360	19	7,926	5,597	42



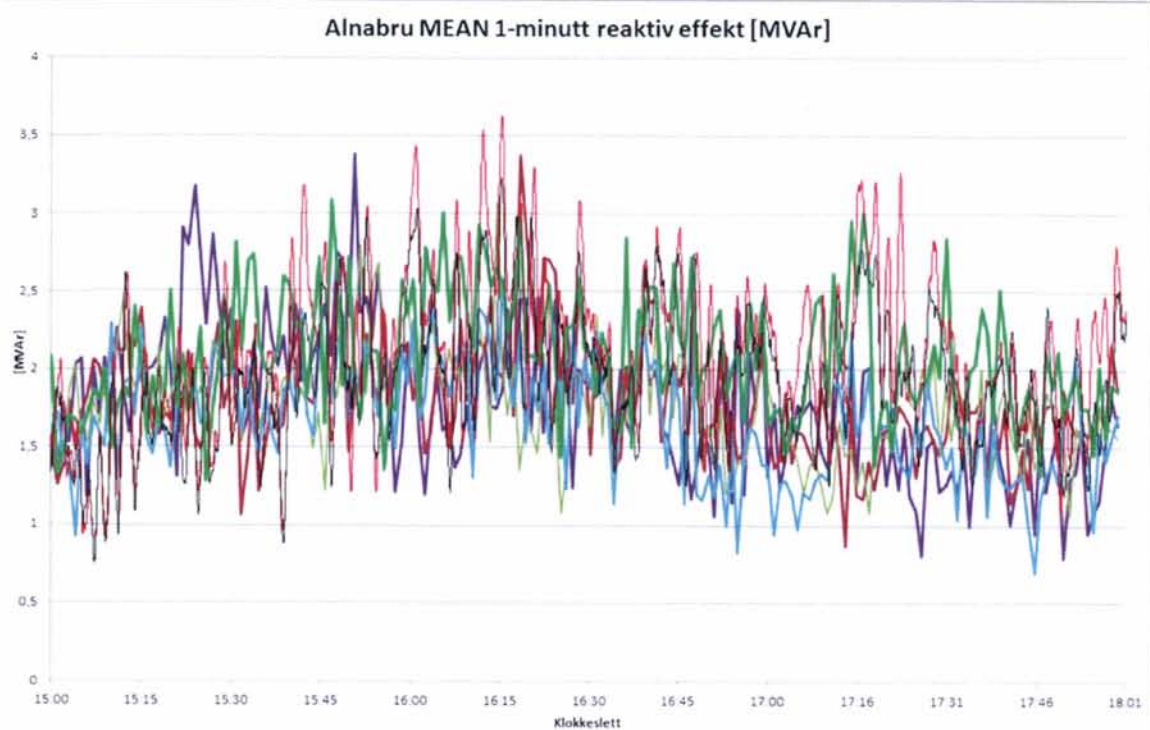
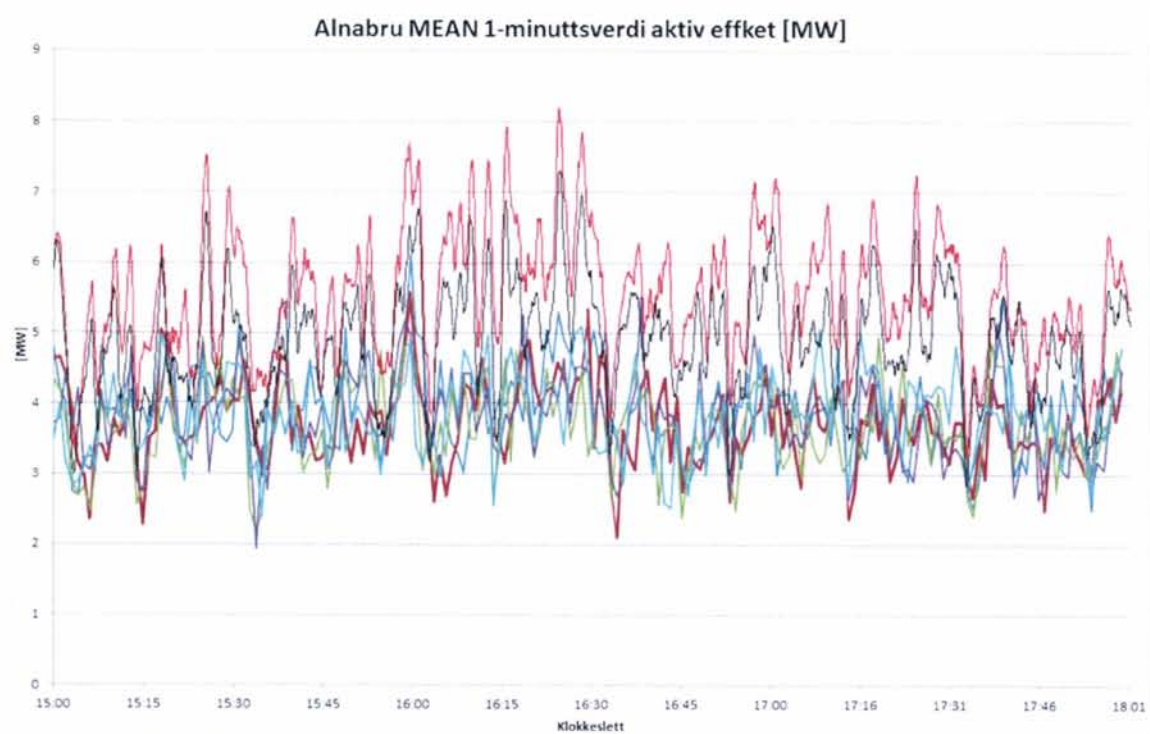
Figur 2-6 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen med korrigert ruteplan og den røde med opprinnelig. De tykke strekene viser målingene for; blå – 26.sep, brun -27.sep, grønn – 28.sep, fiolett - 29.sep, turkis – 30. sep.



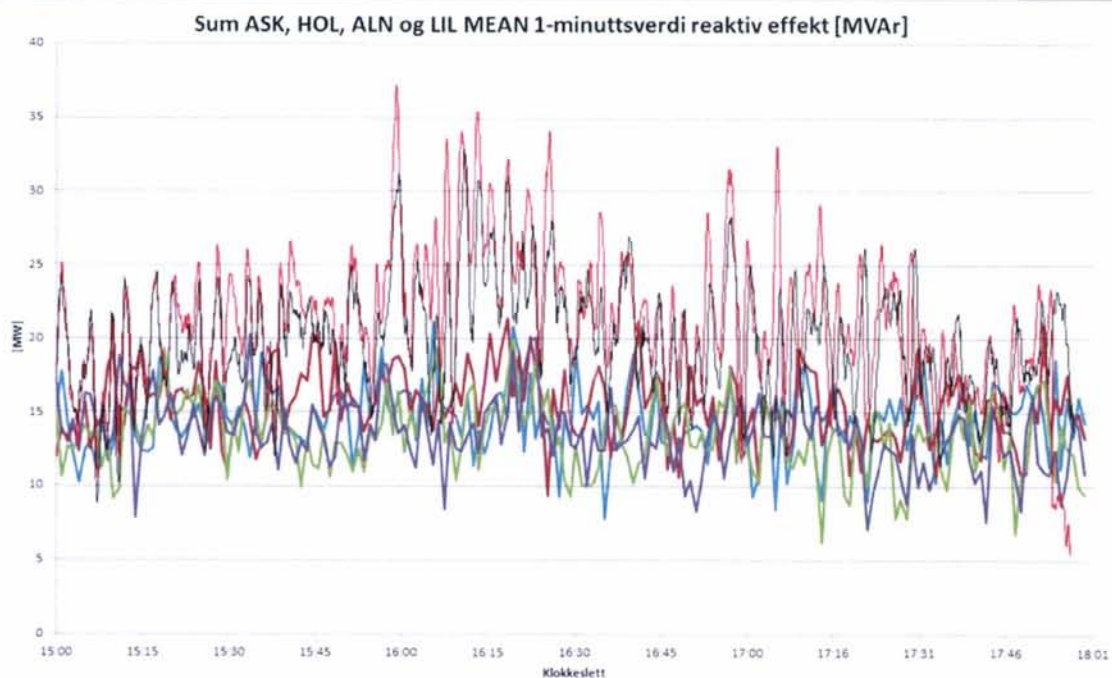
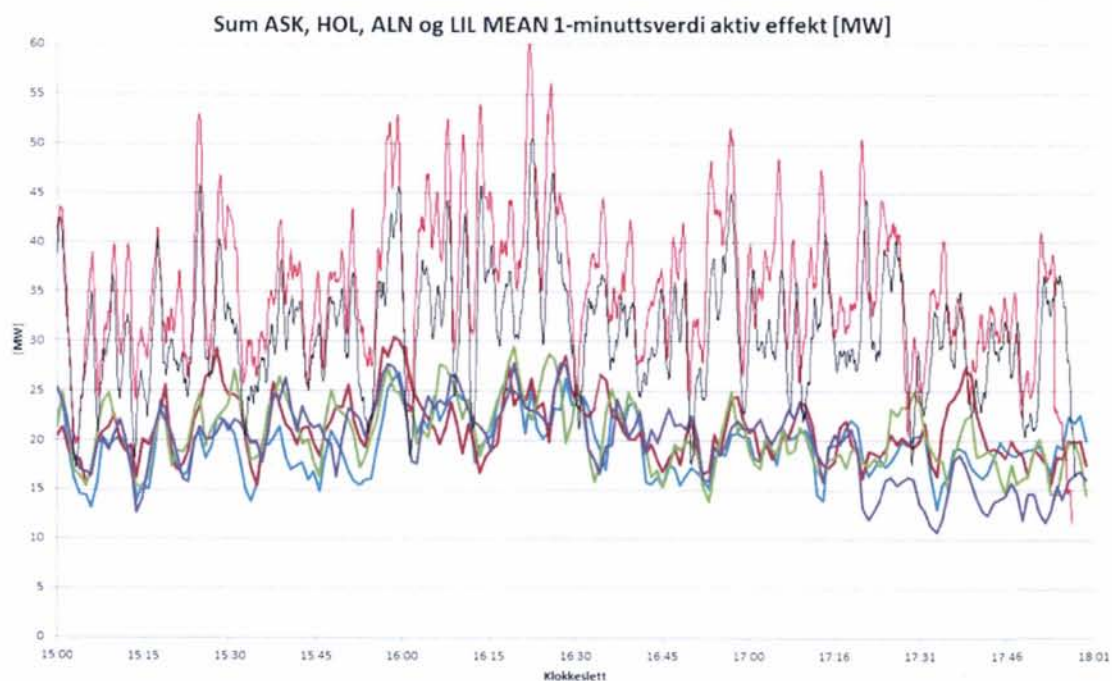
Figur 2-7 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen med korrigert ruteplan og den røde med opprinnelig. De tykke strekene viser målingene for; blå – 26.sep, brun -27.sep, grønn – 28.sep, fiolett - 29.sep, turkis – 30. sep.



Figur 2-8 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen med korrigert ruteplan og den røde med opprinnelig. De tykke strekene viser målingene for; blå – 26.sep, brun -27.sep, grønn – 28.sep, fiolett - 29.sep, turkis – 30. sep.



Figur 2-9 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen og de tykke strekene viser blå – 7.nov, turkis – 8.nov, grønn – 9.nov, brun – 10. nov og fiolett – 11.nov.



Figur 2-10 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen med korrigert ruteplan og den røde med opprinnelig. De tykke strekene viser målingene for; blå – 26.sep, brun –27.sep, grønn – 28.sep, fiolett - 29.sep, turkis – 30. sep.

2.3 Simulering med korrigert ruteplan og redusert luftmotstand i tunnelene

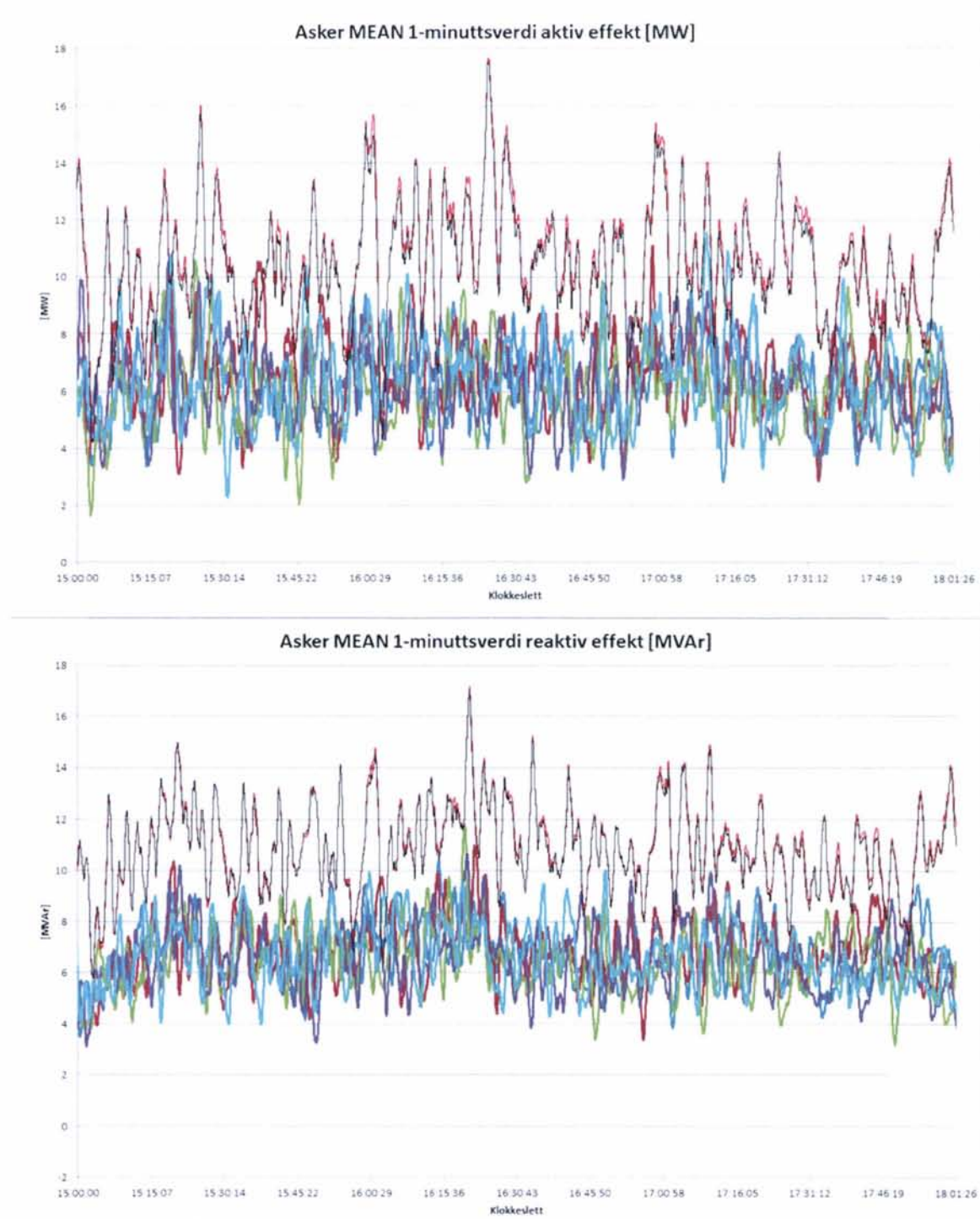
Det er også gjort en simulering med redusert luftmotstand i tunnelene. Vanligvis er faktoren for luftmotstand i tunneler 2 slik at luftmotstanden blir dobbelt så stor som på fri linje. Det er på grunnlag av egne studier funnet at dette kan være for mye, se [3]. Her er faktoren for luftmotstand satt til 1,7 i Lieråsen tunnel og Oslostunnelen og 1,5 i de nye tunnelene på Askerbanen og Gardermobanen. Resultatet av simuleringene er vist i Tabell 2-8 og Tabell 2-9 og sammenlignet med resultatene med vanlig faktor for luftmotstand, se avsnitt 2.2 er forskjellene meget små. Nedenfor viser Figur 2-11, Figur 2-12, Figur 2-13 og Figur 2-14 minuttverdier for belastningen for omformerstasjonene.

Tabell 2-8 Maksimal belastning av omformerstasjonene for aktiv effekt. Prosentverdien viser hvor mye de simulerte verdiene er over de målte.

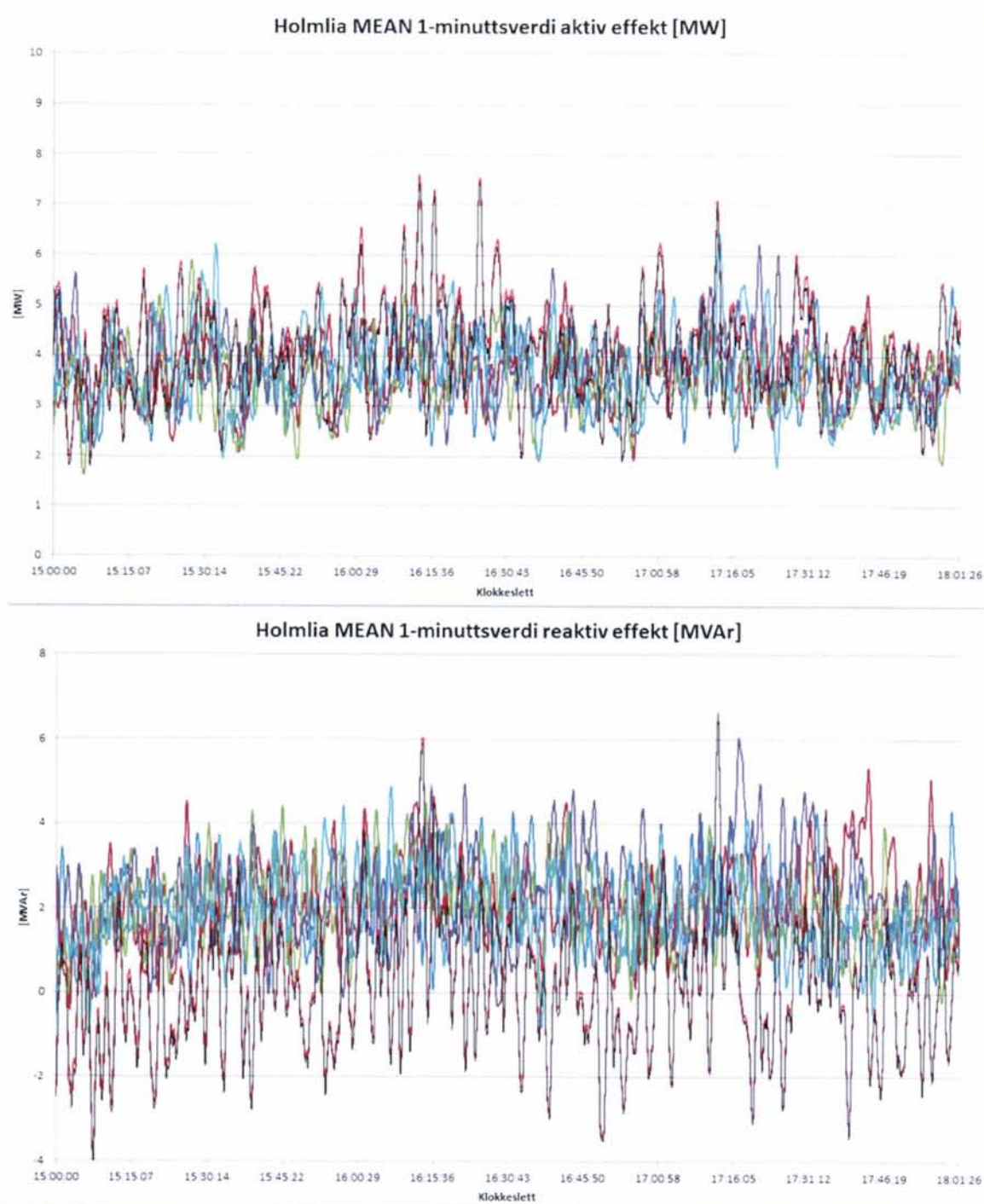
Høyeste belastning av omformerstasjonene målt og simulerte verdier i MW Undersøkelse med korrigert ruteplan og redusert luftmotstand i tunnelene										
Omformer	Innsatt ytelse [MVA]	Aktiv effekt i MEAN-verdier								
		3-sek			1-minutter			1-time		
		Simulering	Måling	%	Simulering	Måling	%	Simulering	Måling	%
Asker	2 x 10	19,808	15,224	30	17,538	11,572	52	11,017	6,933	59
Holmlia	1 x 10	10,690	6,871	56	7,451	6,446	16	4,388	4,086	7
Alnabru	1 x 10	8,942	-	-	7,378	5,550	33	5,202	3,792	37
Lillestrøm	2 x 12	24,205	-	-	17,652	14,710	20	12,001	10,510	14

Tabell 2-9 Maksimal belastning av omformerstasjonene for reaktiv effekt. Prosentverdien viser hvor mye de simulerte verdiene er over de målte.

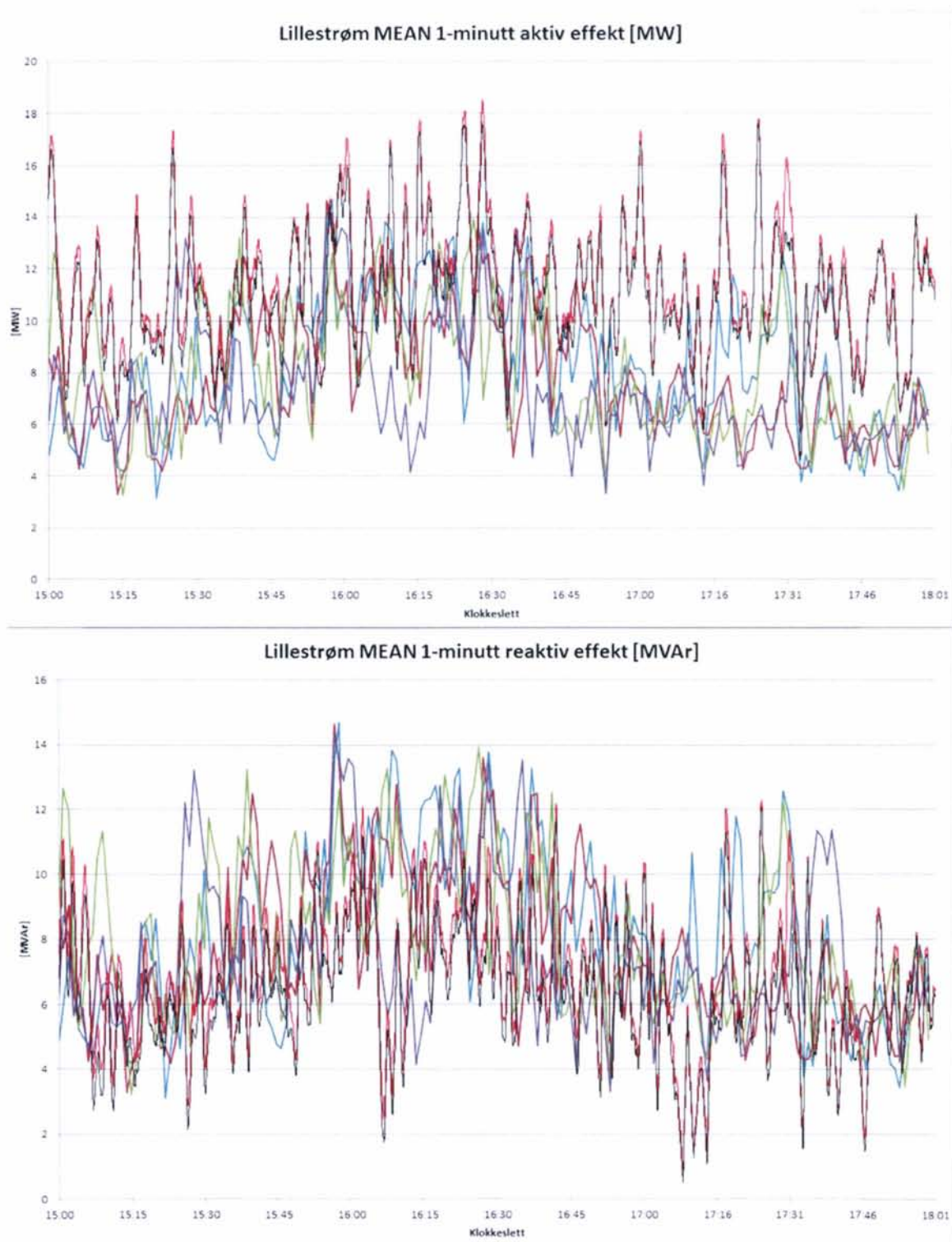
Høyeste belastning av omformerstasjonene målt og simulerte verdier i MVAr Undersøkelse med korrigert ruteplan og redusert luftmotstand i tunnelene										
Omformer	Innsatt ytelse [MVA]	Reaktiv effekt i MEAN-verdier								
		3-sek			1-minutter			1-time		
		Simulering	Måling	%	Simulering	Måling	%	Simulering	Måling	%
Asker	2 x 10	19,067	14,228	34	17,049	14,228	20	11,452	7,229	58
Holmlia	1 x 10	8,937	7,128	25	6,612	6,049	9	0,584	2,870	-80
Alnabru	1 x 10	4,303	-	-	3,594	3,380	6	2,526	2,355	7
Lillestrøm	2 x 12	17,007	-	-	12,094	10,360	17	7,392	5,597	32



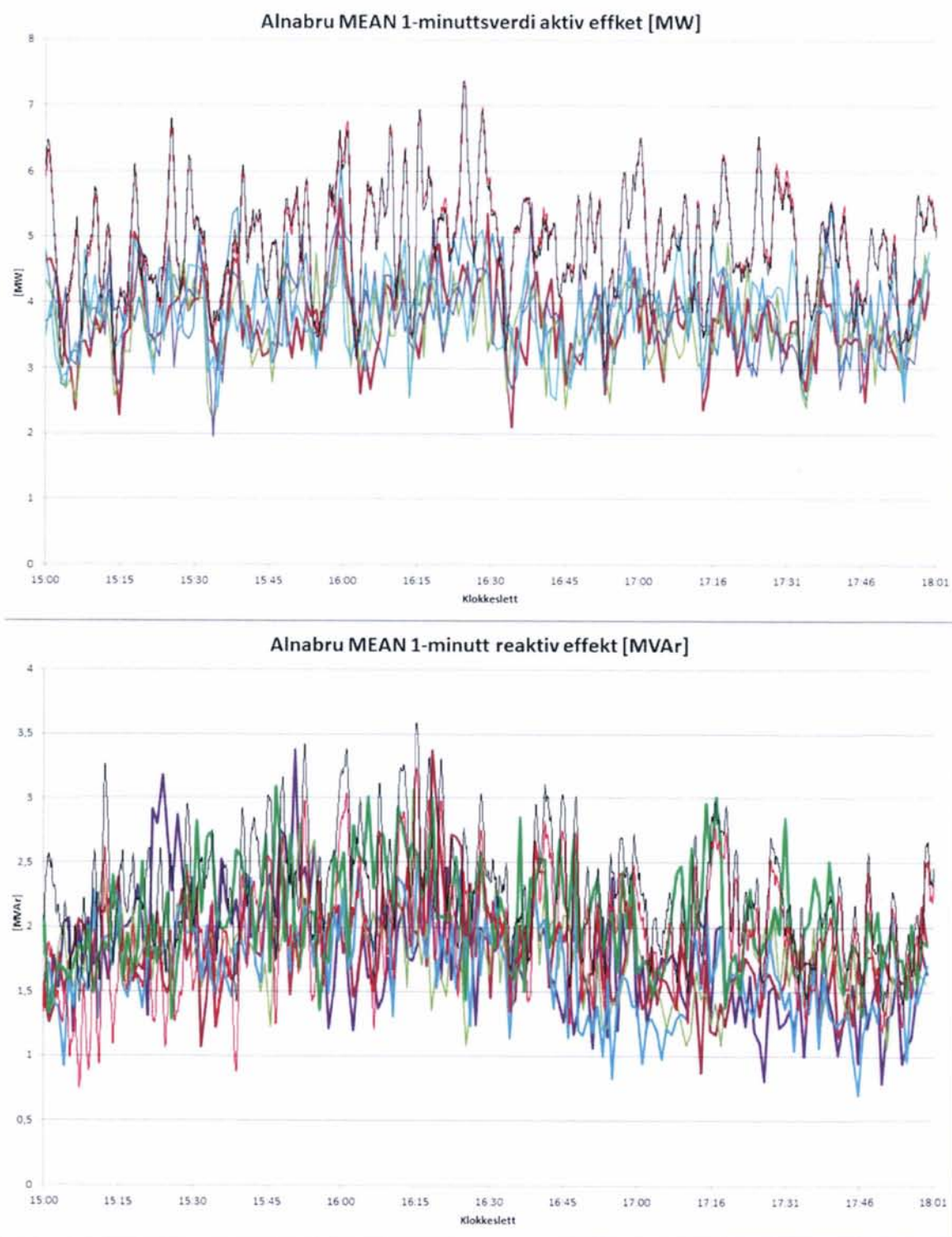
Figur 2-11 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen med korrigert ruteplan og redusert luftmotstand i tunnelene, den røde med opprinnelig luftmotstand. De tykke strekene viser målingene for; blå – 26.sep, brun -27.sep, grønn – 28.sep, fiolett - 29.sep, turkis – 30. sep.



Figur 2-12 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen med korrigert ruteplan og redusert luftmotstand i tunnelene, den røde med opprinnelig luftmotstand. De tykke strekene viser målingene for; blå – 26.sep, brun -27.sep, grønn – 28.sep, fiolett - 29.sep, turkis – 30. sep.



Figur 2-13 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen med korrigert ruteplan og redusert luftmotstand i tunnelene, den røde med opprinnelig luftmotstand. De tykke strekene viser målingene for; blå – 26.sep, brun -27.sep, grønn – 28.sep, fiolett - 29.sep, turkis – 30. sep.



Figur 2-14 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen med korrigeret ruteplan og redusert luftmotstand i tunnelene, den røde med opprinnelig luftmotstand. De tykke strekene viser; blå – 7.nov, turkis – 8.nov, grønn – 9.nov, brun – 10. nov og fiolett – 11.nov.

2.4 Simulering med korrigert ruteplan og redusert hastighet i tunnelene

Ruteplanen er laget med forutsetning om at togene skal kjøre i skiltet hastighet, men undersøkelse hos NSB og Flytoget viser at en kjører saktere i tunnelene for å redusere energiforbruket. Hastighetsreduksjonen skjer slik:

- Flytoget holder 160 km/t i Romeriksporten, selv om den er skiltet for 210 km/t.
- Flytoget holder 120 km/t i Lieråsen tunnel mot Drammen og 100 km/t fra Drammen, selv om den er skiltet for 130 km/t.
- Type 72 holder 150 km/t som maksimalhastighet.
- Alle lokaltog på Hovedbanen har en hastighetsreduksjon på 7 % i forhold til skiltet hastighet.

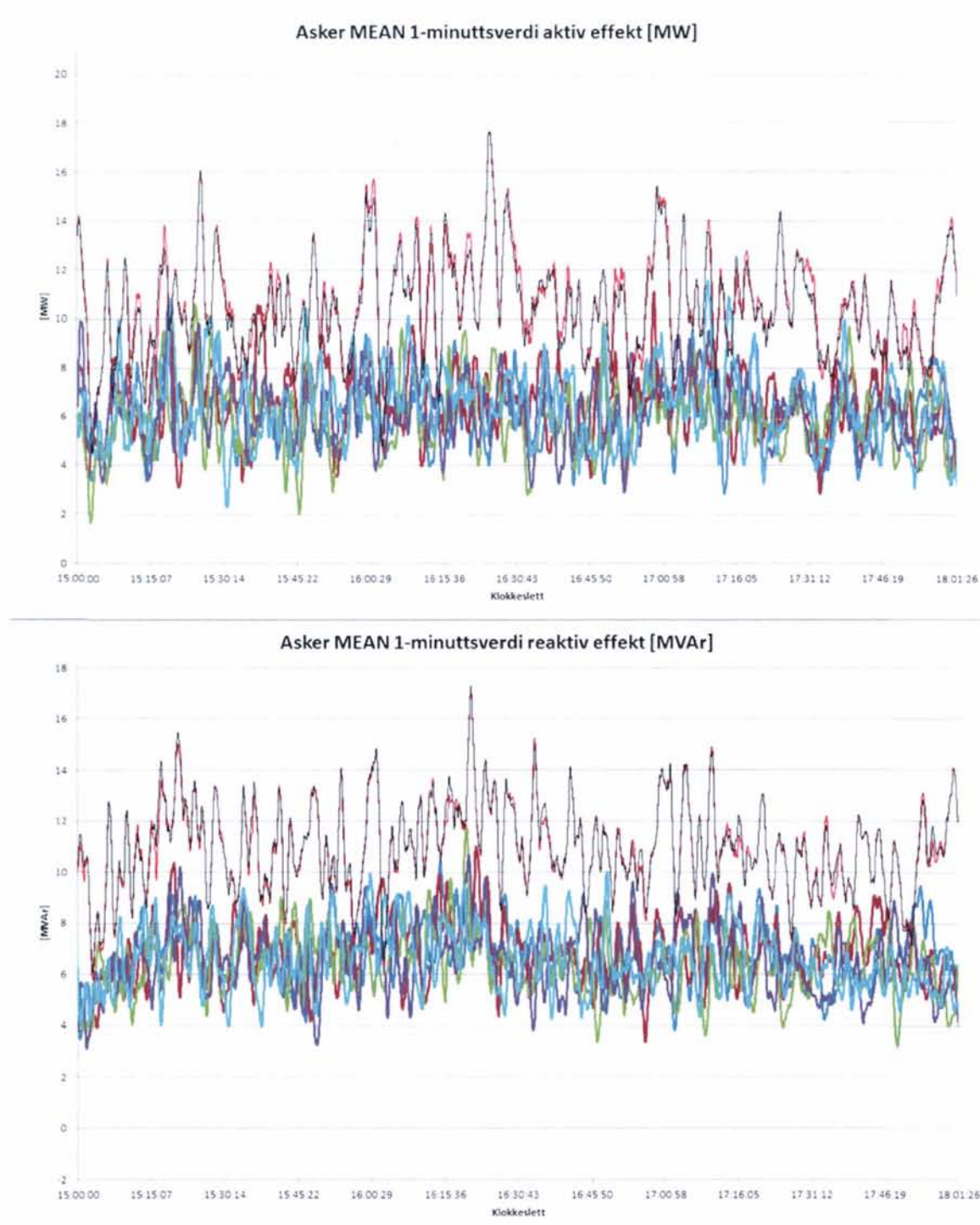
Nedenfor viser Tabell 2-10 og Tabell 2-11 at maksimal belastning bare er minimalt redusert og det samme viser kurvene i Figur 2-15, Figur 2-16, Figur 2-17 og Figur 2-18.

Tabell 2-10 Maksimal belastning av omformerstasjonene for aktiv effekt. Prosentverdien viser hvor mye de simulerte verdiene er over de målte.

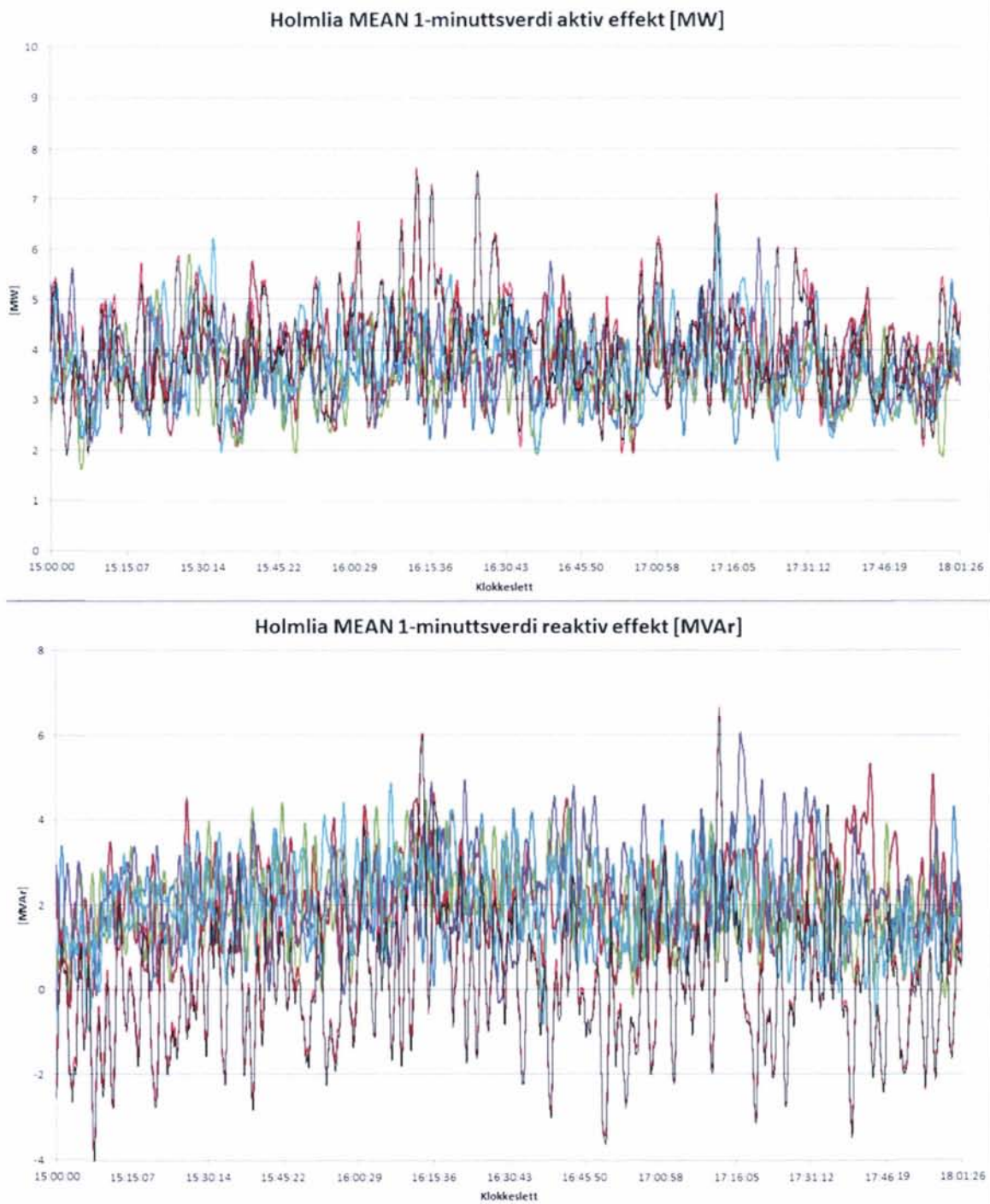
Høyeste belastning av omformerstasjonene målt og simulerte verdier i MW Undersøkelse med korrigert ruteplan og redusert hastighet										
Omformer	Innsatt ytelse [MVA]	Aktiv effekt i MEAN-verdier								
		3-sek			1-minutter			1-time		
		Simulering	Måling	%	Simulering	Måling	%	Simulering	Måling	%
Asker	2 x 10	20,376	15,224	34	17,667	11,572	53	11,122	6,933	60
Holmlia	1 x 10	10,340	6,871	50	7,539	6,446	17	4,403	4,086	8
Alnabru	1 x 10	8,652	-	-	7,435	5,550	34	5,214	3,792	38
Lillestrøm	2 x 12	24,048	-	-	18,396	14,710	25	12,010	10,510	14

Tabell 2-11 Maksimal belastning av omformerstasjonene for reaktiv effekt. Prosentverdien viser hvor mye de simulerte verdiene er over de målte.

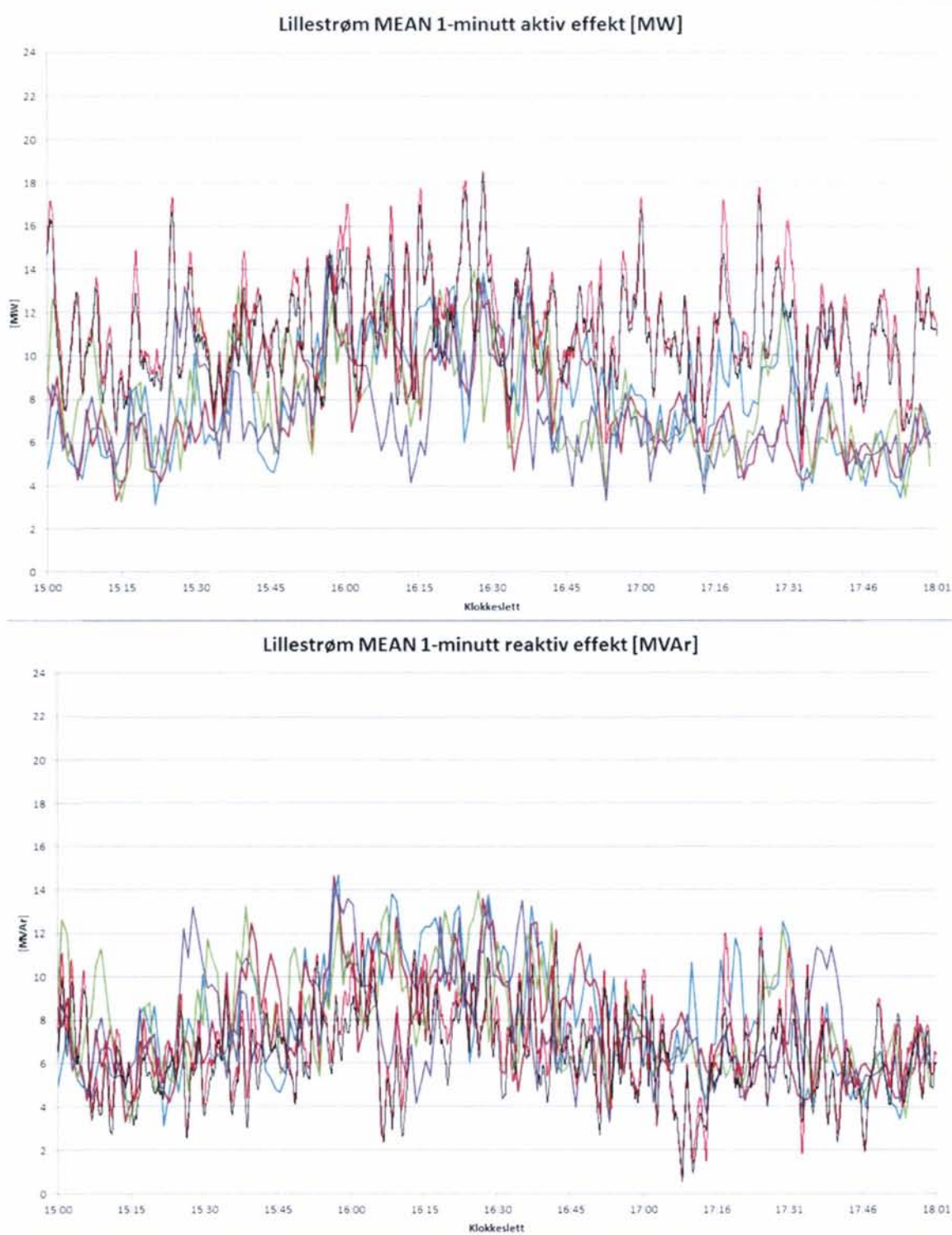
Høyeste belastning av omformerstasjonene målt og simulerte verdier i MVAR Undersøkelse med korrigert ruteplan og redusert hastighet										
Omformer	Innsatt ytelse [MVA]	Reaktiv effekt i MEAN-verdier								
		3-sek			1-minutter			1-time		
		Simulering	Måling	%	Simulering	Måling	%	Simulering	Måling	%
Asker	2 x 10	19,540	14,228	37	17,300	14,228	22	11,599	7,229	60
Holmlia	1 x 10	8,862	7,128	24	6,575	6,049	9	0,594	2,870	-79
Alnabru	1 x 10	4,366	-	-	3,561	3,380	5	2,518	2,355	7
Lillestrøm	2 x 12	18,677	-	-	11,824	10,360	14	7,343	5,597	31



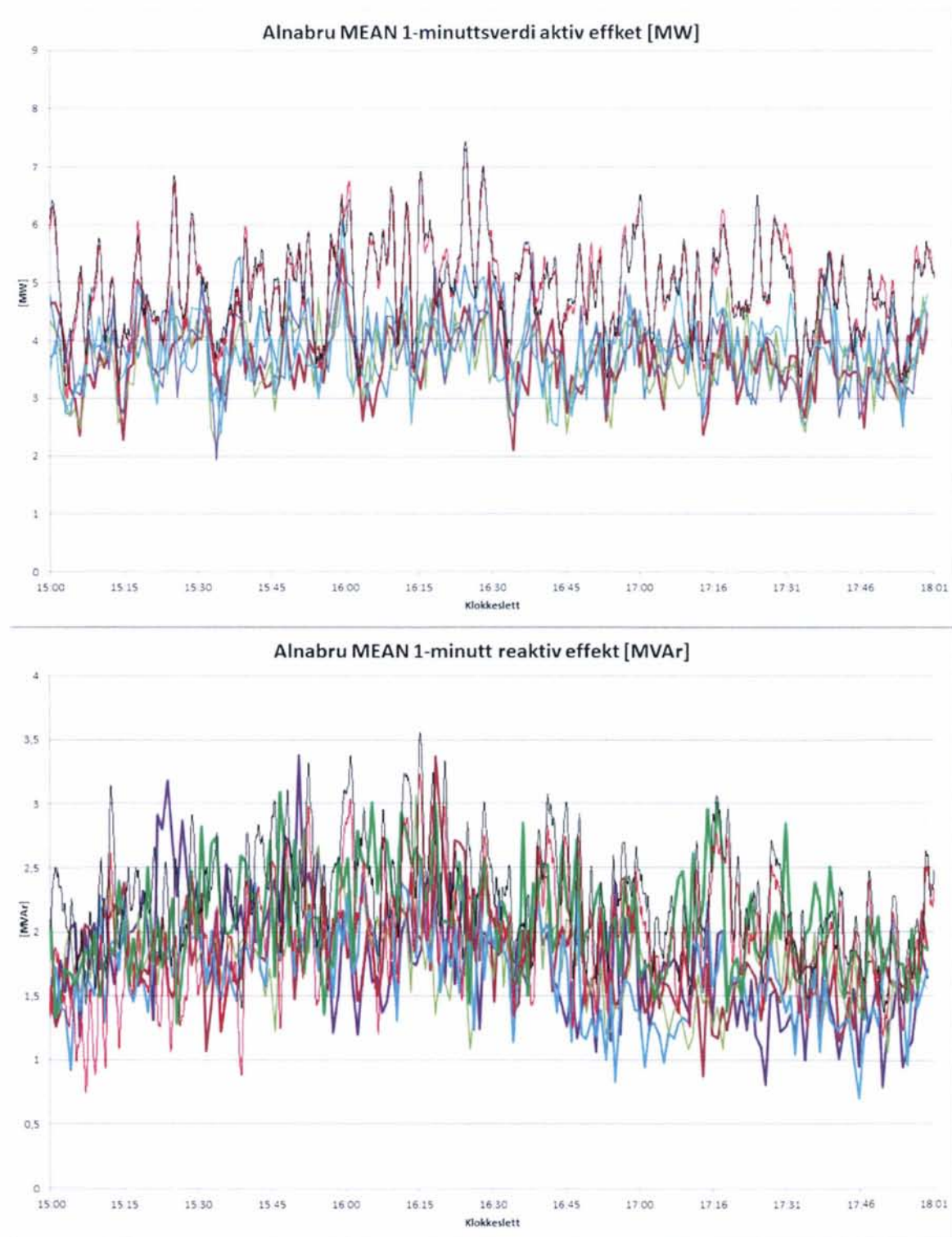
Figur 2-15 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen med korrigert ruteplan og redusert hastighet for noen tog, den røde med opprinnelig hastighet. De tykke strekene viser målingene for; blå – 26.sep, brun - 27.sep, grønn – 28.sep, fiolett - 29.sep, turkis – 30. sep.



Figur 2-16 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen med korrigert ruteplan og redusert hastighet for noen tog, den røde med opprinnelig hastighet. De tykke strekene viser målingene for; blå – 26.sep, brun - 27.sep, grønn – 28.sep, fiolett - 29.sep, turkis – 30. sep.



Figur 2-17 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen med korrigert ruteplan og redusert hastighet for noen tog, den røde med opprinnelig hastighet. De tykke strekene viser målingene for; blå – 26.sep, brun - 27.sep, grønn – 28.sep, fiolett - 29.sep, turkis – 30. sep.



Figur 2-18 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen med korrigert ruteplan og redusert hastighet for noen tog, den røde med opprinnelig hastighet. De tykke strekene viser målingene for; blå – 7.nov, turkis – 8.nov, grønn – 9.nov, brun – 10. nov og fiolett – 11.nov.

2.5 Simulering med korrigeret ruteplan redusert hastighet og luftmotstand i tunnelene

Det er utført en simulering med både redusert hastighet som forklart i avsnitt 2.4 og redusert faktor for luftmotstand i tunnelene 2.3. Maksimalbelastningen er redusert med noen få prosentpoeng når disse to modellendingene virker samtidig, se Tabell 2-12 og Tabell 2-13. Grafene for effektopptaket for omformerstasjonene er vist i Figur 2-19, Figur 2-20, Figur 2-21 og Figur 2-22 og som en ser er det variabelt hvor mye effektreduksjonen får å si for alle effektoppene som opptrer.

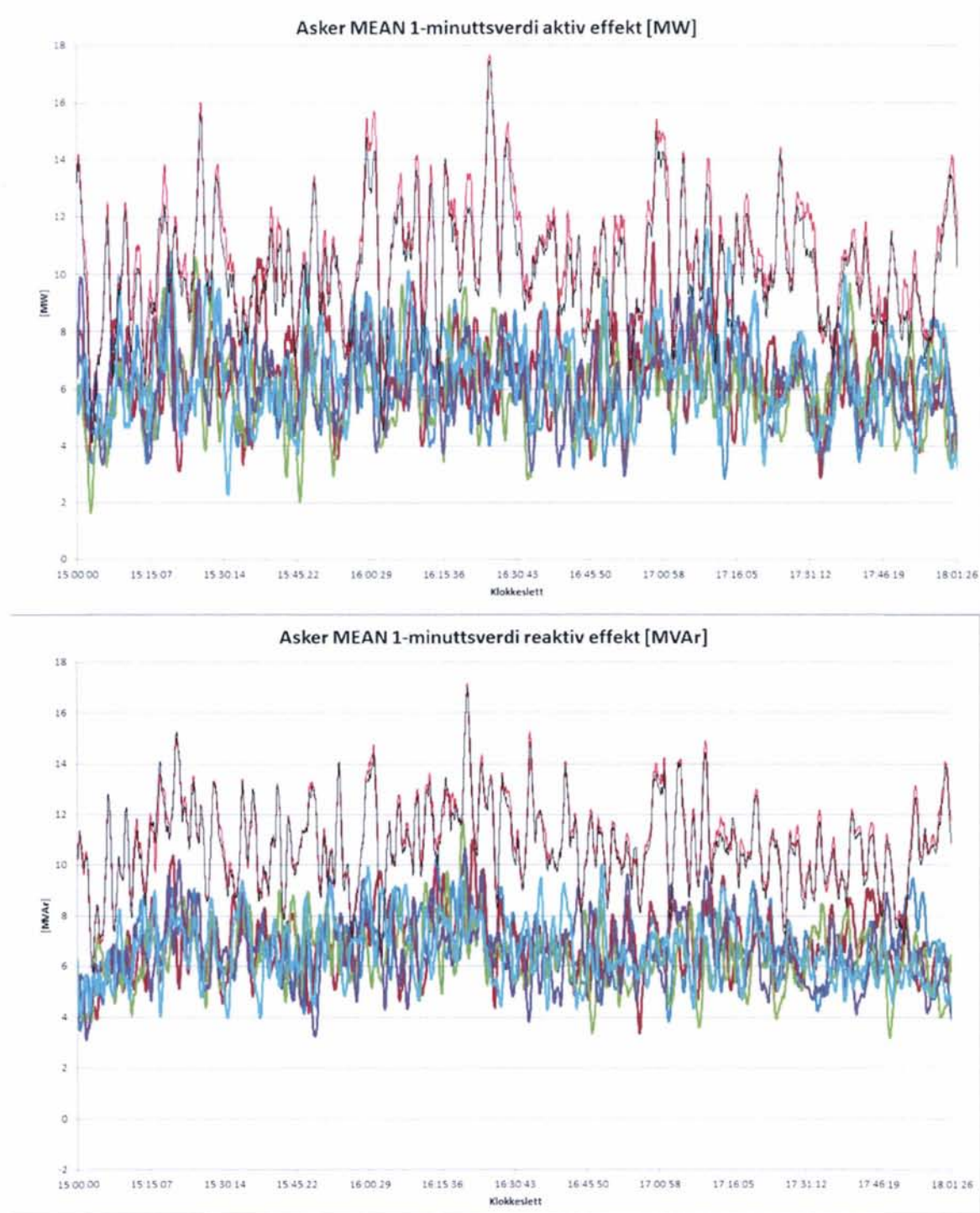
Det er i Figur 2-23 vist aktiv effekt for et flytog fra Oslo til Gardermoen når det kjører etter skiltet hastighet og tidligere brukt faktor for luftmotstand i tunneler, rød kurve og med reduksjon vist med blå kurve. Som en kan se reduseres ikke maksimal effekt som toget trekker, men varigheten blir redusert. Romeriksporten er omentrent mellom km 4 og 20 i figuren. Dette er et tog som ikke stopper på Lillestrøm og det kan kjøre gjennom stasjonen i 160 km/t. Toget kan dermed oppnå 210 km/t i Romeriksporten og begrensningen til 160 km/t er en reell hastighetsreduksjon. Derimot må Flytogene som skal stoppe på Lillestrøm begrense hastigheten sin i tunnelen, og de vil dermed aldri oppnå noe mer enn litt over 160 km/t. I ruteplanen for tidsrommet mellom 15:00 og 18:00 er det 12 tog som skal stoppe på Lillestrøm og 10 tog som kjører forbi. Dette kan være forklaringen på at denne begrensningen ikke får større betydning for effektproduksjonen i omformerstasjonene.

Tabell 2-12 Maksimal belastning av omformerstasjonene for aktiv effekt. Prosentverdien viser hvor mye de simulerte verdiene er over de målte.

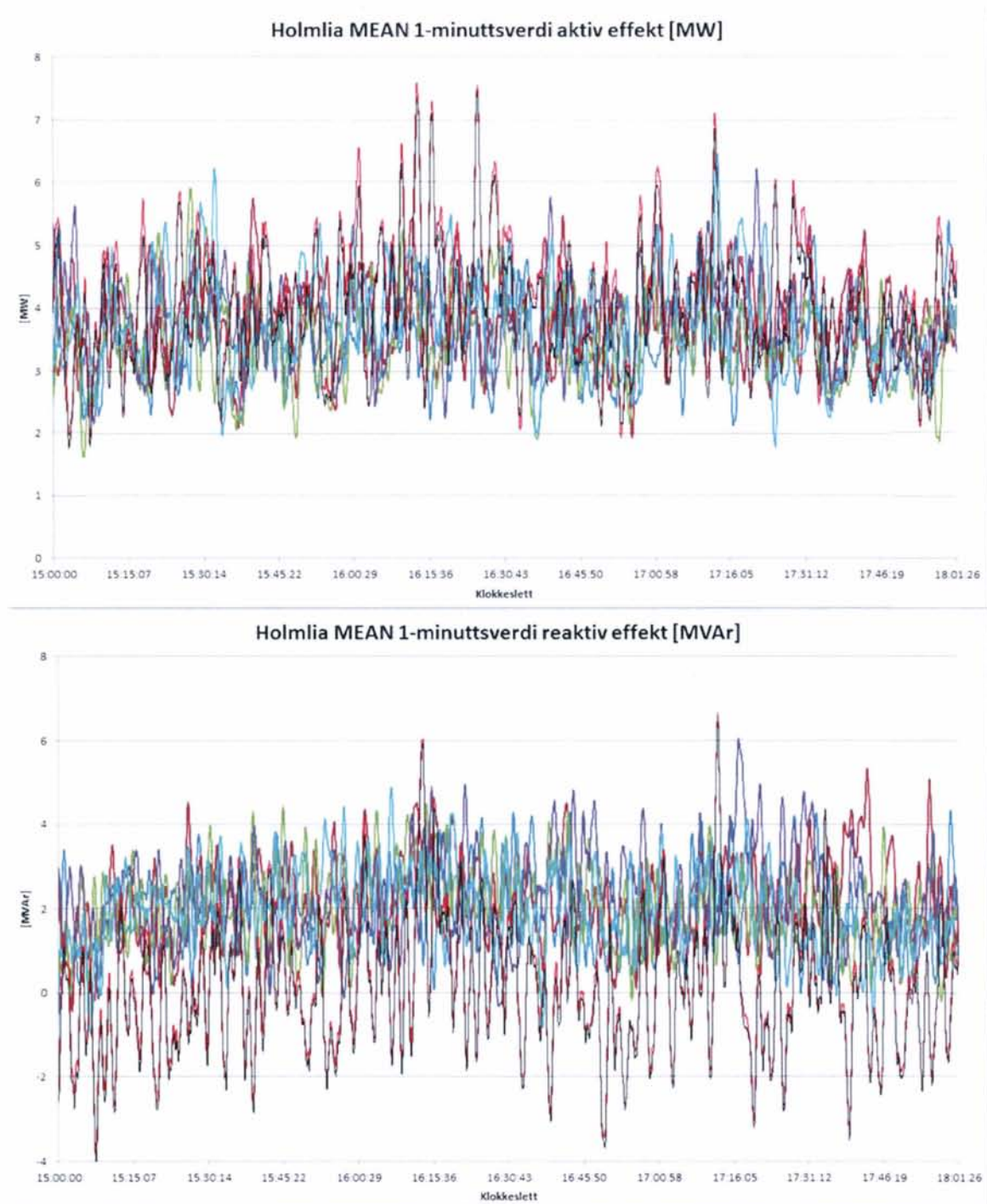
Høyeste belastning av omformerstasjonene målt og simulerte verdier i MW Undersøkelse med korrigeret ruteplan, redusert hastighet og redusert luftmotstand i tunnelene										
Omformer	Innsatt ytelse	Aktiv effekt i MEAN-verdier								
		3-sek			1-minutter			1-time		
		Simulering	Måling	%	Simulering	Måling	%	Simulering	Måling	%
Asker	2 x 10	20,131	15,224	32	17,467	11,572	51	10,800	6,933	56
Holmlia	1 x 10	10,253	6,871	49	7,471	6,446	16	4,295	4,086	5
Alnabru	1 x 10	8,555	-	-	7,347	5,550	32	5,093	3,792	34
Lillestrøm	2 x 12	23,508	-	-	17,593	14,710	20	11,634	10,510	11

Tabell 2-13 Maksimal belastning av omformerstasjonene for reaktiv effekt. Prosentverdien viser hvor mye de simulerte verdiene er over de målte.

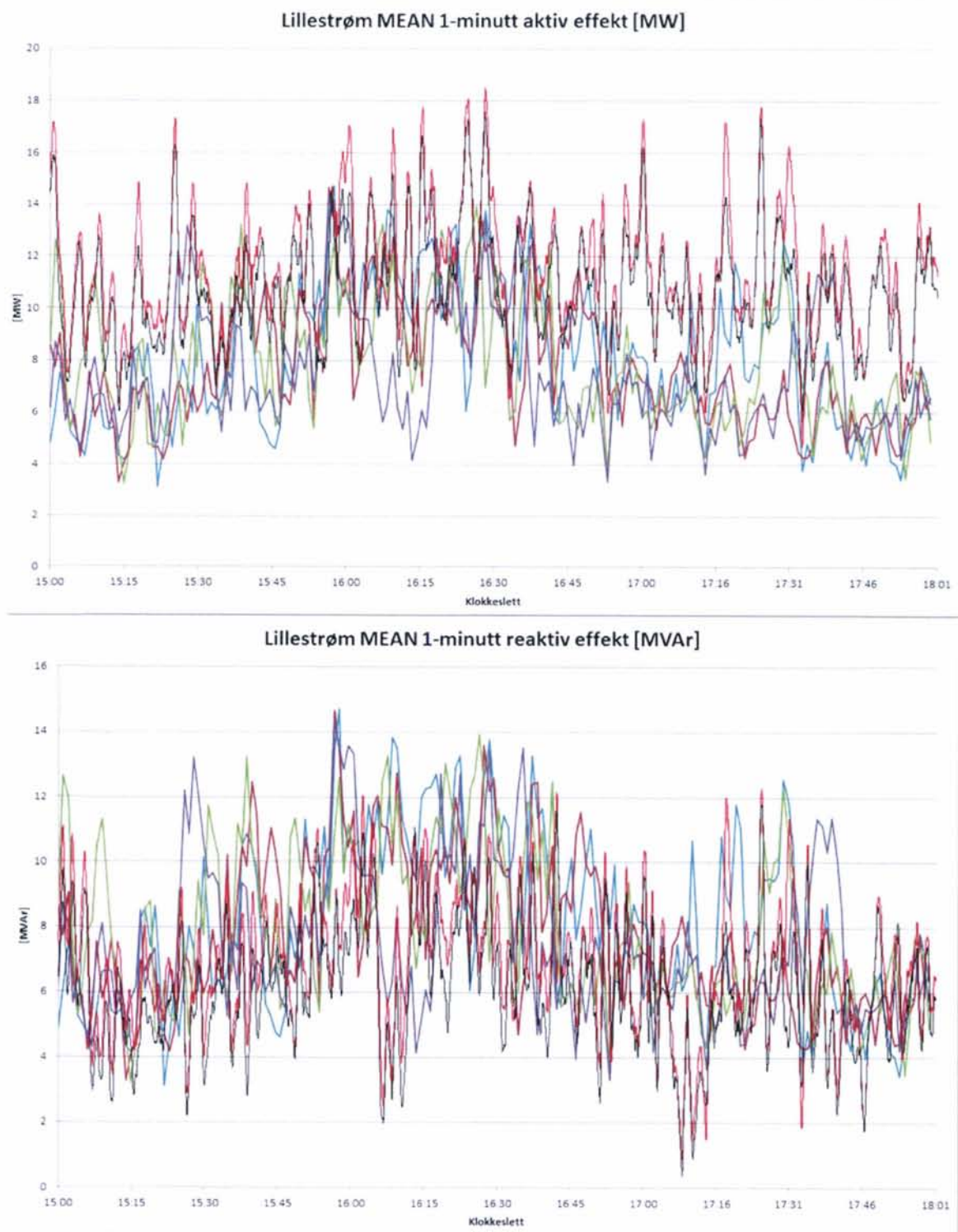
Høyeste belastning av omformerstasjonene målt og simulerte verdier i MVAR Undersøkelse med korrigeret ruteplan, redusert hastighet og redusert luftmotstand i tunnelene										
Omformer	Innsatt ytelse	Reaktiv effekt i MEAN-verdier								
		3-sek			1-minutter			1-time		
		Simulering	Måling	%	Simulering	Måling	%	Simulering	Måling	%
Asker	2 x 10	19,270	14,228	35	17,025	14,228	20	11,345	7,229	57
Holmlia	1 x 10	8,739	7,128	23	6,559	6,049	8	0,536	2,870	-81
Alnabru	1 x 10	4,289	-	-	3,508	3,380	4	2,477	2,355	5
Lillestrøm	2 x 12	18,682	-	-	11,815	10,360	14	7,096	5,597	27



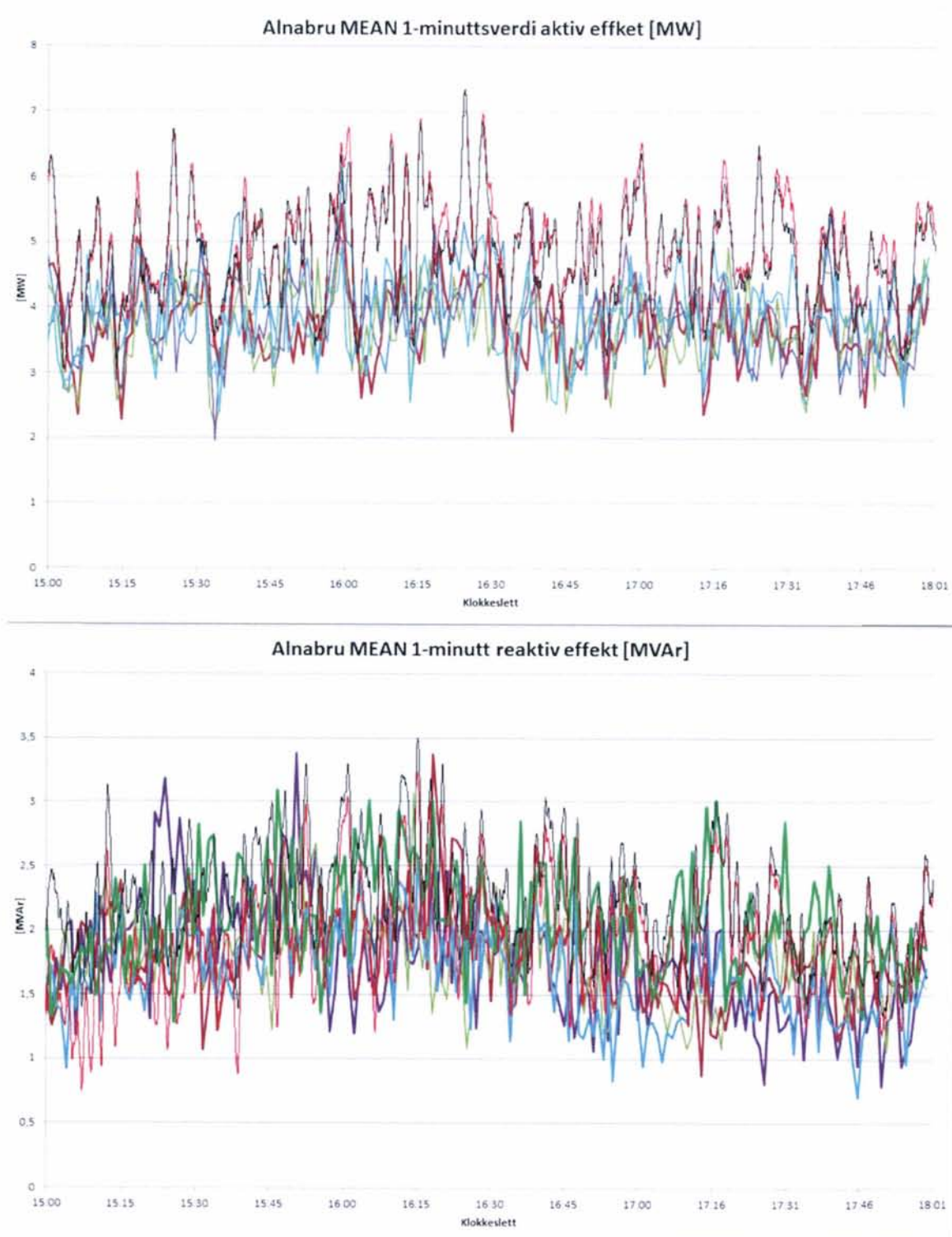
Figur 2-19 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen med korrigert ruteplan, redusert hastighet for noen tog og redusert luftmotstand i tunnelen. Den røde viser grafen opprinnelig hastighet og luftmotstand. De tykke strekene viser målingene for; blå – 26.sep, brun -27.sep, grønn – 28.sep, fiolett - 29.sep, turkis – 30. sep.



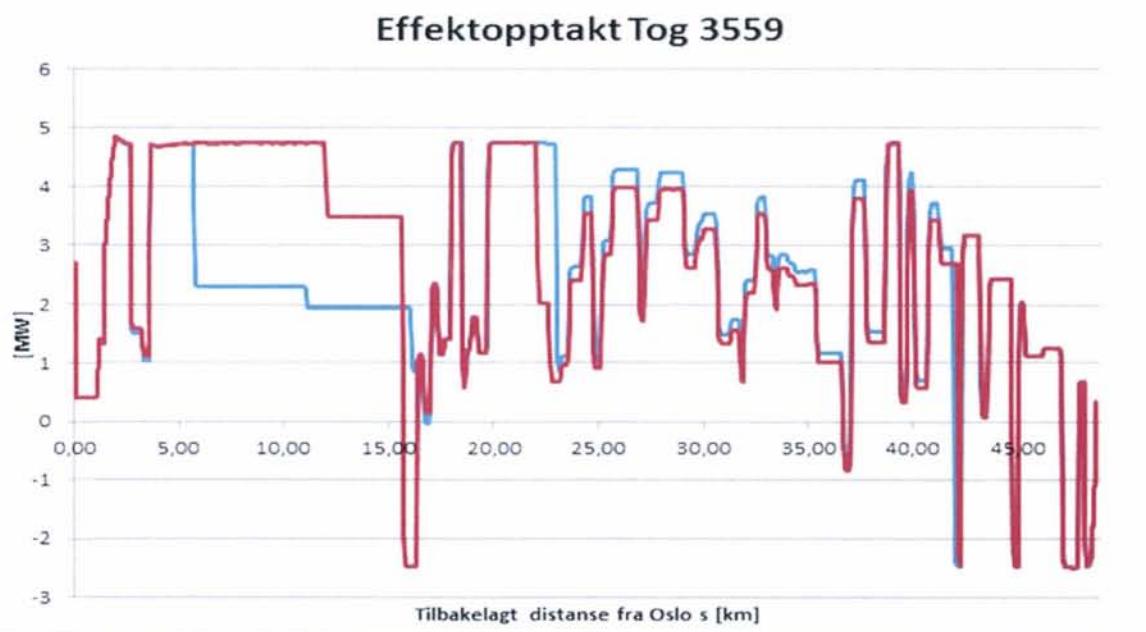
Figur 2-20 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen med korrigert ruteplan, redusert hastighet for noen tog og redusert luftmotstand i tunnelen. Den røde viser grafen opprinnelig hastighet og luftmotstand. De tykke strekene viser målingene for; blå – 26.sep, brun -27.sep, grønn – 28.sep, fiolett - 29.sep, turkis – 30. sep.



Figur 2-21 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen med korrigert ruteplan, redusert hastighet for noen tog og redusert luftmotstand i tunnelen. Den røde viser grafen opprinnelig hastighet og luftmotstand. De tykke strekene viser målingene for; blå – 26.sep, brun -27.sep, grønn – 28.sep, fiolett - 29.sep, turkis – 30. sep.



Figur 2-22 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen med korrigert ruteplan, redusert hastighet for noen tog og redusert luftmotstand i tunnelen. Den røde viser grafen opprinnelig hastighet og luftmotstand. De tykke strekene viser målingene for; blå – 7.nov, turkis – 8.nov, grønn – 9.nov, brun – 10. nov og fiolett – 11.nov.



Figur 2-23 Effekttopptakt for Flytog fra direkte fra Oslo til Gardermoen. Den blå grafen viser aktiv effekt med redusert luftmotstand i tunnelen og redusert hastighet. Den røde viser effekttopptaket med opprinnelige forhold.

2.6 Simulering med korrigert ruteplan redusert hastighet og luftmotstand i tunnelene samt redusert pådrag for godstogene

Den siste simuleringen er utført med både redusert luftmotstand i tunnelene, redusert hastighet for de aktuelle togene og pådragsbegrensning til 70 % for godstogene. Dette fordi lokomotiver for godstog kjøres i manuell modus og lokomotivførere som kjenner ruten gjerne kjører med forsiktig pådrag. Se for øvrig [4] der målinger er utført for godstog på Sørlandsbanen. Nedenfor viser Tabell 2-14 og Tabell 2-15 belastningen. Sammenlignet med forrige simulering i avsnitt 2.5 der godstogene ikke hadde pådragsbegrensning kan se at dette har minimal betydning for høyeste belastning. Allikevel holdes det som sannsynlig at disse tre modellendringene er sannsynlige å gi et godt bilde av virkeligheten.

I dette avsnittet er det laget mange flere kurver enn det som har vært presentert i de tidligere avsnittene og det blir kommentert mer inngående angående forskjellene. Nedenfor viser Figur 2-24, Figur 2-25 og Figur 2-26 grafer for henholdsvis 3-sekunders, 1-minutts og 1-times aktiv og reaktiv effekt for Asker. 3-sekundersverdiene er presentert med stor oppløsning rundt tidspunktet der måling og simulering viser maksimal belastning. Som en ser er det en viss formlikhet mellom simulering og måling, men alle de fem kurvene for de fem dagene viser ganske store forskjeller. Når simuleringen gir en maksimaleffekt på ca. 21 MW viser den høyeste målingen en maksimalverdi på 12 MW. Altså mye større verdi enn høyeste registrerte målte 3-sekundersverdi, i Tabell 2-14. Når det gjelder reaktiv effekt i Figur 2-24 er forskjellene når det gjelder formlikhet mellom kurvene enda større. Kurvene for 1-minuttsverdier viser at simuleringene er fem til syv MW og MVAR over de målte verdiene. Også for timesverdiene er simuleringene fire til fem MW og MVAR større.

For Holmlia er målinger og simuleringer sammenlignet for 3-sekunders, 1-minutts og 1-times verdier av aktiv og reaktiv effekt, se henholdsvis Figur 2-27, Figur 2-28 og Figur 2-29. For 3-

sekundersverdien av aktiv effekt kan det se ut som om knapt noen av kurvene har formlikhet. For de målte verdiene er det bare innenfor visse perioder av noen minutters varighet at to dager gir noenlunde like resultater. Den simulerte verdien viser på sin side bare formlikhet innenfor små perioder og da for én eller to dager. Forskjellen mellom høyeste aktive effekt fra simuleringene og målingene er ca. 5 MW. Den reaktive effekten er jevnt over lavere enn de målte verdiene, og forskjellen mellom høyeste målte og simulerte verdi er på rundt 1 MVA. Også her er formlikheten for alle kurvene nokså ulike. For 1-minuttsverdiene som er vist for hele døgnet er det enklere å se formlikhet mellom de fem målte dagene og simulerte verdier. Unntaket er muligens størst i tiden rundt maksimal belastning. Rundt klokken 16:15 oppstår det seks effekttopper alle på rundt 6 MW. Målingene derimot oppviser bare moderat belastning rundt denne tiden og ingen toppe som er direkte sammenfallende. Imidlertid er høyeste målte og simulerte toppe rundt klokken 17:15 mer sammenfallende. For reaktiv effekt er forskjellene større og det er vanskelig å se noen formlikhet mellom noen av kurvene. Når det gjelder timesverdier for aktiv effekt er målte og simulerte verdier nokså like, mens det for reaktiv effekt er simulert med mellom 2,5 og 1,1 MVA lavere verdier.

For Lillestrøm eksisterer det ikke målinger for verdier lavere enn ett minutt. I Figur 2-30 er det vist 1-minuttsverdier for målingene de fem dagene og simulerte verdier med modellendringene med svart kurve og uten endringene med rødt. De simulerte verdiene er vist som løpende verdier hvert sekund, mens de målte verdiene er vist som gjennomsnittsverdier hvert minutt. Dermed vil de målte verdiene jevne ut høye og lave verdier innenfor hvert minutt. For å få de simulerte verdiene mer sammenlignbare er det laget en kurve der gjennomsnittet for de rundt seksti verdiene i ett minutt er representert med en gjennomsnittverdi hvert minutt. Dette er vist med en svart tykk kurve.

For Lillestrøm og Alnabru benyttes minuttsverdier som inneholder gjennomsnittlig belastning for hvert minutt. Simuleringene benytter et glidende gjennomsnitt for minuttverdier, med en minuttverdi per sekund. Dette kan gi noe avvik mellom simulerte og målte verdier.

For simuleringene er det problematisk å lage en god algoritme som tar hensyn til iterasjonsskrittene i simuleringen med ulik lengde. Dermed blir også resultatverdiene av ulik lengde, for eksempel at noen minutter har 59 oppgitte verdier, mens andre har 60. Dette gir ikke veldig store feil, og avviket blir størst mot slutten av simulingsperioden. Uansett er det interessant å se at den svarte tykke grafen viser verdier og formlikhet nokså lik de målte. For reaktiv effekt er forskjellen mellom målte og simulerte verdier ganske forskjellige både når det gjelder formlikhet og størrelse. Når det gjelder 1-timesverdi av aktiv og reaktiv effekt for Lillestrøm er kan en se at formlikheten er nokså forskjellig, men at forskjellen mellom høyeste og målte verdi knapt er 2 MW/MVA.

Verdiene for Alnabru omformerstasjon er minuttverdier tilsvarende verdiene fra Lillestrøm. I Figur 2-32 er målinger og simuleringer for 1-minuttsverdier vist for aktiv og reaktiv effekt. Også her er det laget en tykk svart strek for simuleringer med verdier midlet for hvert minutt. Studeres kurvene for aktiv effekt sees en viss likhet for effekttoppene, men simuleringene ligger ofte en eller to MW over målingene. Spesielt er det også her liten sammenheng mellom målte og simulerte effekttoppe rundt klokken 16:15. For reaktiv effekt ser det derimot ut til å være mer samsvar for målte og simulerte verdier rundt klokken 16:15. Her er de målte verdiene ofte større enn de simulerte. For timesverdiene ser en igjen stor forskyvning av toppverdien for målte og simulerte verdier, men en ser at forskjellen i absoluttverdi ikke er større enn ca 1,5 MW for aktiv effekt, se Figur 2-33. For reaktiv effekt er høyeste timesverdier nokså like for målte og simulerte verdier.

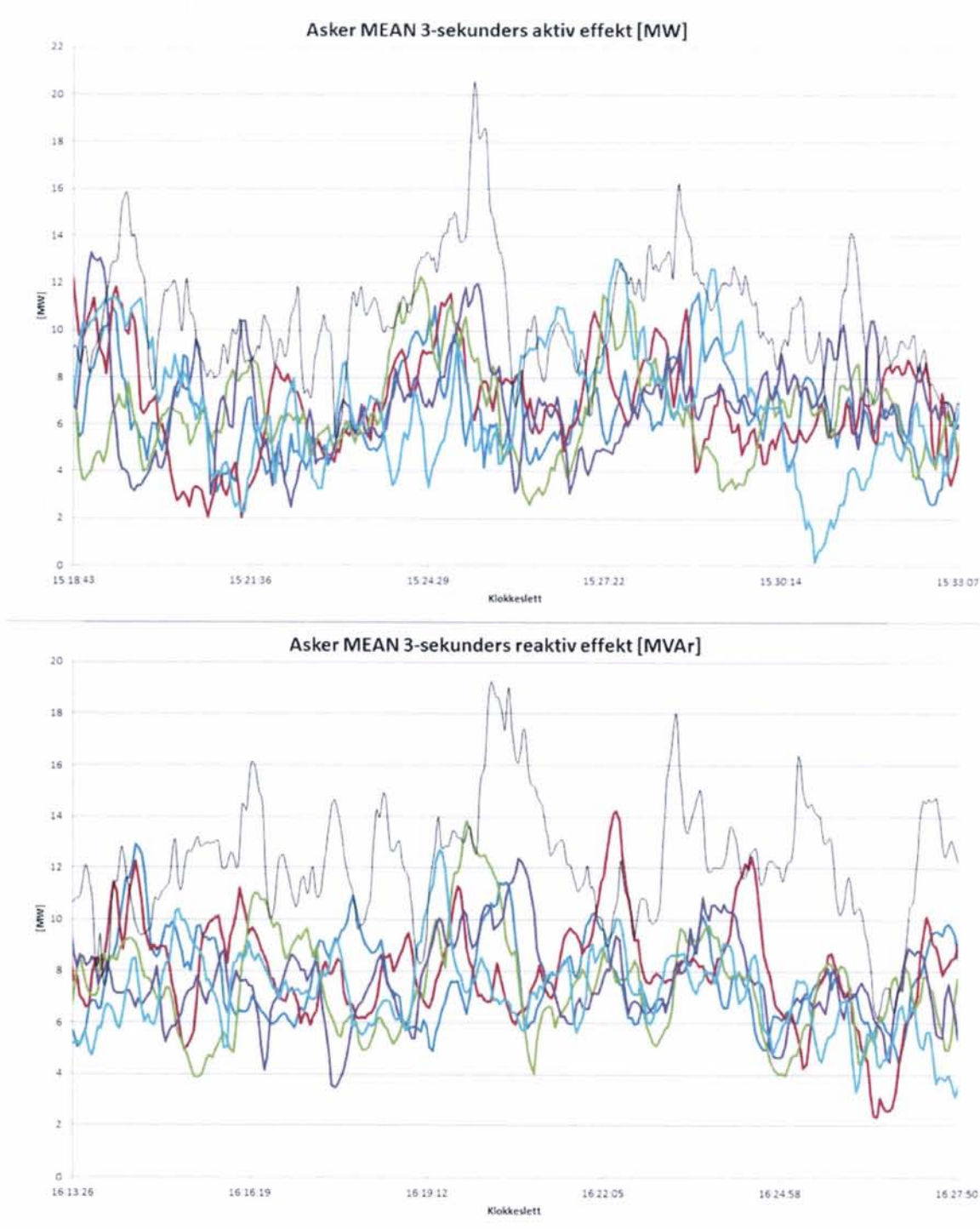
Figur 2-34 viser summen av effekten til de fire omformerstasjonene. For å gjøre sammenligningene mer relevant er det her laget kurver med en oppløsning på ett minutt for alle målingene og simuleringen. Dette er forklart ovenfor og den tykke svarte streken gjelder for simulerte verdier. Den høyeste 1-minuttsverdien av aktiv effekt oppstår klokken ca. klokken 16:10 i simuleringen og verdien da er ca 43 MW. Målingene viser noe nær ett minimum i dette tidspunktet. Høyeste målte verdi ser ut til å oppstå ca. klokken 15:50 og verdien da er ca. 30 MW. Altså angir simuleringen en høyeste summert effekt som er 43 % høyere enn målingene. For reaktiv effekt er muligens formligheten mellom kurvene noe større og høyeste simulerte verdi midt i rushtiden er 24 MVAR, mens den målte er rundt 21 MVAR. Altså er den simulerte verdien 18 % høyere enn den målte.

Tabell 2-14 Maksimal belastning av omformerstasjonene for aktiv effekt. Prosentverdien viser hvor mye de simulerte verdiene er over de målte.

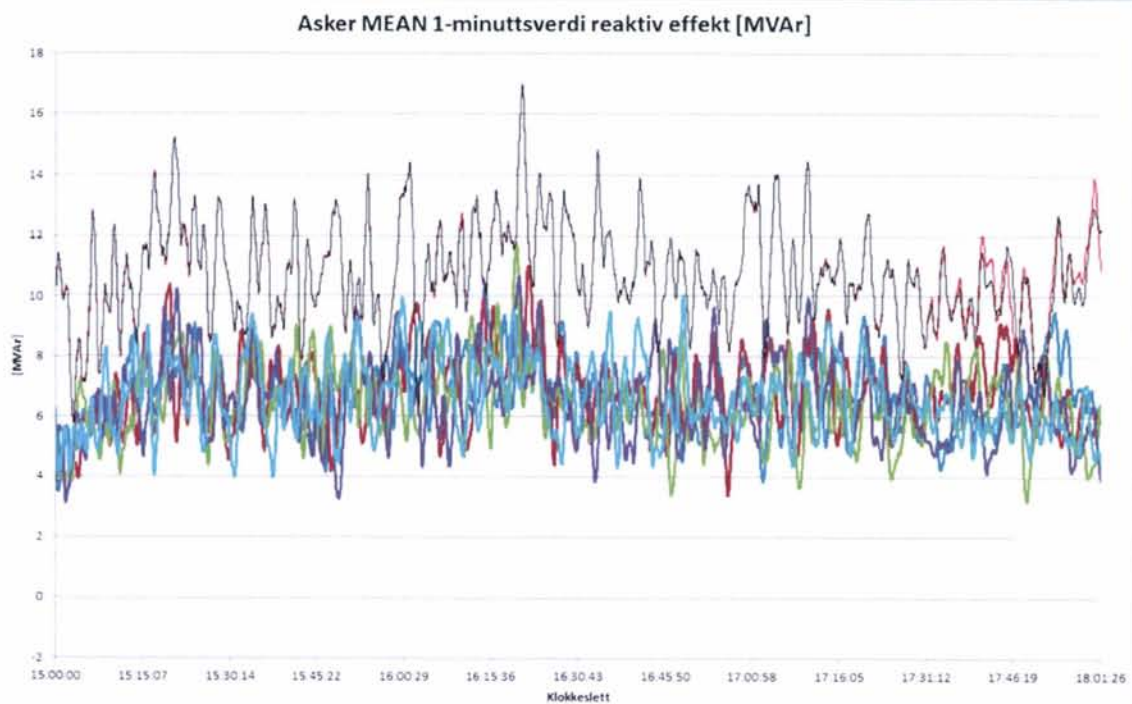
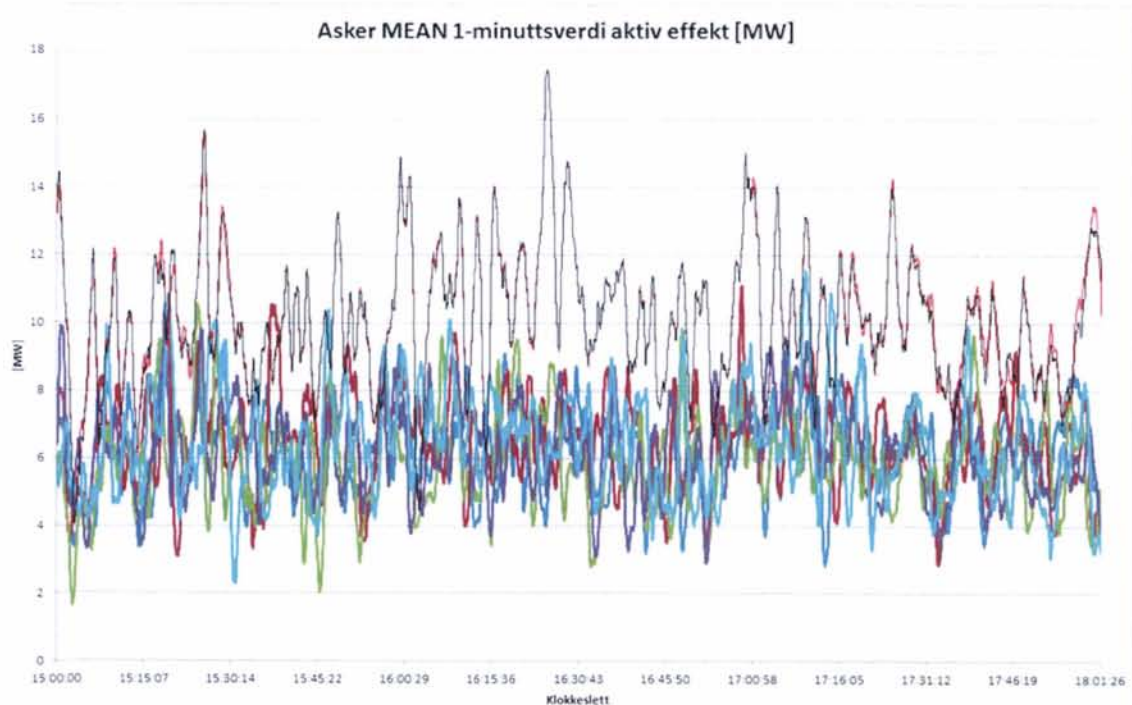
Høyeste belastning av omformerstasjonene målt og simulerte verdier i MW Undersøkelse med korrigert ruteplan, redusert hastighet og redusert luftmotstand i tunnelene, samt pådragsbegrensning for godstogene.										
Omformer	Innsatt ytelse	Aktiv effekt i MEAN-verdier								
		3-sek			1-minutter			1-time		
		[MVA]	Simulering	Måling	%	Simulering	Måling	%	Simulering	Måling
Asker	2 x 10	20,557	15,224	35	17,473	11,572	51	10,791	6,933	56
Holmlia	1 x 10	10,207	6,871	49	7,471	6,446	16	4,290	4,086	5
Alnabru	1 x 10	8,526	-	-	7,354	5,550	33	5,090	3,792	34
Lillestrøm	2 x 12	23,389	-	-	17,566	14,710	19	11,628	10,510	11

Tabell 2-15 Maksimal belastning av omformerstasjonene for reaktiv effekt. Prosentverdien viser hvor mye de simulerte verdiene er over de målte.

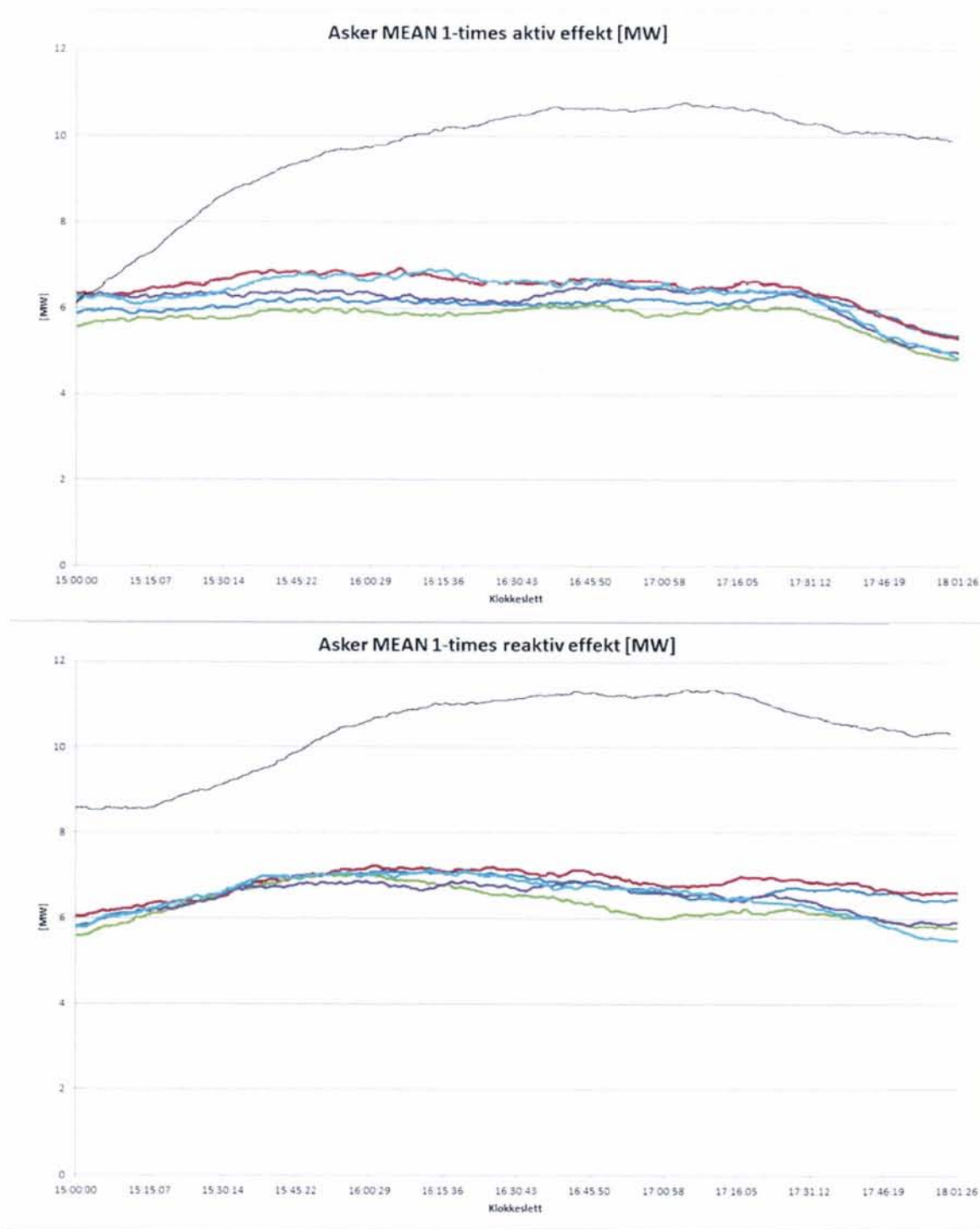
Høyeste belastning av omformerstasjonene målt og simulerte verdier i MVAR Undersøkelse med korrigert ruteplan, redusert hastighet og redusert luftmotstand i tunnelene, samt pådragsbegrensning for godstogene.										
Omformer	Innsatt ytelse	Reaktiv effekt i MEAN-verdier								
		3-sek			1-minutter			1-time		
		[MVA]	Simulering	Måling	%	Simulering	Måling	%	Simulering	Måling
Asker	2 x 10	19,259	14,228	35	16,980	14,228	19	11,348	7,229	57
Holmlia	1 x 10	8,758	7,128	23	6,592	6,049	9	0,534	2,870	-81
Alnabru	1 x 10	4,344	-	-	3,523	3,380	4	2,477	2,355	5
Lillestrøm	2 x 12	15,618	-	-	11,612	10,360	12	7,107	5,597	27



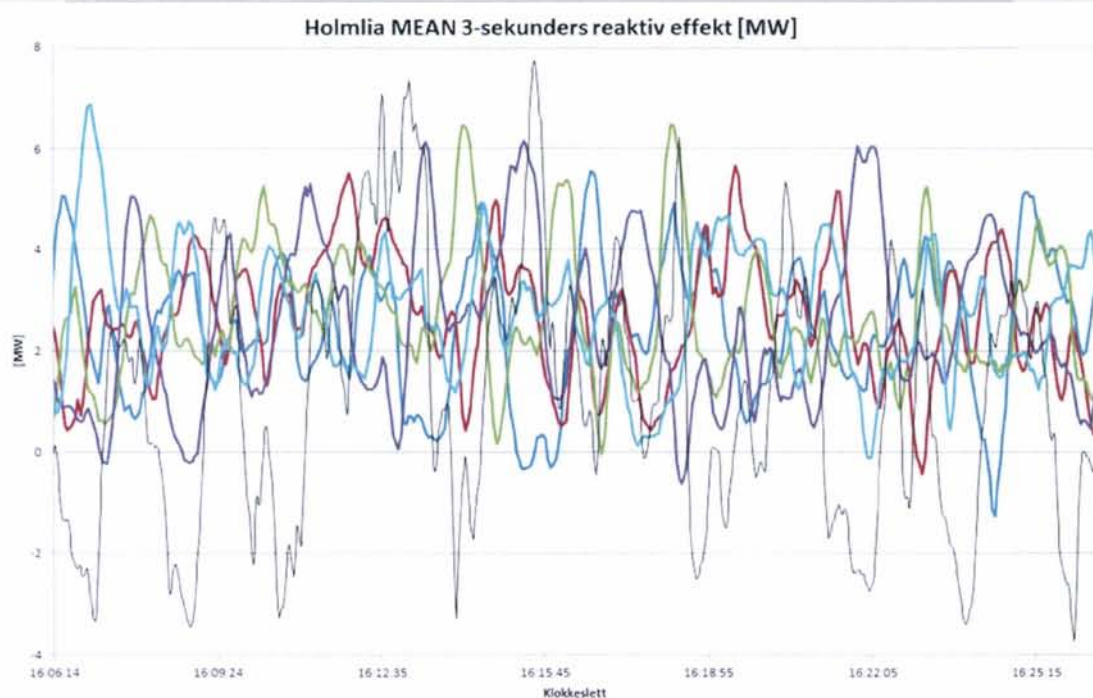
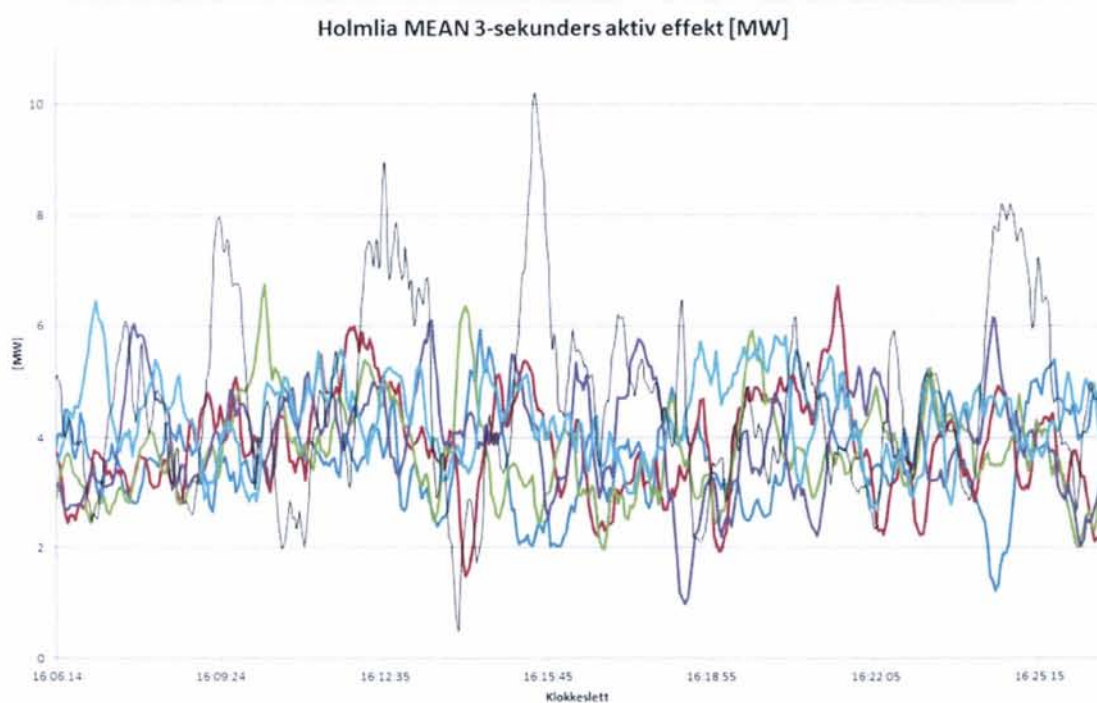
Figur 2-24 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen med korrigert ruteplan, redusert hastighet for noen tog, redusert luftmotstand i tunnelen og pådragsbegrensning for godstogene. Den røde viser grafen opprinnelige forhold med korrigert ruteplan. De tykke strekene viser målingene for; blå – 26.sep, brun -27.sep, grønn – 28.sep, fiolett - 29.sep, turkis – 30. sep.



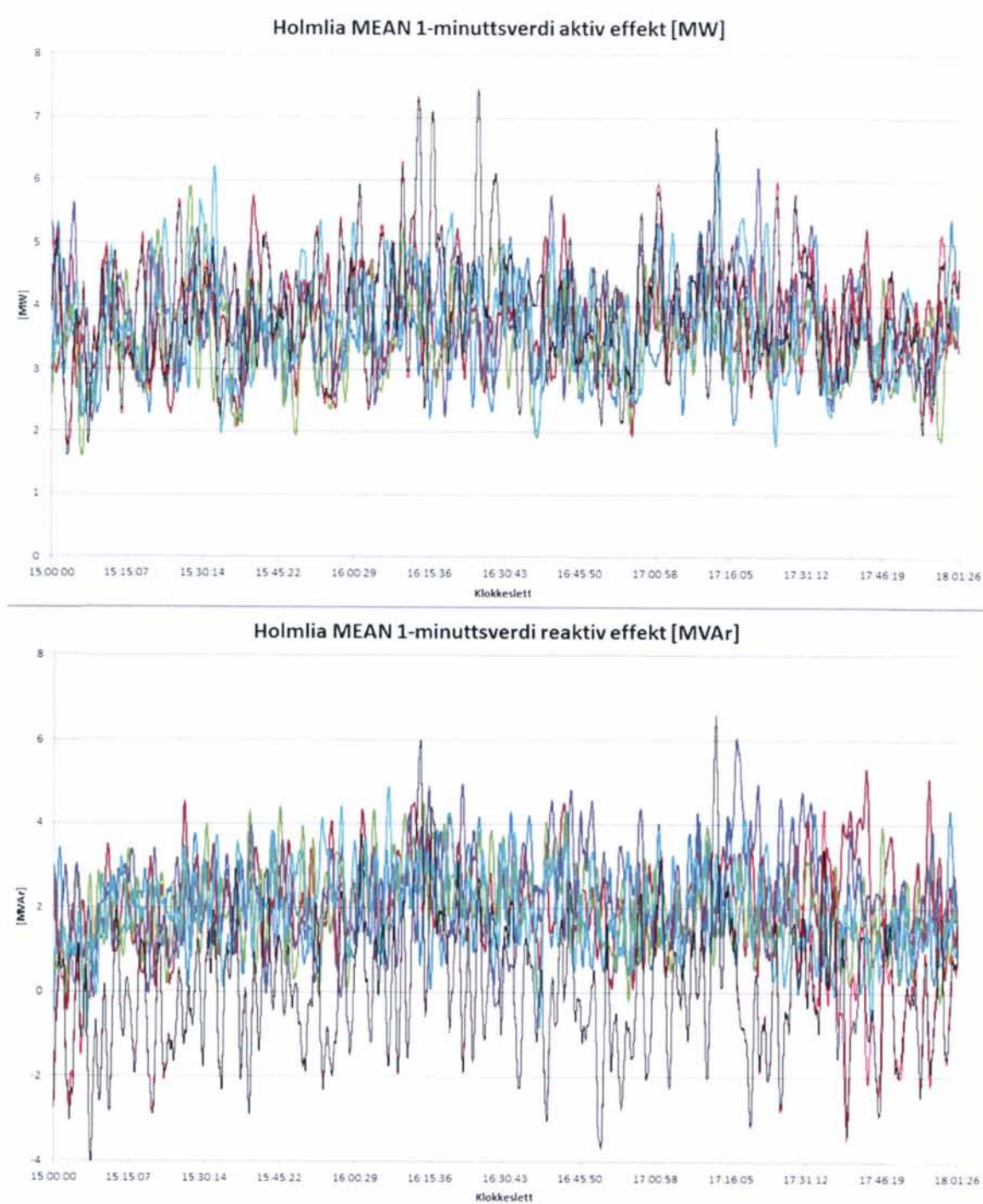
Figur 2-25 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen med korrigert ruteplan, redusert hastighet for noen tog, redusert luftmotstand i tunnelen og pådragsbegrensning for godstogene. Den røde viser grafen opprinnelige forhold med korrigert ruteplan. De tykke strekene viser målingene for; blå – 26.sep, brun -27.sep, grønn – 28.sep, fiolett - 29.sep, turkis – 30. sep.



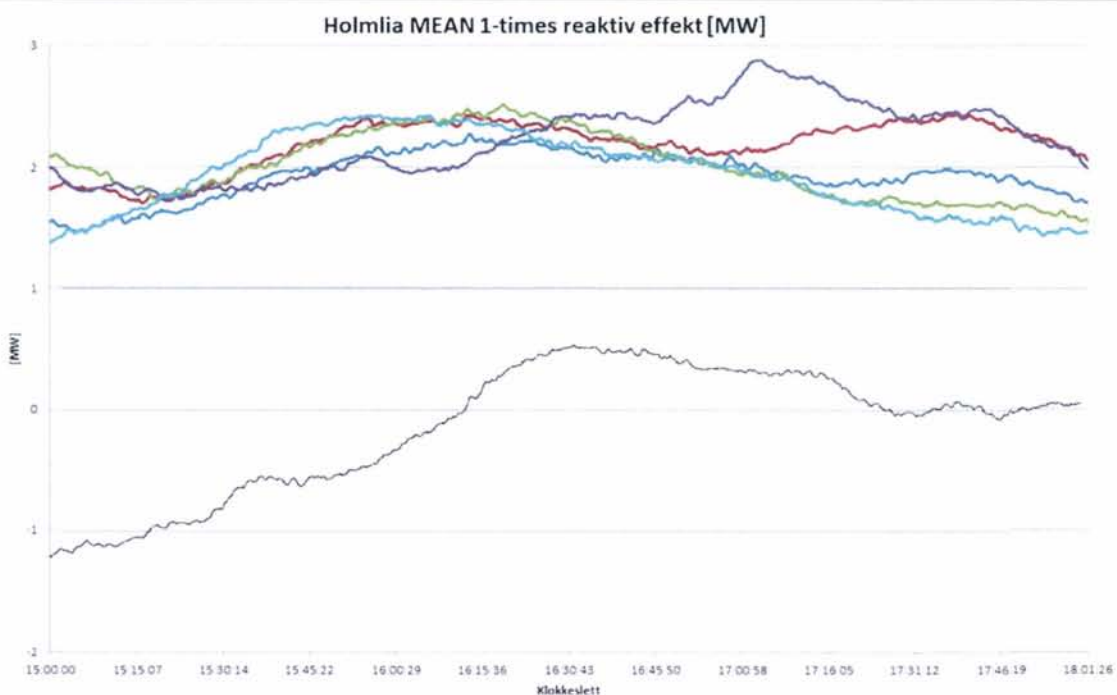
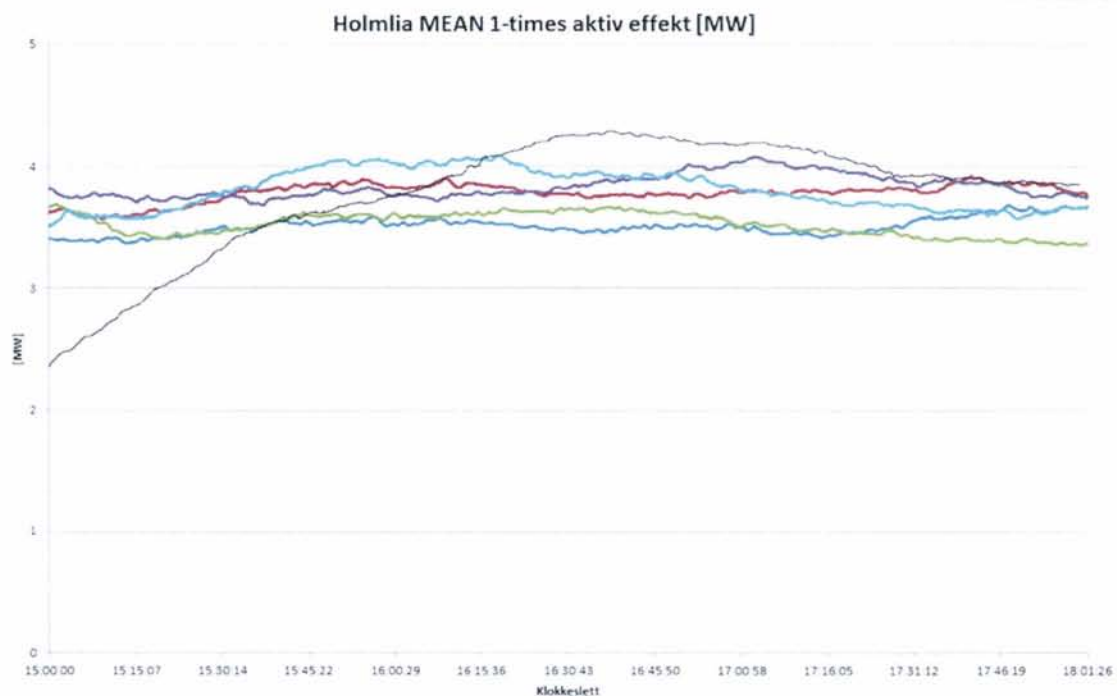
Figur 2-26 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen med korrigert ruteplan, redusert hastighet for noen tog, redusert luftmotstand i tunnelen og pådragsbegrensning for godstogene. Den røde viser grafen opprinnelige forhold med korrigert ruteplan. De tykke strekene viser målingene for; blå – 26.sep, brun – 27.sep, grønn – 28.sep, fiolett – 29.sep, turkis – 30. sep.



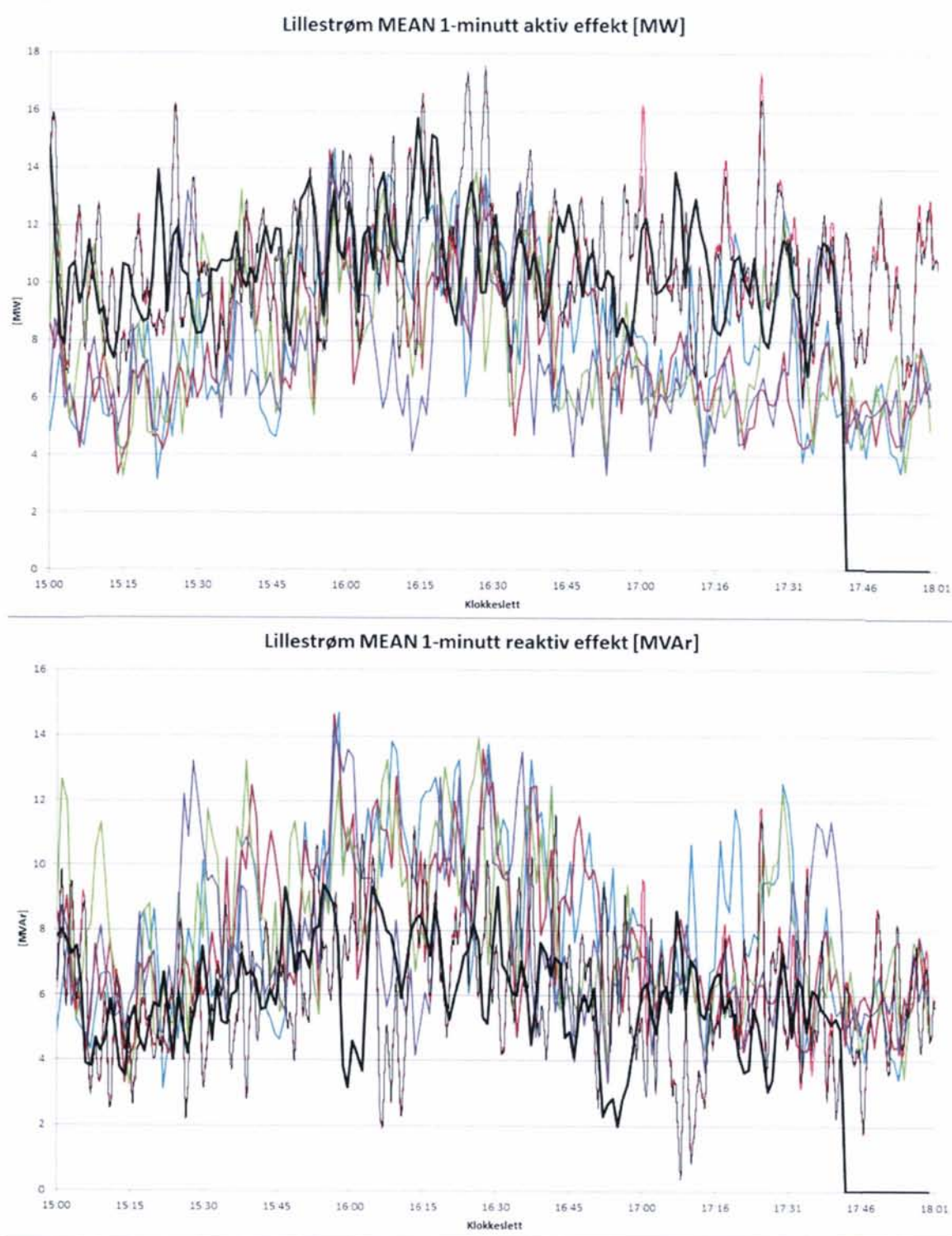
Figur 2-27 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen med korrigert ruteplan, redusert hastighet for noen tog, redusert luftmotstand i tunnelen og pådragsbegrensning for godstogene. Den røde viser grafen opprinnelige forhold med korrigert ruteplan. De tykke strekene viser målingene for; blå – 26.sep, brun -27.sep, grønn – 28.sep, fiolett - 29.sep, turkis – 30. sep.



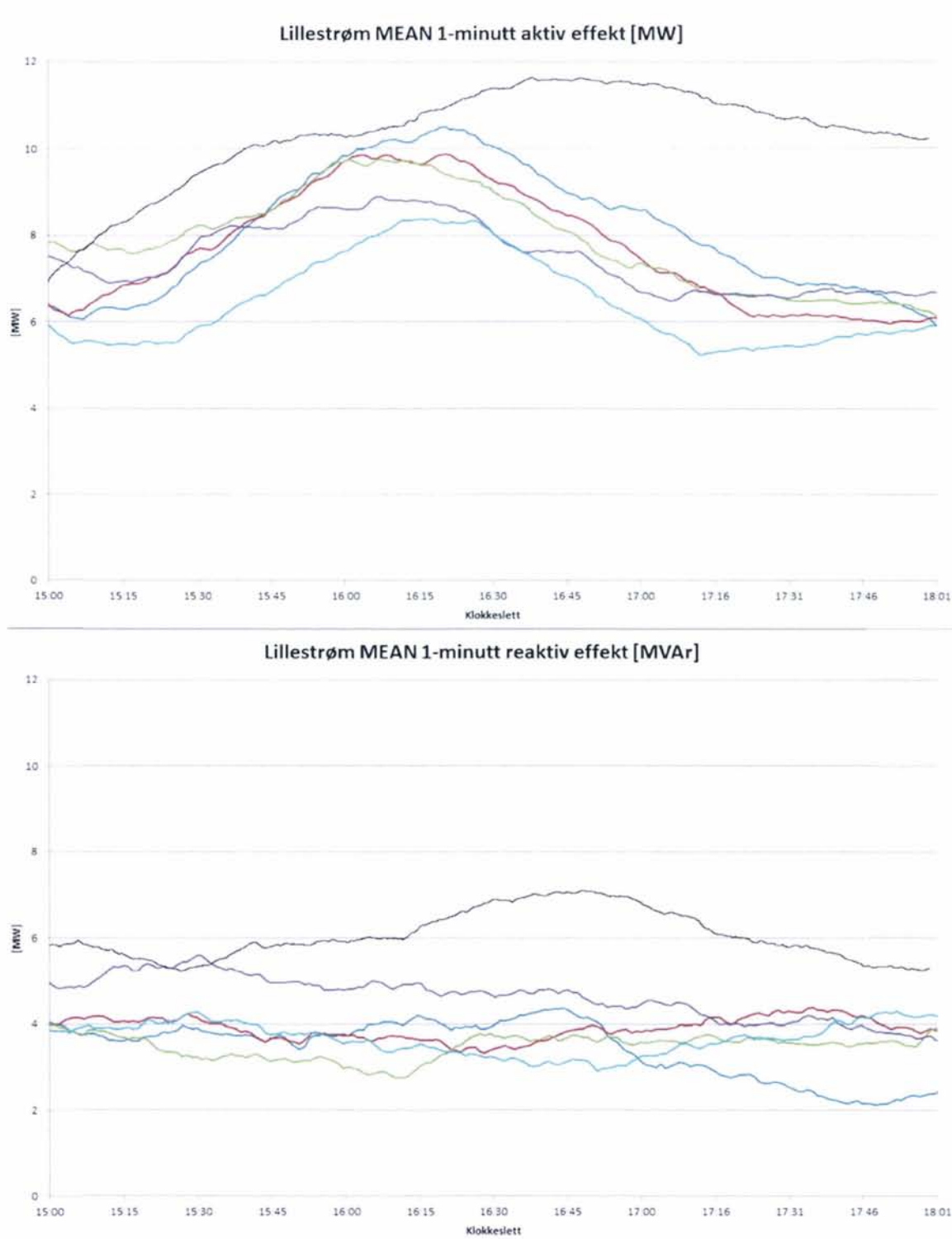
Figur 2-28 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen med korrigert ruteplan, redusert hastighet for noen tog, redusert luftmotstand i tunnelen og pådragsbegrensning for godstogene. Den røde viser grafen opprinnelige forhold med korrigert ruteplan. De tykke strekene viser målingene for; blå – 26.sep, brun -27.sep, grønn – 28.sep, fiolett - 29.sep, turkis – 30. sep.



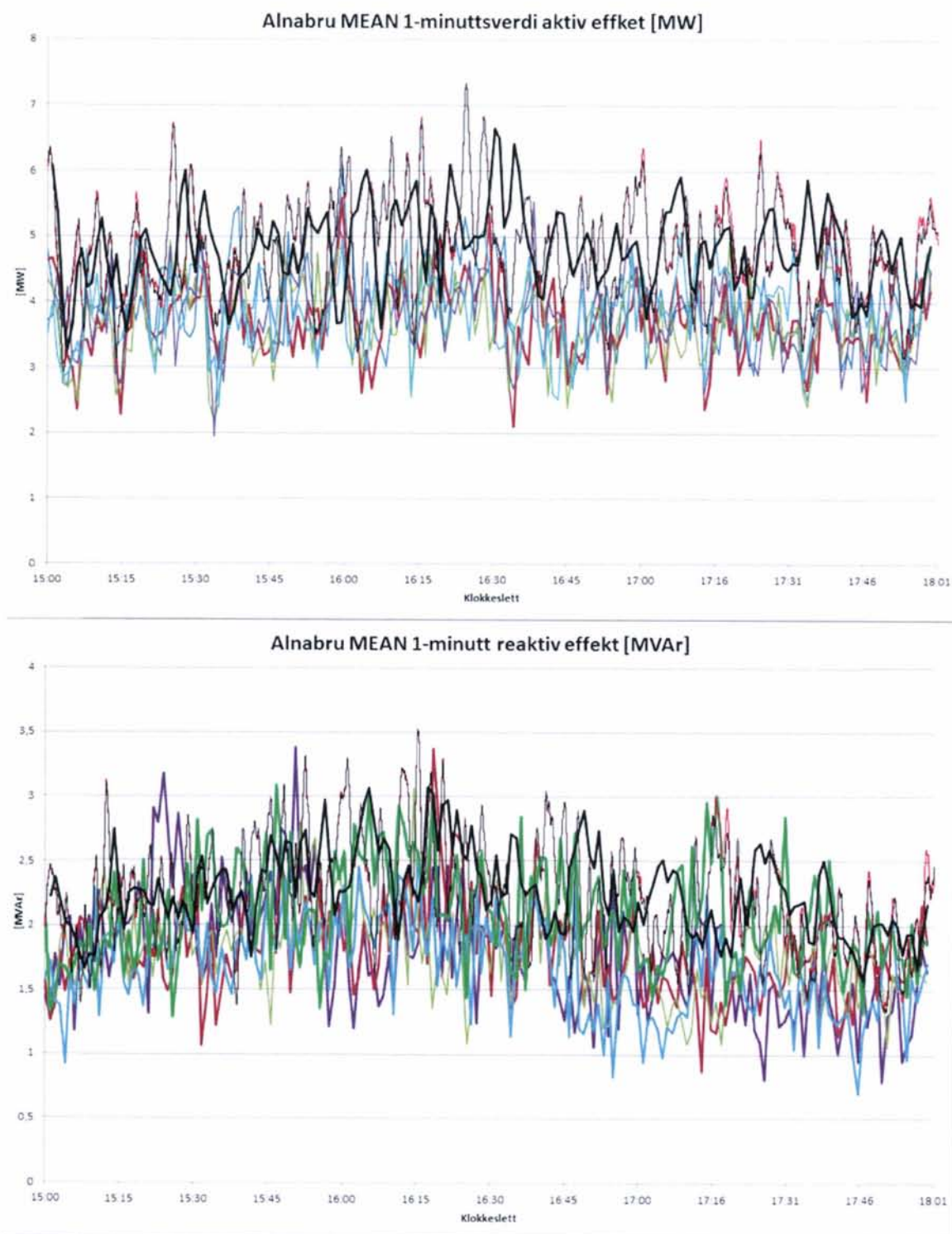
Figur 2-29 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen med korrigert ruteplan, redusert hastighet for noen tog, redusert luftmotstand i tunnelen og pådragsbegrensning for godstogene. Den røde viser grafen opprinnelige forhold med korrigert ruteplan. De tykke strekene viser målingene for; blå – 26.sep, brun -27.sep, grønn – 28.sep, fiolett - 29.sep, turkis – 30. sep.



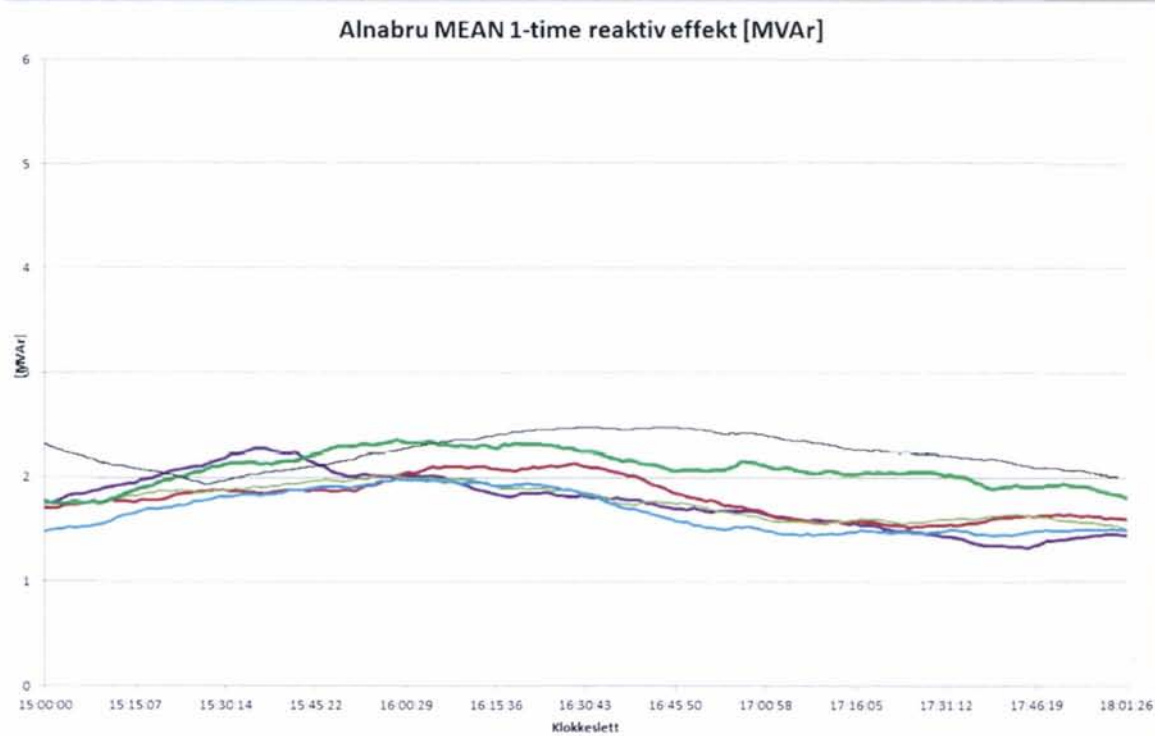
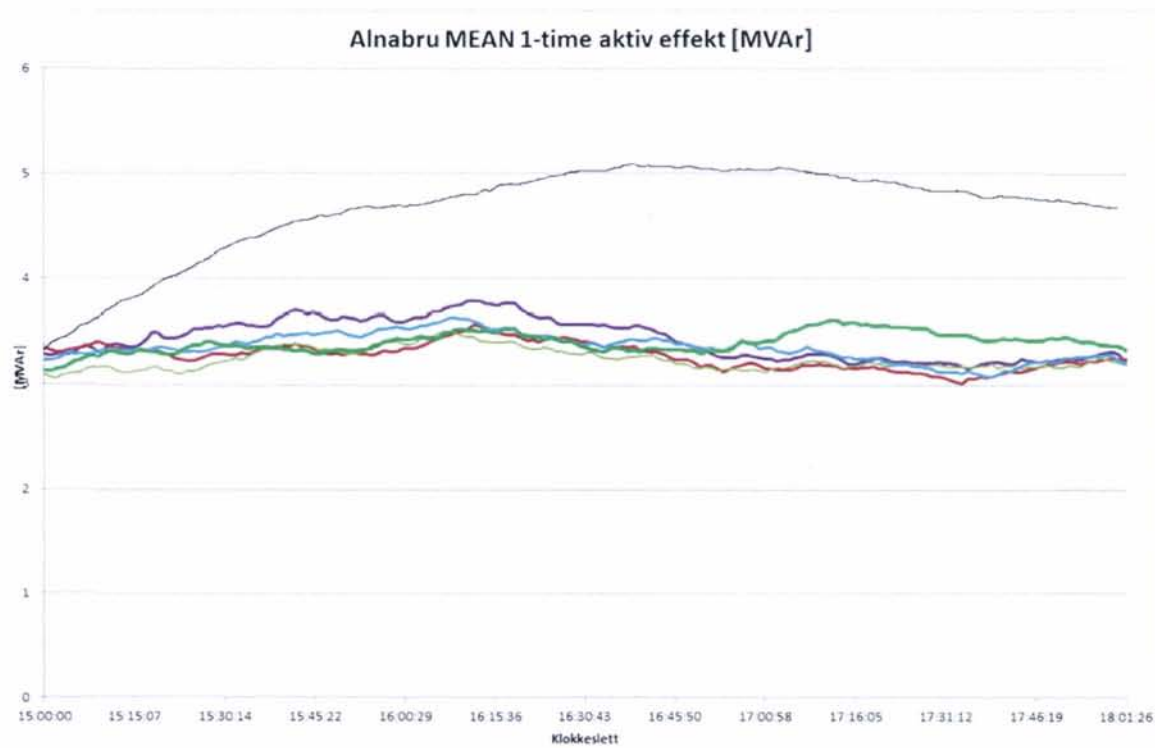
Figur 2-30 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen med korrigert ruteplan, redusert hastighet for noen tog, redusert luftmotstand i tunnelen og pådragsbegrensning for godstogene. Den røde viser grafen opprinnelige forhold med korrigert ruteplan. De tykke strekene viser målingene for; blå – 26.sep, brun -27.sep, grønn – 28.sep, fiolett - 29.sep, turkis – 30. sep.



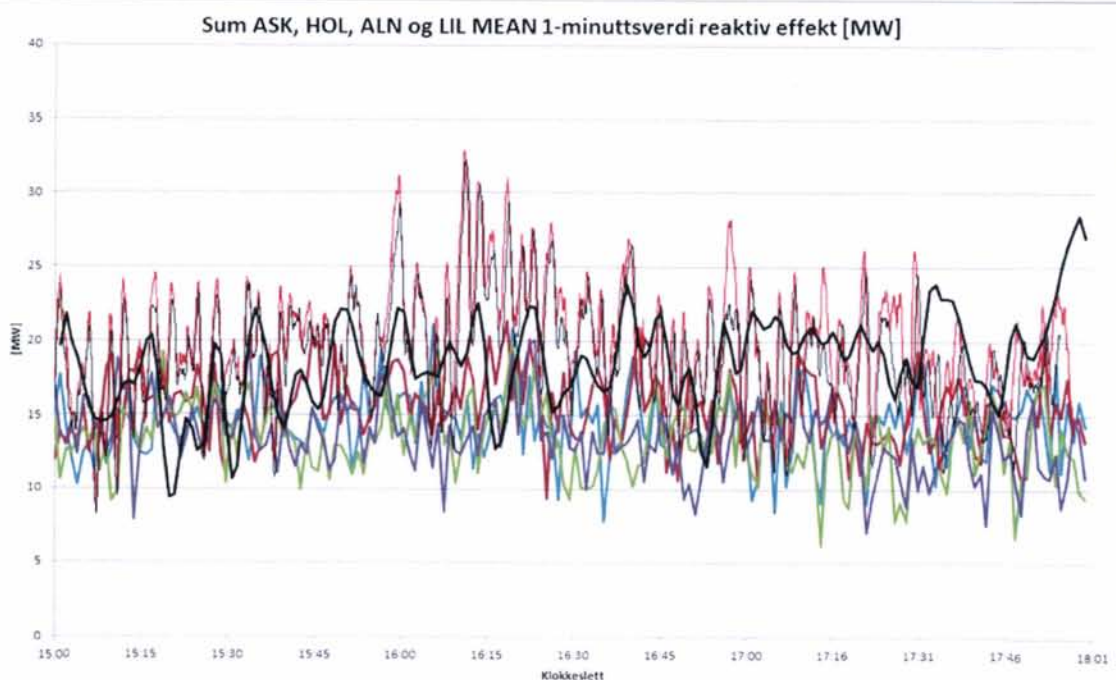
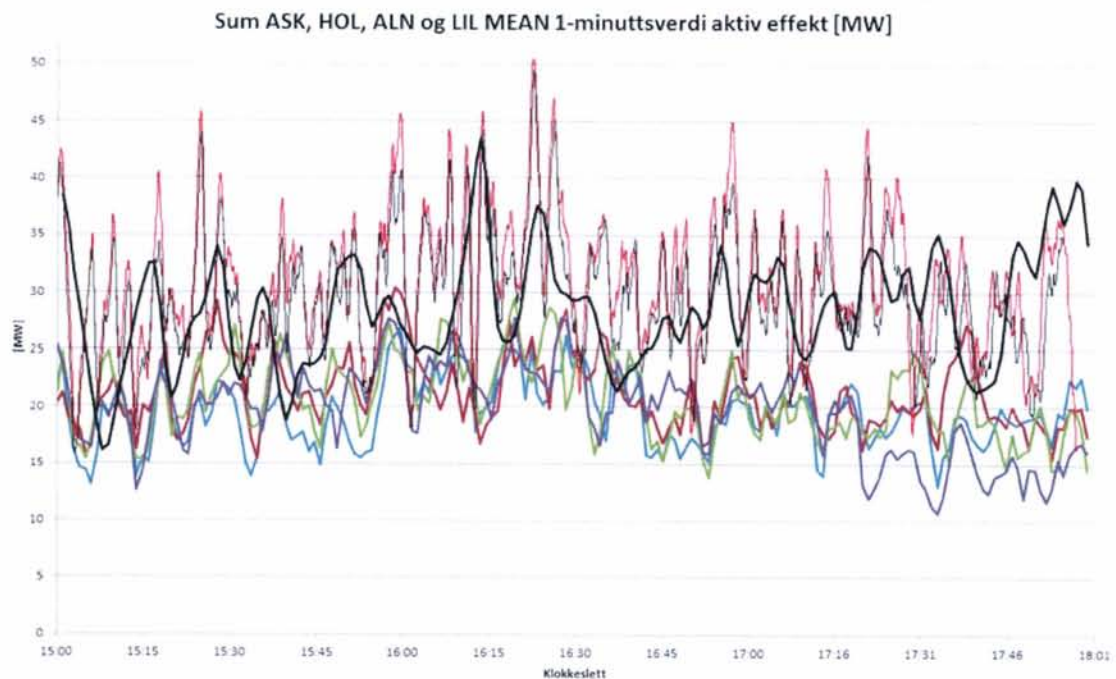
Figur 2-31 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen med korrigert ruteplan, redusert hastighet for noen tog, redusert luftmotstand i tunnelen og pådragsbegrensning for godstogene. Den røde viser grafen opprinnelige forhold med korrigert ruteplan. De tykke strekene viser målingene for; blå – 26.sep, brun -27.sep, grønn – 28.sep, fiolett - 29.sep, turkis – 30. sep.



Figur 2-32 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen med korrigert ruteplan, redusert hastighet for noen tog, redusert luftmotstand i tunnelen og pådragsbegrensning for godstogene. Den røde viser grafen opprinnelige forhold med korrigert ruteplan. De tykke strekene viser målingene for; blå – 7.nov, turkis – 8.nov, grønn – 9.nov, brun – 10. nov og fiolett – 11.nov.



Figur 2-33 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen med korrigert ruteplan, redusert hastighet for noen tog, redusert luftmotstand i tunnelen og pådragsbegrensning for godstogene. Den røde viser grafen opprinnelige forhold med korrigert ruteplan. De tykke strekene viser målingene for; blå – 7.nov, turkis – 8.nov, grønn – 9.nov, brun – 10. nov og fiolett – 11.nov.



Figur 2-34 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen med korrigert ruteplan, redusert hastighet for noen tog, redusert luftmotstand i tunnelen og pådragsbegrensning for godstogene. Den røde viser grafen opprinnelige forhold med korrigert ruteplan. De tykke strekene viser målingene for; blå – 7.nov, turkis – 8.nov, grønn – 9.nov, brun – 10. nov og fiolett – 11.nov.

Tabell 2-16 og Tabell 2-17 nedenfor viser henholdsvis gjennomsnitt og høyeste verdier for energiopptaket for målingene for de tre timene sammenlignet med simuleringene. Som en ser

er forskjellen mellom simuleringer og målinger nokså store, for høyeste målte verdier gir simuleringene 36 % høyere effektøkt enn målingene.

Tabell 2-16 Sammenligning av målt og simulert aktiv energi. Sammenligningen av målte gjennomsnittsverdier.

Høyeste belastning av omformerstasjonene målt og simulerte verdier i MWh Undersøkelse med korrigert ruteplan, redusert hastighet og redusert luftmotstand i tunnelene, samt pådragsbegrensning for godstogene. Gjennomsnittsverdier for målingene over 5 dager.								
Tid	ASK sim	ASK målt	HOL sim	HOL målt	LIL sim	LIL målt	ALN sim	ALN målt
15:00 - 16:00	9,69	5,75	3,73	3,65	10,55	7,30	4,65	3,36
16:00 - 17:00	10,61	5,97	4,14	3,73	11,76	8,98	4,98	3,40
17:00 - 18:00	9,88	5,96	3,83	3,67	10,43	6,43	4,63	3,31
Sum alle	30,18	17,68	11,70	11,05	32,74	22,71	14,26	10,07
Sum alle sim	<u>88,88</u>							
Sum alle målt	<u>61,51</u>							

Tabell 2-17 Sammenligning av målt og simulert aktiv energi. Sammenligningen av de høyeste målte verdier.

Høyeste belastning av omformerstasjonene målt og simulerte verdier i MWh Undersøkelse med korrigert ruteplan, redusert hastighet og redusert luftmotstand i tunnelene, samt pådragsbegrensning for godstogene. Høyeste verdier over 5 dager.								
Tid	ASK sim	ASK målt	HOL sim	HOL målt	LIL sim	LIL målt	ALN sim	ALN målt
15:00 - 16:00	9,69	6,24	3,73	3,77	10,55	7,21	4,65	3,51
16:00 - 17:00	10,61	6,29	4,14	3,82	11,76	10,11	4,98	3,55
17:00 - 18:00	9,88	6,30	3,83	3,88	10,43	7,11	4,63	3,30
Sum alle	30,18	18,83	11,70	11,46	32,74	24,43	14,26	10,36
Sum alle sim	<u>88,88</u>							
Sum alle målt	<u>65,09</u>							

Av Tabell 2-18 nedenfor kan en sammenligne energiforbruket for noen utvalgte togruter for målte og simulerte verdier. Det er forsøkt å velge tog slik at en både får undersøkt tog på forskjellige ruter og forskjellig materiell, men med færrest mulig tog for å begrense arbeidsomfanget. Ut fra energiforbruket ser en at noen tog i simuleringene bruker betydelig mer energi enn i målingene. En har kjennskap til at simuleringene typisk vil estimere 20 % mer energiforbruk enn gjennomsnitt i virkeligheten, se [7]. En vil her anta at en forskjell på rundt 10 til 20 % er innenfor det en normalt kan forvente.

Ut fra dette vil en forsøke å resonnerer seg frem til hva som kan være årsaken til denne store forskjellen. En begynner først med forhold som har med kjøreveien:

- Adhesjon – ikke sannsynlig fordi den må være så mye lavere i virkeligheten at togene kjører saktere enn normalt. Altså så sakte at det får betydning for energioptaket.
- Luftmotstand i tunneler – ikke sannsynlig fordi det har vært forsøkt å redusere koeffisienten for luftmotstand nokså mye og innenfor det intervallet som ansees normalt.

- Feil med kurvatur eller skiltet hastighet – ikke sannsynlig fordi mange tog har forbruk som virker normalt i forhold til forventet avvik. På Drammensbanen, Askerbanen, Gardermobanen, Hovedbanen, Østforlodbanen og Gardermobanen ser en at energiforbruket er innenfor det et kan forvente for mange tog. Spesielt ser en at Flytoget (3764 og 3773) bruker veldig mye mer energi i simuleringene mellom Oslo og Drammen, men at lokaltog 2146 og 2149 bruker bare litt mer energi enn målingene. En mulighet kan være at Flytoget følger annen hastighet enn oppgitt.¹
- For stort energioptak til hjelpekraft – meget sannsynlig med tanke på det store antallet tog som trekker hjelpekraft som på en kald vinterdag. Typisk er effektuttaket til varme i togene på 100 – 200 kW for et lokaltogsett.
- For stor masse for enkelte togmodeller – mulig, men det er antatt 70 – 80 % passasjerbelegg i modellene og det vil neppe utgjøre mange tonn ekstra om passasjertallet er noe mindre eller større. Dette belegget eller mer ansees sannsynlig i dagens trafikksituasjon.
- Feil med oppgitt maksimalhastighet for togmodeller – mulig, men dette er kontrollert.
- Feil med rulle- og luftmotstand for noen togmodeller – mulig feilkilde, dette er kontrollert og noen feil er funnet, se neste avsnitt, 2.8

Tabell 2-18 Sammenligning mellom målte og simulerte verdier for effektopptaket utvalgte tog.

¹ Det opplyses om en uoffisiell kilde til informasjon som sier at togførerne holder lavere hastighet enn skiltet på Askerbanen. Dette for å spare energi. Internt i Flytogets organisasjon er det forskjellige oppfatninger om måter å kjøre på for å spare energi og forskjellige lokomotivførere tester forskjellige måter.

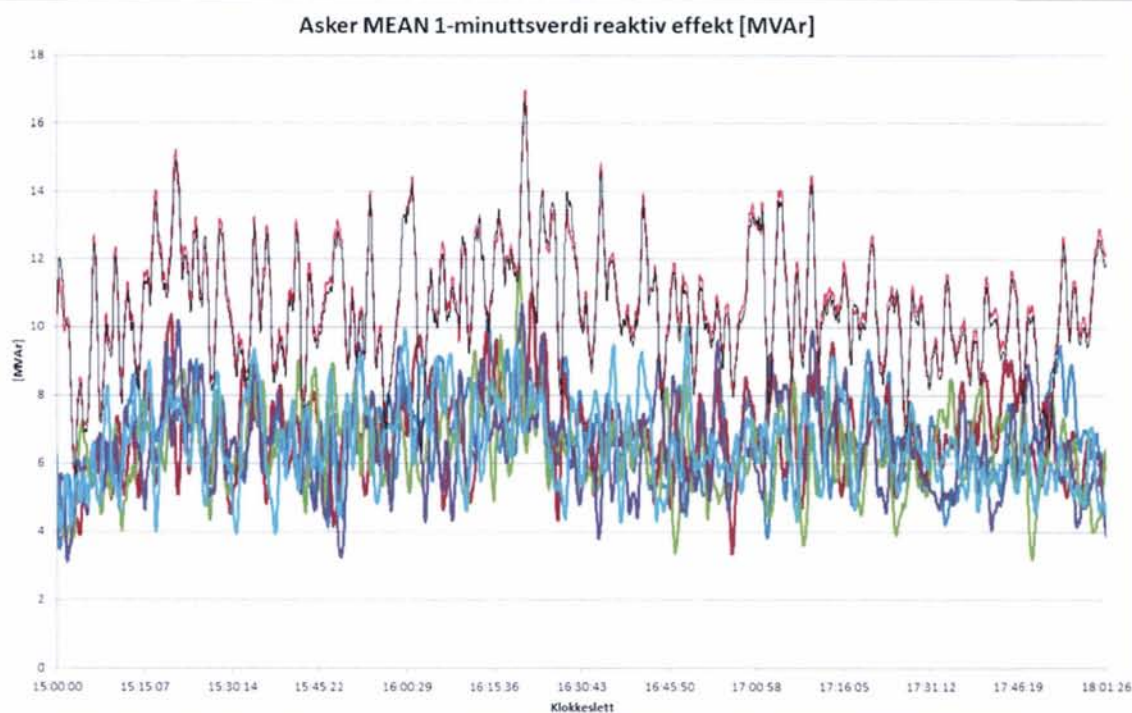
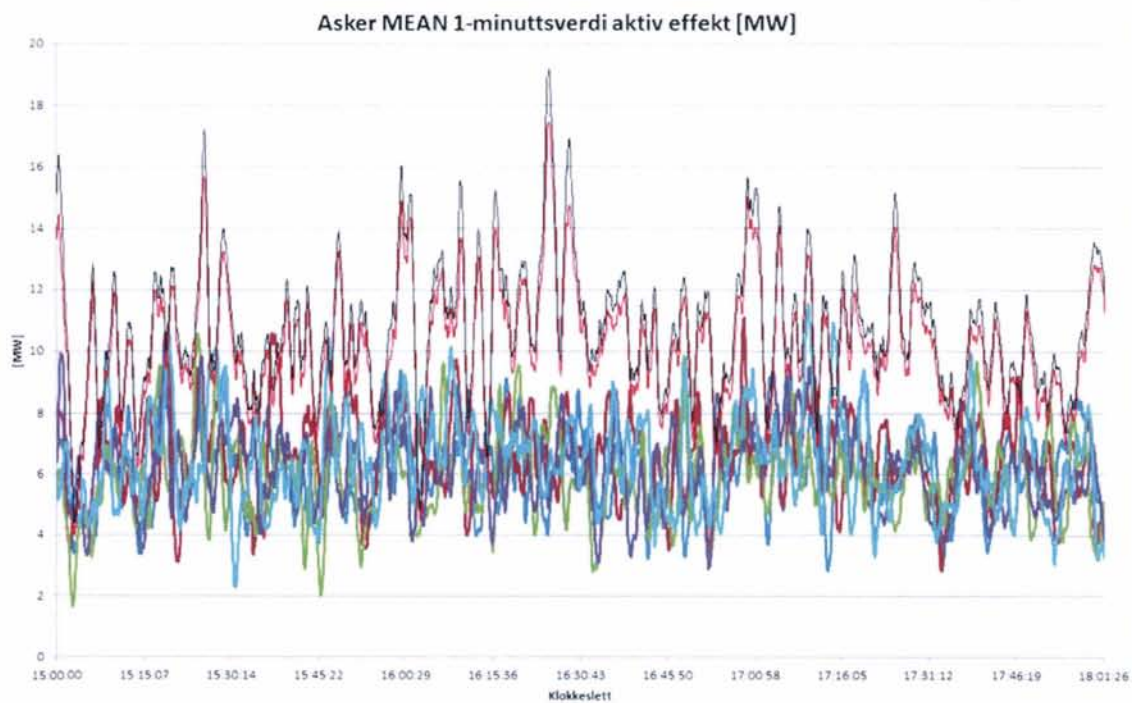
Rute	Tog id	Dato	Målt pr. togsett		Sum målt		Simulert		Sammenligning	
			Forbruk	Generert	Forbruk	Generert	Forbruk	Generert	Differans hø %	Differans gj %
Flytoget: Gardermoen - GMB - Lillestrøm - Romeriksporten - Oslo S - Askerbanen - Drammen:										
3764	71-08	27.09.2011	0,554	-	-	-	-	-	-	-
3764	71-10	30.09.2011	0,661	-	-	-	1,198	0,168	81,2	97,2
Flytoget: Gardermoen - GMB - Lillestrøm - Romeriksporten - Oslo:										
3568	71-15	26.09.2011	0,318	-	-	-	-	-	-	-
3568	71-02	27.09.2011	0,299	-	-	-	-	-	-	-
3568	71-01	28.09.2011	0,260	-	-	-	0,435	0,049	13,5	38,0
3568	71-15	30.09.2011	0,383	-	-	-	-	-	-	-
3560	Dobbel	28.09.2011	0,298	-	-	-	0,281	0,053	-19,0	-12,9
3560	Dobbel	30.09.2011	0,347	-	-	-	-	-	-	-
Flytoget: Drammen - Askerbanen - Oslo S - Romeriksporten - Lillestrøm - GMB - Gardermoen:										
3773	71-13	29.09.2011	1,101	-	-	-	1,513	0,166	37,4	46,1
3773	71-12	30.09.2011	0,969	-	-	-	-	-	-	-
Flytoget: Oslo - Romeriksporten - Lillestrøm - GMB - Gardermoen:										
3567	71-04	26.09.2011	0,546	-	-	-	-	-	-	-
3567	71-08	29.09.2011	0,658	-	-	-	0,731	0,038	11,1	26,1
3567	71-12	30.09.2011	0,536	-	-	-	-	-	-	-
NSB IC, linje 20, Oslo S - Gardermobanen - Eidsvoll - Lillehammer:										
325	70-13	26.09.2011	1,62	0,209	-	-	-	-	-	-
325	70-10	27.09.2011	1,53	0,1	2,986	0,193	-	-	-	-
325	70-12	27.09.2011	1,456	0,093	-	-	-	-	-	-
325	70-02	28.09.2011	1,453	0,219	2,833	0,429	-	-	-	-
325	70-07	28.09.2011	1,38	0,21	-	-	2,831	0,213	-11,6	-7,2
325	70-05	29.09.2011	1,562	0,162	3,202	0,503	-	-	-	-
325	70-06	29.09.2011	1,64	0,341	-	-	-	-	-	-
325	70-04	30.09.2011	1,6	0,138	3,180	0,279	-	-	-	-
325	70-07	30.09.2011	1,58	0,141	-	-	-	-	-	-
NSB Lokaltog, Linje 300, Oslo S - Nittedal - Hakadal - Jaren - Gjøvik:										
207	69-66	26.09.2011	0,877	0	-	-	-	-	-	-
207	69-61	27.09.2011	0,993	0	-	-	-	-	-	-
207	69-56	28.09.2011	0,992	0	-	-	1,188	0,000	19,7	25,2
207	69-70	29.09.2011	0,898	0	-	-	-	-	-	-
207	69-70	30.09.2011	0,986	0	-	-	-	-	-	-
NSB Lokaltog, Linje 300, Jaren - Hakadal - Nittedal - Oslo S:										
252	69-65	26.09.2011	0,557	0	-	-	-	-	-	-
252	69-70	27.09.2011	0,493	0	-	-	-	-	-	-
252	69-62	28.09.2011	0,473	0	-	-	0,709	0,000	27,3	40,0
252	69-56	29.09.2011	0,468	0	-	-	-	-	-	-
252	69-63	30.09.2011	0,541	0	-	-	-	-	-	-
NSB Lokaltog, Linje 400 Asker - Drammensbanen - Sandvika - Drammensbanen - Oslo S - Hovedbanen - Lillestrøm:										
2146	69-27	27.09.2011	0,507	0	1,009	0,000	-	-	-	-
2146	69-75	27.09.2011	0,502	0	-	-	-	-	-	-
2146	69-03	28.09.2011	0,489	0	0,933	0,000	-	-	-	-
2146	69-53	28.09.2011	0,444	0	-	-	-	-	-	-
2146	69-11	29.09.2011	0,471	0	0,929	0,000	1,166	0,000	15,5	38,3
2146	69-85	29.09.2011	0,458	0	-	-	-	-	-	-
2146	69-16	30.09.2011	0,501	0	0,501	0,000	-	-	-	-
2146	69-36	30.09.2011	0	0	-	-	-	-	-	-
NSB Lokaltog, Linje 400 Lillestrøm - Hovedbanen - Oslo S - Drammensbanen - Sandvika - Drammensbanen - Asker:										
2149	69-38	26.09.2011	0,527	0	-	-	-	-	-	-
2149	69-72	27.09.2011	0,527	0	-	-	-	-	-	-
2149	69-80	28.09.2011	0,516	0	-	-	0,686	0,000	27,7	31,0
2149	69-40	29.09.2011	0,537	0	-	-	-	-	-	-
2149	69-86	30.09.2011	0,51	0	-	-	-	-	-	-
NSB Lokaltog, Linje 440 Drammen - Askerbanen - Oslo S - Romeriksporten - Lillestrøm - Hovedbanen - Dal:										
1673	69-45	26.09.2011	0,828	0	-	-	-	-	-	-
1673	69-16	27.09.2011	0,641	0	1,308	0,000	-	-	-	-
1673	69-38	27.09.2011	0,667	0	-	-	-	-	-	-
1673	69-07	28.09.2011	0,743	0	1,455	0,000	1,733	0,000	19,1	29,0
1673	69-43	28.09.2011	0,712	0	-	-	-	-	-	-
1673	69-79	29.09.2011	0,72	0	-	-	-	-	-	-
1673	69-03	30.09.2011	0,615	0	1,265	0,000	-	-	-	-
1673	69-84	30.09.2011	0,65	0	-	-	-	-	-	-
NSB Lokaltog, Linje 440 Dal - Hovedbanen - Lillestrøm - Romeriksporten - Oslo S - Askerbanen - Drammen:										
1674	69-05	27.09.2011	0,536	0	-	-	-	-	-	-
1674	69-38	28.09.2011	0,775	0	-	-	0,590	0,000	-31,4	-13,5
1674	69-45	29.09.2011	0,733	0	-	-	-	-	-	-
1674	69-11	30.09.2011	0,867	0,228	-	-	-	-	-	-
NSB Lokaltog, Linje 500 Ski - Oslo S - Skøyen:										
2748	69-71	26.09.2011	0,158	0	0,420	0,000	-	-	-	-
2748	69-79	26.09.2011	0,262	0	-	-	-	-	-	-
2748	69-58	27.09.2011	0,256	0	0,413	0,000	-	-	-	-
2748	69-71	27.09.2011	0,157	0	-	-	-	-	-	-
2748	69-71	28.09.2011	0,118	0	0,450	0,000	0,600	0,000	27,1	39,6
2748	69-72	28.09.2011	0,332	0	-	-	-	-	-	-
2748	69-01	29.09.2011	0,256	0	0,393	0,000	-	-	-	-
2748	69-71	29.09.2011	0,137	0	-	-	-	-	-	-
2748	69-40	30.09.2011	0,271	0	0,472	0,000	-	-	-	-
2748	69-71	30.09.2011	0,201	0	-	-	-	-	-	-
NSB Lokaltog, Linje 500 Skøyen - Oslo S - Ski:										
2807	69-39	26.09.2011	0,348	0	-	-	-	-	-	-
2807	69-64	27.09.2011	0,331	0	-	-	-	-	-	-
2807	69-01	28.09.2011	0,221	0	-	-	0,368	0,000	5,8	24,4
2807	69-28	28.09.2011	0,258	0	-	-	-	-	-	-
2807	69-25	29.09.2011	0,275	0	-	-	-	-	-	-
2807	69-58	30.09.2011	0,344	0	-	-	-	-	-	-

2.7 Simulering med korrigert ruteplan redusert hastighet og luftmotstand i tunnelene samt redusert pådrag for godstogene. Kun ett aggregat i drift i Lillestrøm omformerstasjon

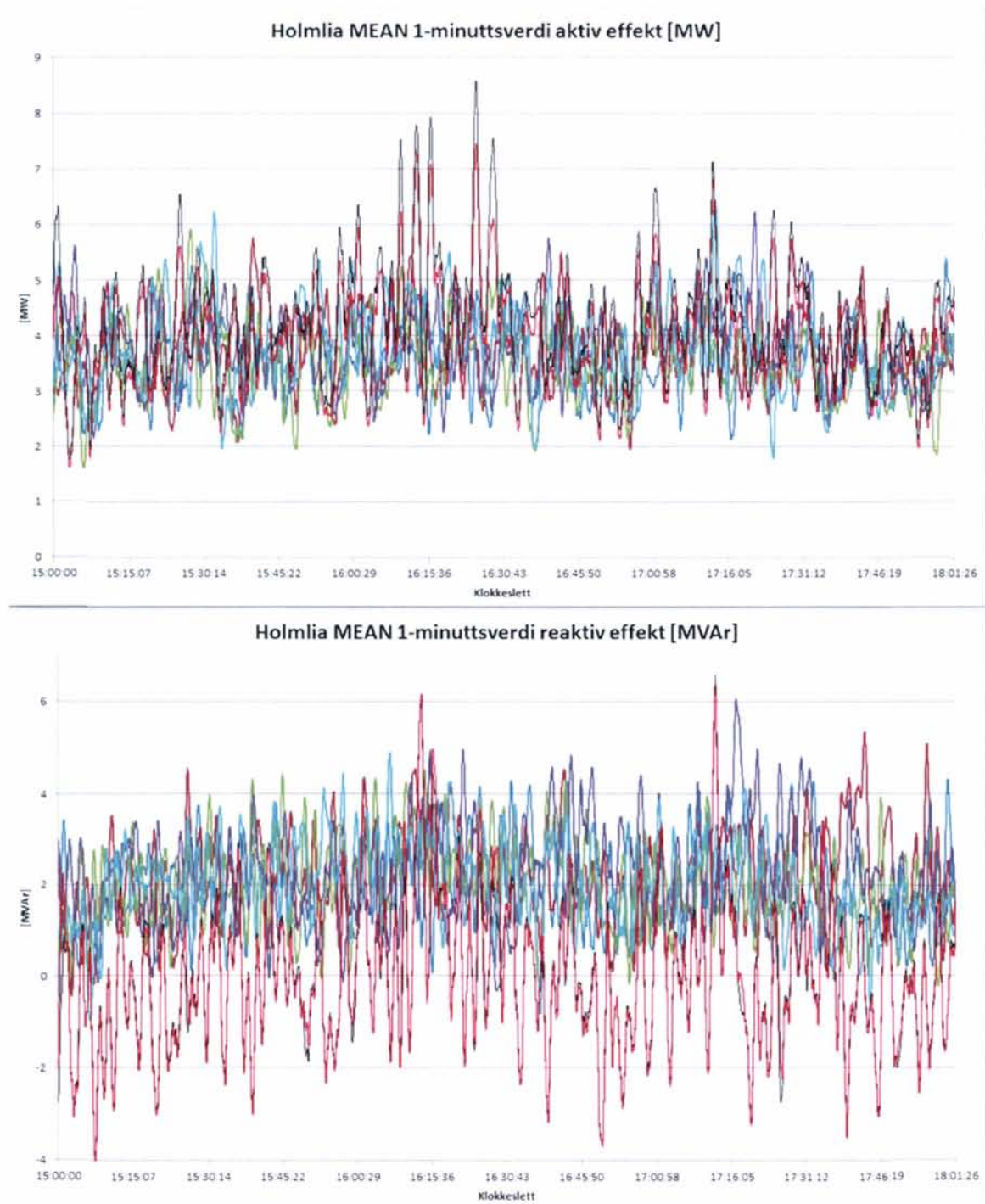
To aggregater er i drift på Lillestrøm oppstår kun i periodene:

- 26. september mellom klokken 15:57 og 16:43
- 27. september mellom klokken 15:25 og 15:36, samt 16:19 og 16:38
- 28. september mellom klokken 15:00 og 15:1, 15:29 og 16:43, samt 17:25 og 17:36
- 29. september mellom klokken 15:35 og 16:53
- 30. september mellom klokken 15:30 og 17:34

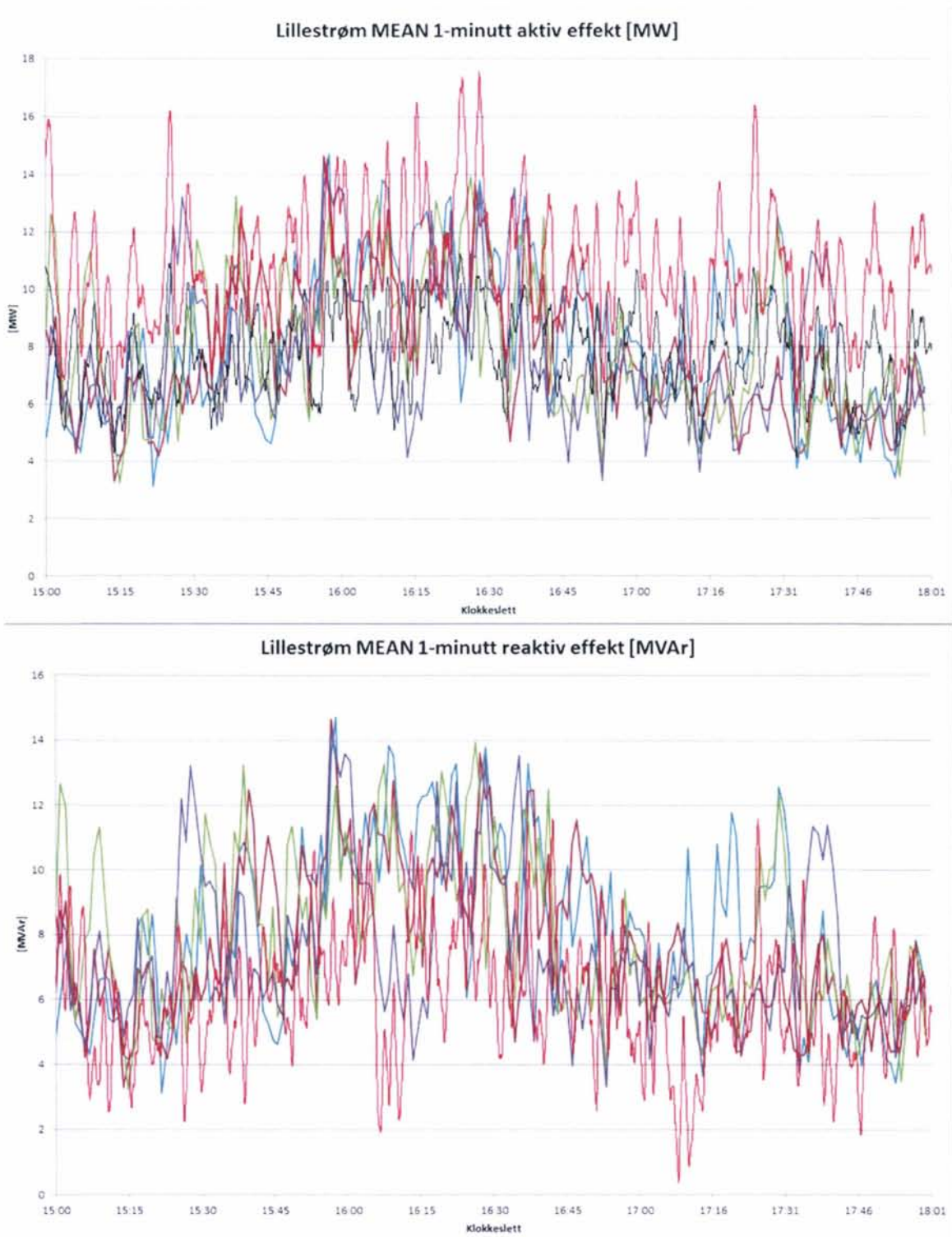
Altså kan en si at to aggregater er i drift i Lillestrøm når maksimaleffekten som er undersøkt i de foregående avsnitt opptrer. For periodene som har kun ett aggregat i drift vil mer effekt overføres til de andre omformerstasjonene. For disse intervallene kan kurvene i Figur 2-35, Figur 2-36, Figur 2-37 og Figur 2-38 vise belastningen. Her må en altså sammenligne målinger og simuleringer kun i begynnelsen og slutten av simuleringsperioden.



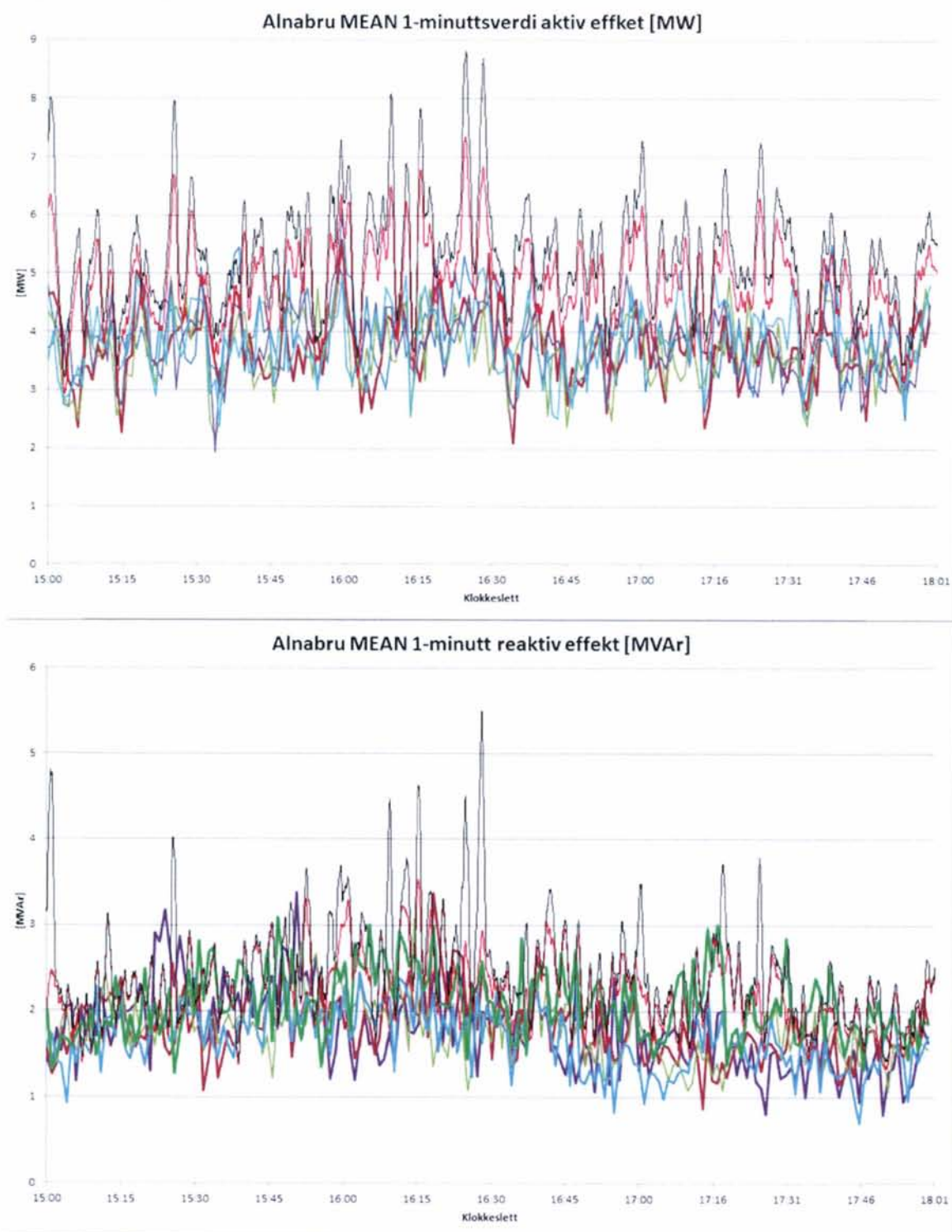
Figur 2-35 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen med korrigert ruteplan, redusert hastighet for noen tog, redusert luftmotstand i tunnelen og pådragsbegrensning for godstogene, samt ett aggregat i drift i Lillestrøm. Den røde viser grafen samme forhold med to aggregater i drift i Lillestrøm. De tykke strekene viser målingene for; blå – 7.nov, turkis – 8.nov, grønn – 9.nov, brun – 10. nov og fiolett – 11.nov.



Figur 2-36 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen med korrigert ruteplan, redusert hastighet for noen tog, redusert luftmotstand i tunnelen og pådragsbegrensning for godstogene, samt ett aggregat i drift i Lillestrøm. Den røde viser grafen samme forhold med to aggregater i drift i Lillestrøm. De tykke strekene viser målingene for; blå – 7.nov, turkis – 8.nov, grønn – 9.nov, brun – 10. nov og fiolett – 11.nov.



Figur 2-37 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen med korrigerert ruteplan, redusert hastighet for noen tog, redusert luftmotstand i tunnelen og pådragsbegrensning for godstogene, samt ett aggregat i drift i Lillestrøm. Den røde viser grafen samme forhold med to aggregater i drift i Lillestrøm. De tykke strekene viser målingene for; blå – 7.nov, turkis – 8.nov, grønn – 9.nov, brun – 10. nov og fiolett – 11.nov.



Figur 2-38 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen med korrigert ruteplan, redusert hastighet for noen tog, redusert luftmotstand i tunnelen og pådragsbegrensning for godstogene, samt ett aggregat i drift i Lillestrøm. Den røde viser grafen samme forhold med to aggregater i drift i Lillestrøm. De tykke strekene viser målingene for; blå – 7.nov, turkis – 8.nov, grønn – 9.nov, brun – 10. nov og fiolett – 11.nov.

2.8 Simulering med korrigert ruteplan redusert hastighet og luftmotstand i tunnelene redusert pådrag for godstogene samt redusert togvarmeeffekt

Ved å undersøke modellene for Flytoget (Type 71) og Type 73 finner en noen feil. Det er feil med rulle- og kjøremotstandens faktor C i formelen $F = A + Bv + Cv^2$. Denne er dobbelt så stor for dobbelt sett som for enkeltsett. Mer typisk er 60 – 64 % og denne endres til å være 62 % større for dobbelt sett. Det er videre feil med to konstanter som gjelder for angivelse av trekraftkurvens knekkpunkter. Disse var ikke økt til det dobbelte med dobbelt sett.

For Type 73 med dobbelt sett var det den samme feilen for konstanten C . Det var i tillegg feil med angivelse av redusert trekraft ved redusert spenning, samt at konstantene i Curtius og Kniffers formel hadde en mindre feil (typiske svenske konstanter, istedenfor de opprinnelige). Feilene er ergerlige, spesielt med hensyn på at kollegakontroll har vært utført. Imidlertid antas disse feilene ikke å ha særlig stor betydning.

Noe som antas å ha større betydning for simuleringsresultatet er effekt for oppvarming. I simuleringene er alle togene modellert med maksimalt effektuttak til oppvarming om vinteren. Ser en derimot på resultatene fra energimålinger på Flytoget, så viser disse at det kun trekkes 156 kW ved opphold på stasjonene. Dette er det samme som effekten som trengs til hjelpesystemer. Med andre ord trekker ikke togene effekt til oppvarming i det hele tatt. Det synes heller ikke urimelig, da uke 39 i 2011 hadde pent vær, og at oppvarmingsbehovet i rushtiden med mange passasjerer er lite. Det betyr at for enkeltsett av Flytoget er det 0,156 MWh mindre energi som trenges i løpet av en time. En time er tiden det tar for Flytoget fra Oslo til Drammen. Dette får i alle fall noe betydning for energien som tog 3764 i Tabell 2-18 trekker.

For alle passasjertogene kan en med nokså stor sikkerhet anta at all tilleggforsyningen går til pumper og vifter etc. og at lite eller ingenting til oppvarming. En vil derfor gjøre en simulering der all denne ekstra effekten til oppvarming er satt til null. For modellene finner en at det spesielt er Type 71 og 73 som trekker mye effekt til oppvarming, mens de andre togene trekker lite eller ingenting. Følgende endringer gjøres:

- Tp69: 30 kW for hver vogn med motor, tidligere 20 kW for hver vogn.
- Tp70: 40 kW for hvert sett, tidligere 20 kW for hver vogn.
- Tp71: 156 kW for hvert sett, tidligere 339 kW.
- Tp72: 50 kW for hver vogn med motor, tidligere 20 kW for hver vogn.
- Tp73: 173 kW for hvert sett, ingen endring fra tidligere.
- Passasjertog med E118: 180 kW for hvert sett uavhengig av antall vogner.

På grunn av det store antallet tog vil disse endringene også påvirke effektopptaket for simuleringene. I Tabell 2-19 og Tabell 2-20 er henholdsvis høyeste aktive og reaktive effekt for de fire omformerstasjonene vist. For den aktive effektens del ser en at alle omformerstasjonene har fått sine maksimalverdier redusert, til dels betydelig. En ser også at Lillestrøm og Holmlia har et lavere effektopptak for timesverdiene enn simuleringene har. For reaktiv effekt ser en at fordelingen har endret seg en hel del og at noen omformerstasjoner til og med har fått ett noe høyere opptak.

Totalt energiforbruk er undersøkt og vist i Tabell 2-21 og Tabell 2-22. Differansen mellom høyeste målte energiopptak i de tre timene og simulerte verdier er nå blitt en hel del mindre. Den simulerte energien er 22 % høyere enn den målte, mens den i avsnitt 2.6 var 36 %.

Summen av effekten til de fire omformerstasjonene er undersøkt, men igjen oppstår problemet med å sammenligne MEAN-verdiene for simuleringene med gjennomsnittsmålingene for Alnabru og Lillestrøm. Den høyeste 1-minuttsverdien (MEAN) av aktiv effekt blir 43,7 MW i simuleringen. Ved forrige simulering i avsnitt 2.6 ble denne verdien ca 50 MW. Høyeste målte (gjennomsnitt) 1-minuttsverdi er funnet til 30 MW. For reaktiv effekt er høyeste simulerte verdi midt i rushtiden er 30,8 MVA_r, mens den målte er rundt 21 MVA_r.

Nedenfor viser Figur 2-39, Figur 2-39, Figur 2-41 og Figur 2-42 målt og simulert effekt for henholdsvis Asker, Holmlia, Alnabru og Lillestrøm omformerstasjoner. Som en ser er kurvene merkbart lavere når togenes effekt til oppvarming er redusert til null.

Tabell 2-19 Maksimal belastning av omformerstasjonene for aktiv effekt. Prosentverdien viser hvor mye de simulerte verdiene er over de målte.

Høyeste belastning av omformerstasjonene målt og simulerte verdier i MW Undersøkelse med korrigert ruteplan, redusert hastighet og redusert luftmotstand i tunnelene, samt pådragsbegrensning for godstogene. Redusert togvarme.										
Omformer	Innsatt ytelse	Aktiv effekt i MEAN-verdier								
		3-sek			1-minutter			1-time		
		Simulering	Måling	%	Simulering	Måling	%	Simulering	Måling	%
Asker	2 x 10	19,889	15,224	31	15,438	11,572	33	9,513	6,933	37
Holmlia	1 x 10	8,965	6,871	30	6,705	6,446	4	3,650	4,086	-11
Alnabru	1 x 10	7,381	-	-	6,519	5,550	17	4,496	3,792	19
Lillestrøm	2 x 12	23,910	-	-	16,216	14,710	10	10,395	10,510	-1

Tabell 2-20 Maksimal belastning av omformerstasjonene for reaktiv effekt. Prosentverdien viser hvor mye de simulerte verdiene er over de målte.

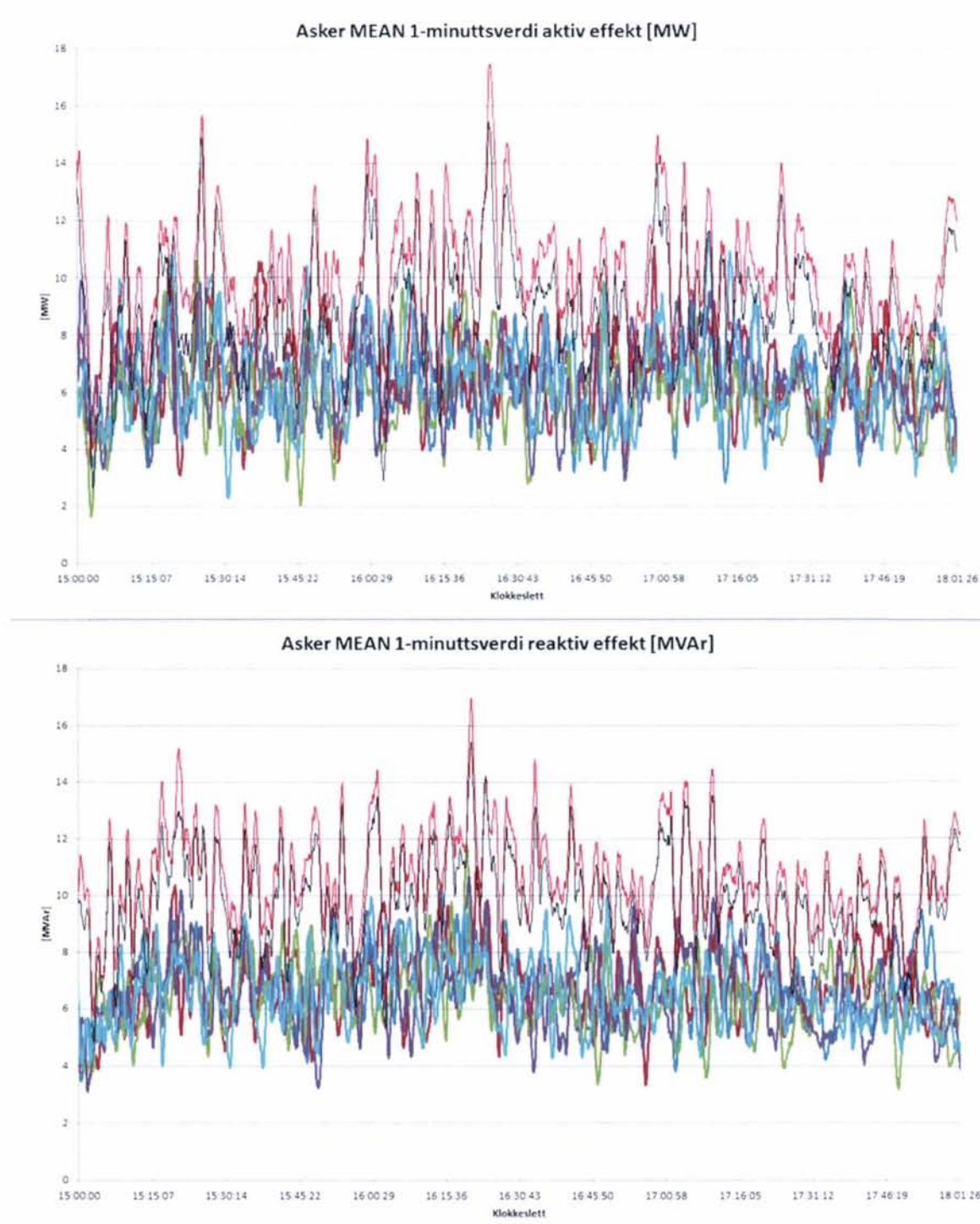
Høyeste belastning av omformerstasjonene målt og simulerte verdier i MVA _r Undersøkelse med korrigert ruteplan, redusert hastighet og redusert luftmotstand i tunnelene, samt pådragsbegrensning for godstogene. Redusert togvarme.										
Omformer	Innsatt ytelse	Reaktiv effekt i MEAN-verdier								
		3-sek			1-minutter			1-time		
		Simulering	Måling	%	Simulering	Måling	%	Simulering	Måling	%
Asker	2 x 10	18,476	14,228	30	15,446	14,228	9	10,467	7,229	45
Holmlia	1 x 10	7,942	7,128	11	5,969	6,049	-1	-0,219	2,870	-108
Alnabru	1 x 10	4,182	-	-	4,012	3,380	19	2,790	2,355	18
Lillestrøm	2 x 12	17,183	-	-	13,929	10,360	34	6,823	5,597	22

Tabell 2-21 Sammenligning av målt og simulert aktiv energi. Sammenligningen av målte gjennomsnittsverdier.

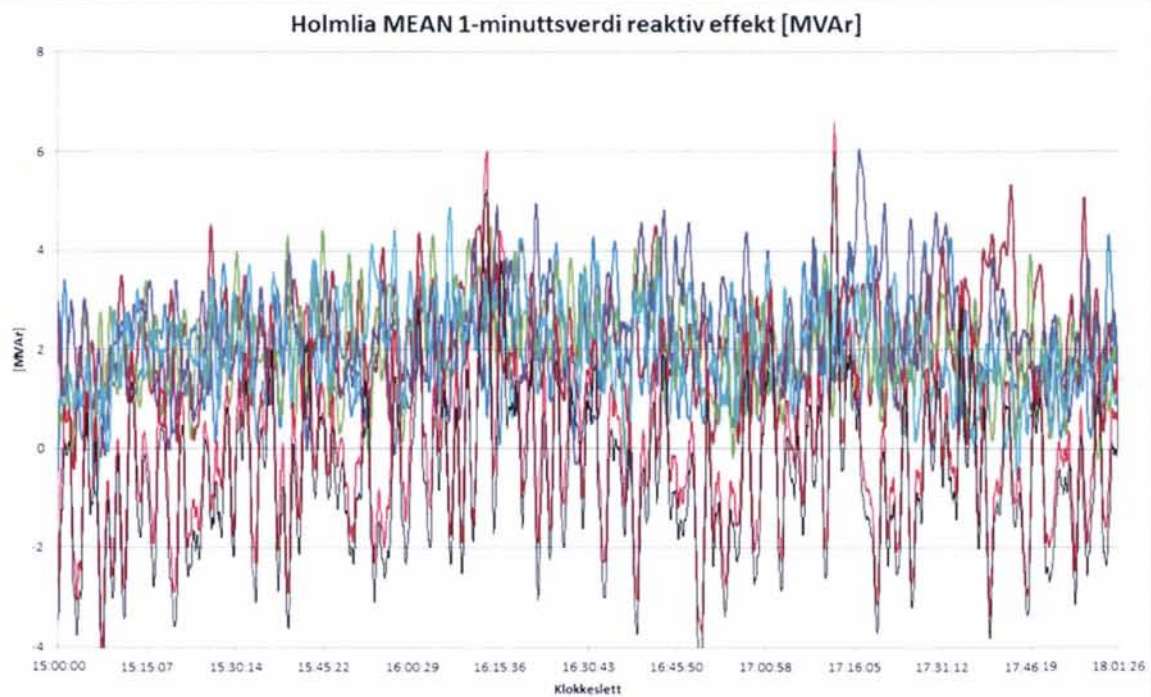
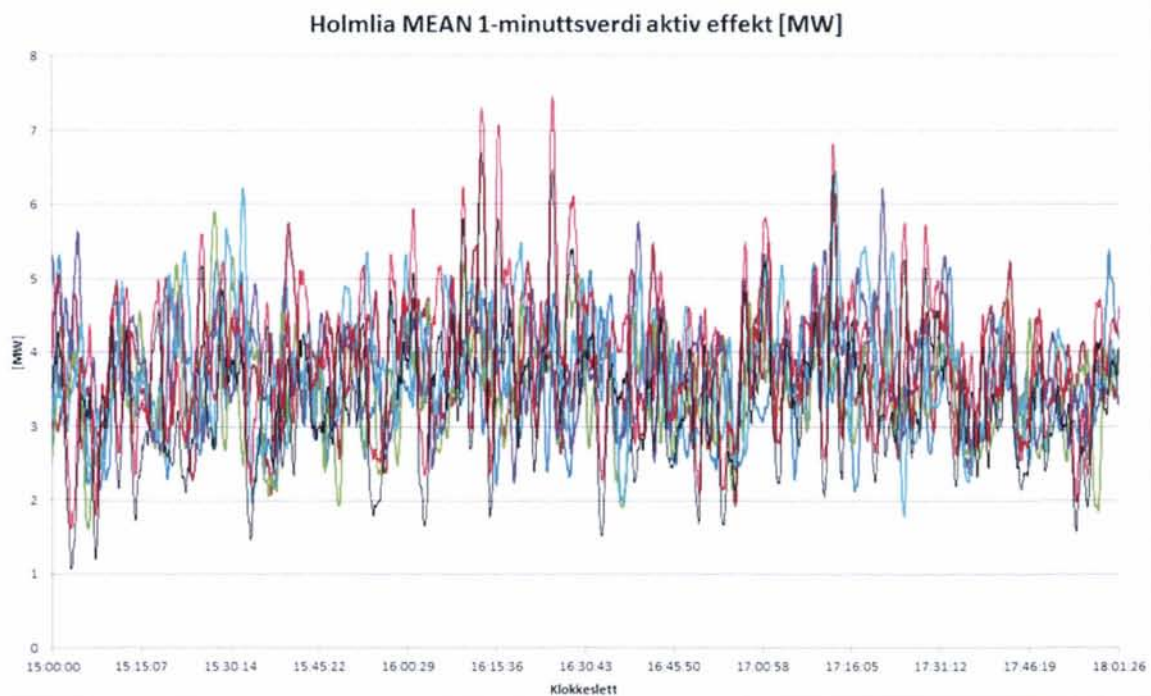
Høyeste belastning av omformerstasjonene målt og simulerte verdier i MWh Undersøkelse med korrigert ruteplan, redusert hastighet og redusert luftmotstand i tunnelene, samt pådragsbegrensning for godstogene. Redusert togvarme. Gjennomsnittsverdier for målingene over 5 dager.								
Tid	ASK sim	ASK målt	HOL sim	HOL målt	LIL sim	LIL målt	ALN sim	ALN målt
15:00 - 16:00	8,40	6,24	3,19	3,65	9,17	7,30	4,14	3,36
16:00 - 17:00	9,34	6,29	3,55	3,73	10,25	8,98	4,45	3,40
17:00 - 18:00	8,85	6,30	3,37	3,67	9,35	6,43	4,22	3,31
Sum alle	26,60	18,83	10,11	11,05	28,78	22,71	12,81	10,07
Sum alle sim	78,30							
Sum alle målt	62,66							

Tabell 2-22 Sammenligning av målt og simulert aktiv energi. Sammenligningen av de høyeste målte verdier.

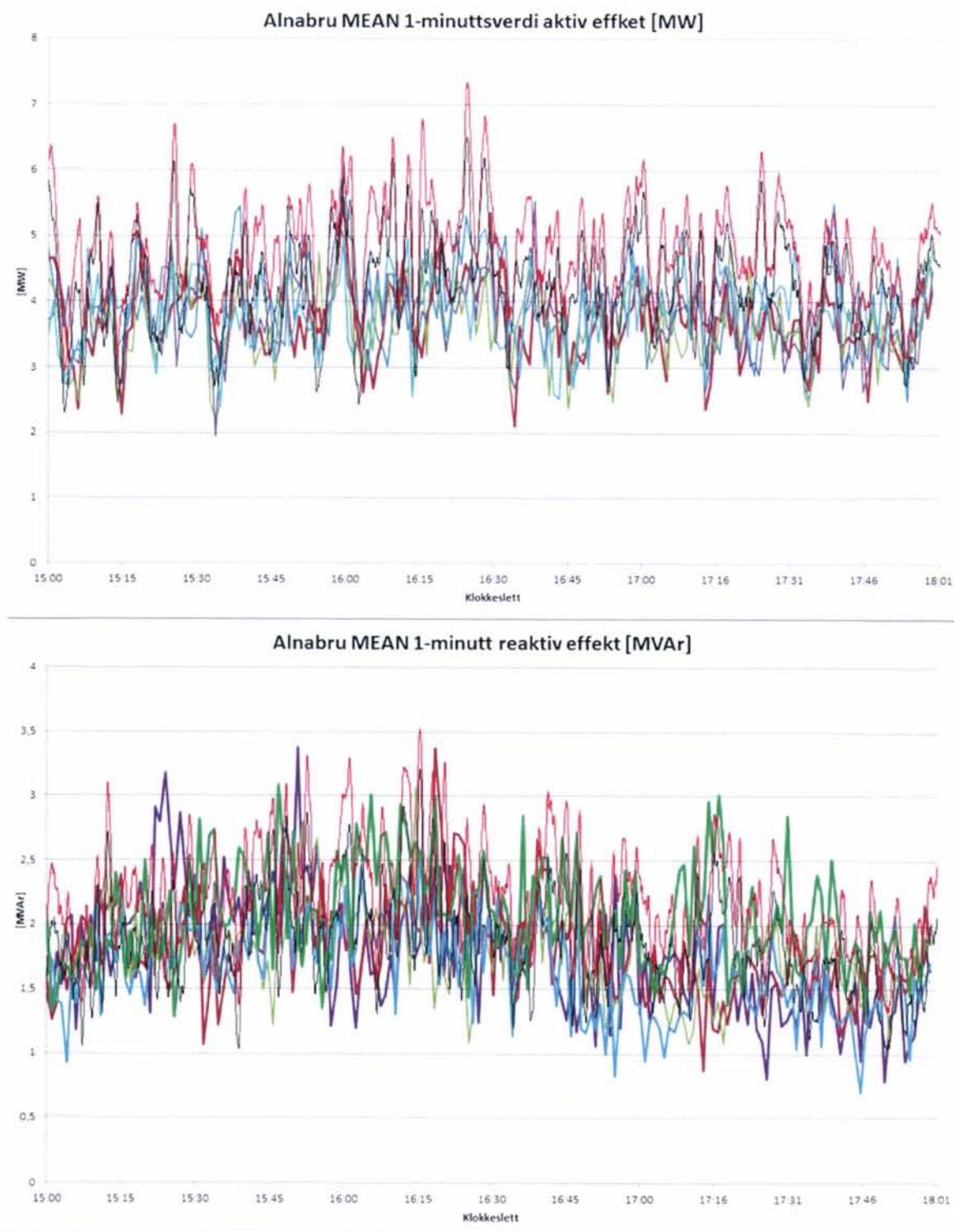
Høyeste belastning av omformerstasjonene målt og simulerte verdier i MWh Undersøkelse med korrigert ruteplan, redusert hastighet og redusert luftmotstand i tunnelene, samt pådragsbegrensning for godstogene. Redusert togvarme. Høyeste verdier over 5 dager.								
Tid	ASK sim	ASK målt	HOL sim	HOL målt	LIL sim	LIL målt	ALN sim	ALN målt
15:00 - 16:00	8,40	5,75	3,19	3,77	9,17	7,21	4,14	3,51
16:00 - 17:00	9,34	5,97	3,55	3,82	10,25	10,11	4,45	3,55
17:00 - 18:00	8,85	5,96	3,37	3,88	9,35	7,11	4,22	3,30
Sum alle	26,60	17,68	10,11	11,46	28,78	24,43	12,81	10,36
Sum alle sim	78,30							
Sum alle målt	63,94							



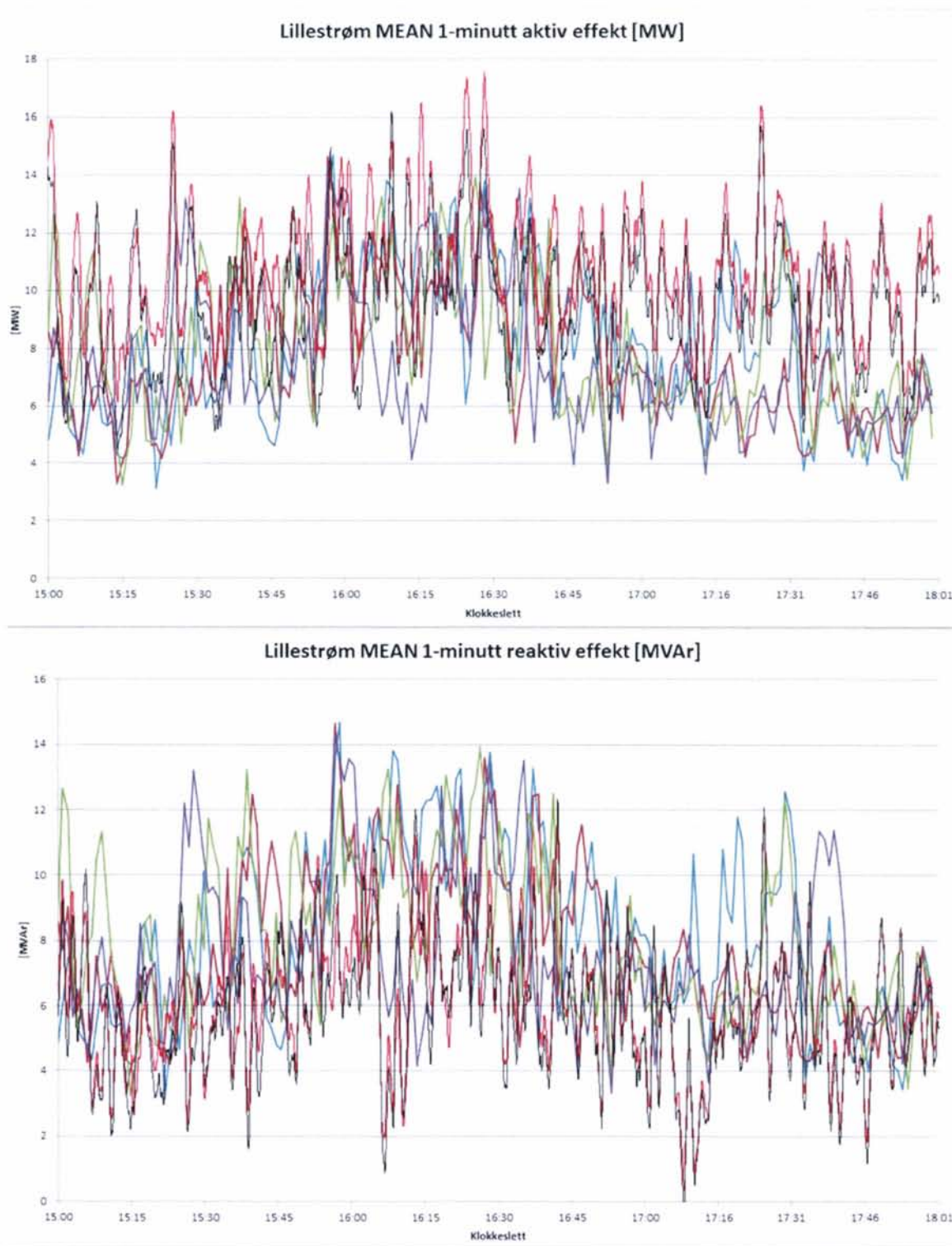
Figur 2-39 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen med korrigert ruteplan, redusert hastighet for noen tog, redusert luftmotstand i tunnelen og pådragsbegrensning for godstogene, samt at effekt til togvarme er utelatt i alle togene. Den røde viser grafen opprinnelige forhold med korrigert ruteplan. De tykke strekene viser målingene for; blå – 26.sep, brun -27.sep, grønn – 28.sep, fiolett - 29.sep, turkis – 30. sep.



Figur 2-40 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen med korrigert ruteplan, redusert hastighet for noen tog, redusert luftmotstand i tunnelen og pådragsbegrensning for godstogene, samt at effekt til togvarme er utelatt i alle togene. Den røde viser grafen opprinnelige forhold med korrigert ruteplan. De tykke strekene viser målingene for; blå – 26.sep, brun -27.sep, grønn – 28.sep, fiolett - 29.sep, turkis – 30. sep.



Figur 2-41 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen med korrigert ruteplan, redusert hastighet for noen tog, redusert luftmotstand i tunnelen og pådragsbegrensning for godstogene. Den røde viser grafen opprinnelige forhold med korrigert ruteplan. De tykke strekene viser målingene for; blå – 7.nov, turkis – 8.nov, grønn – 9.nov, brun – 10. nov og fiolett – 11.nov.



Figur 2-42 Målte og simulerte verdier for aktiv (øverst) og reaktiv effekt (nederst). Den svarte kurven viser grafen fra simuleringen med korrigert ruteplan, redusert hastighet for noen tog, redusert luftmotstand i tunnelen og pådragsbegrensning for godstogene, samt at effekt til togvarme er utelatt i alle togene. Den røde viser grafen opprinnelige forhold med korrigert ruteplan. De tykke strekene viser målingene for; blå – 26.sep, brun -27.sep, grønn – 28.sep, fiolett - 29.sep, turkis – 30. sep.

3. OPPSUMMERING DISKUSJON OG ANBEFALING

3.1 Oppsummering

Sammenligning mellom målinger og simuleringer for Asker, Holmlia, Lillestrøm og Alnabru viser at:

- Simuleringene jevnt over gir høyere verdier enn målingene.
- Tidspunktene for høyeste verdi i målingene og simuleringene er forskjøvet i tid.
- Også målingene viser store variasjoner for kurvene for effekten fra dag til dag.
- Endring av simuleringsmodellen når det gjelder faktor for luftmotstand og virkelig kjørt hastighet viste små endringer fra den opprinnelige modellen.
- For de fire omformerstasjonene som er undersøkt har en funnet følgende avvik mellom maksimalbelastninger for målinger og simuleringer for aktiv effekt: (Målte verdier er benyttet som referanse for prosentberegning.)
 - Asker, 3-sek – 31 %, 1-minutt – 33 % og 1-time – 37 %.
 - Holmlia, 3-sek – 30 %, 1-minutt – 4 % og 1-time – -11 %.
 - Alnabru, 1-minutt – 17 % og 1-time – 19 %. (Ulik metode for gjennomsnittsberegning)
 - Lillestrøm, 1-minutt – 10 % og 1-time – -1 %. (Ulik metode for gjennomsnittsberegning)
- For sammenligning for reaktiv effekt har en funnet:
 - Asker, 3-sek – 30 %, 1-minutt – 9 % og 1-time – 45 %.
 - Holmlia, 3-sek – 11 %, 1-minutt – -1 % og 1-time – -108 %.
 - Alnabru, 1-minutt – 19 % og 1-time – 18 %.
 - Lillestrøm, 1-minutt – 34 % og 1-time – 22 %.
- Forskjellene er til dels store, men en ser også at det er snakk om ujevn lastfordeling mellom omformerstasjonene. Gjennomsnittlig er de maksimale 1-minuttersverdiene 16 % høyere enn i målingene, mens timesverdiene er 15,5 % større.
- Undersøkes samlet effektopptak for de fire omformerne finner en for aktiv effekt at simuleringene gir et resultat på 43,7 MW for 1-minuttsverdi (MEAN). Mens de målte verdiene kommer ut på 30 MW for 1-minuttsverdi (gjennomsnitt).
- Summen av reaktiv effekt for de fire omformerne ble i simuleringen er 30,8 MVA mens den målte er ca 21 MVA.
- Høyeste målte energiopptak for de fire omformerstasjonene for tiden fra 15:00 til 18:00 er ca. 64 MWh og for simuleringene 73 MWh. Altså angir simuleringene et energiforbruk som er 22 % større.
- For sammenligning av 1-minuttersverdiene for Alnabru og Lillestrøm har en imidlertid et matematisk problem ved at måten gjennomsnittsverdien for målingene er utført på, er ukjent.

3.2 Diskusjon

3.2.1 Feilkilder

Feilkildene for målingene er oppsummert her:

- Målefeil kan være en feilkilde på minst 0,5 %. Både strøm- og spenningstransformatorene har en nøyaktighet på +/- 0,5 %. Om begge transformatorene for en måling for effekt da ligger i samme nedre eller øvre del blir

sammenlagt feil 1 %. I tillegg kan andre feil i måleoppsettet komme. Imidlertid er dette lite i forhold til avvikene en har funnet i simuleringen.

- Spenningsregulatorenes nøyaktighet er usikker, en har tidligere sett at disse lar seg påvirke av togtypene som belaster omformerstasjonene, se [6]. Det kan derfor være at spenningsregulatorens statikk og tomgangsspenning varierer i løpet av tidsperioden som er simulert.
- Forskjellig beregning av 1-minuttsverdier. I SIMPOW beregnes dette som glidende MEAN- eller RMS-verdier der oppløsningen kan være omentrent så liten en måtte ønske. Simuleringsverdiene er gitt som glidende minuttverdier, mens målingene for Alnabru og Lillestrøm har 1-minuttsverdier med én verdi per minutt. Denne feilkilden er for øvrig kun relevant for maksimalverdier og ikke gjennomsnittsbetlastning over hele simuleringsperioden. I denne rapporten er det gjort en omregning av simulerte verdier ved at aritmetisk gjennomsnitt for verdier for hvert hele minutt er kalkulert.
- Mindre forsinkelser som ikke er med i simuleringmodellen. Det har ikke vært så mange forsinkelser høsten 2011 som i de siste årene før. Selv om det i uke 39 var få forsinkelser, kan det allikevel tenkes at noen få forsinkede tog får konsekvenser for flere tog. Et eksempel kan være et godstog på Østfoldbanen som er forsinket med noen minutter. Dette vil kunne forårsake at ett eller flere av persontogene som kommer etter må holde lavere hastighet enn normalt. Dermed vil også akselerasjonsperiodene bli mer forsiktig og opptatt effekt bli lavere.

3.2.2 Svakheter med modellene

Her følger en oppstilling og diskusjon vedrørende feilkilder til modellene i TracFeed:

- Representasjon av infrastrukturen og kjøreforholdene, feilfaktorer her er:
 - Adhesjonsforholdene de aktuelle dagene.
 - Luftmotstand i tunnelene.
 - Vekt av togene som har å gjøre med passasjerbelegg og lastvekt.
 - Godstogenes luftmotstand vil være avhengig av avstand mellom containere, for eksempel om det er vogner uten container. Dessuten vil antall akslinger pr. vogn også ha en viss betydning for rullemotstanden. Dette er forhold som er vanskelig å kjenne til i ettertid.
 - Annen type materiell.
 - Effekt til oppvarming eller luftkondisjonering i togsettene. Her ser det imidlertid ut til at kun type materiell og effekt til oppvarming spiller en større rolle, ettersom redusert hastighet og mindre luftmotstand i tunnelen ikke får noe stort utslag. Adhesjonsforholdene er imidlertid ikke undersøkt, men kan få stor betydning i modellen, se [10]. Det er ut fra været på de bestemte dagene ikke noe som tilsier annet enn normalt gode forhold. Og det er slike forhold som er simulert.
- Forskjellig sammenlagring av effekten fra mange tog kan få store utslag for effekten produsert i omformerstasjonene. Simuleringene ser ut til å vise flere store effekttopper som er mellom én til to ganger større enn middelverdien. Også målingene fremviser en slik natur, selv om forskjellen på middelverdi og maksimalverdiene gjerne er mindre. Selv små forskyvninger av togenes effekttopptak i tid og rom antas å få stor betydning for maksimalt effektopptak. Målinger over enda flere dager og simuleringer med små variasjoner i ruteplanen ville kunne vist hvor mye forskjell dette eventuelt innebærer. Det er intuitivt å anta at det er simuleringene som viser den mest ugunstige sammenlagringen og at målingene viser det som er realistisk. Men det kan tenkes at målinger over enda flere dager vil kunne vise betydelig større effekttopper.

- Personlig kjørestil til lokomotivførerne antas ikke å spille så stor rolle for effektopptaket til tog som kjøres i såkalt automatisk modus. Det vil si at lokomotivføreren ikke regulerer pådraget direkte, men stiller inn ønsket hastighet. Moderne persontog kjøres typisk i automatisk modus, mens de eldre Type 69 er forutsatt å kjøre med størst mulig pådrag i rushtiden. Dermed vil en i utgangspunktet anta at både lokomotivføreren i virkeligheten, og i SIMOPOW/TracFeed, er nokså like. Det er også antatt at togene i virkeligheten følger skiltet hastighet mer eller mindre nøyaktig, slik det også er i simuleringene. Avvik kan imidlertid forekomme som følge av at lokomotivførere tilpasser fart/pådrag i forhold til egen oppfatning av energiøkonomisk kjøring, god lokalkunnskap og ønske om å holde ruten.
- Simuleringen gjelder for hard kjørestil, mens målingene muligens viser moderate forhold der hard kjøring ikke er nødvendig. Eller i det minste moderat i forhold til rushtid. Det kan tenkes at enda større effektopptak kunne ha oppstått om det var forsinkelser som skulle tas inn.
- Mulig at spenningsregulatorene i virkeligheten kan endre karakteristikken avhengig av belastningen. Dette er ikke mulig å få med i simuleringsmodellen.
- Modellering av tomgangstapene i de roterende omformerne er noe forenklet i forhold til de reelle tapene.
- Feil i modellene kan være av stor betydning. En direkte feil i noen av togenes trekraftkurve eller adhesjon og adhesjonsmasse vil få betydning. På den annen side er dette kontrollert nøye av flere personer. Dessuten er det utført kontroll av dette i forbindelse med undersøkelsene i avsnitt 2.8. Allikevel kan ikke slike feil totalt utelukkes. Et eksempel kan være parametere det er vanskelig å finne grunnlagsdata for slik som høyeste tillatte akselerasjon for Type 69 eller rulle- og luftmotstand. Andre type feil kan gå på skiltet hastighet eller stigning på traseen, som også er kontrollert i avsnitt 2.8.

3.2.3 Antatt mest sannsynlig feilkilde er personlig kjørestil

Mest sannsynlig vil en her anta at modell av togsettene og lokomotivførers kjørestil får størst betydning. Dette vil igjen kunne påvirke hvordan sammenlagring skjer av effekten fra mange tog som belaster omformerstasjonene. Det er ikke utført målinger av lokaltog i rute i Oslo-området i rushtiden. Selv om det antas at det kjøres hardt med fullt pådrag er det ikke sikkert at det bestandig er tilfelle. Målinger skulle derfor først vært gjort i togene. Feilkildene oppsummert i avsnitt 1 antas også å være sannsynlige og spille en stor rolle. En har fra tidligere sammenligninger kjennskap til at simuleringene typisk vil estimere 20 % mer energiforbruk enn gjennomsnitt i virkeligheten, se [7]. Enda større forskjeller kan forekomme for målinger av tog i samme rute. Forskjellene som da ble funnet er ikke fullt ut forstått og disse gjaldt først og fremst godstog og persontog på hovedstrekningene.

Videre er det utført mye arbeid hos NSB hovedsakelig av Jan Vetle Moen, og en av hans rapporter, se [8], er vedlagt, se vedlegg 1. Her er det blant annet funnet at lokaltogene med Tp 69 mellom Asker og Lillestrøm har et forbruk (Wh/BTKm) som varierer mye. Beste energiforbruk en har oppnådd er på 70 Wh/BTKm, mens gjennomsnittet er på 87,5 Wh/Btkm. Totalt for alle togene har en funnet forskjell i energiforbruket på 25 % og av disse mener en at 12 prosentpoeng kan tilskrives kjørestil. Det er ikke beskrevet når disse funnene ble gjort, men det ser ut til at dette ble gjort etter flere år med fokusering på kjørestil. Andre kilder antyder besparelser opptil 20 % relatert til kjørestil, se [9] og vedlegg 2.

Etter diskusjon med Peter Deutschmann i Trafikkverket og Fredrik Gauffin i Balfour Beatty Rail AB er det enighet om at for et enkelt tog kan en lage en simulering som viser effektopptaket med svært nøyaktig etterligning. Da er det snakk om bare noen få prosent avvik. Spørsmålet er bare om en greier å modellere alle togets parameter riktig og at en kjenner til kjørestilen til lokomotivføreren. Problemet kommer når en har mange tog i trafikk og både forskjellig kjørestil og sammenlagringen av effekt fra mange tog spiller inn.

Det er utført et arbeid i Trafikkverket i sammenheng med krav til simuleringsverktøy i regi av CENELEC, se [5]. Her kommer en frem til at forskjellige simuleringsprogrammer gir veldig like resultater. Problemet med sammenligning mellom simuleringer og virkeligheten er at lokomotivførere kan kjøre veldig ulikt.

Uten at dette er kontrollert med målinger vil en sannsynligvis se at jo mindre slakk på togrutene i et område, desto mindre blir forskjellen mellom togenes energi- og effektopptakt. Dessuten vil kjøring i automatisk modus også være med på å begrense den personlige innvirkningen. En vil tro at målingene gjelder for lokomotivførere som kjører med relativt lik kjørestil. Dette på grunn av at forholdene i rushtiden i Oslo-området er omtrent som beskrevet. Siden fokus på energioptimal kjøring har vært viktig for Flytoget og NSB vil en tro at målingene gjelder for lokomotivførere som kjører mest mulig optimalt under gjeldende forhold.

Når simuleringene viser omtrent 20 % avvik for energi er det etter disse resonnementene sannsynlig at en stor del av disse prosentene skyldes at simulatoren ikke greier å etterligne optimal kjørestil godt nok. Allikevel kan en ikke si sikkert at TracFeed har en absolutt uøkonomisk kjørestil for lokomotivfører. I så fall skulle alle de 20 % kunne relateres til kjørestil.

Det er også mulig at noe av avvikene kan skyldes lastfordeling mellom omformerstasjoner, modellering av spenningsregulatorer og slike ting. Målinger på en strekning med få tog og mest mulig kontrollerbare forhold vil kunne si noe om dette, se for øvrig avsnitt 5.

En annen stor feilkilde er hvordan en skal behandle SIMPOW sine verdier for effekt for Alnabru og Lillestrøm når en skal sammenligne med målingene. SIMPOW gir resultatverdier minst hvert sekund. En ny 1-minuttsverdi (MEAN) beregnes hvert sekund som gjennomsnitt av alle de siste seksti verdiene. Dette blir annerledes enn i behandlingen av målingene for disse omformerstasjonene der verdiene er beregnet som gjennomsnittsverdi hvert hele minutt.

3.2.4 Marginer ved dimensjonering av banestrømforsyningen

Ved dimensjonering av banestrømforsyningen forutsetter Teknisk regelverk at det legges til tre marginer, se TR 546.2.5:

- 1 Normale driftssituasjoner, normale driftssituasjoner med endringer som ofte kan forventes, avvikssituasjoner og unormale driftssituasjoner skal ikke føre til at den elektriske energiforsyningens anlegg og komponenter overbelastes. Margin/reserve mot tillatt belastning av komponenter og systemer bør være minst 5 %.
- 2 I *normale driftssituasjoner* bør det ved vurderinger i forhold til vedlikeholdsregelverket og skal det ved vurderinger i forhold til prosjekteringsregelverket legges til grunn minst 10 % reserve/margin for å ta høyde for trafikken i *normale driftssituasjoner med endringer som ofte kan forventes* og i *avvikssituasjoner* dersom dette allerede ikke er inkludert i *normal trafikk*.

- 3 Ved vurderinger i forhold til prosjekteringsregelverket skal det både i normale driftssituasjoner, normale driftssituasjoner med endringer som ofte kan forventes, avvikssituasjoner og unormale driftssituasjoner tillegges ytterligere minst 20 % reserver/margin for å ta høyde for trafikkøkning utover trafikkprognosene.

Det er ikke forutsatt at det skal være noen margin som tar høyde for at simuleringene er konservative. En slik margin skulle i så fall trekkes fra.

I studiene for Oslo-området (så langt delt opp i fase 1, fase 2 og fase 3) med de nye FLIRT-togene er marginene i punkt 3 ikke inkludert, på bakgrunn av at ruteplanen er kapasitetsoptimal. Dette vil si at det ikke er mulig å fremføre flere tog igjennom Oslo-området enn hva denne ruteplanen har med, uten et økt antall toglinjer igjennom Oslo. Dermed mener en at marginer mot trafikkøkning ikke blir relevante. Dette er i henhold til øvrig utredningsarbeid som er gjort for banestrømforsyningen de siste årene, og har ingen sammenheng med eventuelle feilkilder i simuleringsmodellen.

De faktorene som kan gi for høye simuleringsresultater er:

- 1 Adhesjonsforholdene.
- 2 Luftmotstand i tunnelene.
- 3 Vekt av togene som har å gjøre med passasjerbelegg og lastvekt.
- 4 Effekt til oppvarming eller luftkondisjonering.
- 5 Noen sekunders eller minutters forskyvning av togenes innbyrdes kjøretid kan få betydning for sammenlagring av effekten fra mange tog. Dette antas at kan få store utslag for effekten produsert i omformerstasjonene.
- 6 Kjøring med redusert hastighet avhengig av slakk i ruteplanen eller andre forhold.
- 7 Kjøring med lavere pådrag, sannsynlig årsak er slakk i ruteplanen, eller at lokomotivfører må holde tilbake grunnet saktegående tog foran.
- 8 Kjøring med redusert akselerasjon, mindre sannsynlig.
- 9 Andre forhold rundt personlig kjørestil.

Av disse er det det kun punkt to som er en gitt parameter og som ikke påvirkes av menneskelige faktorer. Alle disse faktorene kan oppstå samtidig. Desto større utnyttelse av trafikkapasiteten, mange passasjerer og tog som kjører i automatisk modus kan en forvente at de faktorene som kan relateres til personlig kjørestil får mindre og mindre betydning.

Den faktoren som antas kan få størst betydning for belastning av omformerne forutsettes å være punkt fem, og da som konsekvens av faktorene som har å gjøre med personlig kjørestil. Grunnen til at denne faktoren utpekes er at simuleringsprogrammer kan etterligne et enkelt tog nokså nøyaktig, se [5]. Dermed kan høye effekttopper som i simuleringene være noe som kan forventes å oppstå i virkeligheten. Det anbefales ikke på grunnlag av disse undersøkelsene å trekke fra noen margin eller utelate marginene på 5 og 10 %. Imidlertid bør undersøkelser gjøres for å finne ut hva dette avviket skyldes, se for øvrig avsnitt 5. Deretter kan en eventuelt endre simuleringsmodellen for togene.

4. ANBEFALING OG KONKLUSJON

Ut fra det en har sett her ser det ut til at simuleringene gir resultater på mellom 15 og 20 % over målingene. Det er antydning at størst og mest sannsynlig feilkilde har å gjøre med kjørestil for lokomotivfører. Målinger skulle dermed vært gjort i togene for å se hvordan modellen for togene eventuelt kan endres. Etter det kan en vurdere de andre feilkildene. Imidlertid forutsettes det at simuleringsprogrammer er i stand til å etterligne ett enkelt tog godt. Dermed skulle en kunne forvente at den simulerte effekten fra mange tog også kan forventes å oppstå i virkeligheten.

Simuleringer som er utført for Oslo-området for å dimensjonere nye omformerstasjoner etc. bør gjøres med de aktuelle endringene som er funnet å kunne påvirke resultatet. Dette er de påpekte feil i togmodellene og noe lavere luftmotstand i tunnelene. Redusert pådrag, hastighet, belegg i togene og effekt til togvarme kan derimot ikke endres. Dette fordi alle disse forholdene vil kunne være tilstede samtidig under gitte forhold og være en del av forutsetningene for dimensjonering.

5. FORSLAG TIL VIDERE ARBEID

Simuleringene og avvikene fra målingene reiser en del spørsmål. I hovedsak kan en si at det dreier seg om modellering av togene på den ene siden og banestrømforsyningen på den andre. Det burde derfor vært gjort undersøkelser der begge disse tingene blir undersøkt på en enkel strekning med en ukomplisert trafikksituasjon. Ideelt skulle en ha sett på situasjonen med først ett tog på en strekning som analyseres grundig. Målinger av effekt og alle andre aktuelle parametere skulle vært gjort både for toget og for omformerne som leverer effekten. Med andre ord hadde det beste vært at måleutstyret måler samtidig i tog og omformerstasjonene. Noen forslag om hvordan dette kan gjøres er ramset opp enkeltvis:

- Målinger på FLIRT-togsett og roterende aggregater.
- Først med mest mulig kontrollerte forhold: ett tog på matestrekningen, lokomotivfører følger skiltet hastighet, stabilt godt vær.
- Dobbeltsidig matet strekning med måling både på avgangene til matestrekningen der toget er og mot nabostrekningen. Dermed kan en se hvor mye nabostasjonene bidrar.
- Nabostrekningene bør også være strekninger med kontrollerbare forhold. Det vil si enkelt trafikkbilde, eller helst ingen tog, og dobbeltsidig matet strekning.
- Spenningsregulatorer som med kjent innstilling og mest mulig nøyaktig kalibrert. Eller om dette er vanskelig i praksis, bør spenning og reaktiv strøm måles.
- Senere kan en utvide dette til målinger med andre togtyper og med flere tog samtidig. Forhåpentligvis kan dette realiseres i løpet av et døgn eller mindre.
- For å få kjennskap til varierende kjørestil etc. burde målingene vært utført over flere dager med samme ruteplan.

Mulig at en etter dette endrer noen av oppfatningene og får ny kunnskap som kan brukes til å endre parameterne til modellene i simulatoren.

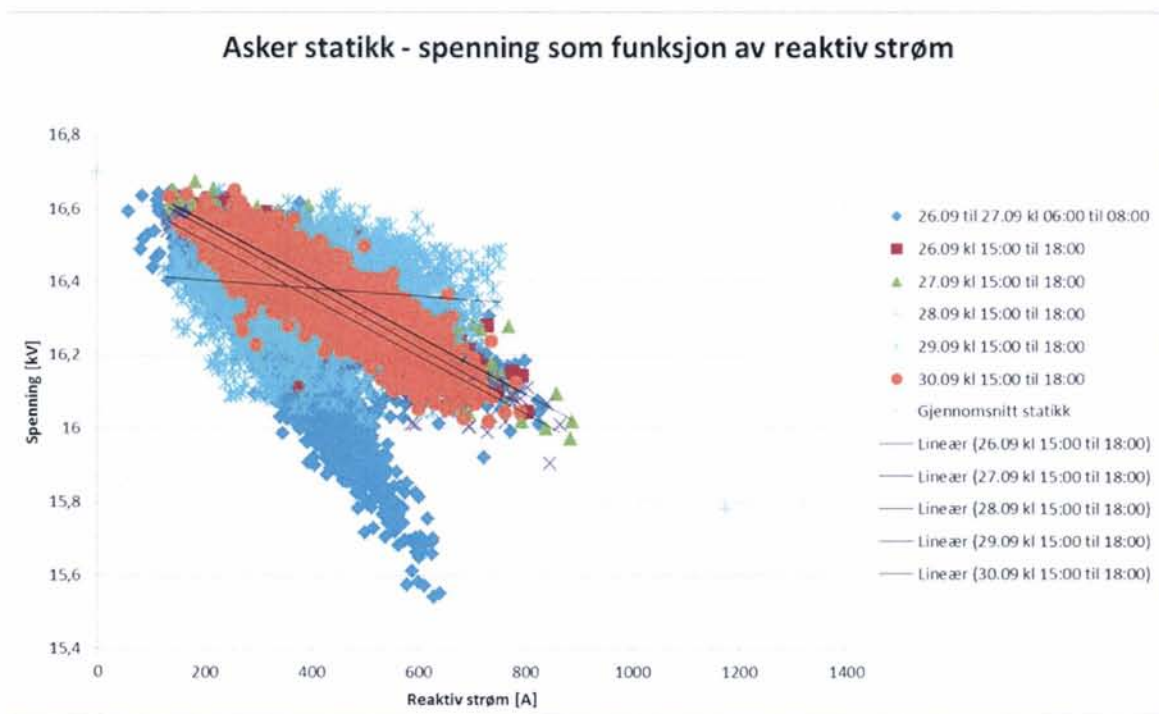
6. APPENDIKS – SIMULERING MED TOMGANGSLASTFLYT I OSLO-OMRÅDET

Ut fra målinger av spenning og reaktiv strøm finner mellom klokken 15:00 og 18:00 for de fem dagene i uke 39 og for uke 45 finnes tomgangsspenning og statikk. Målingene er vist for de fem dagene i Figur 6-1, Figur 6-2 og Figur 6-3 for henholdsvis Asker, Holmlia og Alnabru. Alnabru baserer seg på målinger utført i 2009 og en er usikker på om målingene er representative for det som er målt for uke 45 i 2009. Spesielt det at målingene her viser at reaktiv effektproduksjon ligger på rundt 2 MVA tyder på at innstillingene kan være endret etter dette. For alle målingene er det utført en lineær regresjonsanalyse for å finne sannsynlig statikk, dette er markert med sorte kurver. Lillestrøm opplyses å ha en flat statikk og en tomgangsspenning på 16,2 kV.

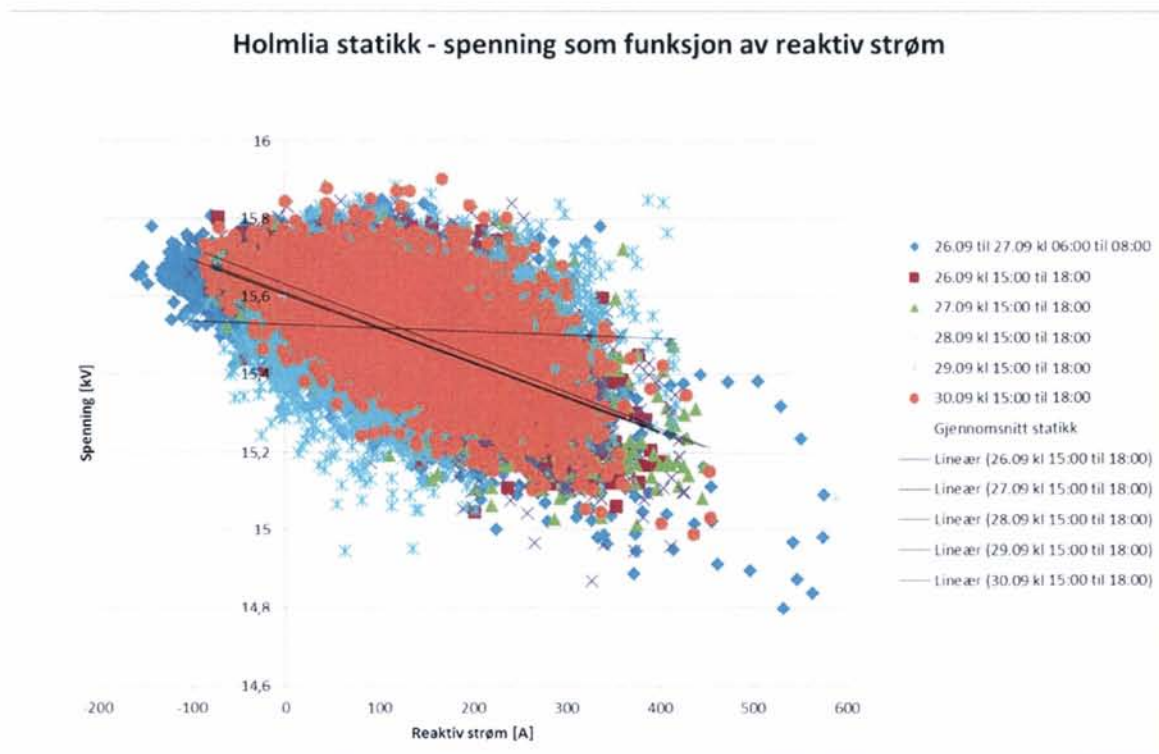
Et merkelig forhold er at regresjonsanalysen for Asker og Holmlia viser en helt annen statikk for 29. september. Dette er undersøkt spesielt i Figur 6-4 og en ser at målepunktene som er tatt opp med tre sekunders mellomrom ligger som en rund sky og ikke ser ut til å danne noen linje. Derimot ser målingene for de andre dagene ut til å være nokså like og målingene for den 29. september ignoreres. En har ikke gjort noe for å finne ut hva dette skyldes. Ut fra dette har en kommet frem til følgende statikk og tomgangsspenning:

- Holmlia aggregat 1 (alene i drift)
Tomgangsspenning: 15,6 kV
Statikk: 3,2 % ved full merkelast induktiv (ref. 10 MVA)
- Asker aggregat 1+2 (begge i drift)
Tomgangsspenning: 16,7 kV
Statikk: 5,4 % ved full merkelast induktiv (ref. 20 MVA)
- Alnabru aggregat 1 (alene i drift)
Tomgangsspenning: 16,9 kV
Statikk: 8,5 % ved full merkelast induktiv (ref. 10 MVA)

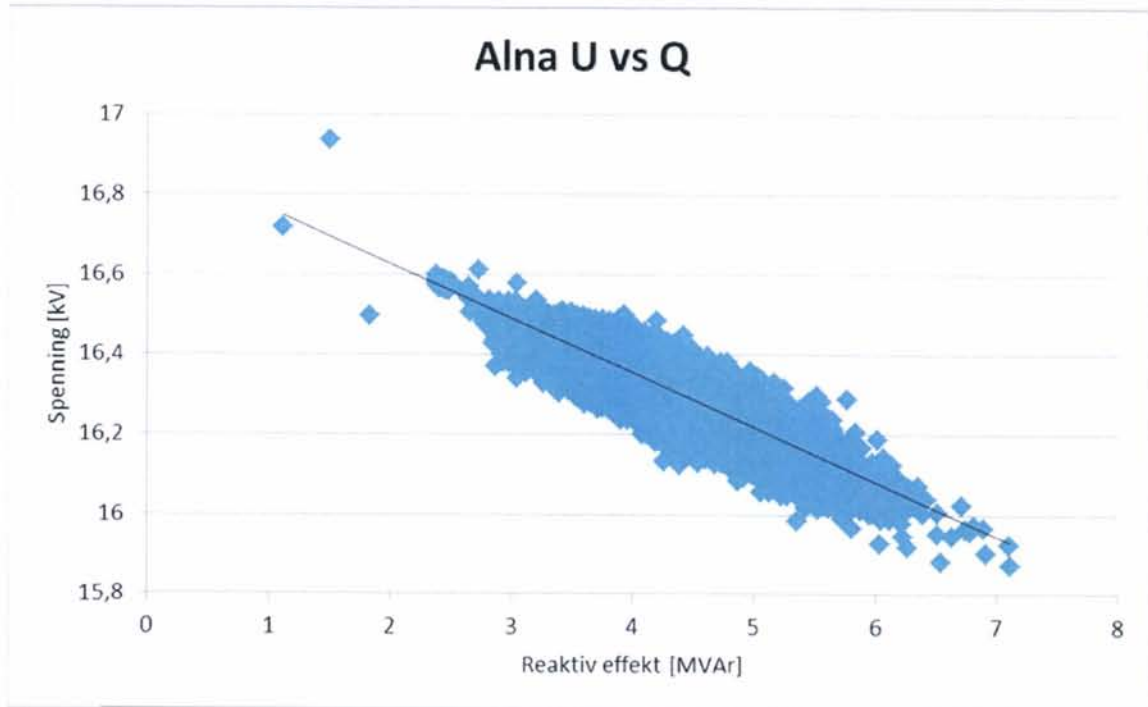
Nedenfor viser Figur 6-5 statikken for omformerstasjonene.



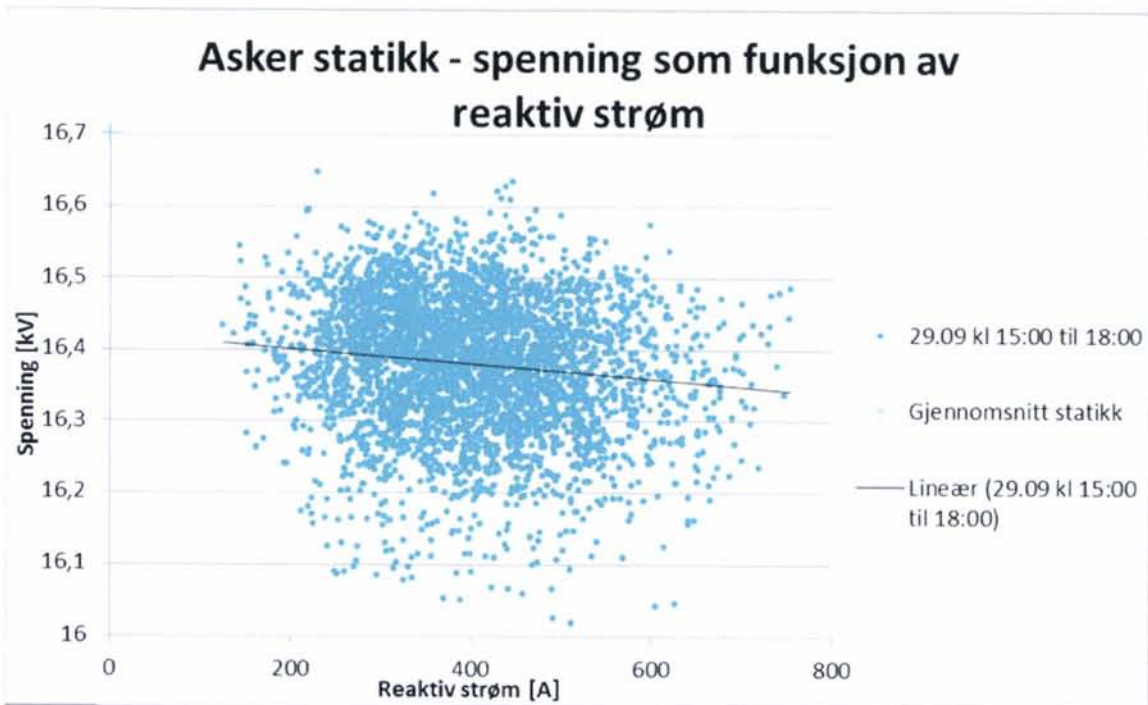
Figur 6-1 Målinger som viser spenning som funksjon av reaktiv strøm.



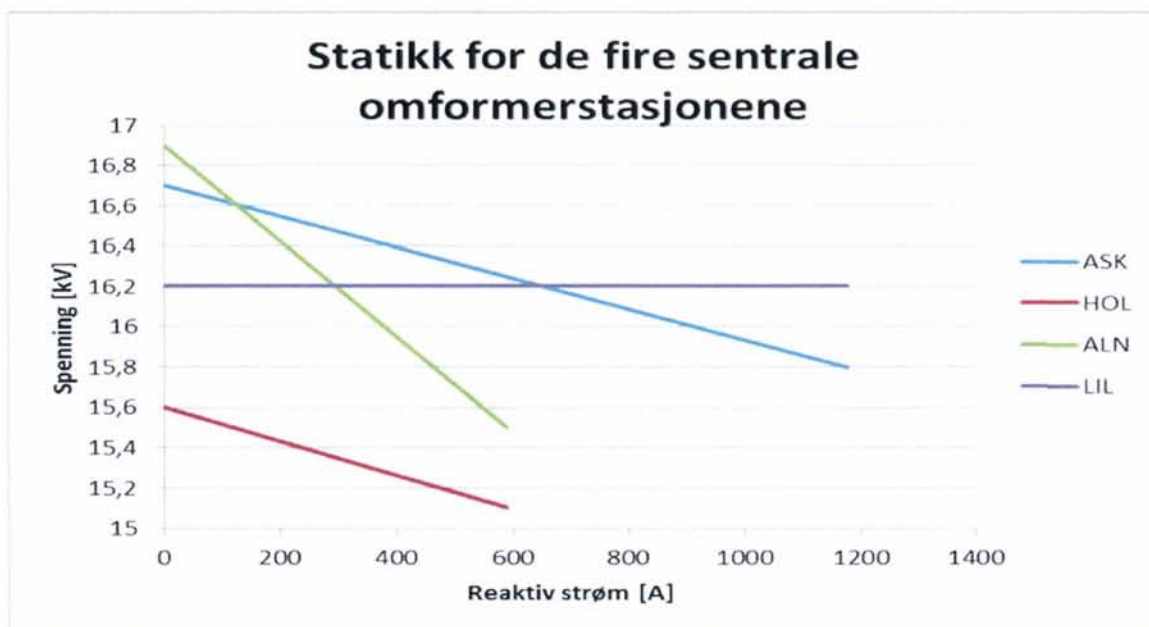
Figur 6-2 Målinger som viser spenning som funksjon av reaktiv strøm.



Figur 6-3 Målinger som viser spenning som funksjon av reaktiv effekt.



Figur 6-4 Målinger som viser spenning som funksjon av reaktiv strøm for 29.september. Punktene viser alle målingene for aktuell samplingsfrekvens i det aktuelle tidsrommet.



Figur 6-5 Fremkommet statikk for de fire omformerstasjonene Asker, Holmlia, Alnabru og Lillestrøm.

Aktiv og reaktiv effektflyt i tomgang, altså uten togtrafikk, vil gi vesentlige opplysninger om blant annet innstilling av spenningsregulatorene. For å få kontrollert at spenningsregulatorene er riktig innstilt i omformerstasjonene i Oslo-området blir her lastflyten i tomgang sammenlignet med målinger. Spesielt er en som sagt usikker på innstillingene for Alnabru. Nedenfor viser Figur 6-6, Figur 6-7, Figur 6-8 og Figur 6-9 aktiv og reaktiv effekt fra de sentrale omformerstasjonene, for henholdsvis Lillestrøm, Alnabru, Asker og Holmlia. Målingene gjelder for 26. september 2011, bortsett fra Alnabru der målingene er for 7. november 2011.

Helst skulle en ha sett effekten på hver avgang, men det har en ikke mulighet for. En burde nok også sett på målinger for flere dager, men det forutsettes å ikke være store variasjoner mellom dagene. En skulle kanskje tro at det knapt var et eneste tog i trafikk i dette området mellom klokken 01:00 og 03:00, men noe aktivitet ser det ut til å være. Undersøker en i ruteplanene og TIOS ser det ut til å være følgende tog i nærheten av Oslo i dette tidspunktet:

- Tre godstog (4008, 5060 og 41910) på Kongsvingerbanen på veg til Alnabru
- Ett godstog (5510) på Gjøvikbanen på veg mot Alnabru
- Ett godstog (5814) på Sørlandsbanen mellom Nordagutu og Kongsberg på veg mot Gulskogen
- Ett tomtog (12206) på Drammensbanen på veg til Filipstad.

Ellers er det noen andre tog, men de er såpass langt unna de sentrale omformerstasjonene at disse neppe utgjør noen belastning på Asker, Lillestrøm, Alnabru og Holmlia.

Av Figur 6-6, Figur 6-7, Figur 6-8 og Figur 6-9 ser en at reaktiv effekt er veldig konstant, spesielt rundt klokken 02:30. Om en bestemmer seg for å gjøre avlesningene rundt dette tidspunktet med 30 sekunder før og etter, finner en følgende effektproduksjon i MEAN-verdier:

- Lillestrøm: 1,75 MW og -1,25 MVar 1-minuttsverdier
- Alnabru: 1,3 MW og 0,7 MVar 1-minuttsverdier

- Asker: 0,7 MW og -0,83 MVar 1-minuttsverdier
- Holmlia: 1,25 MW og -1,3 MVar 1-minuttsverdier

En simulering utføres med de få togene som går rundt klokken 02:30. Her er det forutsatt at fasevinkler i overliggende trefasenett er de som er funnet i [2] og videre benyttet i [1]. Resultatene som avviker mye fra de målte verdiene er markert med rødt og høyeste og laveste verdier 30 sekunder før og etter 02:30 er avlest:

- Lillestrøm: 0,4 – 0,6 MW og -1,8 – 2,2 MVar
- Alnabru: 1,2 – 1,3 MW og 5,7 MVar
- Asker: 1,2 – 1,4 MW og 4,5 MVar
- Holmlia: -0,12 – -0,18 MW og -6,3 MVar

Det utføres en ny simulering der fasevinkler i overliggende trefasenett er satt til null og en får følgende nye resultater:

- Lillestrøm: 0,85 – 1,1 MW og 1,2 – 2,0 MVar
- Alnabru: 1,0 – 1,2 MW og 4,2 MVar
- Asker: 0,86 – 1,2 MW og -2,9 – -3,2 MVar
- Holmlia: -0,06 – -0,17 MW og -6,7 MVar

Endringene er minimale og av dette kan en slutte at fasevinklene i overliggende nett spiller liten rolle for lastflyten i tomgang. Det gjøres et nytt forsøk der fasevinkler i overliggende nett velges slik som i [2], men der spenningen i tomgang i perifere omformerstasjoner med ukjent innstilling settes til 16,5 kV. En får da følgende nye resultater:

- Lillestrøm: 0,56 – 0,82 MW og 0,85 – 1,9 MVar
- Alnabru: 1,2 – 1,5 MW og 4,0 MVar
- Asker: 0,57 – 0,91 MW og 2,1 – 2,4 MVar
- Holmlia: -0,06 – -0,17 MW og -6,8 MVar

Også denne gangen er det minimale endringer og en kan like gjerne benytte de opprinnelige verdiene. Dermed benyttes opprinnelige verdier for fasevinkler i overliggende nett og antagelsen om 16,2 kV som tomgangsspenning på de perifere omformerstasjonene.

Siden Alnabru er den omformerer en er mest usikker på gjøres det forsøk med å redusere tomgangsspenningen på denne, mens statikken holdes konstant. En gjør forskjellige forsøk i trinn på 16,5, 16,3 og 16,2 kV. Med 15,6 kV på Holmlia, 16,2 kV Alnabru og 16,7 kV på Asker og 16,2 kV på statiske fås:

- Lillestrøm: 0,70 – 0,90 MW og 2,3 – 2,7 MVar
- Alnabru: 0,76 – 0,77 MW og 0,04 MVar
- Asker: 1,2 – 1,4 MW og 5,1 MVar
- Holmlia: -0,13 – -0,07 MW og -5,7 – -5,6 MVar

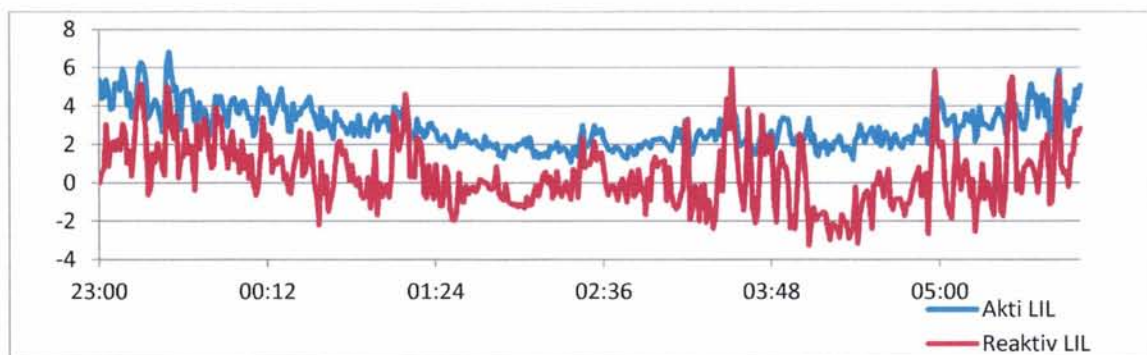
Dette ser ut til å være den beste etterligning av tomgangslastflyten som kan fås uten å bruke uforholdsmessig mye tid på dette. En har også gjort undersøkelser for en såkalt ideell innstilling av spenningsregulatorerne. Her er tomgangsspenningen 16,2 kV og flat statikk, unntatt ved utfall av ett aggregat der spenningens statikk blir -2,5 %. Følgende resultater fås:

- Lillestrøm: 0,66 – 0,84 MW og 2,0 – 2,4 MVar
- Alnabru: 0,64 – 0,72 MW og -0,3 MVar
- Asker: 0,45 – 0,63 MW og -0,60 - -0,50 MVar
- Holmlia: -0,49 – -0,42 MW og -0,46 - -0,46 MVar

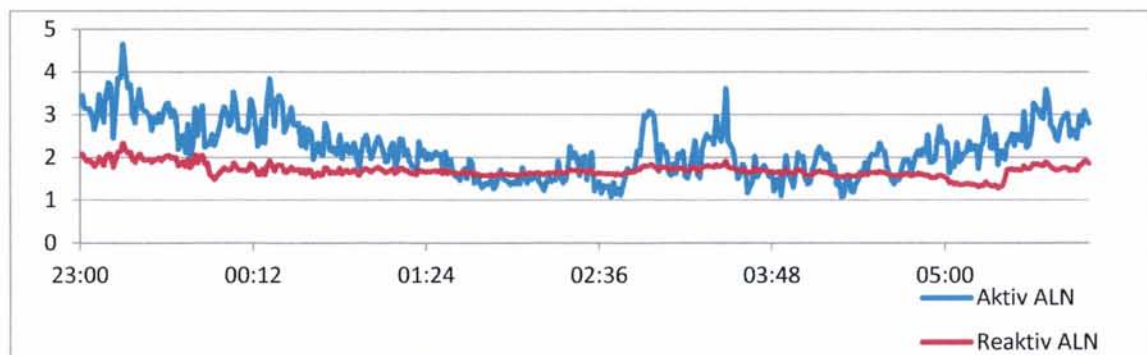
Reaktiv effekt er liten i forhold til simuleringene her. Årsaker til disse forskjellene kan være:

- Større statikk i virkeligheten enn det som er lagt inn i modellen?
- Statikk som endrer seg over tid?
- Mulig det er benyttet feil tomgangsspenninger?
- Større impedans i kontaktledningen i virkeligheten enn i modellen? Det kan være en mulighet.
- Kanskje spenning og belastning på Smørbekk, Jessheim og Nordagutu spiller inn på henholdsvis Holmlia, Lillestrøm og Asker?

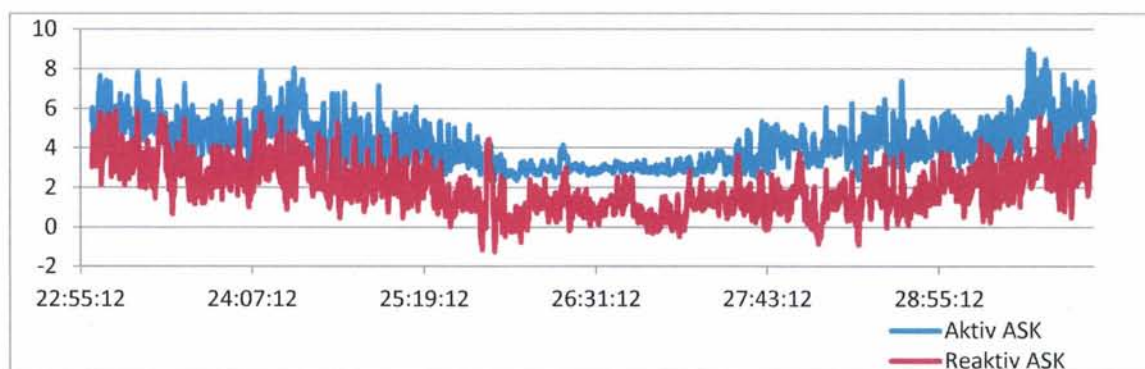
Det er vanskelig å finne ut noe mer om dette nå som aggregatene uansett har fått nye innstilte verdier.



Figur 6-6 Målinger for tilnærmet tomgang for aktiv og reaktiv effekt.



Figur 6-7 Målinger for tilnærmet tomgang for aktiv og reaktiv effekt.



Figur 6-8 Målinger for tilnærmet tomgang for aktiv og reaktiv effekt.



Figur 6-9 Målinger for tilnærmet tomgang for aktiv og reaktiv effekt.

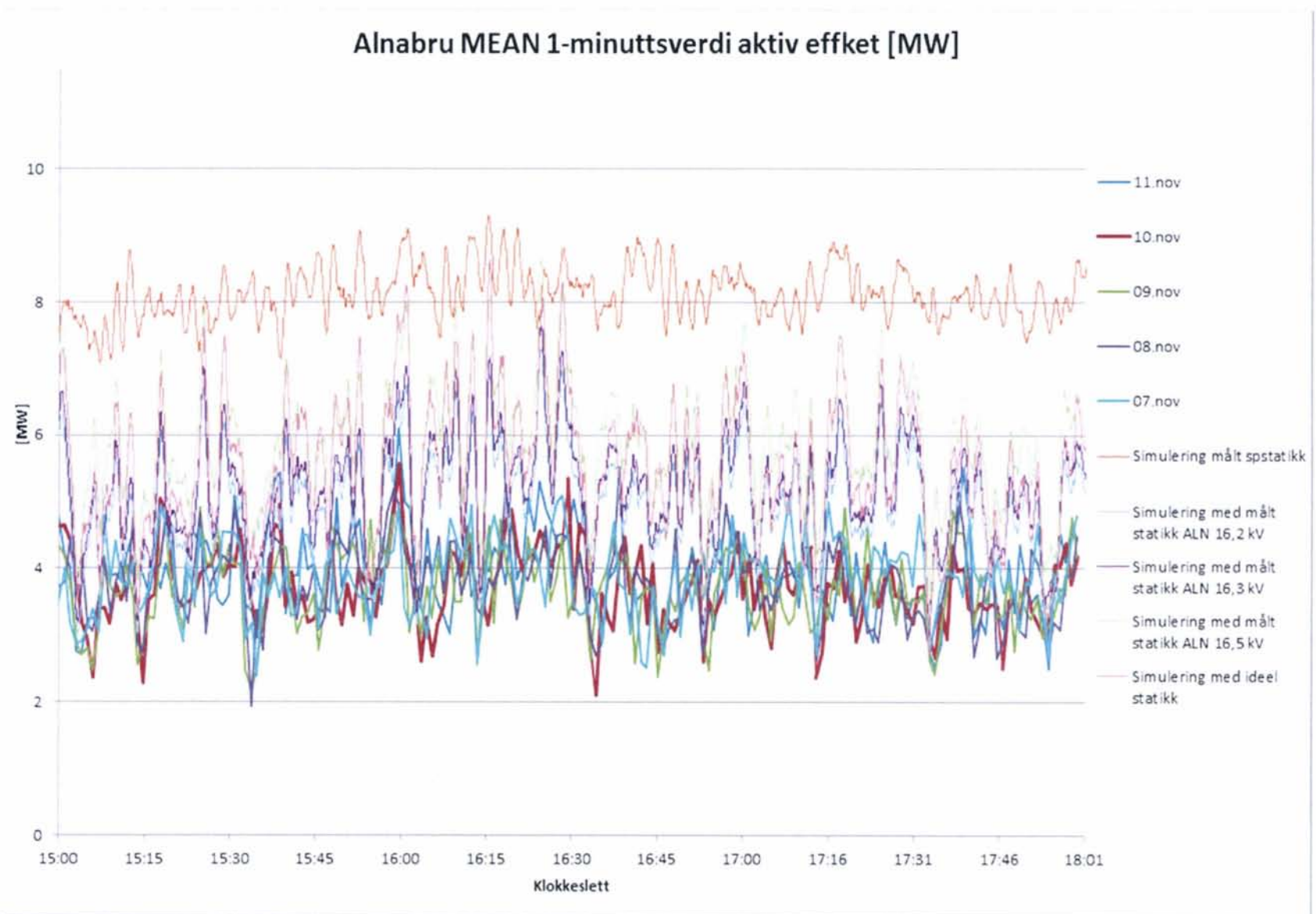
Justering av tomgangsspenningen alene ser ut til å være vanskelig og en har også gjort flere trafikksimuleringer med forskjellige innstillinger. Såkalt korrigert ruteplan er benyttet, se avsnitt 2.2. En har antatt at innstillingene for Alnabru er usikre og at tomgangsspenningen her justeres. Det er forsøkt følgende innstillinger:

- Alnabru omformerstasjon med opprinnelig målte verdier.
- Alnabru med redusert tomgangsspenning til 16,5 kV.
- Alnabru med redusert tomgangsspenning til 16,3 kV.
- Alnabru med tomgangsspenning 16,2 kV.
- Ideelle innstillinger for alle omformerstasjonene slik at tomgangsspenningen er 16,2 kV og flat statikk med alle aggregater inne, men ved utfall av ett aggregat fås - 2,5 % ved full reaktiv belastning for ett aggregat. Altså stabilisering 5 % og kompondering 5 %. Dette gjelder for de roterende aggregatene.

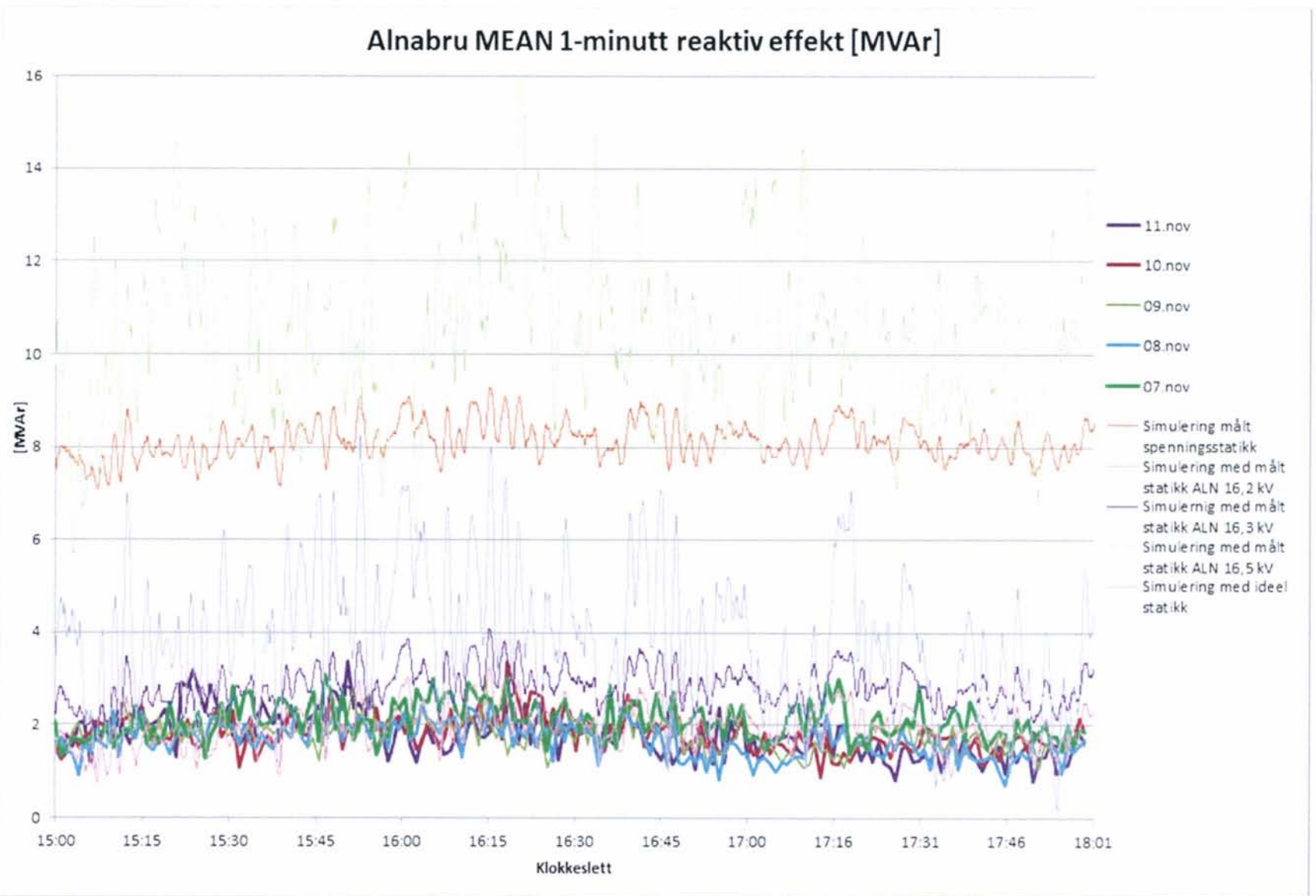
Det legges større vekt på å få den reaktive effekten fra hvert av aggregatene riktig, enn den aktive. Resultatet av simuleringene er vist i Figur 6-10 til Figur 6-17 for aktiv- og reaktiv effekt for Alnabru, Asker, Holmlia og Lillestrøm. En ser at med en innstilling på 16,2 kV fås best samsvar mellom målinger og simuleringer for Alnabru sin reaktive effekt. Mens for Lillestrøm, Holmlia og Asker er det liten forskjell på om Alnabru har sin opprinnelige målte tomgangsspenning på 16,9 kV eller den justerte på 16,2 kV. Mest feil ser det ut til å være for den ideelle innstillingen. En velger derfor innstillingen med 16,2 kV som tomgangsspenning for Alnabru. Muligens burde en justert noe på innstillingene for de andre, for eksempel kunne nok Holmlia hatt høyere tomgangsspenning og Asker lavere. Dette kan se ut til å bli et svært

omfattende arbeid og blir ikke gjort. Med dette bestemmer en seg for å bruke følgende innstillinger for spenningsregulatoren:

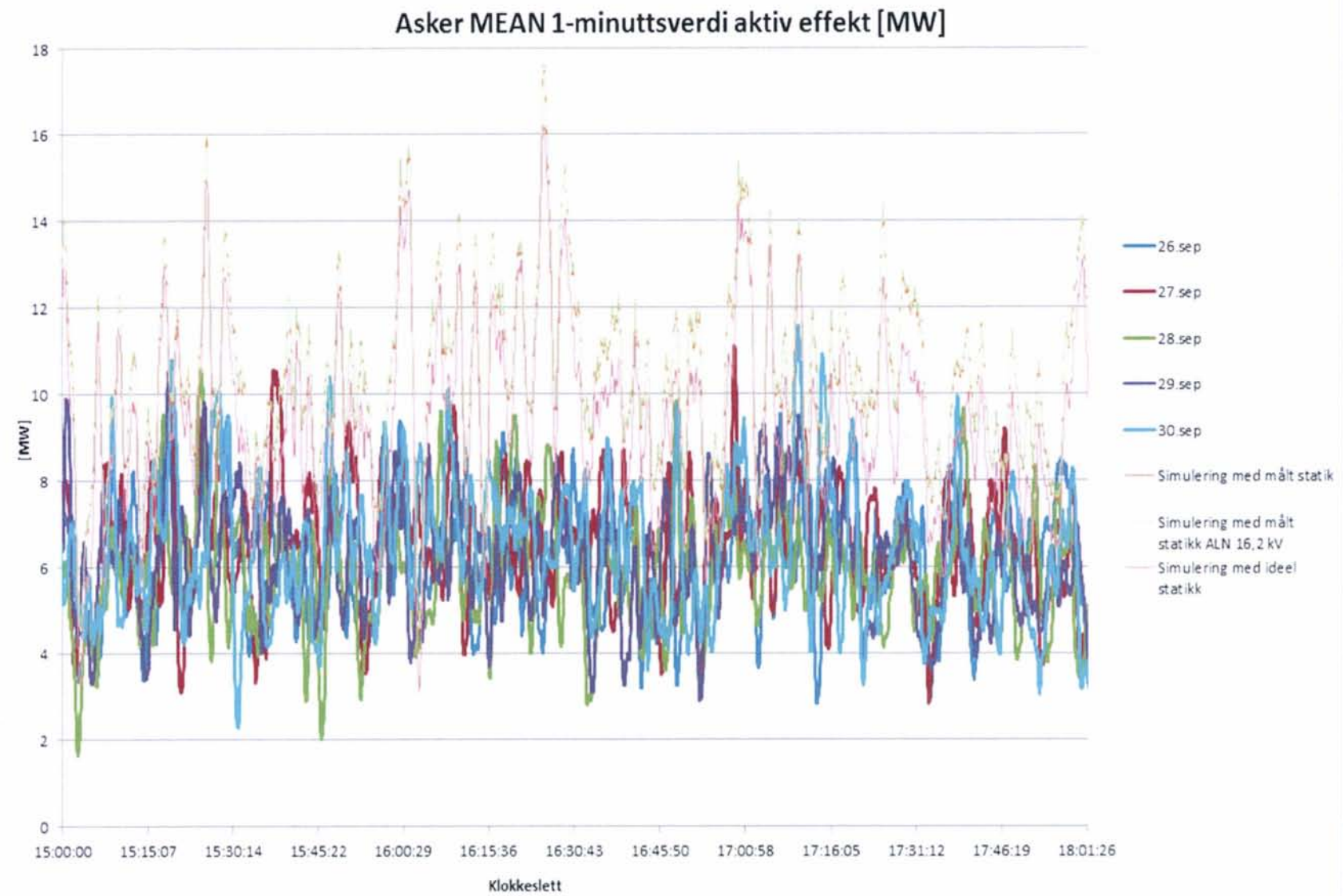
- Holmlia aggregat 1 (alene i drift)
Tomgangsspenning: 15,6 kV
Statikk: 3,2 % ved full merkelast induktiv (ref. 10 MVA)
 - Asker aggregat 1+2 (begge i drift)
Tomgangsspenning: 16,7 kV
Statikk: 5,4 % ved full merkelast induktiv (ref. 20 MVA)
 - Alnabru aggregat 1 (alene i drift)
Tomgangsspenning: 16,2 kV
Statikk: 8,5 % ved full merkelast induktiv (ref. 10 MVA)
- Lillestrøm: 1 eller 2 aggregater i drift
Tomgangsspenning: 16,2 kV
Statikk: 0 % ved full merkelast induktiv (ref. 12 eller 24 MVA)



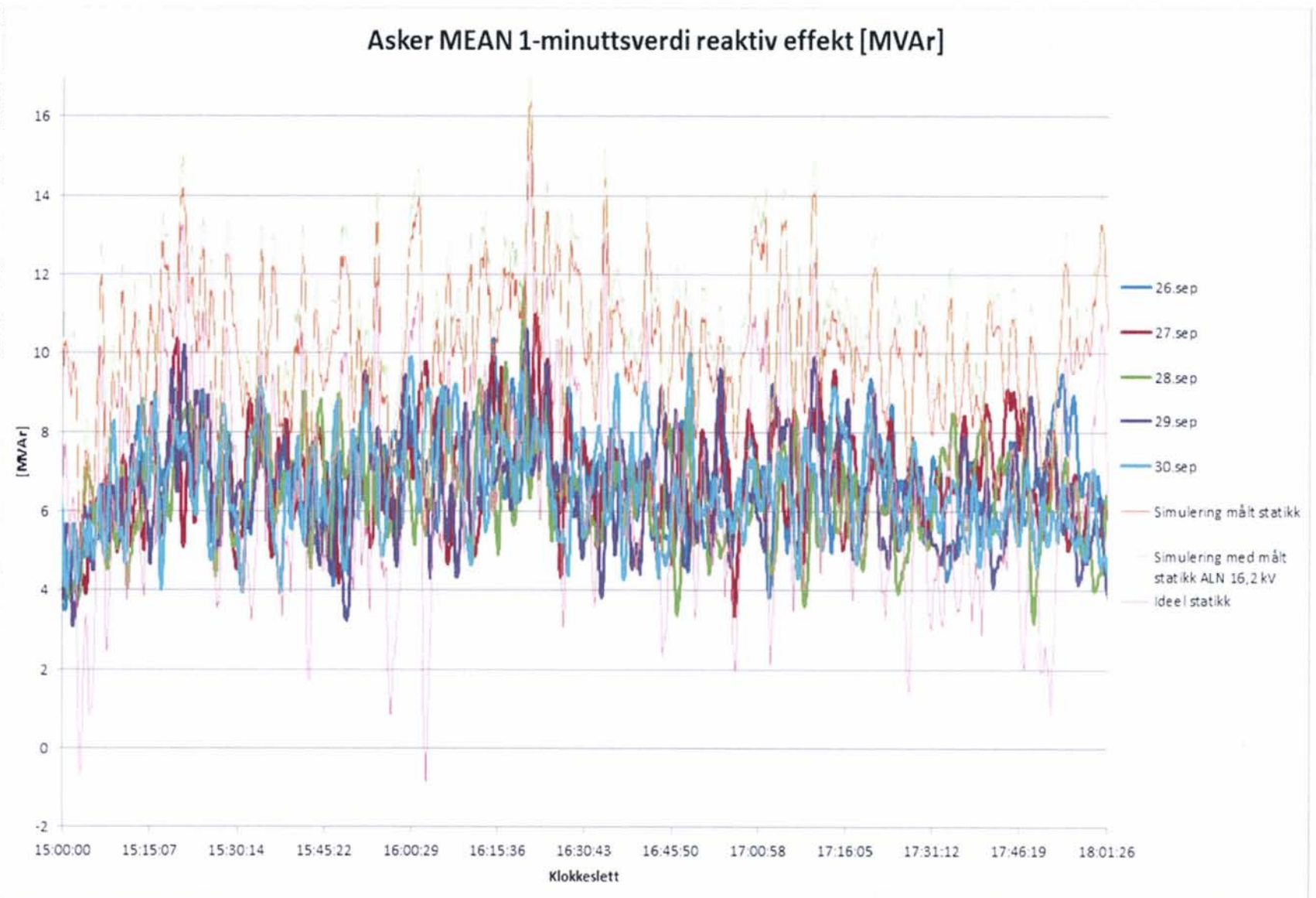
Figur 6-10 Simuleringer med forskjellig tomgangsspenning på Alnabru.



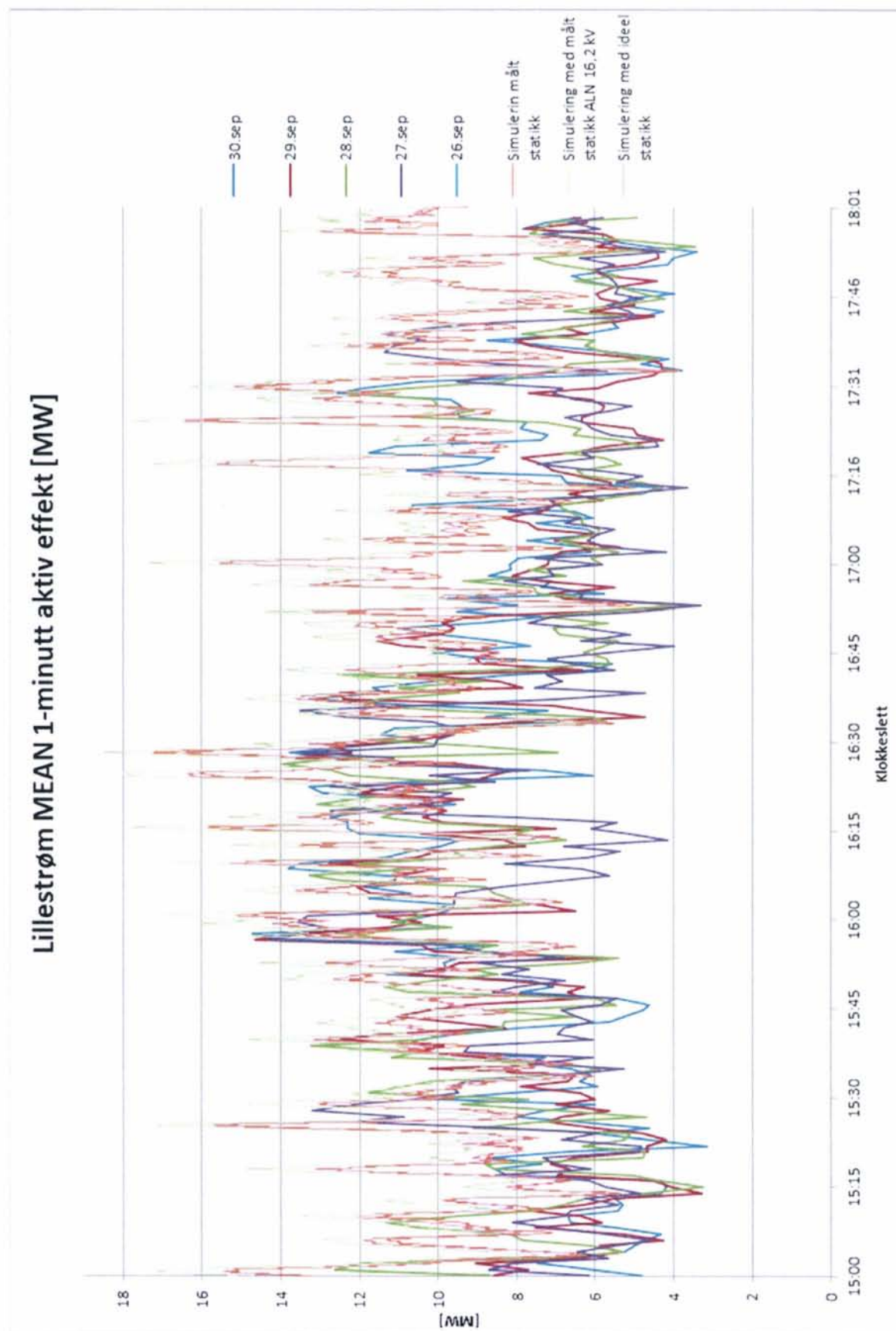
Figur 6-11 Simuleringer med forskjellig tømangsspennning på Alnabru.



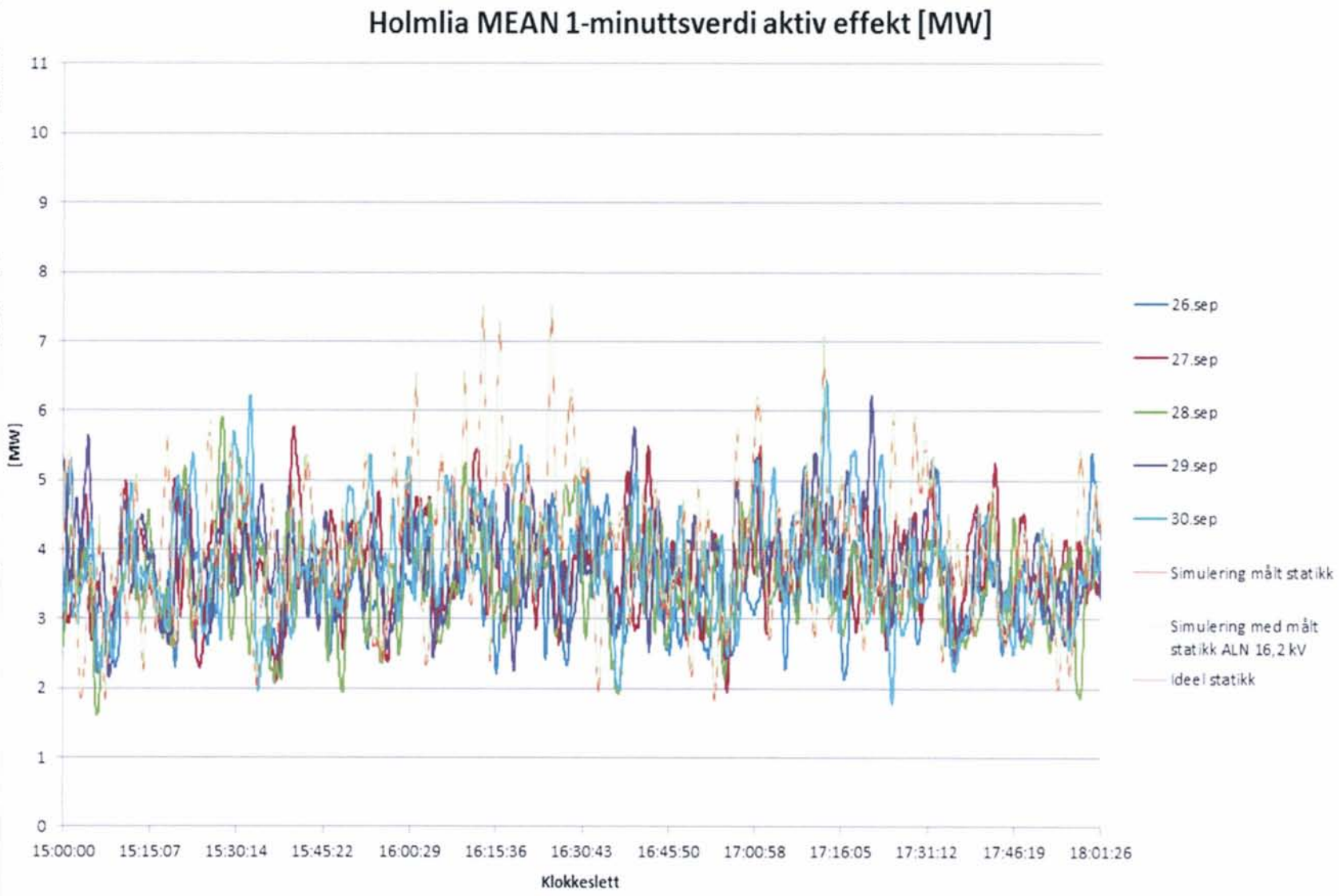
Figur 6-12 Simuleringer med forskjellig tomgangsspenning på Alnabru.



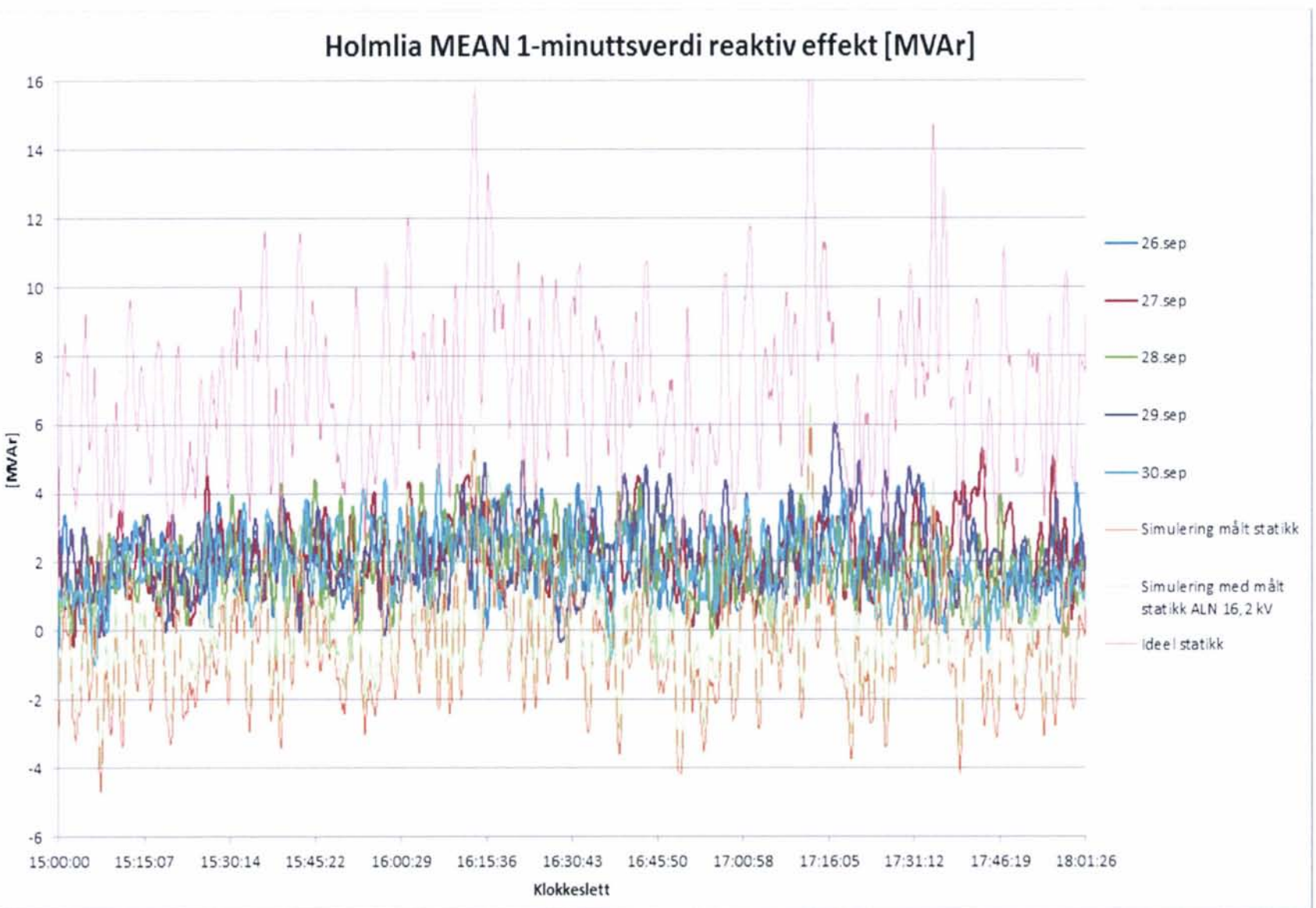
Figur 6-13 Simuleringer med forskjellig tomgangsspenning på Alnabru.



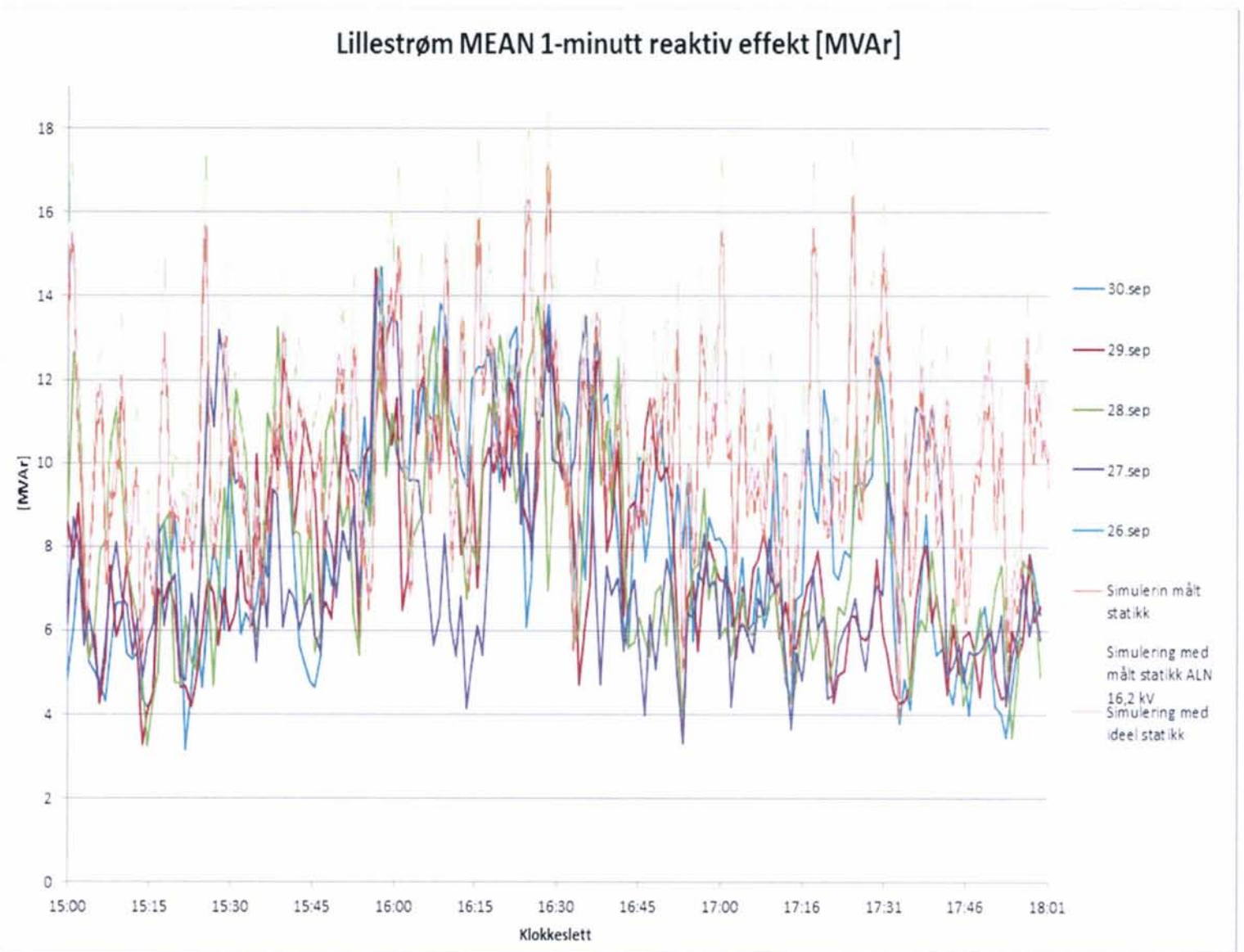
Figur 6-14 Simuleringer med forskjellig tomgangsspenning på Alnabru.



Figur 6-15 Simuleringer med forskjellig tomgangsspenning på Alnabru.



Figur 6-16 Simuleringer med forskjellig tomgangsspenning på Alnabru.



Figur 6-17 Simuleringer med forskjellig tomgangsspenning på Alnabru.

7. REFERANSER

1. Frank Martinsen: "Banestrømforsyningen i Oslo-området med trafikkøkninger i forbindelse med ruteplan R2012. Fase 1 – Trafikk og infrastruktur i nær fremtid". Jernbaneverket BTPE juni 2010. Dokumentnr.: EB-100776-000.
2. Sigur Sørbotten: "Beregning av fasevinklar mellom omformarstasjonar i Osloområdet". Statnett, Divisjon Teknologi & Prosjekt, Desember 2009. Dokumentnr.: 1392773
3. Samson Yared: "Tunnelfaktor på norske banestrekninger". Rapport enda ikke utgitt.
4. Eivind Toreid: "Simulering og måling av effektopptak for godstog med lokomotiv CE119". Dokument nr.: EB.800121-000. Oslo/Trondheim april 2011.
5. Peter Deutschmann: "Requirements for train simulation tools with integrated electrical load flow calculation" Trafikverket. Rapport enda ikke utgitt.
6. Øyvind Stensby: e-post datert 6. desember 2011 til Steinar Danielsen. Denne viser spenningsregulatorens oppførsel i Rombak omformerstasjon når Rc-lokomotiv trafikkerer strekningen.
7. Steinar Danielsen: "Måling for kontroll av simulerte nøkkeltall for energiforbruk per bruttotonnkilometer". Delrapport mars 2003. Prosjektnr.: 292257.
8. Jan Vetle Moen: "Energiforbruk – Funn og resultater". Rapport. NSB Persontog Drift Kvalitet og sikkerhet. Analyseavdelingen. Se vedlegg 1.
9. Thomas Albrecht "Energy Efficient Train Control – Experiences Gained from Onboard Tests of a Driver Assistance System on a Suburban Railway Line". PowerPoint-presentasjon. Technische Universität Dresden. Se vedlegg 2.
10. Frank Martinsen: "Kapasitetsparametere for banestrømforsyningen. Undersøkelse av metoder for å finne sammenheng mellom effektbehov og trafikk på enkeltsporede strekninger". Jernbaneverket BTPE 1. april 2009. Dokumentnr.: EB.80055-000.

8. VEDLEGG 1 ENERGIFORBRUK – FUNN OG RESULTATER

Energiforbruk

Funn og resultater



NSB Persontog Drift Kvalitet og sikkerhet
Analyseavdeling

Innhold

Bakgrunn.....	3
Prosjektorganisering	3
Videre prosjektering	4
Tog er miljøvennlig.....	5
Energimåling	6
Resultater	6
Fenomener som antas å påvirke forbruket.....	7
Typisk variasjonsskurve	8
Typisk årskurve.....	9
Utetemperatur.....	9
Nedbør.....	11
Snøfokk, avisningsbrems	11
Materiellindivid	13
Pardrift, dytting og trekking	14
Type 69	17
Type 70	19
Type 72	24
Type 73	29
El 18.....	34
Hvordan kan man forbedre seg?	38
Hovedkonklusjoner	38
Målte variasjoner i forbruk	39
Årsaker til variasjoner	39
Bestemmelse av variasjonsgrenser	39
Kjørestiler	42
Simulering	42
Konklusjoner	43

Bakgrunn

Gjennom støtten fra Enova er det realisert tre enøkprosjekter, hvor to av dem har medført store energibesparelser og det forventes stor besparelse også på det tredje tilsagnet.

I delprosjekt 1, som er avsluttet, er det kuttet 60 GWh i energiforbruk. Her var det fokus på rutiner, enkle tekniske grep og opplæring av lokomotivførere.

I delprosjekt 2 skal det spares ytterligere 40 GWh i året. Disse besparelsene er primært rettet mot ombygging av B5, B7 og 69C, samtidig som Drift innfører energioppfølging som en del av deres arbeidsrutiner. Prosjektet skal være avsluttet i utgangen av 2012.

NSB AS har også fått tilsagn om ytterligere støtte på 18,4 millioner kroner fra Enova om et delprosjekt 3. Dette er i forbindelse med innkjøp av nytt materiell, og prosjektet har en prosjektkostnad på 118 millioner og skal gi årlige besparelser på 31 GWh.

Totalt har NSB fått tilsagn om 44 millioner kroner fra Enova, hvorav 21,5 millioner kroner av disse er tatt ut. Det vil si at det gjenstår 22,5 millioner kroner som kan bli utløst ved ytterligere besparelser.

Prosjektorganisering

Drift har overtatt det administrative arbeidet med enøkprosjektet fra TO. Det vil si oppfølging, rapportering og budsjettering. Gjennom 2010 og videre utover i 2011 vil man kutte ned på ressursbruken. Det har allerede blitt kuttet omtrent 3 årsverk, og fra august 2011 ser man for seg kun ca 0,5 årsverk i Enøkprosjektet.

I utgangen av 2010 hadde man ikke oppnådd ytterligere besparelser enn tidligere. Dette er stort sett begrunnet med at man har hatt store utfordringer i driften og svært ustabile værforhold. På den annen side har heller ikke energiforbruket økt, se graf.

Reduction in wh/bTKm reference year 2004



Graf 1: Reduksjon i energiforbruk per år (wh/bTKm)

Til tross for dette har man gjennom prosjektet skapt en helt ny forståelse av energiforbruk. På 5 år har man fått "alle" i organisasjonen til å forstå hvordan energiforbruket virker inn på produksjonen, og hvordan de kan bidra til ytterligere reduksjon.

Videre prosjektering

Enøkprosjektet vil i 2011 fokusere på energistyring og energioppfølging. Oppbygging og testing av Enka vil være avgjørende for å oppnå god energistyring i organisasjonen. Det er også utviklet en prototype på energimåler på dieselmateriell som vil bli testet og vurdert i løpet av 2011. I tillegg har JBV et prosjekt som har som mål å installere målere på varmepostanleggene slik at all energi i jernbanenettet blir målt.

Den planlagte opplæringen vedrørende energiøkonomisk kjøreteknikk er gjennomført, og lokførere får videre en introduksjon i Enka. Dette har primært ført til besparelse på regionaltrafikken. For øvrig får alle nyutdannede lokførere opplæring i energiøkonomisk kjøreteknikk via simulatortrening på Sundland. I tillegg kurses konduktørene frem til 21.12.2011 i energiøkonomisering og deres betydning for energiforbruket. Det vurderes videre opplæring vedrørende enøk.

Notatet tar videre for seg noen av de funnene og erfaringene vi har oppnådd gjennom analyse av energidata samlet inn ved måling på vårt materiell.

Tog er miljøvennlig

"Tog er miljøvennlig og energieffektivt"!

Dette er et utsagn som de fleste kjenner til og kan stille seg bak. Men hvor energieffektivt er så tog? I en studie gjennomført av Naturvernforbundet og gjengitt i boken "transport og miljø" har de sett på de ulike transportalternativene og sammenlignet disse mot hverandre i 2020. Her har vi i NSB lagt til grunn at vår energieffektivitet vil øke noe da vi både har et fruktbart enøkprosjekt men også investeringer i nytt og energieffektivt materiell. Vi forventer også en økning i antall reiser. Sammenligningen tar for seg hele energiforbruket, dvs:

1. Direkte energiforbruk ved bruk av transportmidler
2. Miljøkonsekvenser av bruk av energi, inkludert produksjon og distribusjon av energi
3. Miljøkonsekvenser av produksjon og vedlikehold av transportmidler
4. Miljøkonsekvenser av bygging, drift og vedlikehold av infrastruktur.

Resultater er som følger:

Tabell 1: Transportmiddel og forbruk

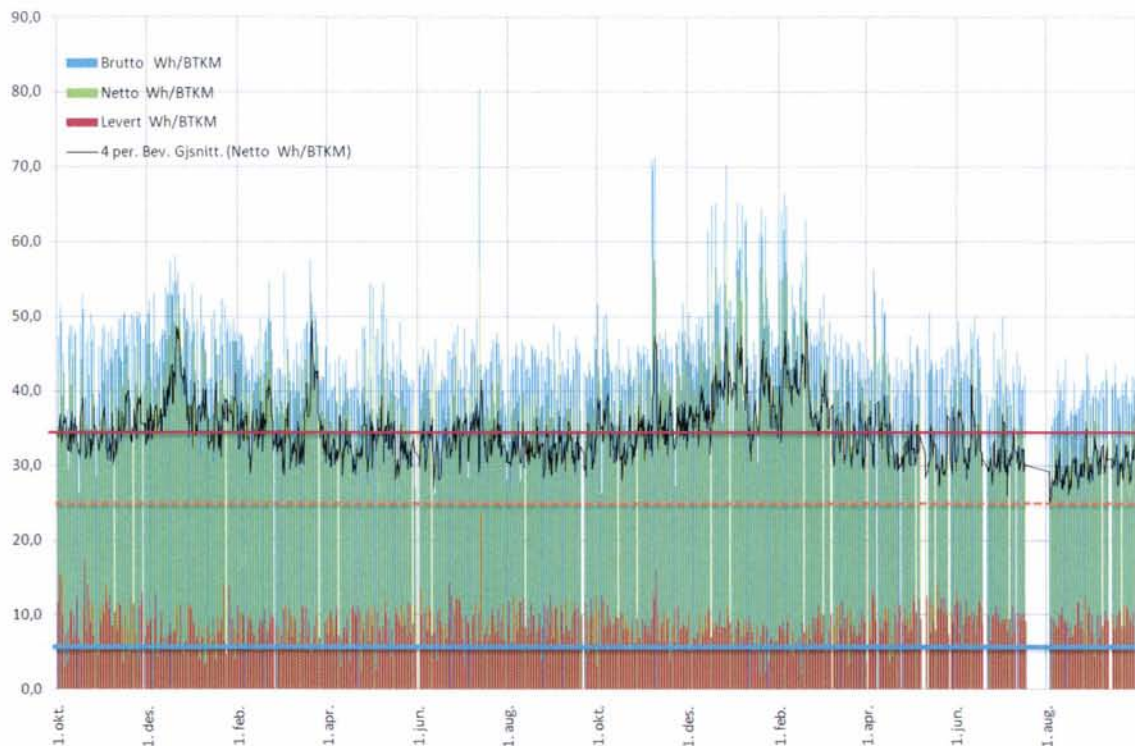
Transportmiddel	Forbruk	Kapasitetsutnyttelse
Korte reiser		
Personbil	0,43	26 %
Elbil	0,20	26 %
Bybuss	0,31	25 %
Trikk	0,21	20 %
T-bane	0,16	15 %
Tog (el.)	0,19	26 %
Mellomlange reiser		
Personbil	0,28	33 %
Elbil	0,16	33 %
Buss	0,13	40 %
Tog høyhast	0,11	40 %
Lange reiser		
Personbil	0,23	40 %
Buss	0,13	40 %
Tog høyhast	0,07	60 %
Fly	0,51	70 %

Som man ser fra tabell 1 er tog overlegen når det gjelder energieffektivitet på mellomlange og lange reiser. Hele 10 ganger mer energieffektivt enn fly. Dette er noe som NSB bør ta med seg, og ikke bruke som hvilepute, men som inspirasjon til å arbeide videre med energieffektivisering slik at vi faktisk når de målene som er satt. "Konkurrentene" er kanskje de som setter aller størst fokus på dette i fremtiden da de ser viktigheten av det. De må bli konkurransedyktig, ellers havner de utenfor. Det ses spesielt på bil og flyindustrien som er de store stygge ulvene i dag. De arbeider målrettet for å kutte ned forbruket, og begge har oppnådd usedvanlig gode resultater. Dette bør også andre transportmidler ta til etterretning.

Videre i dokumentet belyses det hvordan energiforbruket har vært på vårt materiell de siste 4 årene.

Energimåling

Energiforbruket fra NSBs tog samles nå inn med 5 minutters intervall og blir lagret i en database. Denne store datamengden gir et meget nøyaktig bilde av energiforbrukt til hvert tog, til hver materielltype og til hvert tognummer hver gang det kjøres.



Graf 2: Spesifikt energiforbruk på 1900 turer med E118 på strekningen Oslo Kristiansand - retur

Grafen over illustrerer denne store spredningen i energiforbruket. Hver søyle representerer spesifikt energiforbruk på en togtur, men de ligger så tette at det ser ut som et sammenhengende areal. Røde søyler ligger i øverste lag og viser tilbakematet energi, grønne søyler ligger i neste lag og viser netto innmatet energi, og blå søyler ligger underst og viser brutto innmatet energi.

Togturene er vist i kronologisk rekkefølge og en kan tydelig se to topper i forbruket i de to vintersesongene. Men det er også påfallende stor variasjon i forbruket fra tur til tur og fra dag til dag. Den sorte linjen viser glidende gjennomsnitt av 4 turer, men også denne viser en stor variasjon. Grafen er typisk for alle materielltyper, på den måten at det er stor spredning i nettoforbruk, men også at det er stor spredning i tilbakematet energi ved omtrent samme nettoforbruk.

Resultater

Alle materielltyper er studert. Det er også beregnet faktorer for korreksjoner og kompensasjoner. Etter korreksjoner kan togturer under forskjellige forhold og forskjellige materiellindivid vurderes opp mot hverandre og forbruket sammenlignes og rangeres.

Her er et konsentrat av det som er funnet:

- Utetemperatur påvirker forbruket ulikt på hver materielltype.
- Løssnøforhold påvirker forbruket ved at avisningsbrems må brukes mer
- Samlede vinterforhold kan kompenseres slik at turer på ulike årstider kan sammenlignes
- Nedbør påvirker ikke forbruket av betydning

- Det er betydelig forskjell på forbruket på de forskjellige tognumre og strekninger
- Rushtid gir noe forskjell i forbruk
- Det er systematisk forskjell i forbruk om motorvogn kjører alene, først i toget eller sist i toget
- Det er forskjeller på gjennomsnittlig forbruk på forskjellige materiellindivider
- Det er store forskjeller på materielltyper i gjennomsnittlig forbruk
- Togsettene som kjører i par har ulikt forbruk og tilbakemating. Dette er en viktig forklaring på hvorfor spredningen i målt forbruk og tilbakemating er så stor
- Ulikt forbruk i par påvirker samlet forbruk lite
- Ekstreme forskjeller forekommer

Fenomener som antas å påvirke forbruket

Disse fenomener antas å påvirke toget under en togtur:

Vær, årstid, ytre forhold

- Lav utetemperatur (Oppvarming)
- Solskinn, høy utetemperatur (Kjøling på det materiellet som har HVAC)
- Nedbør (Glatte skinner)
- Snøfokk (tørrensø ved sporet, glatt, fare for å miste bremses, avisningsbrems må brukes)
- Løvfall (meget glatte spor)

Rute, strekning

- Høydeforskjell på start og slutt punkt (dominerende nedover eller oppoverkjøring)
- Fjellovergang (store høydeforskjeller på ruta, energitap ved stigning og bremsing)
- Rushtid (køkjøring, mange start stopp, maksimal hastighet når klart spor)
- Antall stasjoner (stopp) på ruta
- For knapp ruteplan (må alltid kjøre maksimalt)

Tog

- Posisjon, motorvognens posisjon i toget (Singel 0, forrest 1, andre 2, tredje 3)
- Materiellindivid (varig feil på togsett, innstillinger)
- Materielltype (type 69, type 70 etc.)
- Par drift (dytting og trekking mellom to togsett)

Hendelser

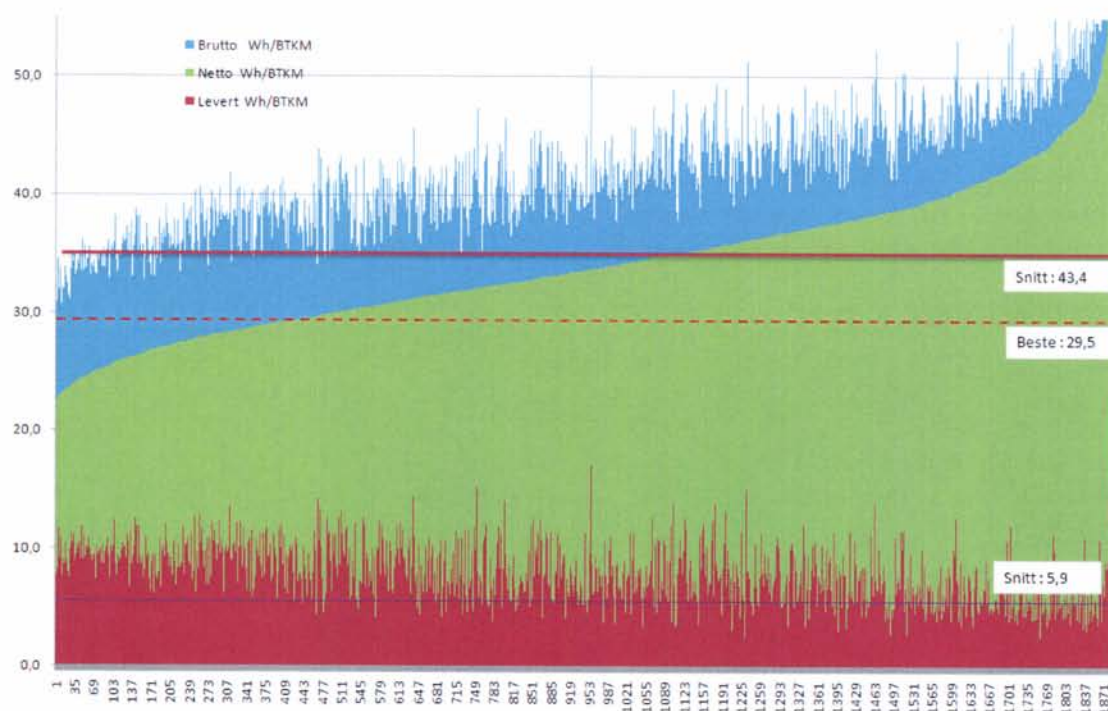
- Forsinkelser (må kjøre inn forsinkelser i maksimal hastighet)
- Motorhavari (Utfall av en motor gjør motorvogn får mindre forbruk og at annen motorvogn i toget får større forbruk)
- Hendelser på sporet (signalfeil, arbeider, elg, avsporing etc., gir ekstra stopp og forsinkelser)
- Ulik antall passasjerer (togvekt, lengre tid til av og påstigning)

Kjørestil

- Kjørestil (komfortkjøring, rykkete kjøring, rulling, nedbremsing ved bruk av tilbakemating, automatikk)
- Stasjonsopphold (lange opphold gjør at en må kjøre raskere for å holde ruta)

En god del av fenomenene over finnes det data for, for eksempel meteorologiske data, tognummer, høydeforskjeller.

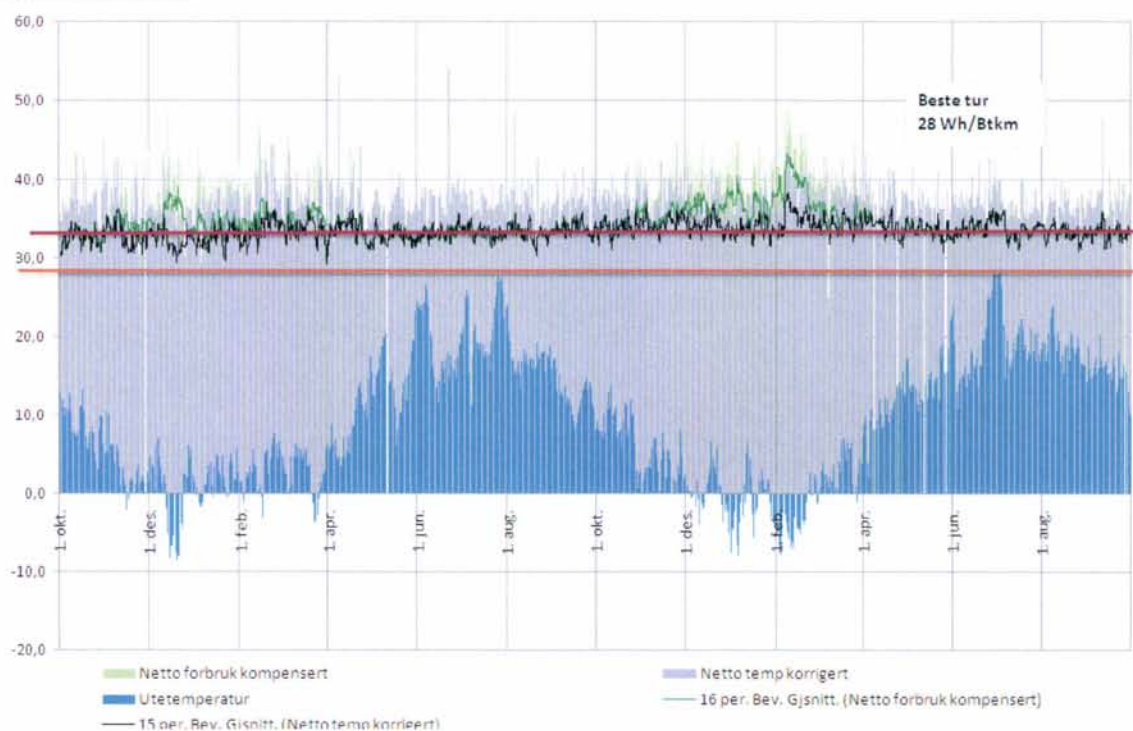
Typisk variasjonsskurve



Graf 3: Spesifikt energiforbruk på 1900 turer med E118 på strekningen Oslo Kristiansand– retur

Grafen over er tatt med fordi måten å presentere data på gir et bilde av variasjonen i forbruk, og er brukt gjennom hele undersøkelsen. Tallene på y-aksen er antall Wh/tonnkm. Hver søyle er en togtur. Bruttoforbruket er vist med blå søyle. Nettoforbruket er grønn søyle, og skjuler nederste del av søyle med bruttoforbruket. Tilbakematet energi er vist med brunrød søyle, som ligger øverst. Togturene er her sortert og ligger i rekkefølge etter størrelsen på nettoforbruket, helt uavhengig av når turen ble kjørt. Diagrammet viser noen forhold som er typiske for alle matrielltyper og strekninger, men med variasjoner. Det første som en ser er det meget store variasjonen i nettoforbruk, i dette tilfellet fra ca 23 Wh/tonn km til over 60 Wh/tonn km. Søylene som viser nettoforbruket ligger tett inntil hverandre og danner en sammenhengende rett linje med en typisk S-form. En ser også at det er en viss sammenheng mellom høyt nettoforbruk og lav tilbakemating. Men det er en meget stor variasjon i tilbakemating fra togtur til togtur med nesten samme nettoforbruk.

Typisk årskurve



Graf 4: Nettoforbruk TYPE 70 på strekningen Oslo - Lillehammer og retur. Togturer i kronologisk rekkefølge

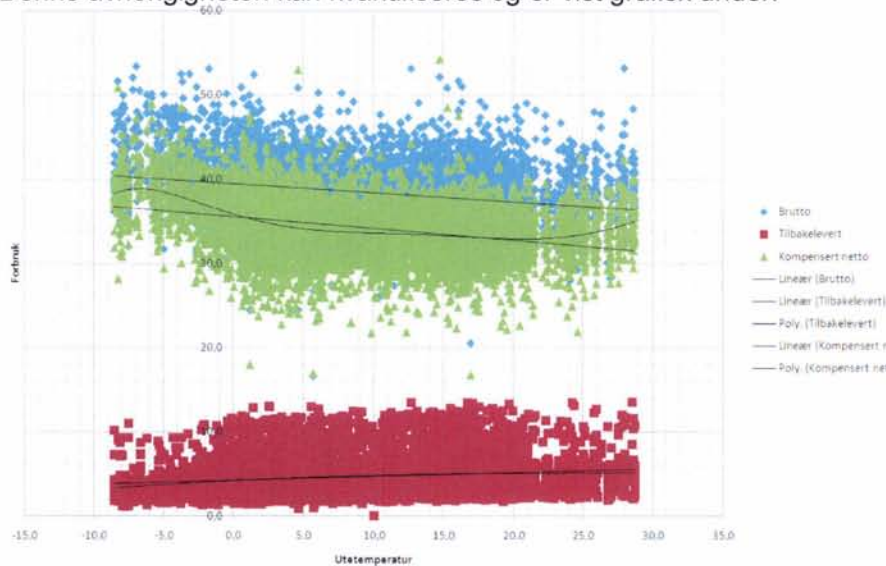
Denne kurven viser typiske forhold. Her er korresponderende utetemperatur vist med blå søyle. Det er hentet inn temperatur fra Blindern meteorologiske stasjon. Også her ser en virkning av vinterforhold i de to vintersesongene som er med (grønn trendkurve). Man har prøvd å kompensere for utetemperatur. Den kompenserte nettoforbrukskurven er vist med sort trendkurve. Om sommeren er grønn og sort trendkurve like. Den kompenserte trendkurven er ikke helt rett, og det er fortsatt en mindre topp i februar 2009. Dette skyldes andre forhold enn utetemperatur. (Snøfokk, bruk av avisningsbrems, se mer under beskrivelsen av energiforbruk på type 73)

De viste grafene er en god illustrasjon på at påvirkning av utetemperatur er forskjellig fra materielltype til materielltype. En kan også se at virkningen av utetemperatur kan filtreres bort, slik at andre forhold lettere kan studeres. (Bemerk: Antallet togturer er meget stort, og mange detaljer vises dårlig på grafene over). Årskurvene viser at det er en meget stor variasjon fra tur til tur, men de gir en god oversikt over sesongmessige variasjoner og langsiktige tendenser til økt eller redusert forbruk.

Utetemperatur

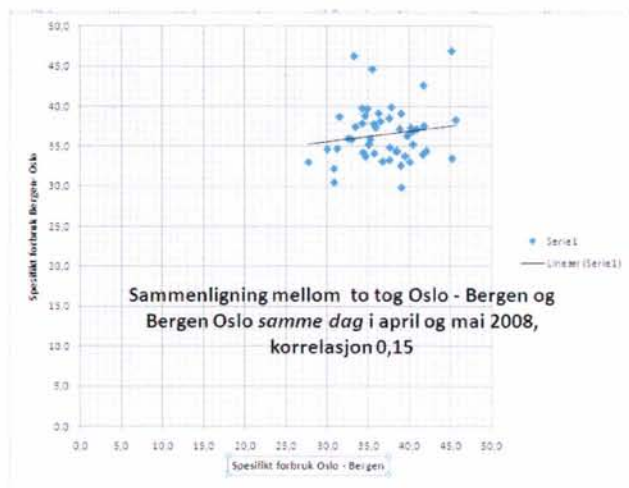
Energiforbruket er avhengig av utetemperaturen. **Ca 86 % av variasjonen** kan forklares med utetemperaturen (totalt, noe avhengig av hvilke materielltype). Det sees tydeligst på årskurvene.

Denne avhengigheten kan kvantifiseres og er vist grafisk under:



Graf 5: Forbrukets avhengighet av utetemperatur

Hver tur er representert ved tre punkter som ligger vertikalt over hverandre. Blå – bruttoforbruk, grønn – nettoforbruk, rød – tilbakelevert. Blå punkter er på nederste lag og er derfor delvis skjult under de grønne. Tendensen leses best ved å se på trendlinjene som er lagt inn. Det er vist tre lineære trendlinjer for punktene over. (Lineær trendlinje er den beste tilpassning av en rett linje etter metoden summen av kvadrater). Som en ser er det en fallende tendens for brutto og nettoforbruket, mens tilbakematingen øker med temperaturen. Som nevnt skyldes dette at mindre av den produserte energien brukes internt i toget. Det er også lagt inn polynære trendlinjer for netto og tilbakematet energi. Disse følger tendensen mer nøyaktig og gir grunnlag for å lage temperaturkorrigering. Netto trendlinjen viser et stigende forbruk mot kaldere utetemperatur med knekkpunkt på 5 grader. Ved ca -8 grader vender kurven nedover. Det er også et stigende forbruk over 22 grader (Kjøling). Temperaturavhengigheten er forskjellig for hver materielltype. Selv om det er en avhengighet av temperaturen, er det en stor spredning i forbruket selv om turene foregår under samme temperatur, som vist under.



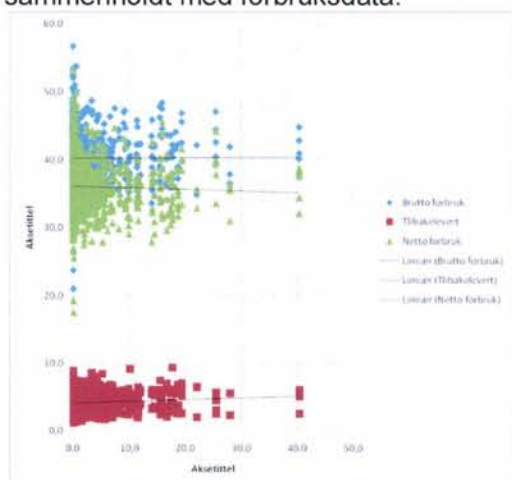
Graf 6: Spredning av nettoforbruk under tilnærmet samme forhold

Hvert punkt viser forbrukene for ett vestgående og ett østgående tog som kjører samtidig på samme strekning. De møter da tilnærmet like ytre forhold under kjøreturen. Spesielt vil de være

utsatt for de samme temperaturer i løpet av turen. Hvis kun de ytre meteorologiske forholdene var bestemmende for forbruket, ville punktene ligge på en linje, med utspring fra origo. Men det er ingen slik sammenheng. Det er altså også andre forhold i tillegg som skaper variasjonen i forbruket. Utetemperatur og nedbør kan derfor ikke alene forklare den store variasjonen i forbruket som registreres fra dag til dag.

Nedbør

Det er gjort analyser på flere tognummer der nedbørsdata fra Meteorologisk institutt er sammenholdt med forbruksdata.

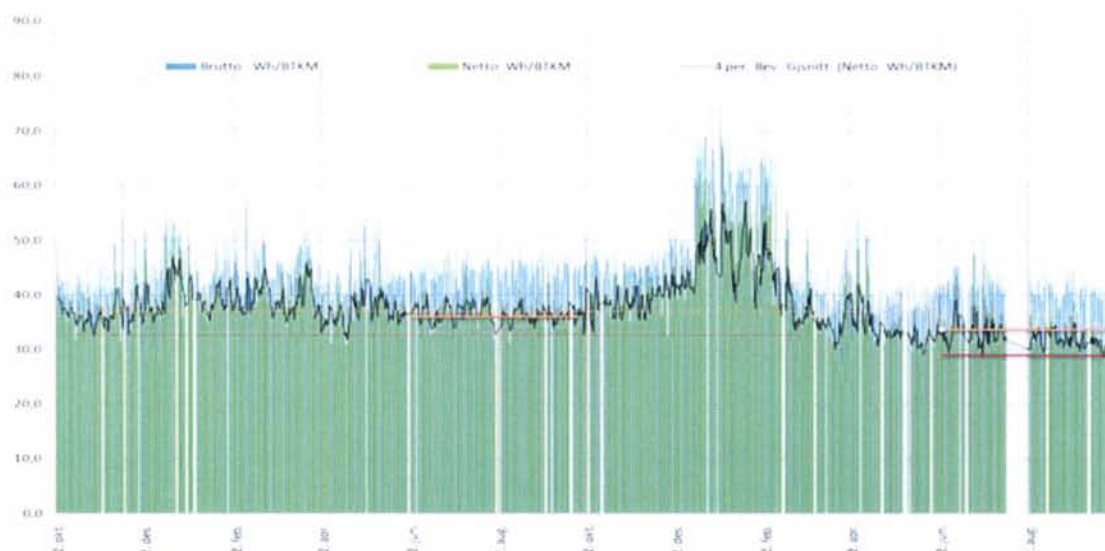


Graf 7: Forbruk versus nedbør, to års kjøring Oslo Lillehammer TYPE 70

Hver togtur vises som tre punkter, separat punkt for bruttoforbruk, tilbakelevert og nettoforbruk. De mange punktene ved origo overlapper hverandre. Trendlinjene viser tendensen tydeligere enn enkeltpunktene. (Nedbørsdata er hentet fra Blindern metrologiske stasjon og ikke underveis mellom Oslo Lillehammer.) Resultatet fra undersøkelsen er entydig, i praksis er det ingen sammenheng mellom nedbør og forbruk, verken ved små eller store nedbørsmengder

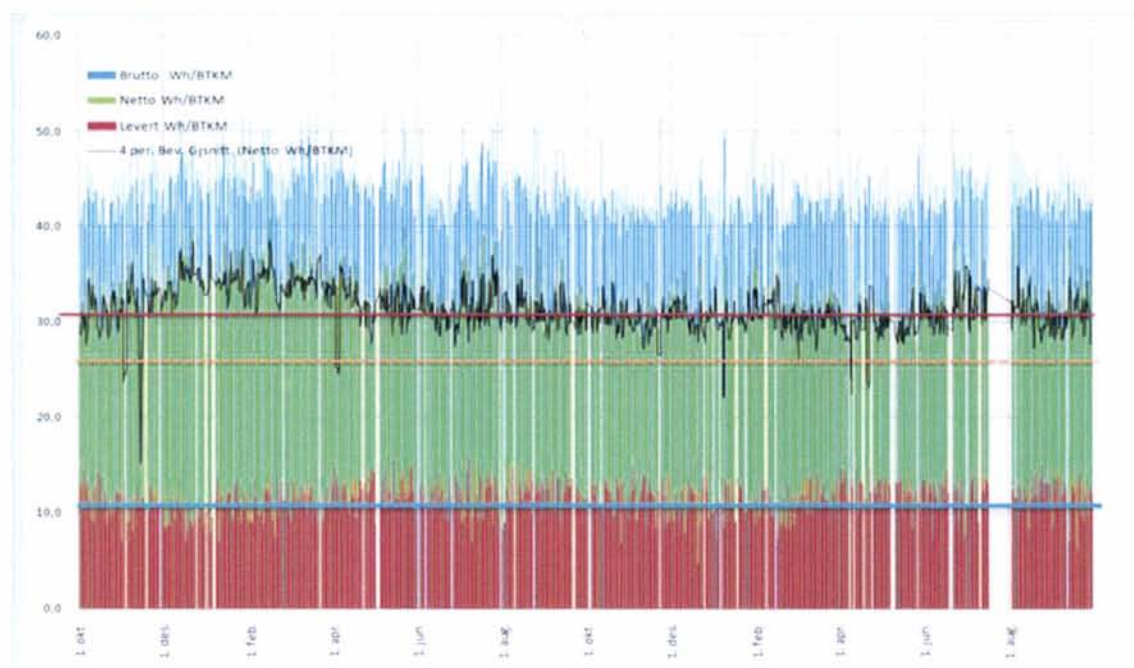
Snøfokk, avisningsbrems

Ved tørr, lett snø vil toget rive med seg og virvle snø på skinner og det vil pakke seg. Det må derfor foretas avisningsbremsing med jevne mellomrom. Dette påvirker forbruket. Det ser ut for at temperatur/forbrukskurven får et ekstra knekkpunkt rundt 0 grader, dermed brattere kurve. Dette må tas hensyn til ved temperaturkompensering.



Graf 8: Forbruk på EL18 på togturer Oslo- Bergen retur, vist etter hverandre i kronologisk rekkefølge.

Grafen over viser en tydelig vintertopp i sesongen 2008/2009, da det var en lang kuldeperiode. Noe av toppen skyldes lavere utetemperatur, men noe skyldes bruk av avisningbrems. Effekten av avisningsbrems kan sees på neste graf, denne gang for TYPE 73 i samme periode.

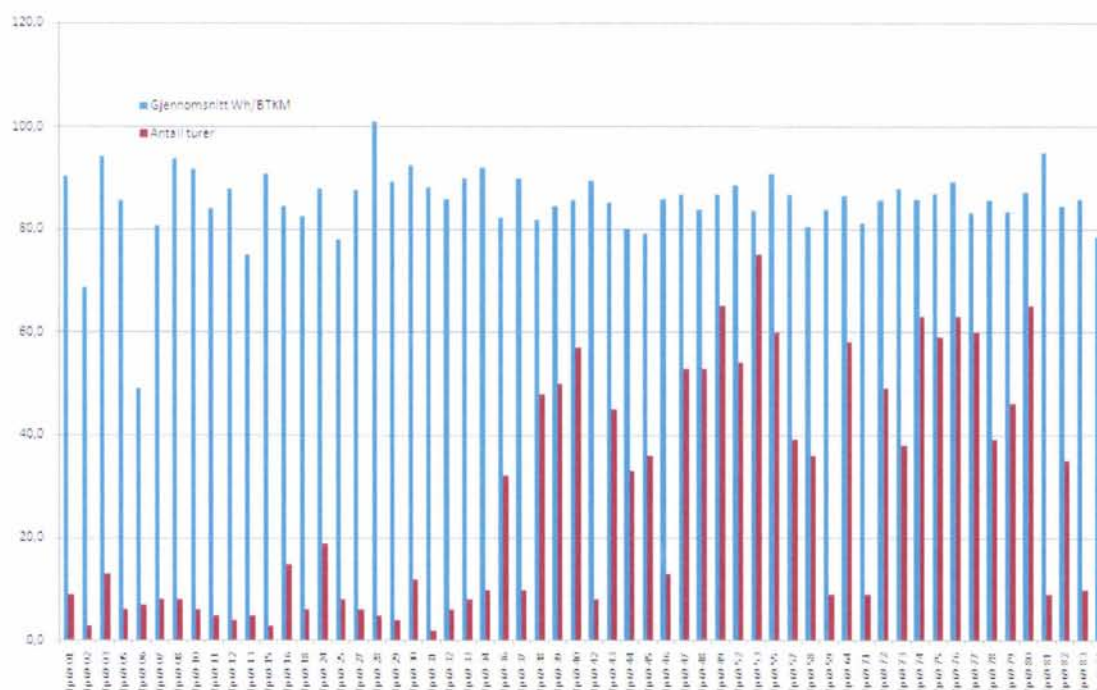


Graf 9: Forbruk på TYPE 73 på togturer Oslo- Bergen retur, vist etter hverandre i kronologisk rekkefølge.

Grafen for TYPE 73 viser tilsvarende vinterøkning for sesongen 2007/2008 men den forventede økningen for vintersesongen 2008/2009 er forsvunnet. Det antas at årsaken er at avisningsbremsen ble modifisert. Tidligere var avisningsbremsen styrt av automatikk der den ble aktivert ved temperatur på under +4 grader. Ved neste sesong var avisningsbremsen manuell, og bruken ble redusert, og forbruket er redusert. Vinterforhold har en betydelig innvirkning på energiforbruket.

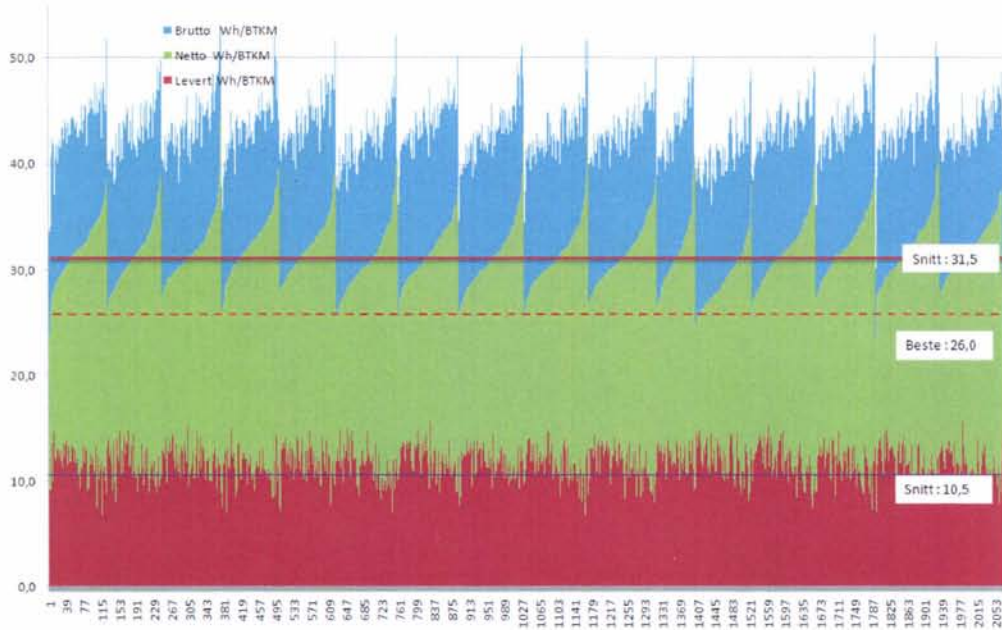
Materiellindivid

Det er betydelige individforskjeller. Det er gjort antagelse om at individforskjeller er helt uavhengig av alle andre fenomener, - kjørestil, knapp rute, stasjonsopphold, antall stasjoner, rushtid, fjellovergang, posisjon, høydeforskjell start og stoppunkt. Individforskjeller er også uavhengig av vær, men været vil antagelig påvirke individene noe forskjellig. For eksempel må en forvente at temperaturinnstillingen i togsettene vil variere noe, og at den såkalte ET kurven for oppvarming er litt forskjellig fra individ til individ. Dette er trolig så lite at en kan bruke et størst mulig utvalg av togturer for å bestemme variasjonen i individer. Det er tatt utgangspunkt i veid gjennomsnitt i forbruk for alle turene med materielltype, og hvert individs avvik fra gjennomsnittet er bestemt og tallfestet.



Graf 10: Individforskjeller TYPE 69 Asker-Lillestrøm, kun posisjon 0 (alene)

Grafen viser at de TYPE 69 med lavere nummer kjøres mindre. De er med under rushtrafikk. Det er betydelige individforskjeller på TYPE 69 når det gjelder gjennomsnittsforbruk. Dette gjelder i mindre grad de moderne togtypene.



Graf 11: Individforskjeller TYPE 73

Ovenfor vises individene fra nr 73-01 til 73-16. Det er tydelig at 73-12 bruker mindre energi enn de andre, hva dette skyldes er uvisst, men det spekuleres i at feil i kregningen kan ha ført til lavere forbruk.

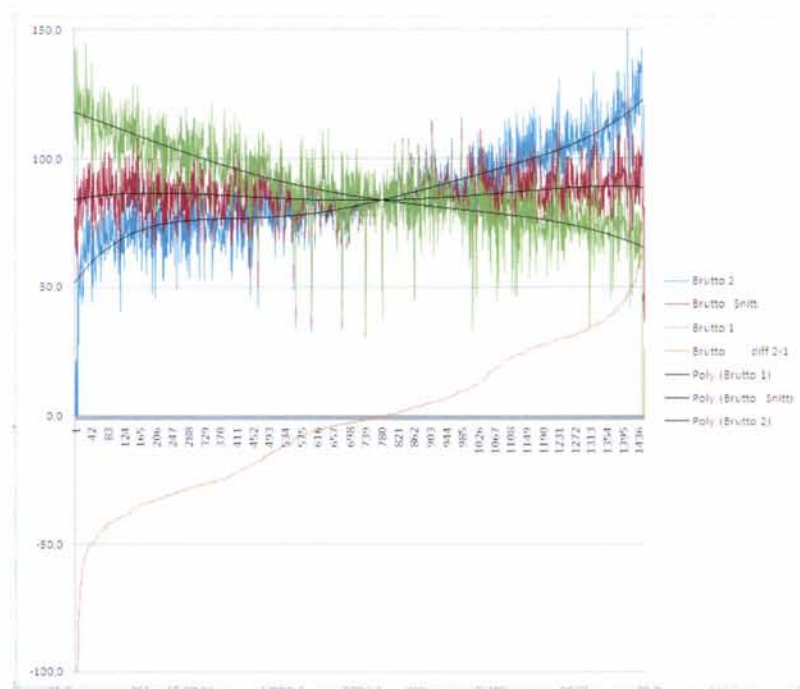
Variasjonen i forbruk for enkeltindivider er behandlet mer detaljert under den enkelte materielltype

Pardrift, dytting og trekking

Det viser seg at flere materielltyper ikke fordeler belastningen likt når de går i pardrift. Dette er et problem som kan gjøre at egenskapene i togsettene ikke utnyttes fullt ut.

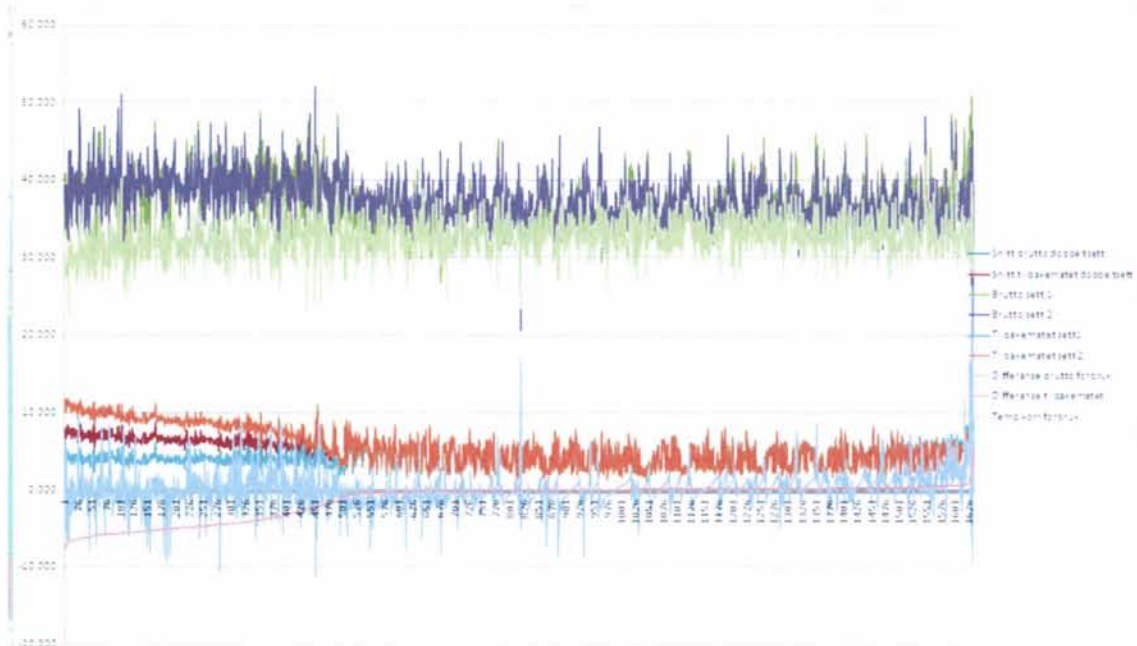
- Større krefter og slitasje på koblinger mellom togene
- Motorkraften kan kanskje ikke utnyttes fullt ut ved akselerasjon
- Ulik tilbakemating, kanskje unødvendig stor andel mekanisk brems
- Ekstra belastning på bremsene til det toget som bremser mest, ulik slitasje

Under er det vist det vist en graf for TYPE 69 der ca 1500 togturer Lillestrøm – Asker og retur er sortert i rekkefølge. Sorteringen er forskjellig mellom togsett 2 og togsett 1 i stigende rekkefølge, fra negativ til positiv, slik at de danner en sammenhengende linje (lys brun) underst. Forbruket for sett 1 (grønn) og sett 2 (blå) er vist med trendlinjer. Dessuten er gjennomsnittsforkbruket for begge settene vist (rød).



Graf 12: Par drift TYPE 69

Som en ser av grafen, er det noen tog i hver ende der det ene settet i stor grad har trukket eller dyttet det andre. De ekstreme tilfellene kan skyldes motorhavari. Det er også et slags "platå" på hver side av midten. Kanskje kan det skyldes at tovgogners 69 regelmessig kjøres i spann med trevogners. Siden begge typene har lik motorkraft, vil det lettere settet dytte på det tyngre under akselerasjon. Det interessante her er at kurven som viser gjennomsnittsforsbruket for paret, har en lavere verdi midt på. En tolkning av dette kan være at virkningsgraden er best når togene ikke dytter eller trekker i hverandre. Men det er overraskende liten forskjell i gjennomsnittlig energiforbruk der det er ekstreme forskjeller forbruket mellom togsettene. I togsett med tilbakemating er det også registrert forskjeller i hvordan togsettene fordeler på tilbakematingen. En graf for TYPE 70 er vist under, der sorteringen er gjort etter stigende forskjell mellom tilbakematingen i de to togsettene. Det er stor forskjell på ca en tredjedel av togturene, mens i de to tredjedelene mot høyre i dagrammet er det liten forskjell på tilbakematingen. Det er faktisk en høyere gjennomsnittlig tilbakemating lengst til venstre i diagrammet, der forskjellen på tilbakemating er størst. Det kan tenkes at innblanding av mekanisk brems er lavere på noen sett, slik at de på den måten er mer (utilsiktet) effektiv.



Graf 13: Forskjell i tilbakemating i TYPE 70, der to sett kjører i par.

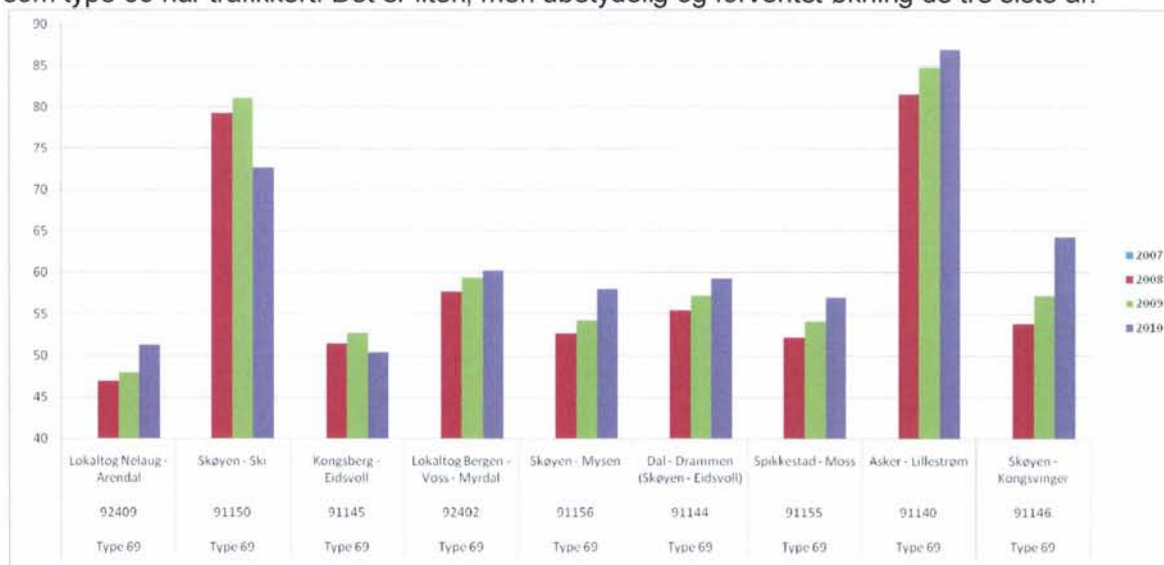
Den registrerte ubalansen mellom forbruket i et par skaper problemer for analyse av forbruksverdier. En må alltid analysere gjennomsnittsverdier for et togsett, ikke enkeltsett i et par. I en del tidlige analyse var dette ikke tatt hensyn til. De registrerte variasjonene i forbruk var meget store, og det ble feilaktig tolket slik at dette skyldes togførerens kjørestil. Men forskjeller mellom par i ett tog kan også brukes positivt i en analyse. En kan da lettere skille ut egenskaper som har med individ å gjøre (tvillingstudie). Ubalanser i forbruket mellom motorvognsettene er den største enkeltårsak til den store variasjonen i forbruk som er målt. Et togsett som trekker dårlig vil få registrert lite forbruk, og det blir registrert minst tilsvarende høyt på det andre settet.

Videre i dokumentet tas det for seg de ulike typene.

Type 69

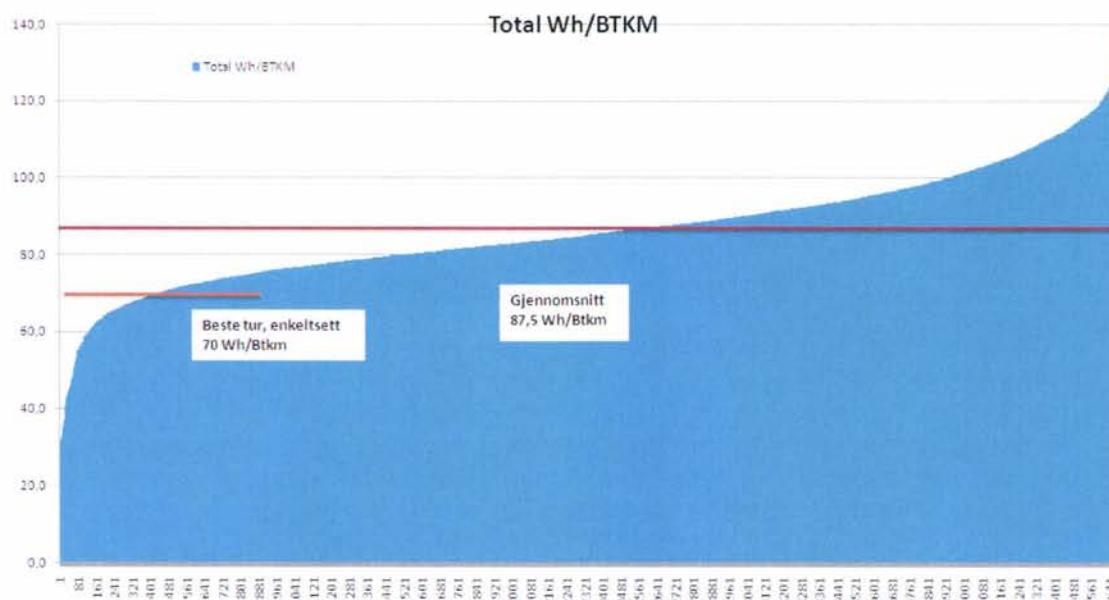
En grunnleggende vanskelighet ved analyse av forbruksdata fra TYPE 69 er at det er forskjellige utgaver av typen. Det finnes både to og tre vogns, mens motorkraften er den samme. Når forskjellige typer kjøres i sett, blir som vist tidligere store forbruksforskjeller.

Stolpediagrammet nedenfor viser de tre siste årenes utvikling på energiforbruket på de strekninger som type 69 har trafikkert. Det er liten, men ubetydelig og forventet økning de tre siste år.

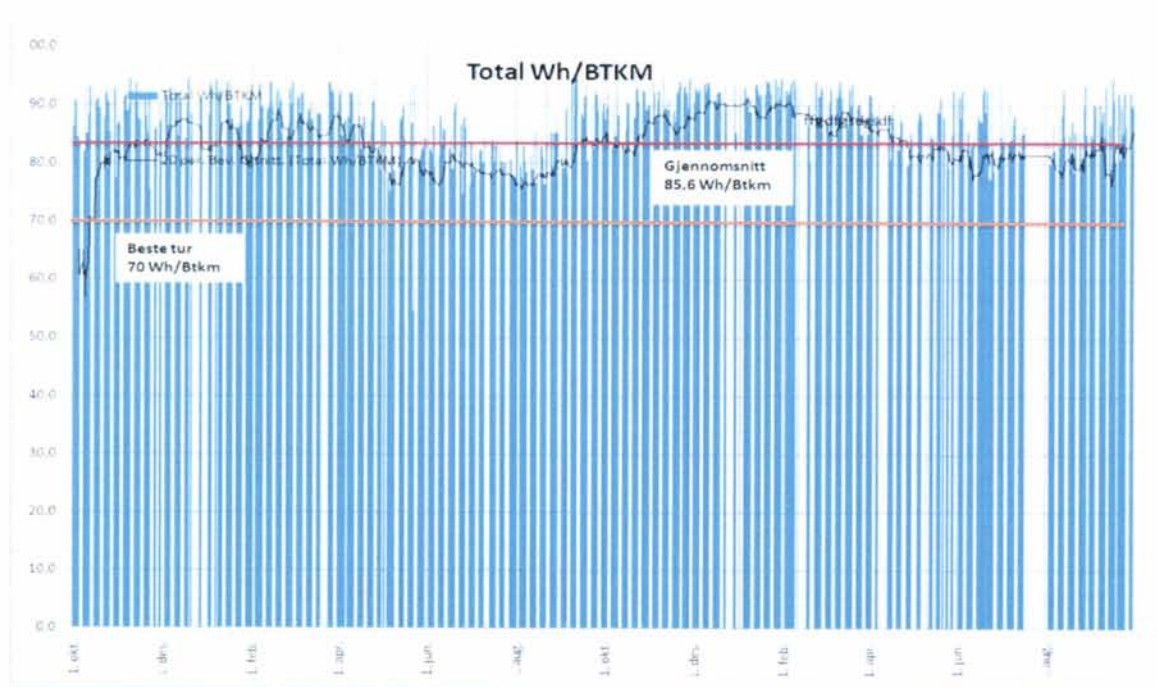


Graf 14: Energiforbruk TYPE 69 per strekning og år

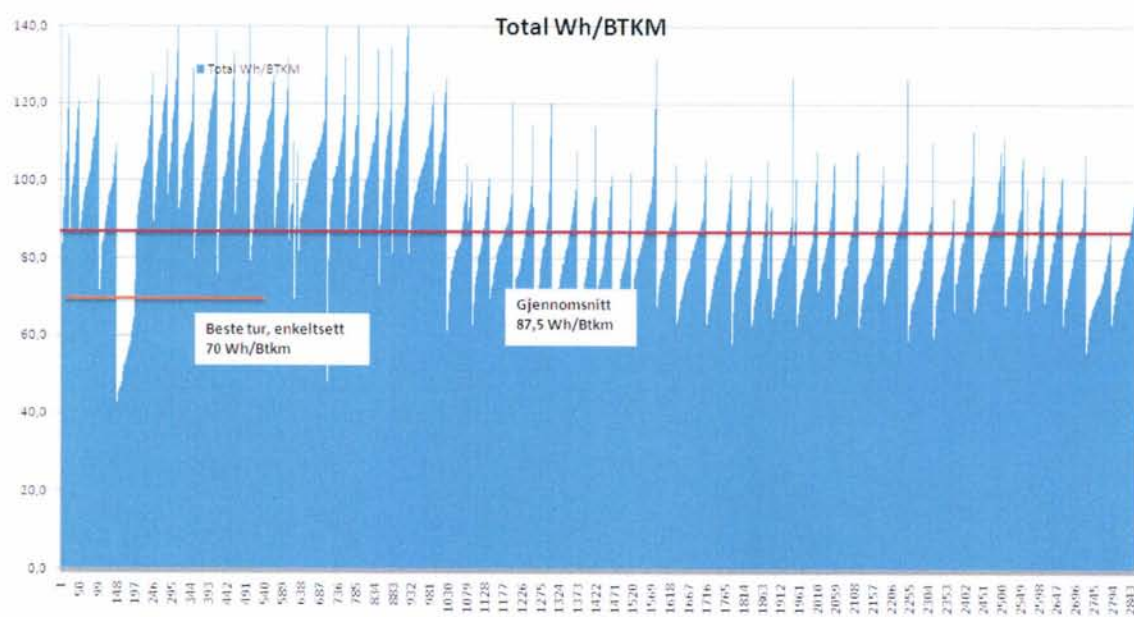
Bruken av de forskjellige typene har også vært forskjellige, ettersom de eldste togsett brukes mest ved at de blir hengt på i rushtrafikken. De får dermed vesentlig mindre kjøretid. Dette må en ha med seg når en tolker resultatkurvene under. (Alle grafene gjelder strekningen Asker Lillestrøm og retur.)



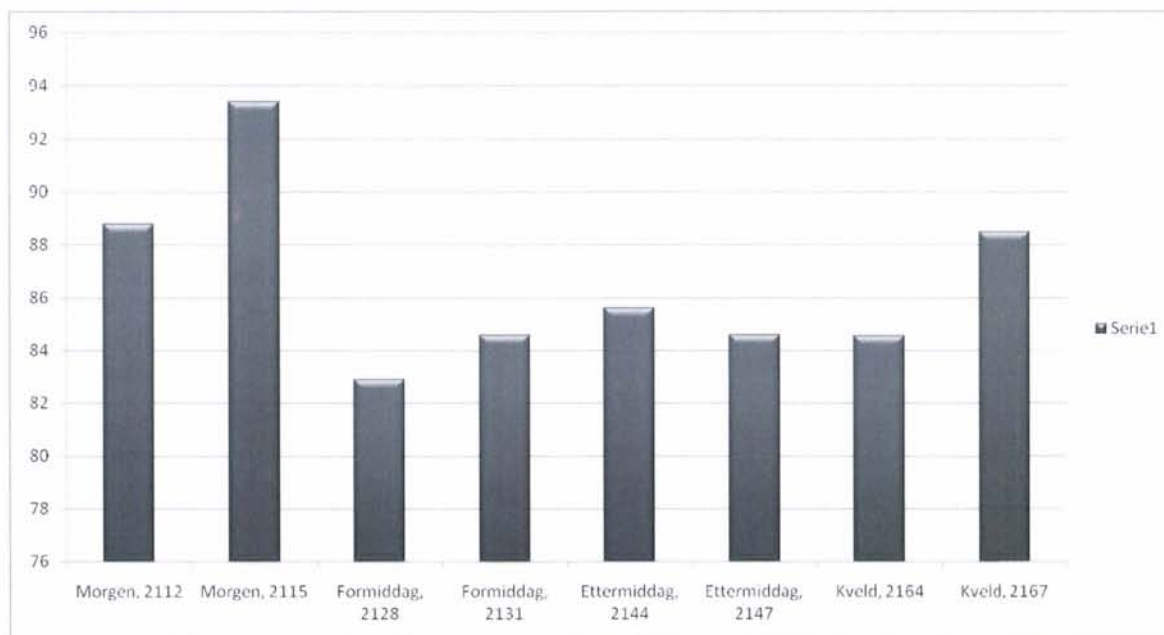
Graf 15: Spesifikt forbruk fra ca 4700 turer med TYPE 69, alle posisjoner. Forbruket er sortert i stigende rekkefølge



Graf 16: Spesifikt årsforbruk TYPE 69, alle posisjoner. Sortert i kronologisk rekkefølge. Ingen forbedring i kjøring registrert.



Graf 17: Spesifikt forbruk for ca 2900 turer med TYPE 69, posisjon 1 og 2. Forbruket er sortert etter individnummer, så i stigende rekkefølge innenfor individ. Det framgår tydelig at de laveste nummer på TYPE 69 individene har størst forbruk, fordi de skyver eller trekker det andre settet i paret

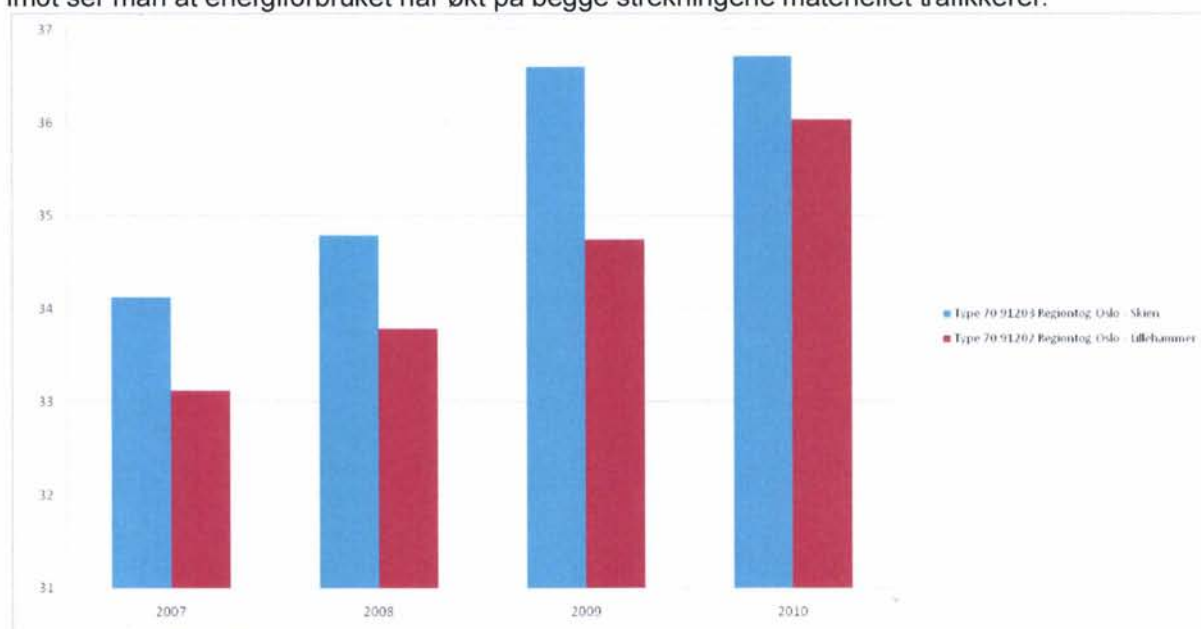


Graf 18: Gjennomsnittsforkonsumet for hvert tognummer er vist som søyler, og vist slik at man ser sammenhengen mellom når på døgnet materiellet kjører. Som man ser er det høyere forbruk i morgenrushet, og noe overraskende høyt på kveldstid. Hva dette kommer av er ikke studert.

TYPE 69 kommer som nevnt i flere utgaver. Utgavene brukes ulikt. Settene kjører ofte i par med forskjellige utgaver. Det er derfor vanskelig å analysere TYPE 69. Det kan imidlertid se ut til å være betydelige forskjeller mellom settene innenfor samme utgave. Det kan derfor være interessant å se på de beste og dårligste for å undersøke hva som forårsaker forskjellene, og eventuelt bruke dette til forbedring. Det er ikke registrert lavere gjennomsnittlig forbruk i løpet av de siste 3 år.

Type 70

Hvis man først ser på det overordnede resultat de 4 siste årene, ser man ingen forbedring, tvert imot ser man at energiforbruket har økt på begge strekningene materiellet trafikkerer.



Graf 19: Energiforbruk TYPE 70 per strekning og år

Videre har man gjort en dypere studie innenfor 2 år. Type 70 er valgt da den typen er lite påvirket av HVAC, da materiellet ikke har kjøling kun oppvarming. Da får man mindre påvirkning av hjelpestrøm.

Ved denne studien har man prøvd å kompensere de ytre faktorer. Strekningen Oslo-Lillehammer retur er vurdert. Hver eneste togtur er kompensert individuelt for påvirkninger som det er tilgjengelig data for.

Stasjonshøyden er kompensert slik at start og sluthøyde over havet er lik 6 meter, mens forbruket på alle togturene er temperaturkorrigert til 15 grader utetemperatur. Det er også kompensert for registrerte ulikheter i hvert individ, samt gjennomsnittlige ulikheter i forbruk på hvert tognummer. Dette gjør at alle turene kan sammenlignes direkte mot hverandre. Målsetning for undersøkelsen var å sitte igjen med klareste mulige bilde av variasjonen i forbruk på grunn av kjørestil.

Analysedata:

Antall togturer: Alle posisjoner- 7470 turer, bare posisjon først og sist – 4584 turer

Tognummer i analysen: 306, 307, 831, 822, 821, 805, 323, 332, 322, 808, 318, 335, 319, alle strekninger Oslo Lillehammer, retur.

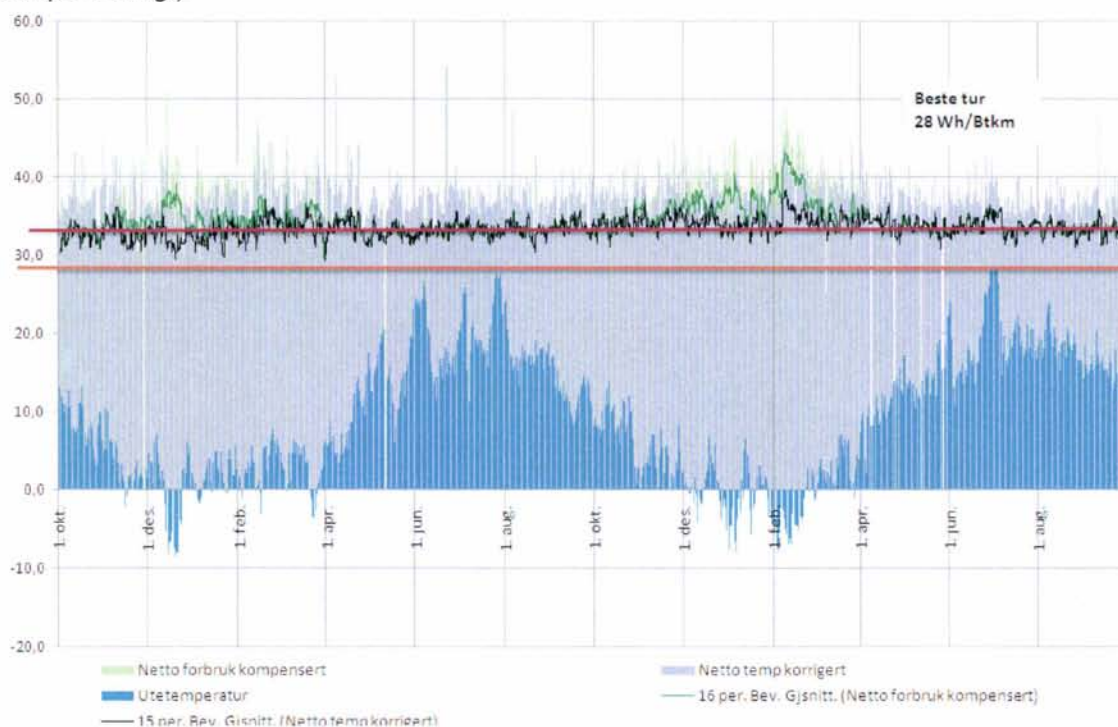
Mellomresultater:

Gjennomsnittlig forbruk etter individuell kompensering av hver togtur

Forbruk på "beste normal turer": ca 28 Wh/tonn km (skjønnt, verdier som ligger i knekkpunkt i varighetskurve)

Forbruk på "dårligste normalturer": ca 39,2 Wh/tonn km (skjønnt som over)

(Ekstremturer, både gode under 24,5 Wh/tonn km og dårlige over 57,3 Wh/tonn km er filtrert bort, da disse antas å inneholde feil. Slike ekstreme forbrukstall kan skyldes motorfeil, der det ene motorvognsettet må trekke det andre. Ekstreme turer er ikke med i beregning av gjennomsnitt eller kompensering.)



Graf 20: Energiforbruk TYPE 70 kompensert

Netto temperaturkorrigert forbruk er vist med grå stolper. Ved hvite stolper er det ikke tellende togturer med på disse tidspunktene. En sort trendlinje er lagt til for å se tendensen. Som en ser er temperaturkorrigeringen så god at utetemperaturen ikke gir vesentlige forandringer i trenden. De blå stolpene under viser utetemperatur. Resultat: På disse rutene er det ikke gjort tydelige forbedringer eller økning i energiforbruket i toårsperioden.

Tabell 2: Gjennomsnittsforkbruk Type 70 per individ

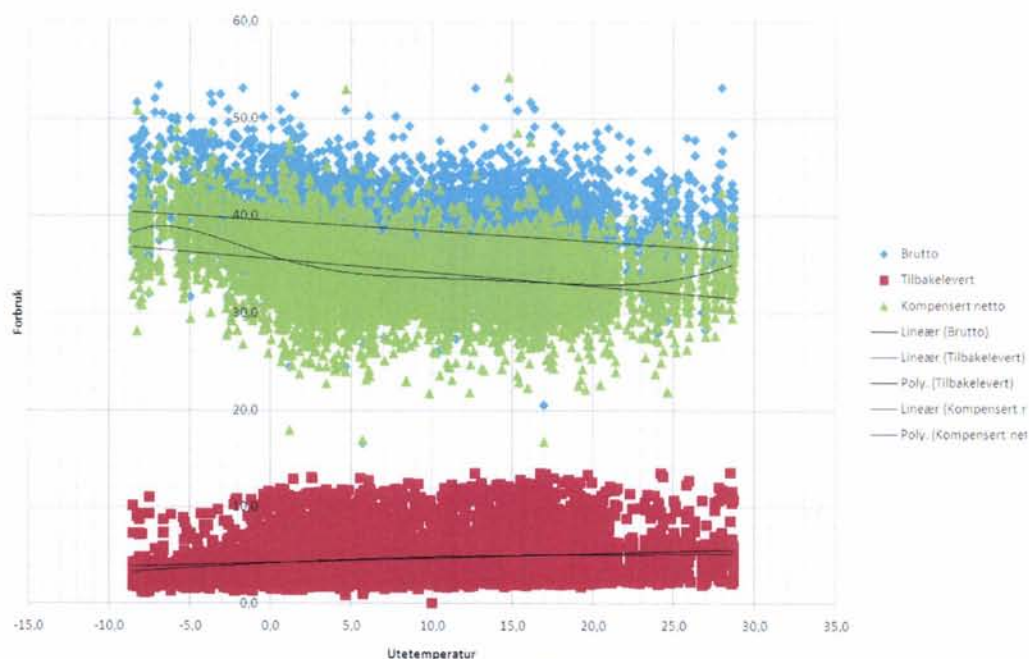
Motorvogn individ	Gjennomsnittsforkbruk	Antall tellende turer
Tp 70-01	33,4	485
Tp 70-02	33,0	174
Tp 70-03	34,0	542
Tp 70-04	34,1	490
Tp 70-05	34,3	383
Tp 70-06	34,5	527
Tp 70-07	33,7	499
Tp 70-08	33,9	502
Tp 70-09	34,1	465
Tp 70-10	33,9	472
Tp 70-11	33,8	495
Tp 70-12	33,1	508
Tp 70-13	32,7	446
Tp 70-14	34,1	491
Tp 70-15	34,2	371
Tp 70-16	34,2	568

Individforskjellen mellom høyeste og laveste er 6,6 % regnet fra middel. Hvis alle motorvognene hadde forbruk som den beste kunne totale forbruket reduseres med 3,3 %.

Temperaturkorrigering

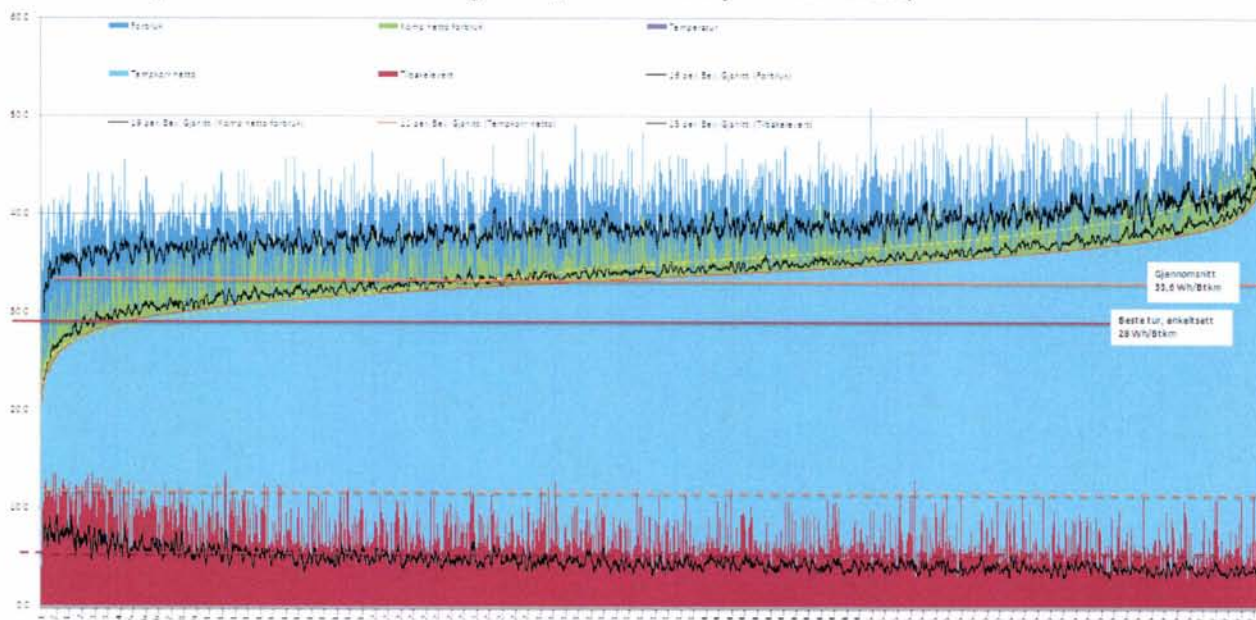
Ved grafisk analyse er temperaturkorrigeringen satt slik:

Mellom 5 grader og 30 grader, ingen korrigering. Under 5 grader, +0,5Wh/tonn km per grad under 5 grader. Dette gir ikke perfekt korrigering, men god nok for dette bruket.



Graf 21: Energiforbruk og utetemperatur TYPE 70

Grafen over viser forbrukets avhengighet av utetemperatur. Det er lagt inn lineære og polynære trendlinjer for å se tendensene. Den polynære trendlinjen viser et stigende forbruk mot kaldere utetemperatur med knekkpunkt på 5 grader. Ved ca -8 grader vender kurven nedover. Det er også et stigende forbruk over 22 grader. Blå – bruttoforbruk, grønn – nettoforbruk, rød – tilbakelevert. (Nederste blå punkter er skult under de grønne, men trendlinjen viser nivået)



Graf 21: TYPE 70 turer Oslo Lillehammer sortert etter korrigert nettoforbruk

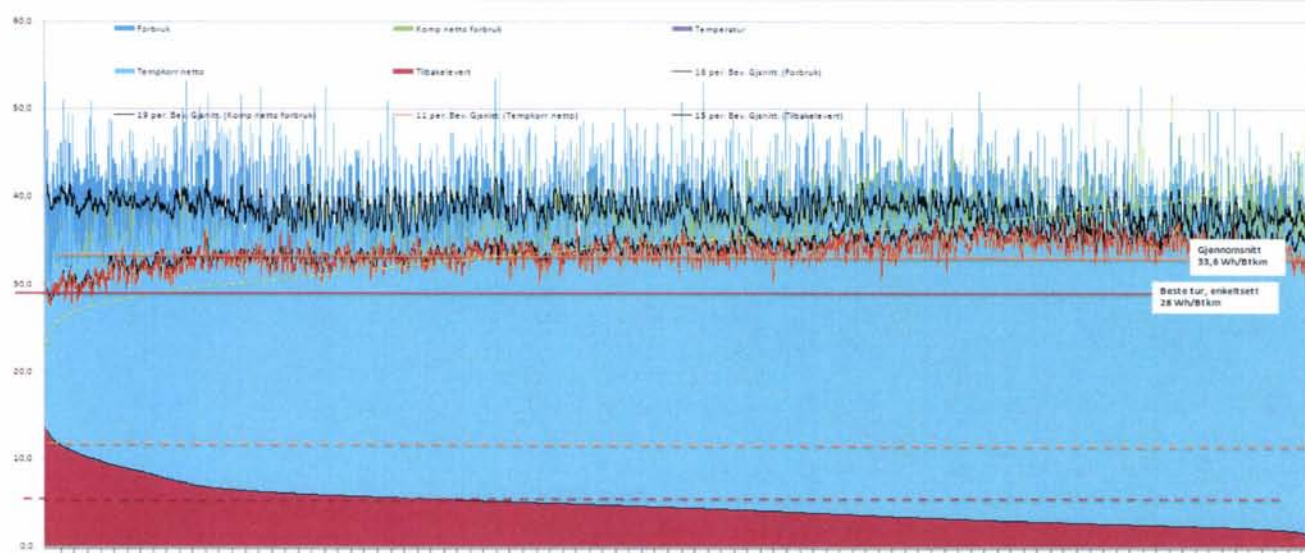
Denne kurven er komplisert, men gir mye informasjon. Turene er sortert med lavest nettoforbruk til venstre og høyest nettoforbruk til høyre. Nettoforbruket er satt sammen av en søyle per tur, men antallet turer er så stort at nivået vises som en kontinuerlig buet linje vist med brun strek. Bruttoforbruk er mørk blå og sees øverst med sort trendlinje. Nettoforbruket før temperaturkorrigering er vist med grønt. Tilbakematet energi per tur er vist med rødt.

Det er også en prikket gul linje. Den viser nettoforbruket før kompensering, også da sortert etter stigende forbruk. Denne linjen viser virkning av kompensering og temperaturkorrigering. Tendensen i begge linjer er den samme men den gulprikkede linjen ligger noe høyere fordi togturen er kompensert til 9 m høyde over havet, og temperaturkorrigering drar også forbruket noe ned.

Det er lagt inn to horisontale rette linjer. En rød linje viser beste enkelttur, som etter skjønn er lagt i knekkpunktet på nettoforbrukskurven. Den varmgule rette linjen viser gjennomsnittlig nettoforbruk. Det er også lagt inn to prikkede linjer. Den varmgule prikkede linje viser nivået på de beste turene når det gjelder tilbakemating (ca 12 Wt/tonn km). Den røde prikkede linjen viser gjennomsnittlig tilbakemating (ca 6Wh/tonn km).

Merk: Dette diagrammet illustrerer godt virkning av korrigeringer som er gjort.

- Den gule prikkete linjen viser altså direkte måleverdiene fra databasen (brutto minus tilbakematet for hver tur)
- Den midterste sorte linjen viser nettoforbruk etter korrigering for individ, togrute, høydeforskjell og posisjon.
- Den brune linjen i skillet mellom blått og grønt viser virkning av temperaturkorrigering for hver tur



Graf 22: Den samme graf som vist over, men denne gangen sortert etter synkende tilbakemating. Kommentar: Grafen viser enda bedre hvor stor forskjell det er i tilbakematingen ved de forskjellige turene. Som tidligere omtalt skyldes noe av variasjonen at det er forskjell i tilbakematingen mellom par, der ett av settene tar en større del av tilbakematingen.



Graf 23: Samme diagram som på to sider foran, men denne gangen med gjennomsnittsverdier for to togsett i par.

Her er det altså også korrigert for at tog i et par trekker og bremses ulikt, ved at gjennomsnittsverdier brukes. Dette har en dramatisk virkning, se i forhold til forrige graf.

Tilbakematingsverdiene spriker ikke så mye og spredingen i andre verdier er mindre.

Det er fortsatt en klar sammenheng mellom lav tilbakemating og høyt nettoforbruk.

Etter alle disse korrigeringer ser en at laveste forbruk er ca 28Wh/btkm, mens høyeste er ca 36Wh/btkm. Mer ekstreme verdier er det sett bort i fra. Det er en forskjell på 8Wh/btkm. Ca 4 av disse skyldes lavere tilbakemating. Siden all nettoenergi tapes til omgivelsene må de resterende 4 skyldes høyere gjennomsnittsfart (frikjonstap) eller mer akselerasjon (mertap i motorsystem) og mer mekanisk bremsing (bremsev varme).

Variasjonen i nettoforbruk etter kompenseringer er 32Wh/btkm +/- 12,5 %

En mulig forklaring på observasjonene er:

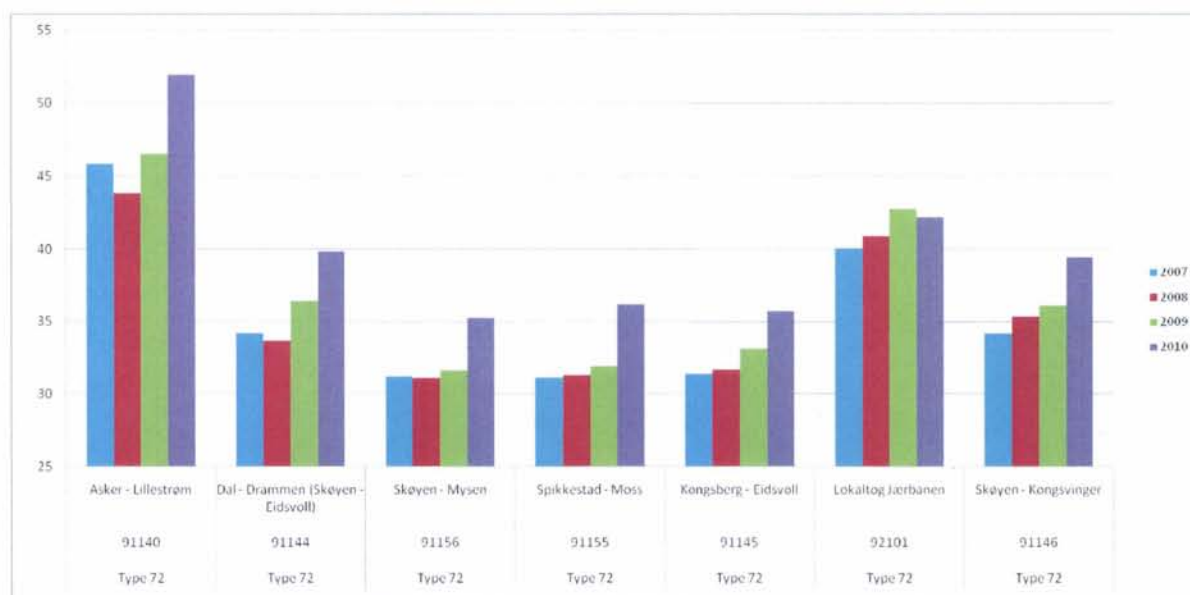
- Høyt nettoforbruk og høy tilbakemating- kjørestil med mye akselerasjon og mye oppbremsing
- Høyt nettoforbruk og lav tilbakemating - kjørestil med mye mekanisk bremsing
- Lavt nettoforbruk og høy tilbakemating- kjørestil med lavere toppfart og bruk av elbrems
- Lavt nettoforbruk og lav tilbakemating - kjørestil med lav toppfart og mye rulling

Ved datasimulering gis flere holdepunkter for om de forskjellige kjørestilene har med lokførers kjørevaner å gjøre, eller om det har mer med de innebygde valgmulighetene i styreutrustningen (valg av automatikk, manuell, retardasjonstrinn), eller om høyt forbruk skyldes forsinkelser som må tas igjen. Lav tilbakematingsprosent (15%) sammenlignet med 72 og 73, betydelige individforskjeller 6,6%, relativt høyt forbruk 32Wh/btkm i forhold til at strekningen Oslo – Lillehammer er lite energikrevende.

Type 72

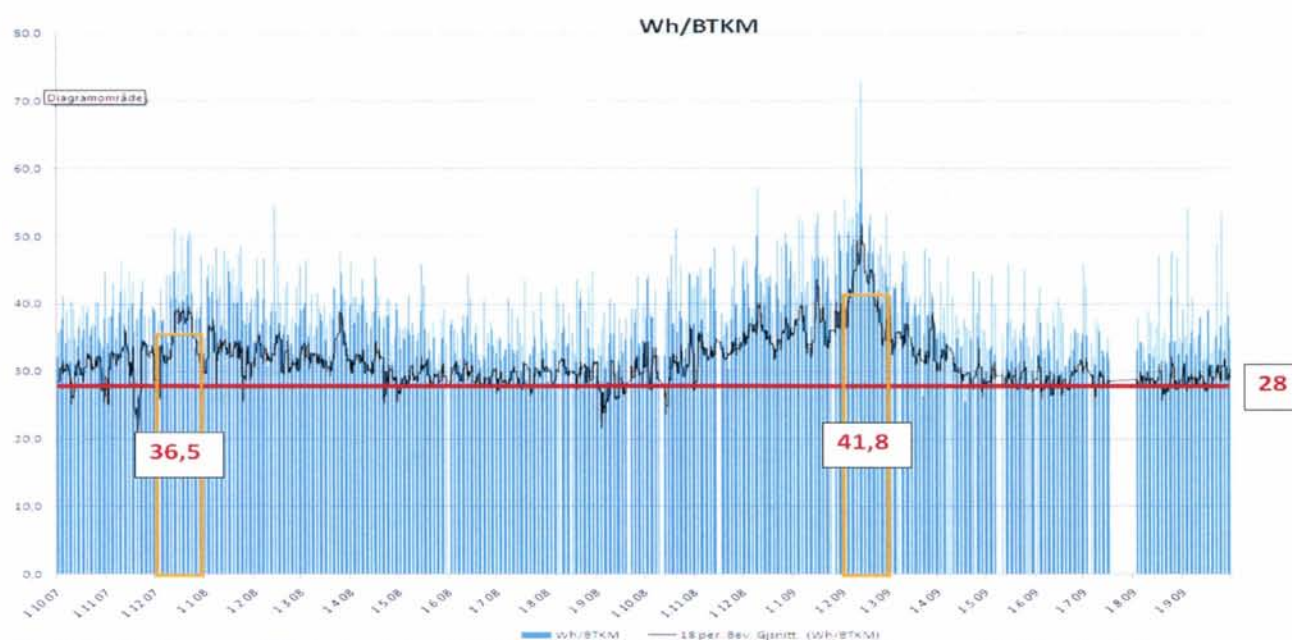
Stolpediagrammet nedenfor viser de tre siste årenes utvikling på energiforbruket på de strekninger som type 72 har trafikkert. Det er en svak økning 2007-2009, mens det er en betydelig økning det

siste året. Hvorfor man har en tydelig økning i energiforbruket på ca 10 % på alle strekninger (unntatt på Jærbanen, men her forventet vi en betydelig nedgang ved åpning av ny bane) er uvisst. Siden det er ensbetydende på alle strekninger at energiforbruket har økt, vil det være naturlig å tenke seg at det har med materiellegenskapene å gjøre. Ved samtale med Teknikk finner man ingen helt åpenbare forklaringer på dette.



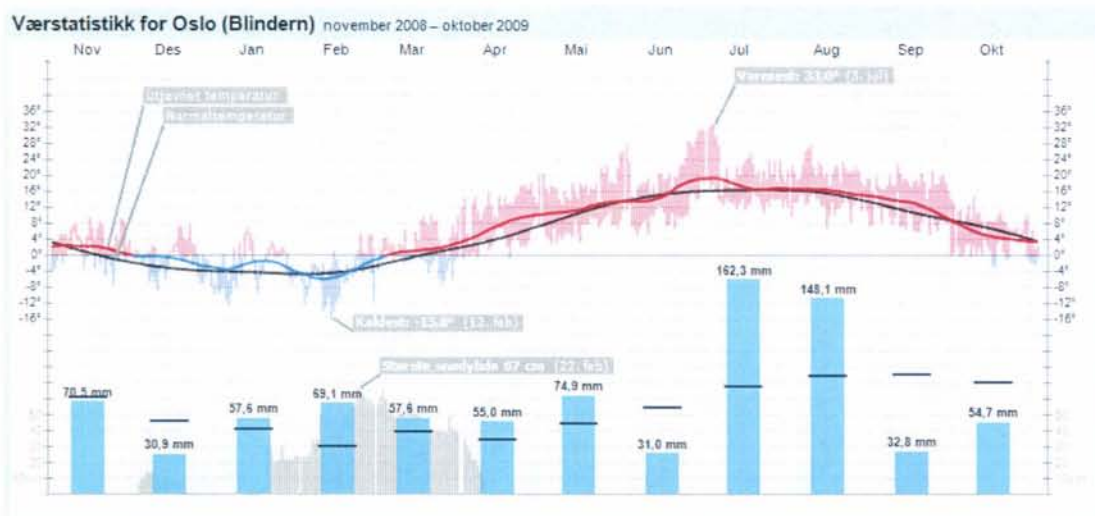
Graf 24: Energiforbruk TYPE 72 per strekning og år

Videre har man vurdert og undersøkt nærmere type 72 i to år på strekningen Moss - Spikkestad.



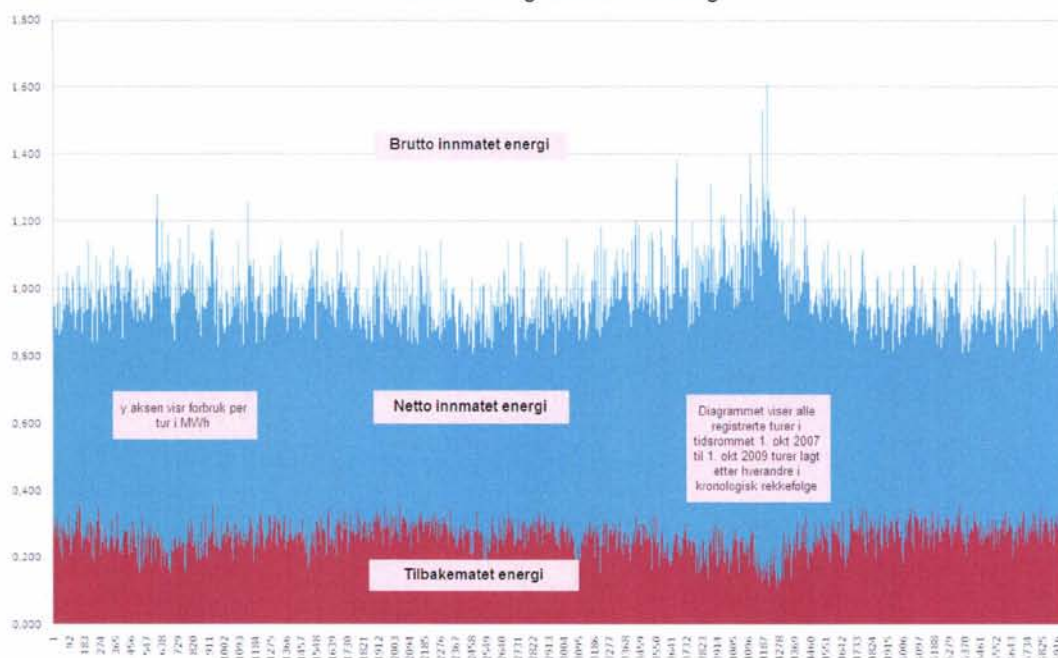
Graf 25: Brutto spesifikt forbruk for TYPE 72 for ca 6000 turer mellom Moss og Spikkestad. Turene er ordnet i kronologisk rekkefølge plassert inn på tidslinje. De hvite feltene er dager der det ikke er trafikk. Den sorte linjen er glidende gjennomsnitt av 18 turer.

De to vintersesongene vises tydelig med hver sin topp. Det er vist en liten nedgang i forbruket på sommeren.



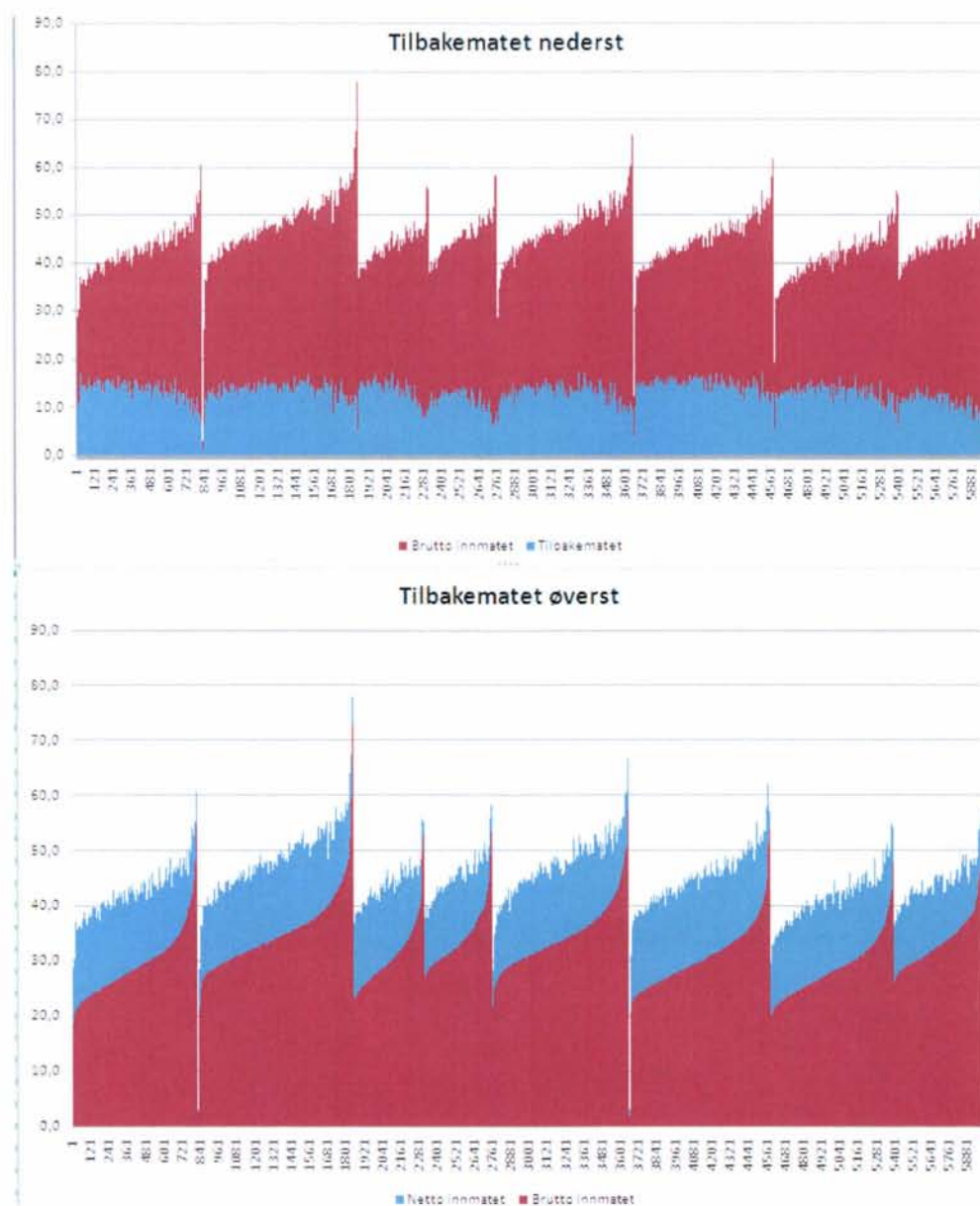
Graf 26: Til info viser værstatistikk fra en del av analyseperioden.

Brutto innmatet og tilbakematet energi



Graf 27: De samme turene som vist over. Turene er lagt etter hverandre i kronologisk rekkefølge uten mellomrom for dager der det ikke var trafikk. Røde søyler er tilbakematet energi, blå er netto. Søylene bygger på hverandre (stabet), slik at bruttoverdiene er toppen av blå søyle.

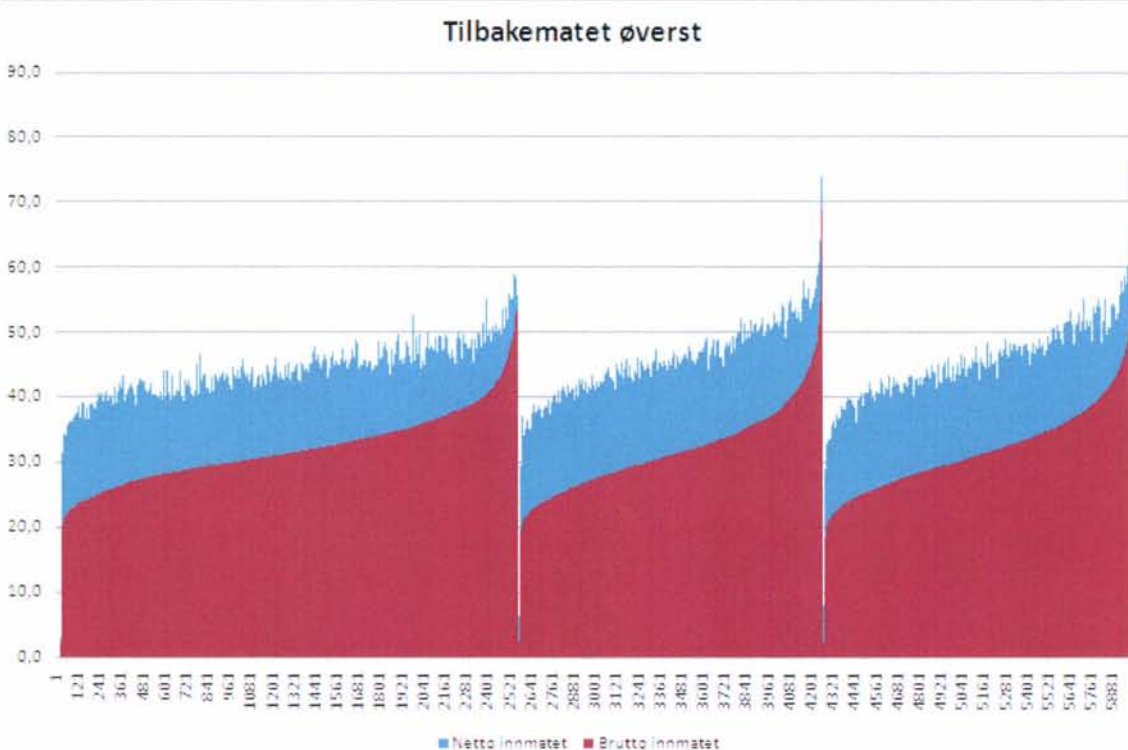
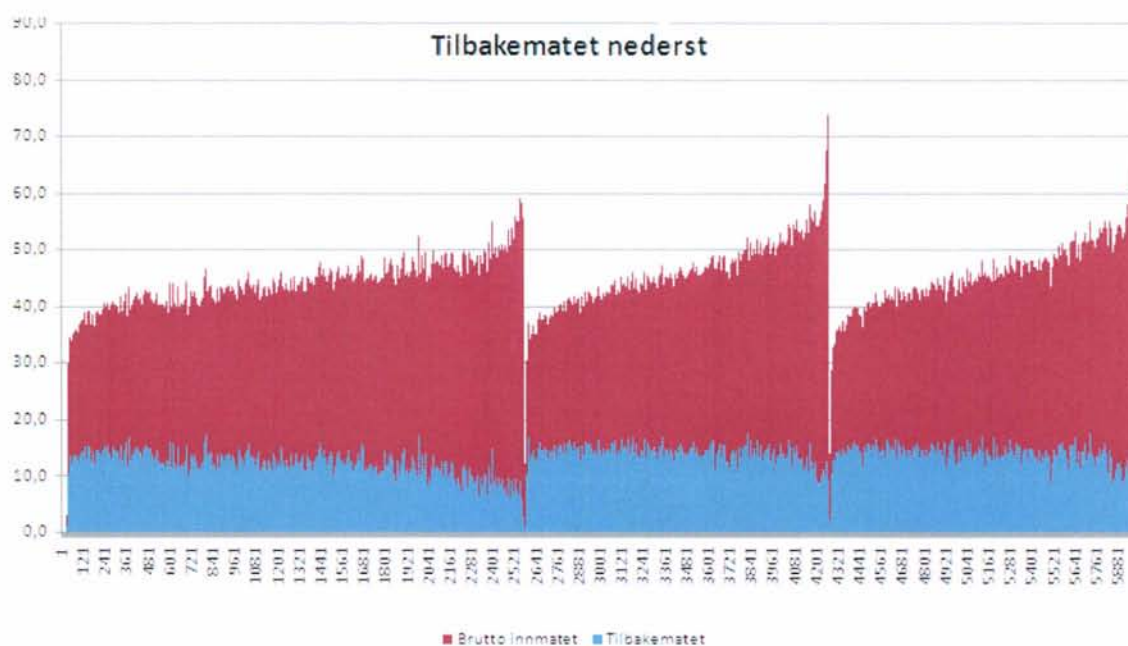
Det er tydelig fall i tilbakematingen på kalde dager. Dette skyldes antageligvis at en større del av den regenererte energien brukes til oppvarming av toget. Lavere tilbakemating samvarierer med høyt bruttoforbruk, men kun ved særlig høyt bruttoforbruk.



Graf 27: Turer sortert etter stigende tognummer og deretter netto forbruk (1109, 1110, 1121, 1122, 1128, 1129, 1139, 1140, henholdsvis parvis Morgenrush, Dag Ettermiddagsrush og Kveld)

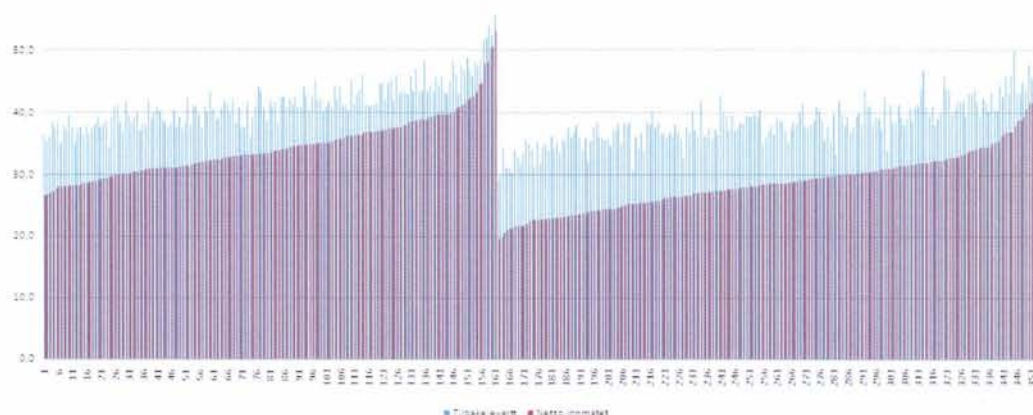
Rushtrafikk gir høyere forbruk, lavest forbruk på kveldsruiter, som er i motsetning til type 69. Forskjeller innen hvert par, (for eksempel de to morgenrushene en hver vei) skyldes at Moss ligger lavere enn Spikkestad.

Det er for øvrig liten variasjon i tilbakematet energi, variasjonen ligger i nettoforbruket.



Graf 28: Stablet diagram sortert etter posisjon 0,1,2, deretter etter netto innmatet.

Posisjonene 1 og 2 er dobbeltsett og har litt lavere nettoforbruk, noe som er naturlig. Posisjonen 0 har mest variabel tilbakemating.

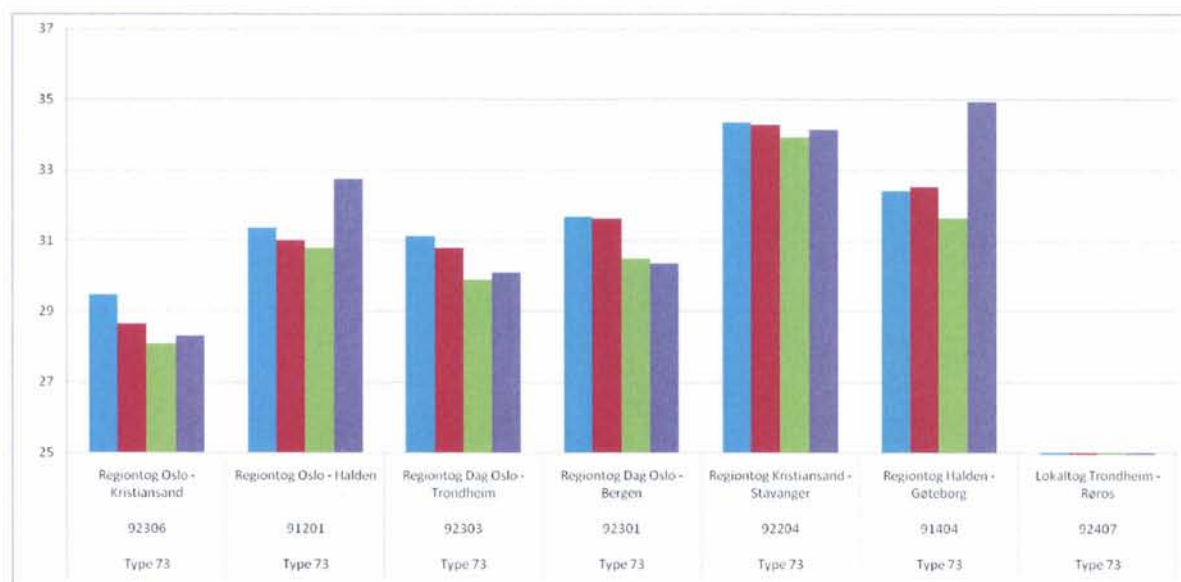


Graf 30: Forskjeller på tognummer 1110 og 1109 som er hver sin veg Moss Spikkestad på omtrent samme tidspunkt.

Forskjellene skyldes høydeforskjell mellom Moss og Spikkestad på ca 130 meter. Dette utgjør ca 80 kWh på en gjennomsnittstur på netto 700 kWh, og vil slå ut med 20 % forskjell i energiforbruk. Liten individforskjell, bra energieffektivitet (netto 28 Wh/btkm) i vurdert i forhold til mange stopp. Bra tilbakemating (35 %) på strekningen.

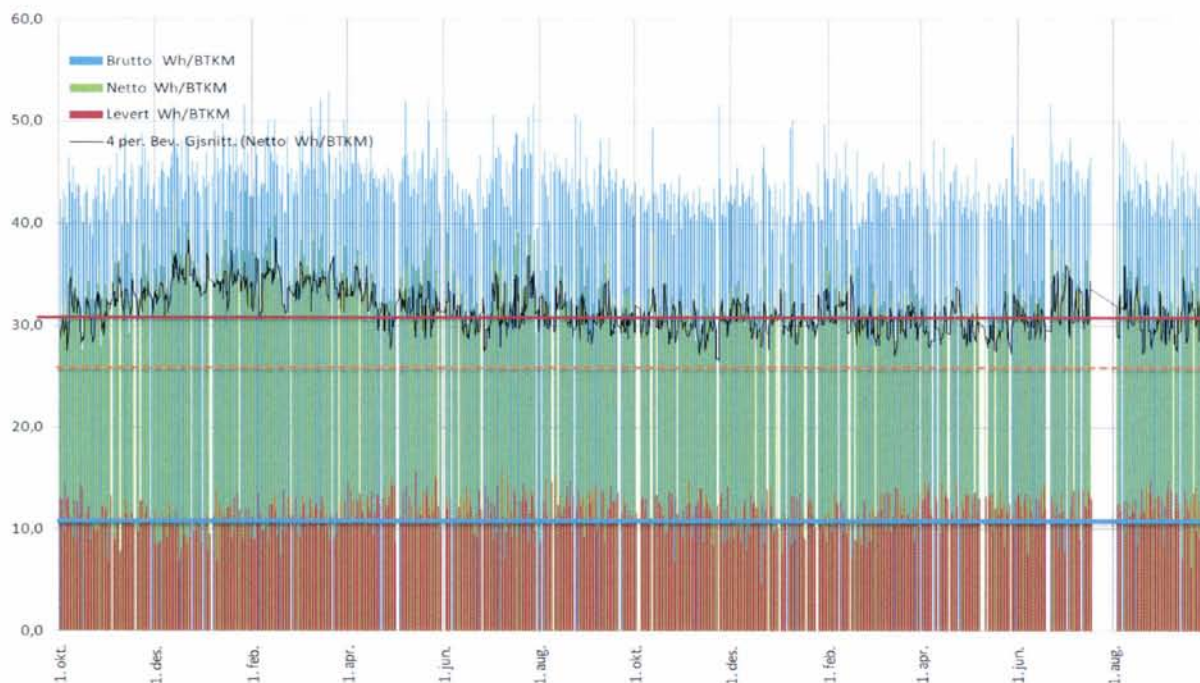
Type 73

Type 73 har hatt en generell nedgang i energiforbruket de siste 2 år, unntatt på regiontog Oslo – Halden - Gøteborg. Her er det primært 73b som trafikkerer, så hypotesen er at her er det tekniske justeringer på 73b settene som har forårsaket denne forbruksøkningen. Dette avkrefter Teknikk, og sier at det er ingen ting som skulle tilsi denne endring på settene. Teknikk har ikke gjort noen modifikasjoner eller endringer som skal påvirke strømforbruket. Man må da anta at forbruksøkningen skyldes andre forhold som bør undersøkes nærmere.



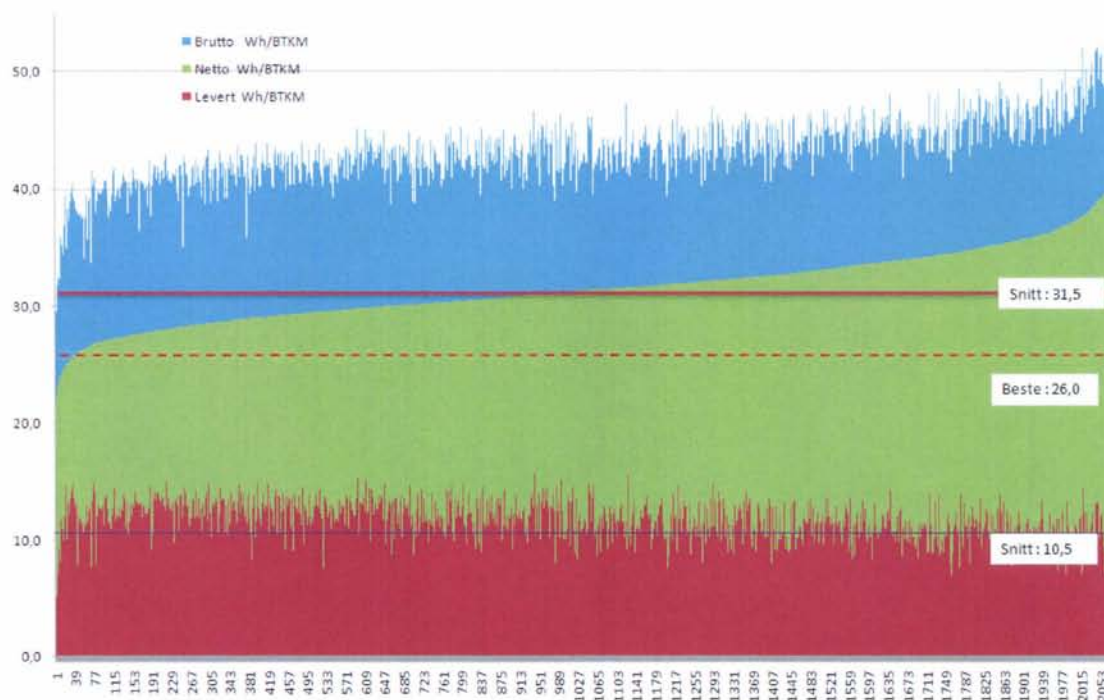
Graf 31: Energiforbruk TYPE 73 per streknign og år

Nedenfor vises brutto spesifikt forbruk for type 73 for ca 2070 turer mellom Bergen Oslo og retur. Turene er ordnet i kronologisk rekkefølge plassert inn på tidslinje. De hvite feltene er dager der det ikke er trafikk. Den sorte linjen er glidende gjennomsnitt av 4 turer av nettoforbruket. Søylene i diagrammet er ikke stablet, men vist i lag over hverandre. Øverste lag (rødbrunt) er tilbakematet energi, som vises fullt ut, neste lag er netto forbrukt energi (grønt) og underste lag er brutto forbrukt energi (blått).

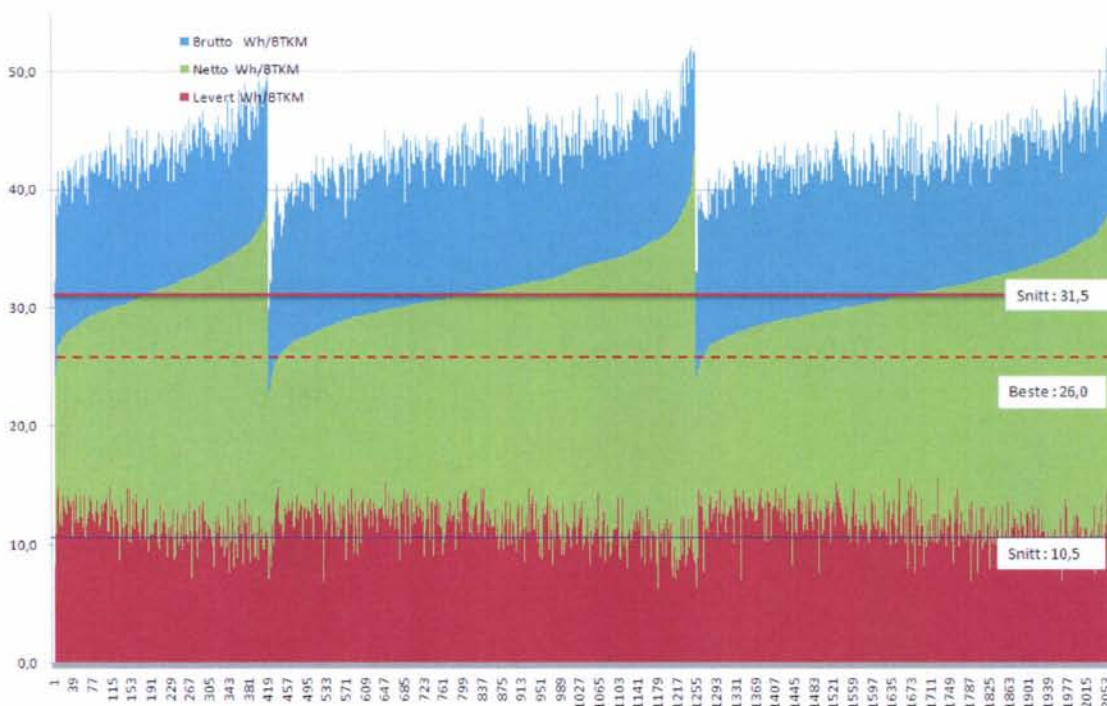


Graf 32: Energiforbruk TYPE 73 Oslo – Bergen

Vinterforbruket har gått betydelig ned fra første til annen vinter, antagelig fordi avisningsbremsen har blitt omprogrammert til manuell. Sommerforbruket ser ikke ut til å være redusert.

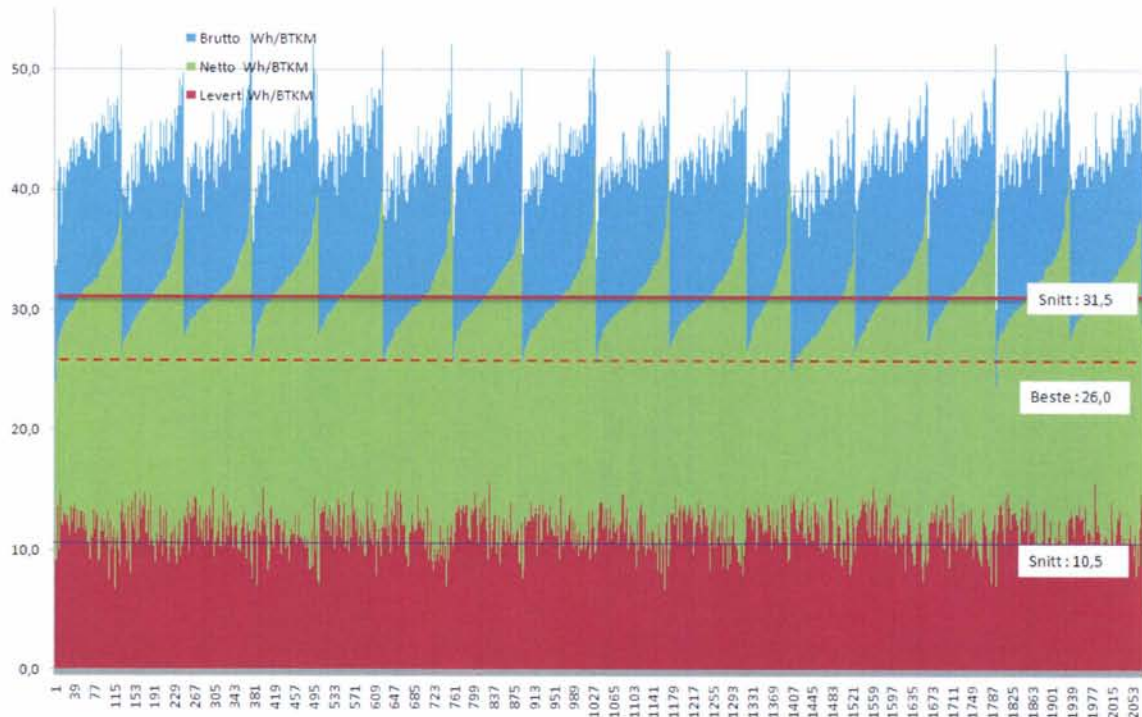


Graf 33: Det samme diagrammet som over, men denne gangen sorter etter økende nettoforbruk. Alle posisjoner. Tilbakematingsgraden er høy. Det er relativt lite sprik mellom høyeste og laveste forbruk. Tilbakematingsgraden faller noe med økende nettoforbruk.



Graf 34: Samme diagram som over, men sorter etter posisjon 0, 1 og 2 (posisjon)

Kommentar: Det er små forskjeller i gjennomsnittsverdier i de forskjellige posisjonene. Tolkning: Strømlinjeform beregnet på høy fart. I moderate hastigheter utgjør det liten forskjell om togsett kjører singel, foran eller bak.



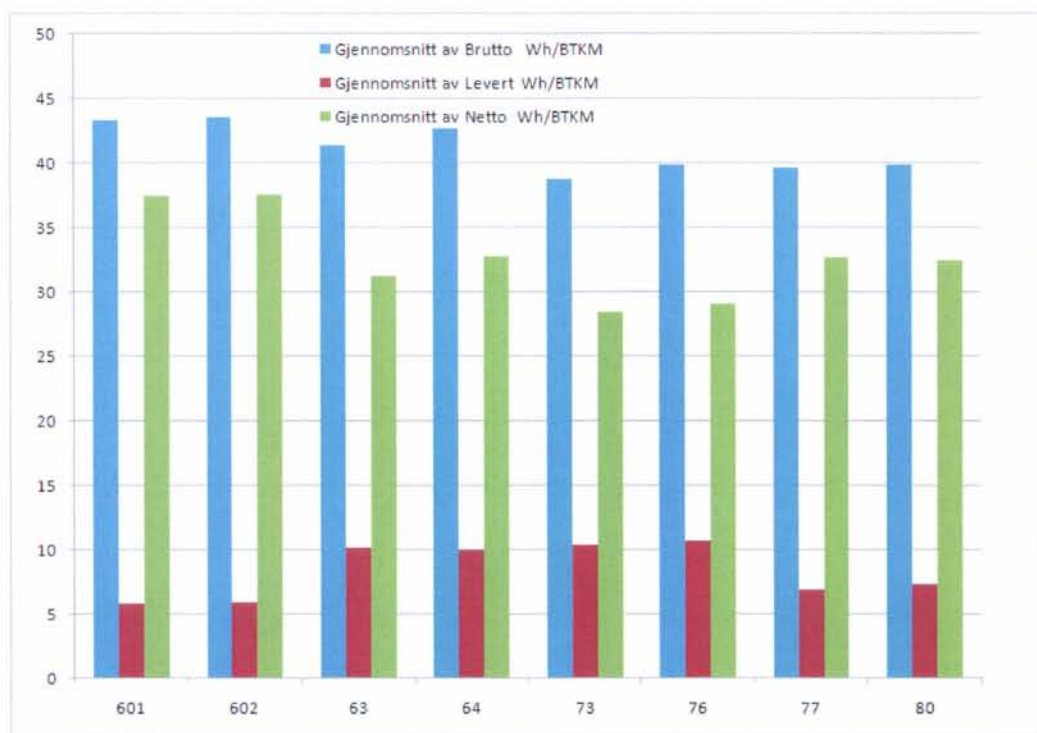
Graf 35: Samme diagram som over, men sortert etter individnummer fra 73-01 til 73-12.

Kommentar: Det er tydelig at 73-12 bruker mindre energi enn de andre, dette kan skyldes feil med kringlingen. Ellers er det små forskjeller. Forskjell i tall er vist under:

Tognr (Alle)
 Fra (Fler) Bergen, Oslo
 Til (Fler) Bergen, Oslo
 Netto Wh/BTKM (Fler) Ekstremturer under 20 og over 100 Wh/Btkm er filtrert bort
 Posisjon (Alle)

Individ	Verdier		Netto	Antall turer	St avvik
	Brutto	Levert			
Tp 73-01	42,3	10,5	31,8	126	2,9
Tp 73-02	41,9	10,5	31,4	118	2,9
Tp 73-03	42,3	10,5	31,8	130	2,7
Tp 73-04	42,3	10,0	32,3	126	2,9
Tp 73-05	42,7	10,6	32,1	123	2,7
Tp 73-06	41,3	10,4	30,9	133	3,1
Tp 73-07	42,3	10,9	31,4	132	2,6
Tp 73-08	41,7	10,5	31,2	141	3,1
Tp 73-09	41,8	10,4	31,4	141	3,1
Tp 73-10	42,1	10,5	31,6	148	2,7
Tp 73-11	42,2	10,9	31,4	82	3,0
Tp 73-12	40,0	11,0	29,1	124	2,7
Tp 73-13	42,4	10,7	31,7	137	2,8
Tp 73-14	42,3	10,2	32,2	130	2,8
Tp 73-15	42,4	10,5	31,9	140	3,2
Tp 73-16	42,3	10,3	32,0	136	2,5
Tp 73-43	40,3	10,2	30,1	8	2,3
Tp 73-45	27,5	5,1	22,4	1	#DIV/0!
Totalt	42,0	10,5	31,5	2076	2,9

Graf 36: Tallverdier på avvik mellom TYPE 73 individer



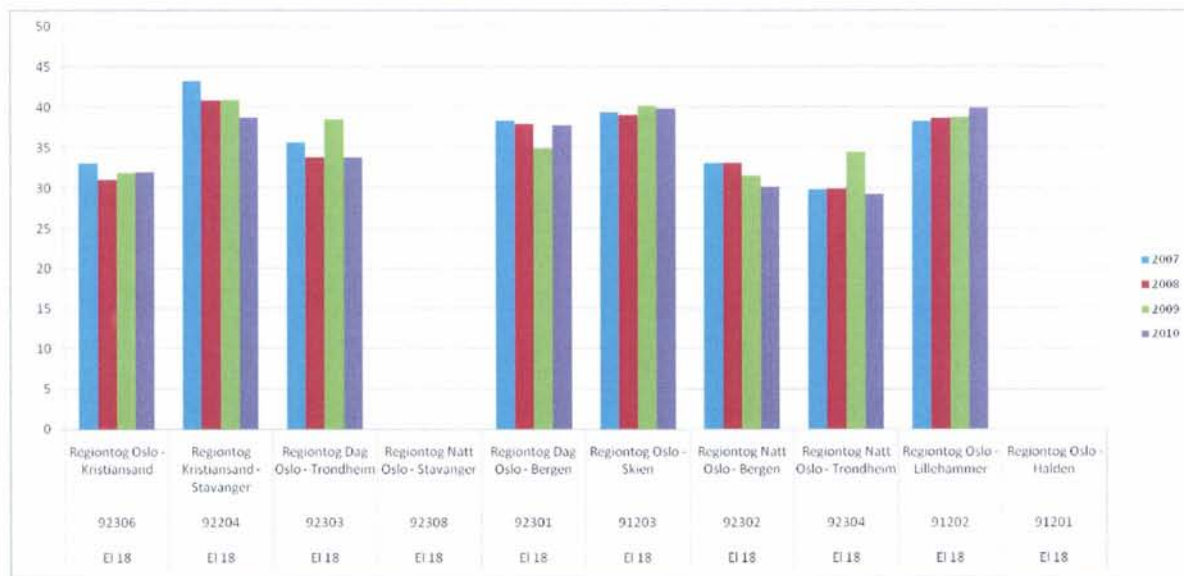
Ei 18	T73	T73	Ei 18
Oslo Bergen retur	Oslo Bergen retur	Oslo Kristiansand retur	Oslo Kristiansand retur

Graf 37: Illustrasjon av gjennomsnittlige forbruksforskjeller mellom forskjellige strekninger, togtyper og retninger

Lavt forbruk ca 30 Wh/btkm, høy tilbakmating på strekningene (ca 33 %), liten individforskjell, liten forskjell i energiforbruk i posisjon 0, 1 og 2. Redusert forbruk om vinteren, antagelig på grunn av at avisningsbrems ikke lenger er automatisk.

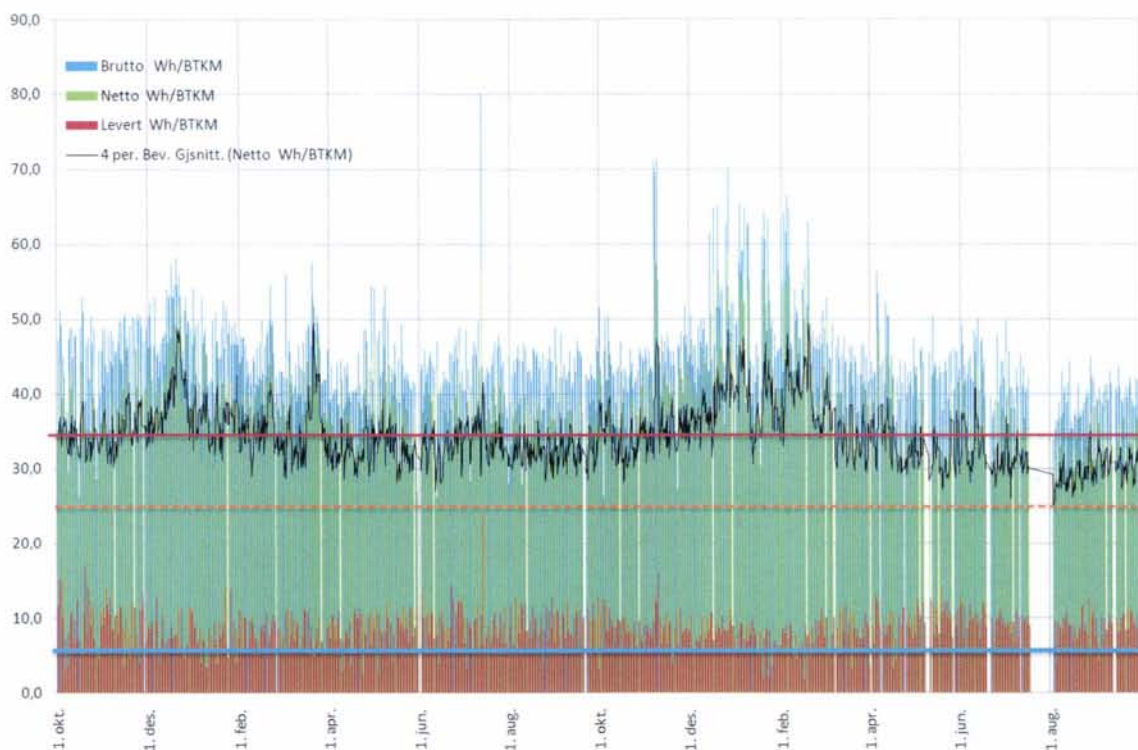
El 18

Stolpediagrammet nedenfor viser de tre siste årenes utvikling på energiforbruket på de strekninger som el 18 har trafikkert. Viser samme trendene som på type 73, en nedgang på de fleste strekninger i 2007-2010, unntatt på Oslo – Skien og Oslo – Lillehammer strekningene. Dette er den samme trenden som for type 70 på tilsvarende strekninger.



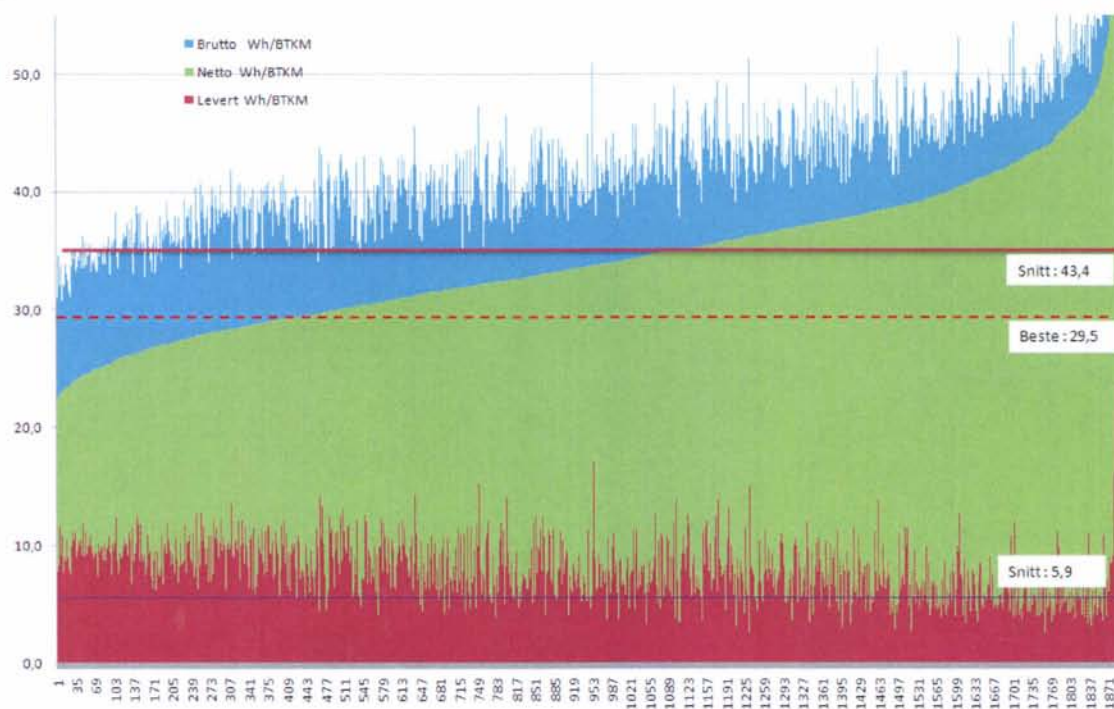
Graf 38: Energiforbruk EL 18 per strekning og år

Nedenfor vises brutto spesifikt forbruk for EL18 for ca 1900 turer mellom Kristiansand Oslo og retur. Turene er ordnet i kronologisk rekkefølge plassert inn på tidslinje. De hvite feltene er dager der det ikke er trafikk på hele strekningen. Den sorte linjen er glidende gjennomsnitt av 4 turer av nettoforbruket. Søylene i diagrammet er ikke stablet, men vist i lag over hverandre. Øverste lag (rødbrunt) er tilbakematet energi, som vises fullt ut, neste lag er netto forbrukt energi (grønt) og underste lag er brutto forbrukt energi (blått)



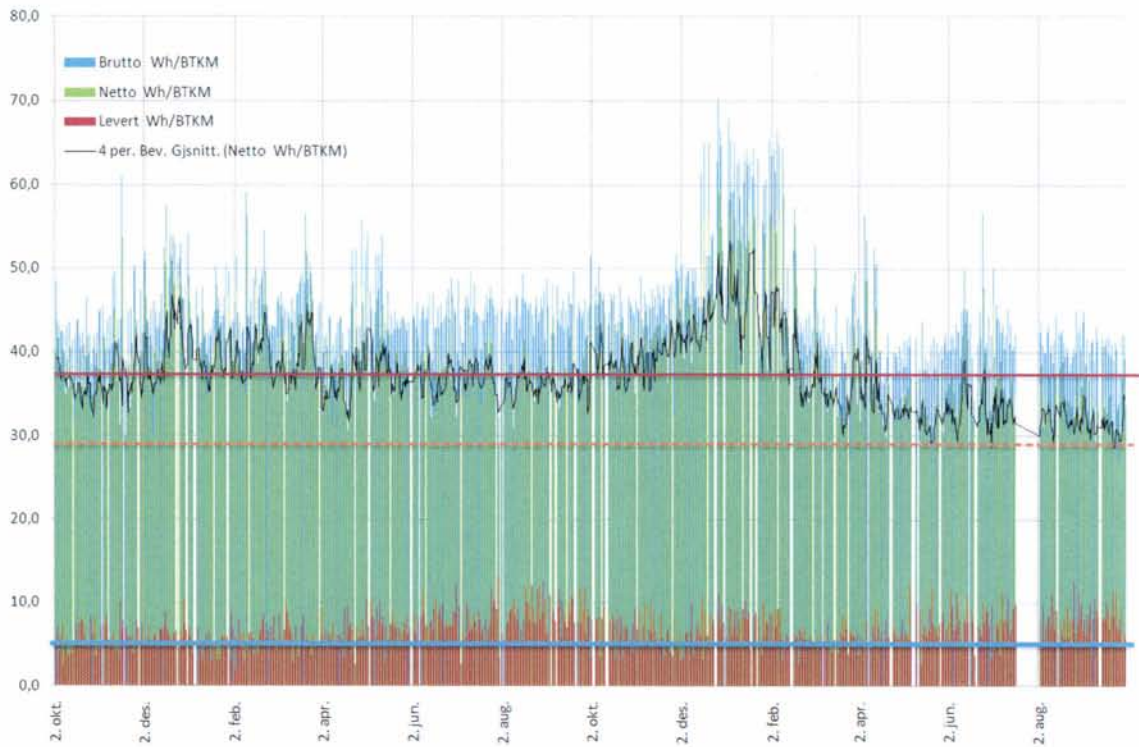
Graf 39: Energiforbruk EL 18 Oslo – Kristiansand per tur

Sommerforbruket er noe redusert. Vinterforbruket 2008/2009 var høyere enn forrige sesong på grunn av kaldere vinter.



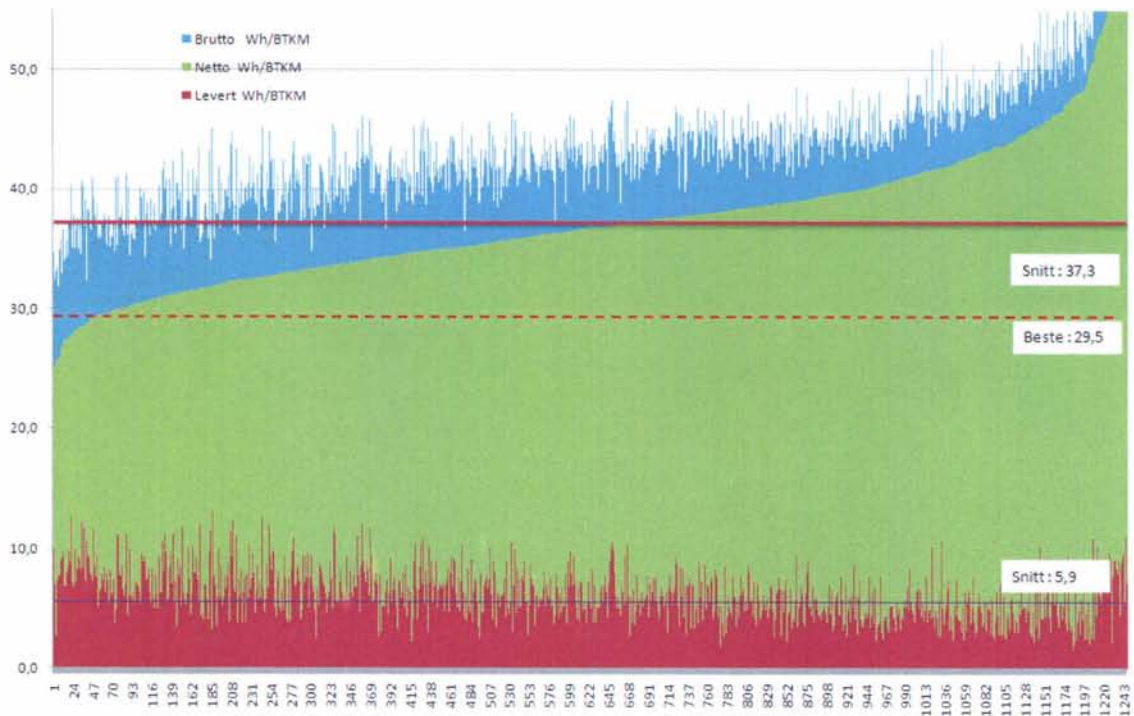
Graf 40: De samme turene sortert etter økende netto forbruk

Det er betydelig større forskjell på god og dårlig forbruk på EL18.



Graf 41: Brutto spesifikt forbruk for EL18 for ca 1250 turer mellom Bergen-Oslo og retur. Turene er ordnet i kronologisk rekkefølge plassert inn på tidslinje.

Det er oppnådd en betydelig besparelse på sommerforbruket sammen med tidligere sesong. Sommerforbruket kan tolkes som et grunnforbruk, som ventelig også vil slå ut på vinterforbruket.



Graf 42: De samme turene, men sortert etter økende netto forbruk



Stor variasjon mellom turene, høyt forbruk (43Wh/btkm Oslo Bergen), lav tilbakemating (14 %), forbedring i forbruket registrert.

Hvordan kan man forbedre seg?

Man har sett på de forskjellige typene og hvordan energiforløpet er utviklet seg over tid ved kjøring. Videre diskuteres det hvordan valg kjørestil virker inn på forbruket. Med kjørestil menes de systematiske valg av kjørehendler, akselerasjon, hastighet og bremsesom de forskjellige lokførere bruker på en togtur.

Man tar utgangspunkt i variasjon i energiforbruk som er målt på et tusentals togturer. Disse måledata er filtrert for en rekke forhold som ikke har direkte med kjørestil å gjøre for eksempel utetemperatur, åpenbare feiltilstander, individforskjeller. Den resterende variasjonen er ca +/- 12 %. Hovedfunnene er konsentrert om type 70, strekningen Oslo – Lillehammer. Dette fordi strekningen Oslo – Lillehammer har tilnærmet samme vær og høyde over havet over hele strekningen og materiellet er av eldre type, der det antas at forskjellig kjørestil vil gi større utslag.

Den målte variasjonen blir sammenholdt med den variasjonen en kan simulere ved forskjellige kjørestiler. På denne måten vil en kunne forklare hele den observerte variasjonen, og anslå i hvilken grad en kan forbedre kjøringen. Til sammenligning er det også gjort simuleringer på et tenkt nytt materiell for å se hvordan forbruket varierer med kjørestiler på et slikt materiell på samme strekning. Dette gir grunnlag for å generalisere resultatene fra analysen. Til en viss grad kan en anslå effektene av forskjellig kjørestil også for de andre av NSB s materielltyper.

Hovedkonklusjoner

Det er to årsaker til at forskjellig kjørestil gir forskjellig energiforbruk:

- Effektbegrensning i togmotorene som gjør at bare deler av hastighetsenergien kan tilbakeleveres ved bremsing i stor fart
- Turbulens, som gir uforholdsmessig stor friksjon i høy fart

Begge disse fenomenene er særlig uttalt i eldremateriell med lav motoreffekt i forhold til vekt, og kantete utforming som skaper turbulens. På samme strekning og hastighet vil altså nyere materiell kjøre betydelig mer energioekonomisk og virkning av forskjellig kjørestil blir betydelig redusert. Valg av best mulig kjørestil dreier seg om å kompensere for disse manglene nevnt over. Den mest energisparende kjørestilen vil dermed variere noe med materielltypen og strekningen, samt hyppighet av stopp.

Det tyder på at ca halvparten av togturene er preget av dårlig tid på den undersøkte strekning og tognummer. Hvis dette er riktig, må lokfører kjøre maksimal hastighet for å holde ruta på halvparten av de registrerte turene, og det er ikke mulig å spare. Imidlertid mangler opplysning om hvor ofte dette gjelder.

Det tyder på at forbedringspotensialet for type 70 da ligger noe under 6 %, men usikkert. For nyere materielltyper vil potensialet under samme betingelser være mindre. Tiltak som forbedrer regularitet kan gi like god effekt som forbedring av kjørestil. Det er gjort en vurdering av sparepotensialet på norske strekninger i forhold til utlandet:

- Høy togtetthet og problemer med regularitet vil oftere skape situasjoner der lokfører må kjøre maksimal hastighet. Fører kan da bare velge en kjørestil og sparing er ikke mulig.
- Generelt gir valg av kjørestil mindre besparelser på strekninger med lavere hastigheter.
- Store høydeforskjeller på banestrekningen vil ikke gi høyt energitap såfremt høydeenergien kan leveres tilbake. Dette er ikke et problem for moderne materiell ved de aktuelle hastighetene og hellinger på det norske jernbanenettet.

- Høyt energiforbruk i norske tog kan skyldes svingete spor, mange hastighetsnedsettelse og mange bakketopper. Dette gir øket friksjonstap og tap i motor, tilbakemating og brems, uten at forholdene kan forbedres ved å endre kjørestil

En framtidig vesentlig økning av hastigheten på nye banestrekninger vil kreve større effekt på motorene og en utforming av skroget som skaper enda mindre turbulens. Dette gjenspeiles i type 74/75, hvor utformingen er meget god. En kan da igjen komme i en situasjon der turbulens og mangel på effekt vil gi energitap. Kunnskap om god kjøreteknikk kan derfor være nyttig også i framtiden.

Målte variasjoner i forbruk

Årsaker til variasjoner

Det er som nevnt stor variasjon i tilført energi og tilbakematet energi på de forskjellige togturer.

Årsaken til dette er variasjoner i

- utetemperatur (komfort oppvarming av tog)
- vinterforhold (glatte spor, bruk av avvisningsbrems)
- løvfall (spesielt glatte spor)
- nedbør (mulig påvirkning)
- individforskjeller i tog (ulike komponenter, varige feiltilstander eller innstillinger)
- posisjonen til motorvognsettet i toget (forrest, bakerst eller singel)
- tognummer (systematisk forskjell i belegg eller antall stasjonsstopp)
- ulik høyde over havet på endestasjoner
- ulik deling av arbeidsbyrde mellom to sett i spann

For å kunne sammenligne energiforbruket innbyrdes mellom togturer, må forbruk og tilbakemating kompenseres. Det som gjenstår som årsaksforklaringer til variasjonen i observert forbruk er:

- vekt (tilfeldig variasjon i antall passasjerer)
- fører (systematisk eller tilfeldig valg av kjørestil)

dessuten

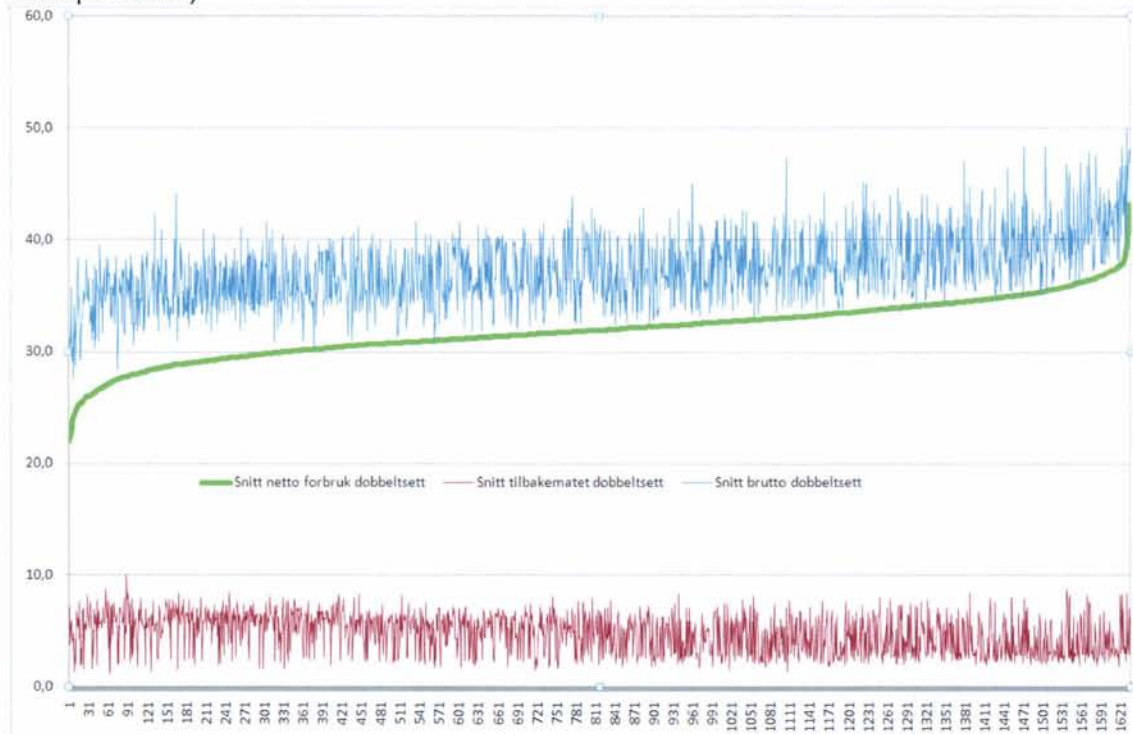
- forsinkelser (tidsforbruket er lengre enn oppsatt rute, dermed større hjelpestrømsforbruk)
- feiltilstander (for eksempel utkobling av en motor)
- hendelser på sporet (arbeider, påkjørsler, møtende tog, driftsforstyrrelser)
- ekstra god tid på grunn av lavt passasjerantall
- feil i datamaterialet

Variasjonsgrafene viser knekkpunkter. Verdier som ligger over og under disse knekkpunktene er holdt utenfor, da en må anta at dette skyldes feiltilstander, store forsinkelser eller spesielle hendelser. (Ekstremt lave energiforbruk tyder for eksempel på motorhavari og at motorvognsettet er trukket av det andre settet.)

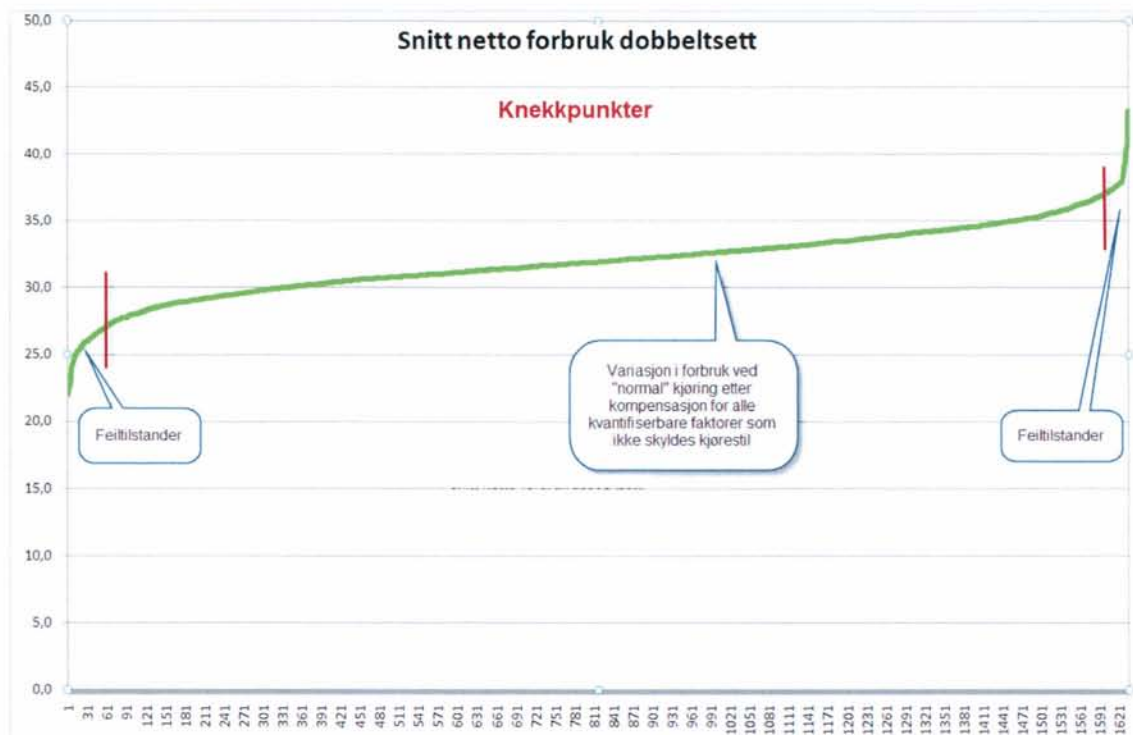
Bestemmelse av variasjonsgrenser

I det følgende vises tre grafer som brukes til å bestemme variasjonsgrensene for bruttoforbruk. Data i disse grafene er kompensert for de øverste 8 årsakene til variasjon (se over). Den siste årsaken, ulik deling av arbeidsbyrde mellom to sett i ett spann, er kompensert for ved å vise snittverdier. Grafene viser energiforbruk fra en rekke enkeltturer rangert i stigende rekkefølge etter forskjellige kriterier. På hver graf er det vist knekkpunkter på kurvene. Verdier som ligger lavere og høyere enn disse knekkpunktene bedømmes å skyldes feiltilstander eller store forsinkelser. (I det

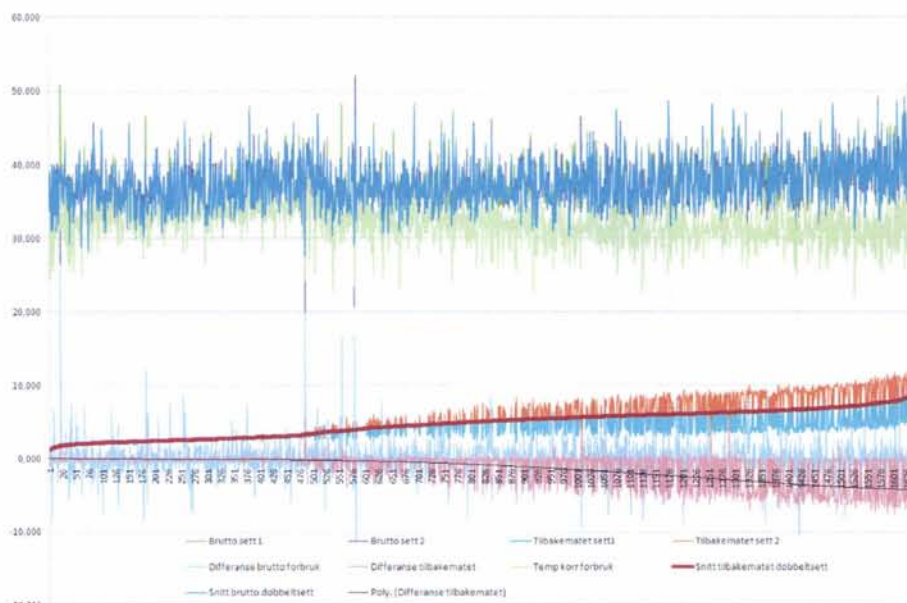
senere viser det seg at det er umulig å simulere kjøringer i rute som ligger utenfor disse knekkpunktene)



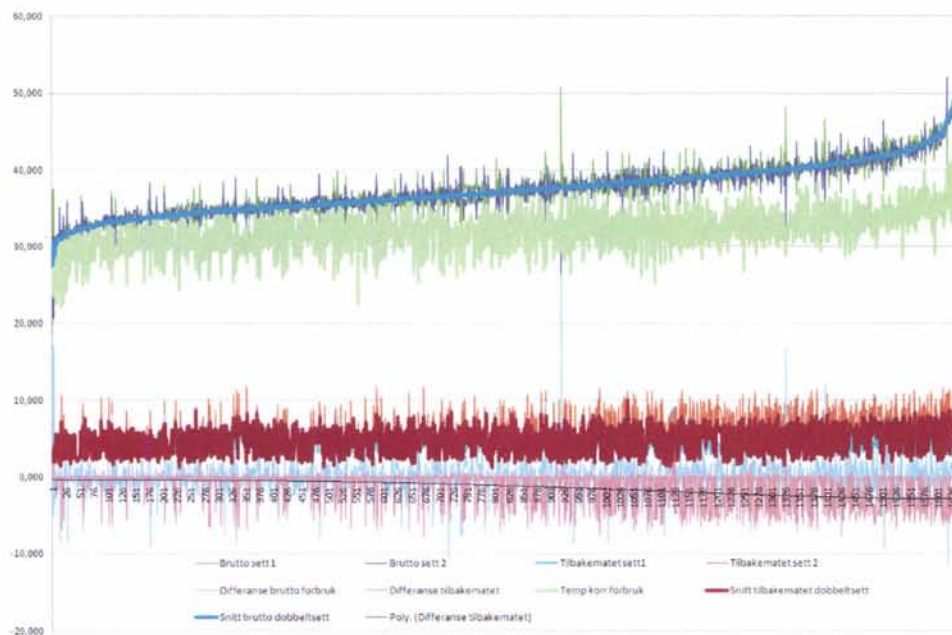
Graf 43: Forbruk i dobbeltsett rangert etter stigende snitt nettoforbruk, heltrukket lys grønn linje



Graf 44: Samme kurve som over, men bare netto forbruk er vist. Knekkpunkter på variasjonskurven er satt til: Lav 28, middels 32, høy 36 (Wh/btkm)



Graf 45: Forbruk i dobbeltsett rangert etter stigende snitt tilbakemating, heltrukket brunrød linje
 Avlest variasjon i snitt tilbakemating utenom ekstreme verdier: Lav 3, middels 5, høy 7



Graf 46: Forbruk i dobbeltsett rangert etter stigende snitt bruttoforbruk, øverst blå linje
 Avlest variasjon i snitt bruttoforbruk, utenom ekstreme verdier: Lav 35, middels 38, høy 41

Tabell 3: Variasjonsspennet

Wh/btkm	Lav	Middels	Høy	Spenn	Spenn %	Potensial %
Brutto	35	38	41	6		
Retur	-7	-5	-3	4		
Netto	28	32	36	8	25 %	12 %

Merk at en ikke kan legge sammen verdiene for brutto, netto og tilbakemating, da verdiene er hentet fra forskjellige turer. "Spennet" i variasjonen er lik "høy" verdi minus "lav" verdi. Hvis alle turer kunne kjøres med det laveste energiforbruket ville en kunne redusere forbruket med 12 %. Dette er dermed potensialet for forbedring. Utfordringen er nå å vise hvordan forskjellige kjørestil kan gi opphav til den observerte variasjonen.

Kjørestiler

Det er interessant å finne ut hvordan disse målte variasjonene henger sammen med lokførers systematiske valg under kjøringen, såkalt kjørestil. De forskjellige kjørestilene er:

- Hurtigst mulig, - høy akselerasjon, maksimal tillatt hastighet, rask nedbremsing, innspart tid brukes til lengre stasjonsopphold eller å ta inn forsinkelser
- Lavest mulig topphastighet, -rask akselerasjon, lav topphastighet, rask nedbremsing, inn på stasjonen til riktig tid.
- Rulling, - rask akselerasjon, maksimal tillatt hastighet, kutte pådrag og rulling i god tid før hastighetsbegrensninger og stasjon. Bevegelsesenergien blir dermed i mindre grad bremsset bort, men brukes til framdrift.
- Komfortkjøring, - rolig akselerasjon, høy topphastighet, rolig nedbremsing
- Rykkete kjøring, - kjøring med stadige oppbremsinger og akselerasjoner underveis

De overnevnte kjørestilene er begrenset av innstillingsmulighetene i manøverorganene:

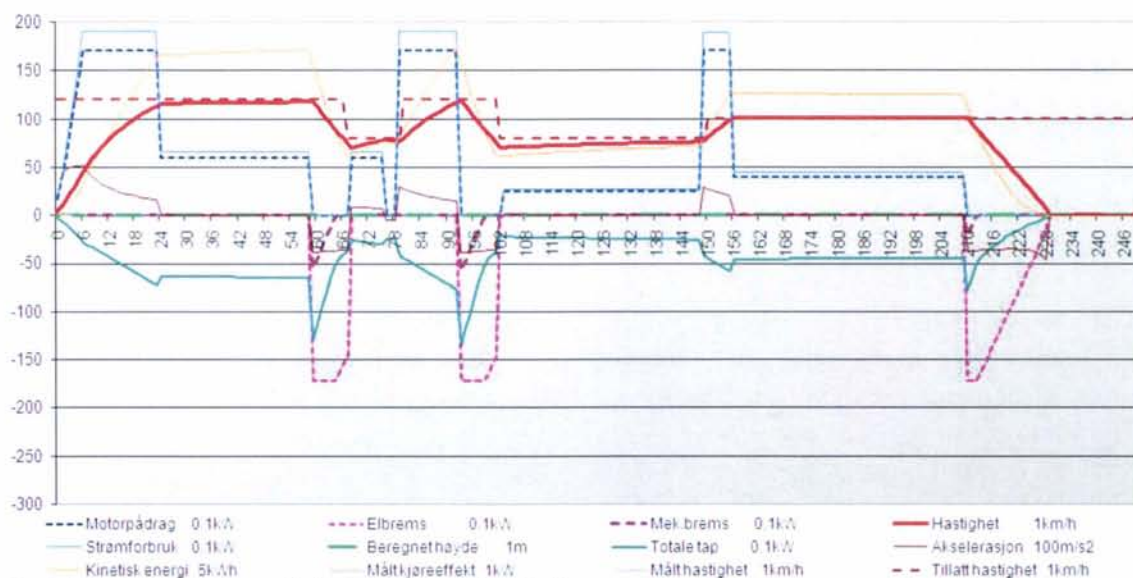
- Manuell. Manuell innstilling av pådrag og manuell innstilling av bremsekraft. Type 70 er konstruert slik at hver vogn i togsettet bremses separat i manuell stilling. Det blir dermed mindre tilbakemating av elektrisk energi, da kun bevegelsesenergien i motorvogna blir bremsset elektrisk. (Detaljer senere)
- Automatikk. Ønsket kjørehastighet innstilles, akselerasjon er fast, mens retardasjon er innstillbar i trinn 0,9 m/s² og 0,75 m/s² og 0,6 m/s².
- Rulleknapp. Kobler ut motorkraft

Det er å merke seg at kapasiteten på tilbakematingen er begrenset av motoren/generatoren. Når det ønskes raskere oppbremsing enn motoren/generatoren kan klare, vil bremseautomatikken blande inn mekanisk brems. Spesielt ved oppbremsing i høye hastigheter er dette viktig og påvirker nettoforbruket.

Simulering

Det er laget et Excelsheet som simulerer en togtur ved hjelp av elementmetoden.

Togturen deles opp i tidselementer med 4 sekunders varighet. Denne oppløsningen er tilstrekkelig til å gjengi forløpene (hastighet, akselerasjon etc.) under togturen og til å skille hvordan de forskjellige kjørestilene påvirker forbruket. Elementmetoden er i korthet at et hvert regneelement (rad i regnearket) har et sett inngangsverdier, en formelkalkulator og ett sett utgangsverdier. Utgangsverdiene i et element er lik inngangsverdiene i neste element. I tillegg får hvert element opplysninger om aktuelt gasspådrag eller bremsing eller automatiske innstillinger for eksempel retardasjon. Dessuten har hvert element opplysninger om togvekt, rullende masser, bremseloggikk, motorkurve etc. Hvert element regner da ut verdier for hastighet, retardasjon, tap, strekning, strømforbruk, tilbakemating etc., som vises på en graf:



Graf 47: Eksempel, grafisk visning av simulering

Tillatt hastighet er vist med stiplet rødbrun linje, faktisk hastighet er vist med rød linje. Tilført energi er vist med blått, tilbakematet energi med stiplet rosa, mekanisk bremsset med stiplet brun, og løpende tapt energi (friksjon og bremsing) er vist med grønn. Elementnummeret er vist på x akse (hvert element er 4 sekunder).

Simuleringsprogrammet egner seg til å få en oversikt over energiforbruket på gitte strekninger og i analyseformål.

Konklusjoner

Det er mulig å kjøre dårlig. Disse kjørestilene gir høyt forbruk:

1. Raskest mulig kjøring i første del av turen mellom to stasjoner, så komme inn tidlig og stå lenge på stasjonen.
2. Raskest mulig kjøring i første del av turen. Så rolig rulling inn til stasjonen under 50 km/t. Denne kjørestilen har omtrent samme energivirkning som å stå lenge på stasjonen. (Effektiv rulling må gjøres i høy hastighet mot hastighetsbegrensning).
3. Raskest mulig kjøring der det er tillatt med høy hastighet, lavere hastighet enn tillatt ved hastighetsbegrensninger.
4. Rykkete kjøring. Denne kjøringen gir det høyeste forbruket, men en må anta at fører er i en tvangssituasjon når den brukes (kjøring like etter annet tog).
5. Komfortkjøring, dvs. rolig akselerasjon, full fart underveis og rolig retardasjon. Forbruket er omtrent som under punkt 1
6. Brems mekanisk mot stasjon
7. Brems mekanisk i nedoverbakke
8. Høy hastighet over bakketopp

Det er mulig å kjøre godt. Disse kjørestilene gir lavt forbruk:

1. Høyest mulig akselerasjon og retardasjon. Lavest mulig topphastighet, høyest mulig hastighet i hastighetsbegrensninger.
2. Rulling. For eldre togtyper med svak tilbakemating (TYPE 70 og EI18) og for dieseltog er rulling mer effektiv enn lav topphastighet. Kjør opp mot høyeste tillatt hastighet og rulle ned mot hastighetsbegrensninger. Men rulling krever tid. For lokaltog er rulling mindre aktuell

fordi det er for kort tid mellom stasjoner. Rulling er bare effektiv ved høye hastigheter fordi da er tilbakematingen minst effektiv på eldre tog.

3. Rull over bakketopp med lavere hastighet, og utnytt høyden til å akselerere. 30 meter høydeforskjell gir 100 km/t hastighet i bunn av bakken. 10 promille gir ca 0,1 m/s² tilleggsakselerasjon. 30 promille gir ca 0,3 m/s² tilleggsakselerasjon. Men rulling over lengre tid med lav hastighet er bortkastet tid.
4. Korte stasjonsopphold gir mer tid på sporet. God tid kan utnyttes ved å ha lavere topphastighet.
5. For TYPE 70 er det mest energiøkonomisk å bremse i stilling automatisk. Dette fordi tilbakematingen er mindre effektiv i manuell. Den mest energiøkonomiske innstilling er 0,9m/s², ettersom dette gir rask nedbremsing og mulighet for å kjøre med lavere topphastighet på større del av strekningen. TYPE 70 er programmert slik at lavere retardasjonsinnstillinger ikke påvirker forholdet mellom elektrisk og mekanisk brems. Lavere retardasjoner gir derfor bare lengre oppbremsing, men samme tap i mekaniske bremses.

Det som er sagt over gjelder når en er i rute, eller har god tid. Imidlertid vil ofte ligge noe etter ruta. Lokfører har da ikke mulighet for å spare energi, men må kjøre det materiellet klarer, innenfor de hastighetsbegrensninger som gjelder.

Måten toget bremses på er viktig for energiforbruket. For TYPE 70 blandes det inn relativt mye mekanisk brems ved bremsing fra høyere hastigheter, blant annet fordi tilbakematingsevnen er såpass liten.

Fra energimessig synspunkt er det ønskelig at mest mulig av oppbremsingen skjer elektrisk. Dette er det lite å gjøre med på eksisterende togtyper. Imidlertid ser det ut for at overgang fra automatisk til mekanisk avisningsbrems har gitt store besparelser på TYPE 73. Det er registrert store ulikhet i hvordan tog i spann deler på akselerasjonsoppgaven og oppbremsing. Imidlertid kan en ikke se at dette går ut over energieffektiviteten, unntatt for TYPE 72. Temperatur i kupe er viktig for energiforbruket, både ved kjøling og ved oppvarming. Temperaturinnstilling burde i prinsippet være fast. Oppfølging av hensetting på lavest mulig effektnivå er viktig for forbruket. Det er viktig at dette blir fulgt opp.

Energiforbruket til en togtype er mest avhengig av toget strømlinjeform (lav turbulens) og tilbakematings -evnen ved høyere hastigheter. Forbruket til togtyper med meget høy effekt og meget lav turbulens er lavt og dessuten i liten grad påvirket av kjørestil. Valg av energiøkonomisk kjørestil er spesielt viktig for eldre togtyper.

9. VEDLEGG 2 ENERGY EFFICIENT TRAIN CONTROL

Energy Efficient Train Control

Experiences Gained from Onboard Tests of a
Driver Assistance System on a Suburban Railway Line

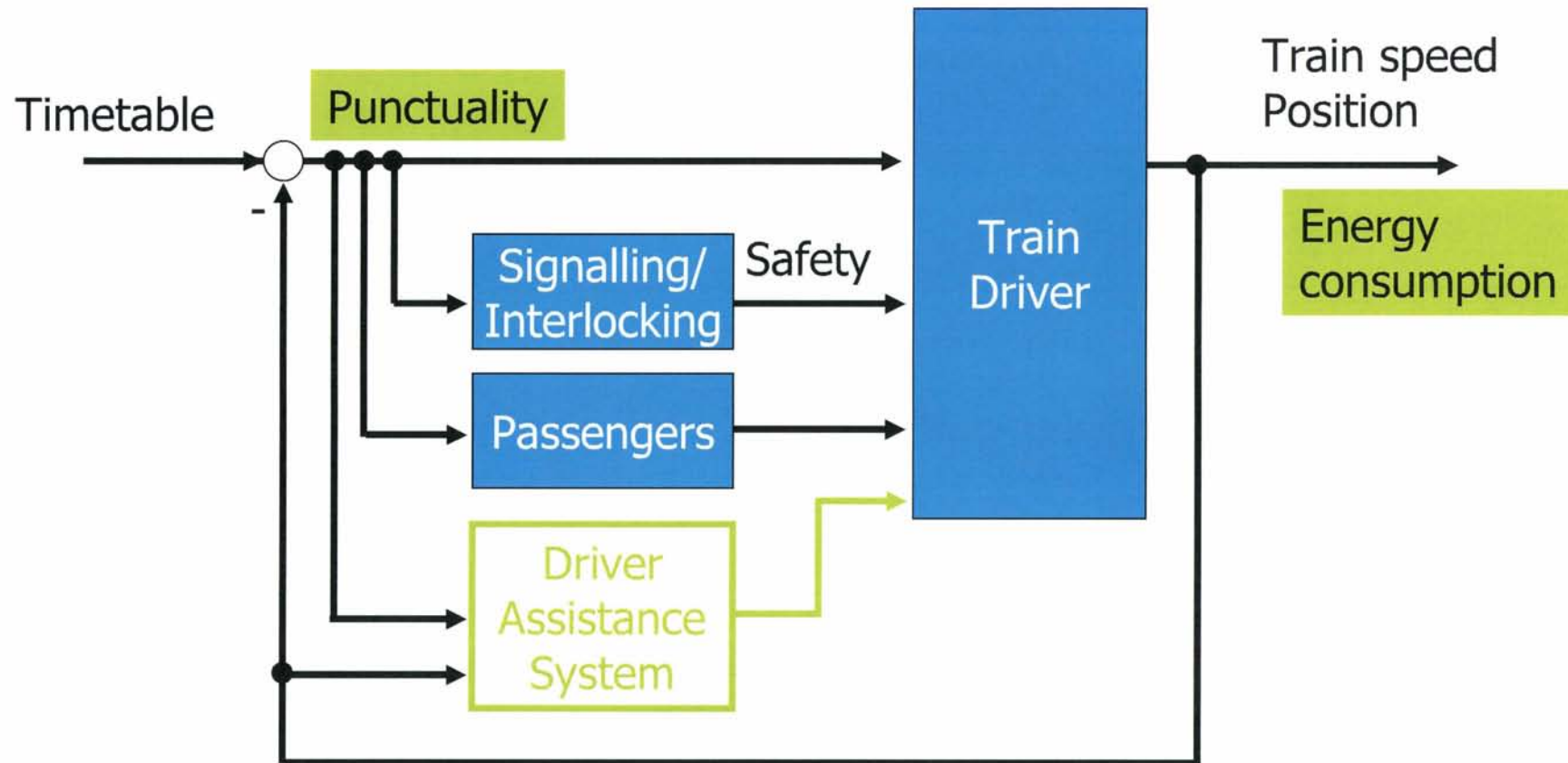


Delft, 1st International Seminar on Railway Operations Modelling and Analysis
Thomas Albrecht, TU Delft, formerly TU Dresden

June 15, 2005

1

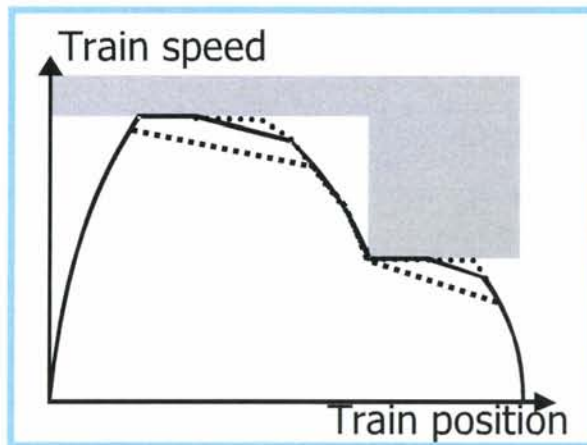
Timetabling and real operation



Structure of presentation

1. Theoretical background: A two level approach to energy saving
2. Implementation and tests of the developed system
3. Real World Obstacles to Energy Saving
4. Conclusions

A two level approach to energy saving train control



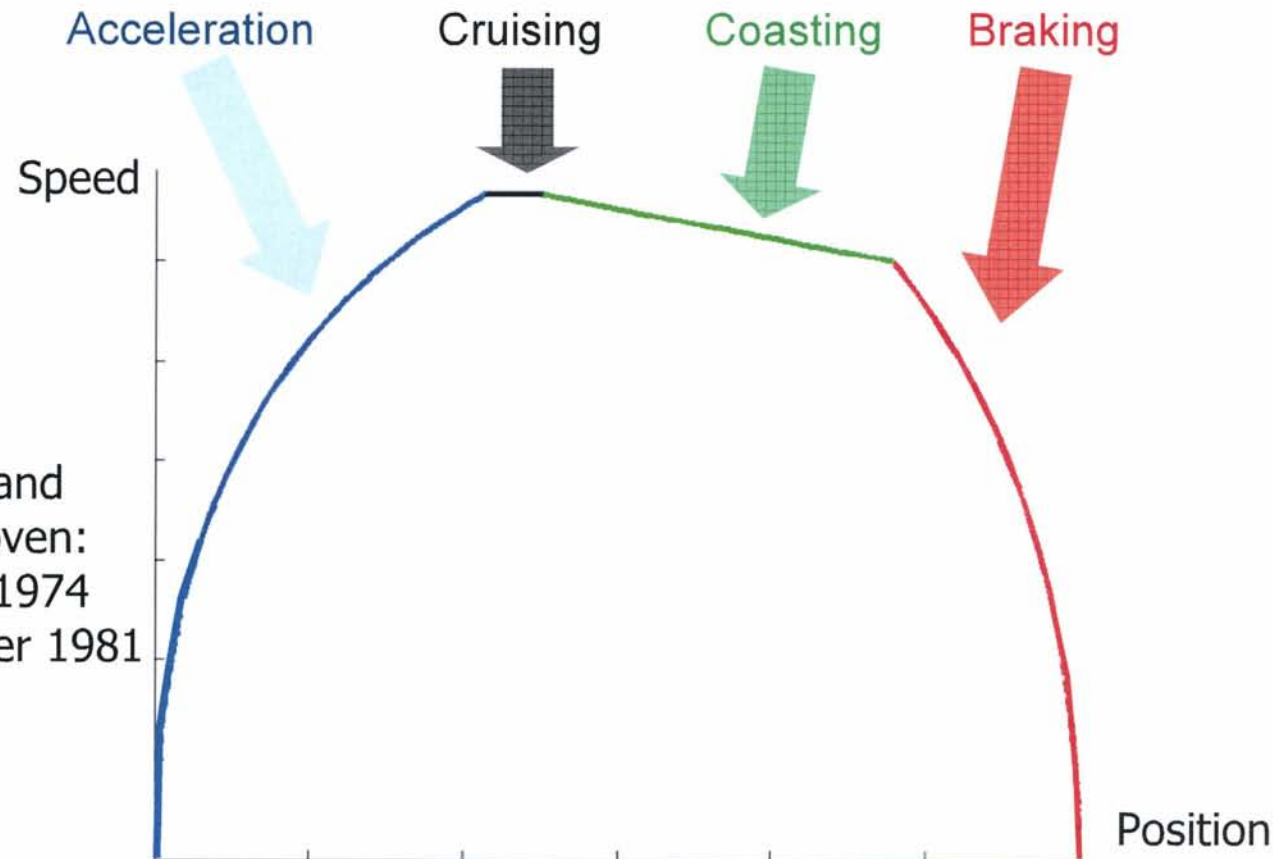
Running time for each section

LEVEL 1

Energy-optimal train control
between two stations

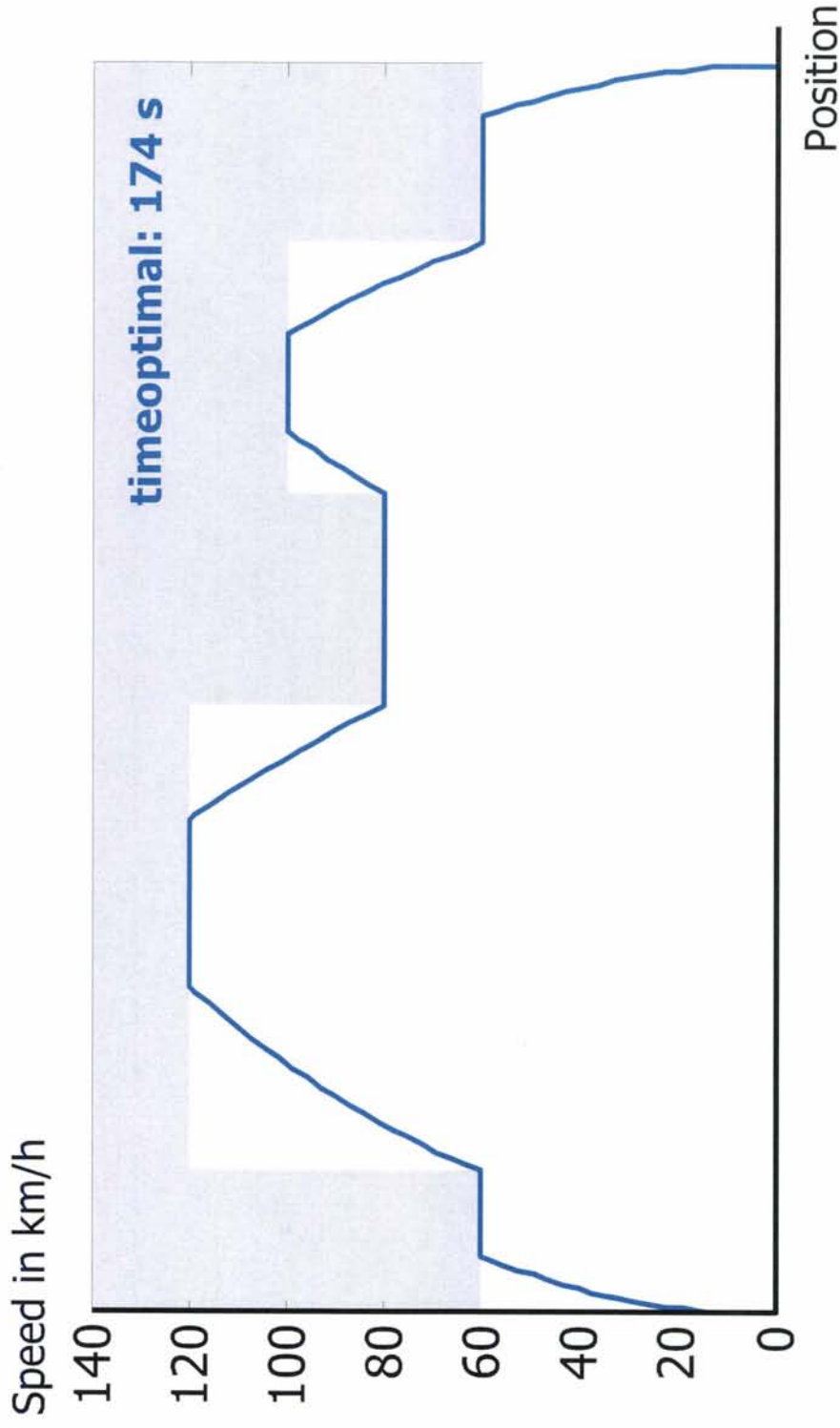
Points where and when to change driving style,
in order to **arrive on time**
with **minimal energy** consumption

Energy optimal train control between two consecutive stations



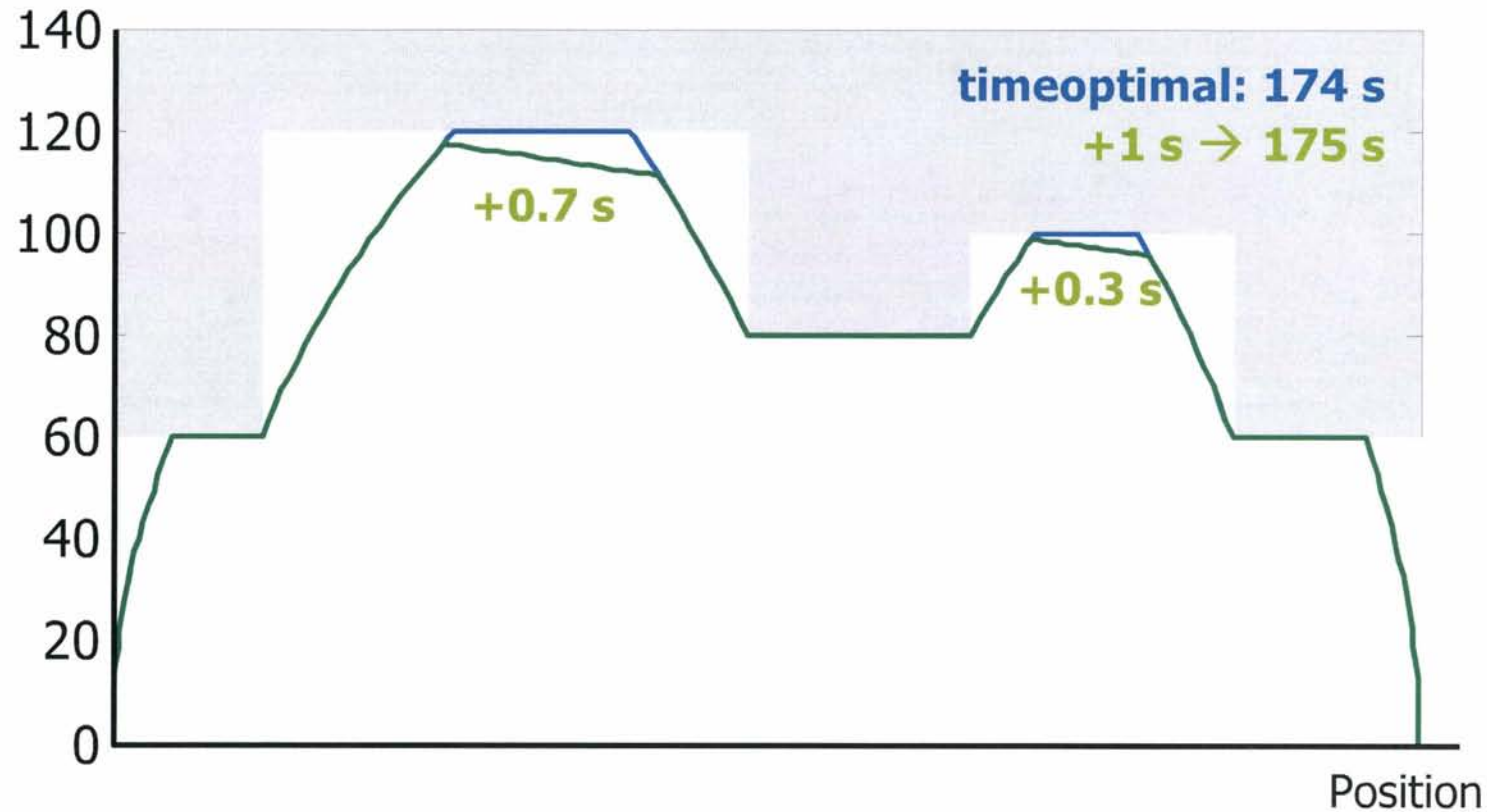
Theoretically and practically proven:
Horn/Strobel 1974
Kraft/Schnieder 1981
Howlett 1994
etc.

Multiple speed limits and gradients



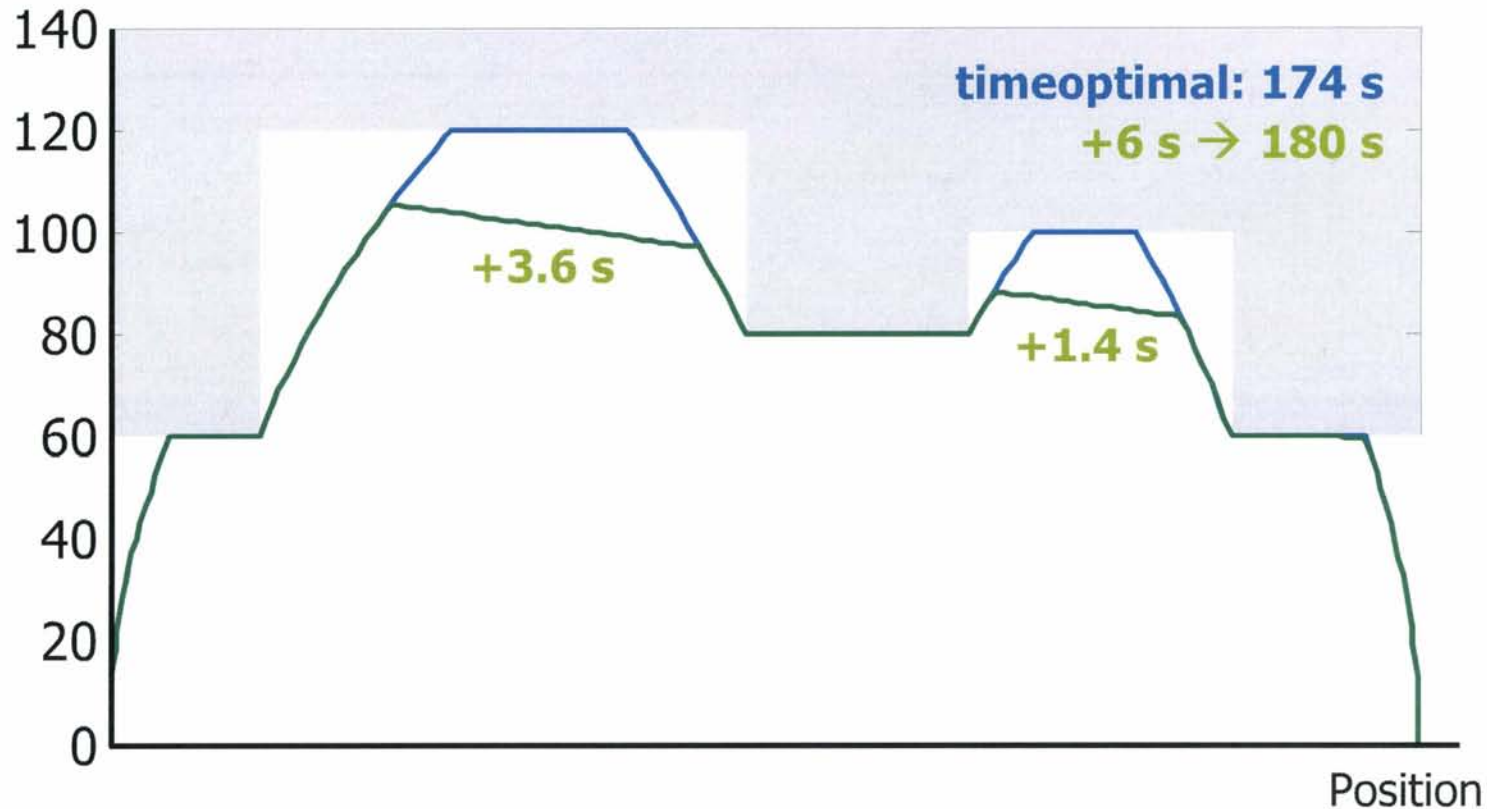
Multiple speed limits and gradients

Speed in km/h

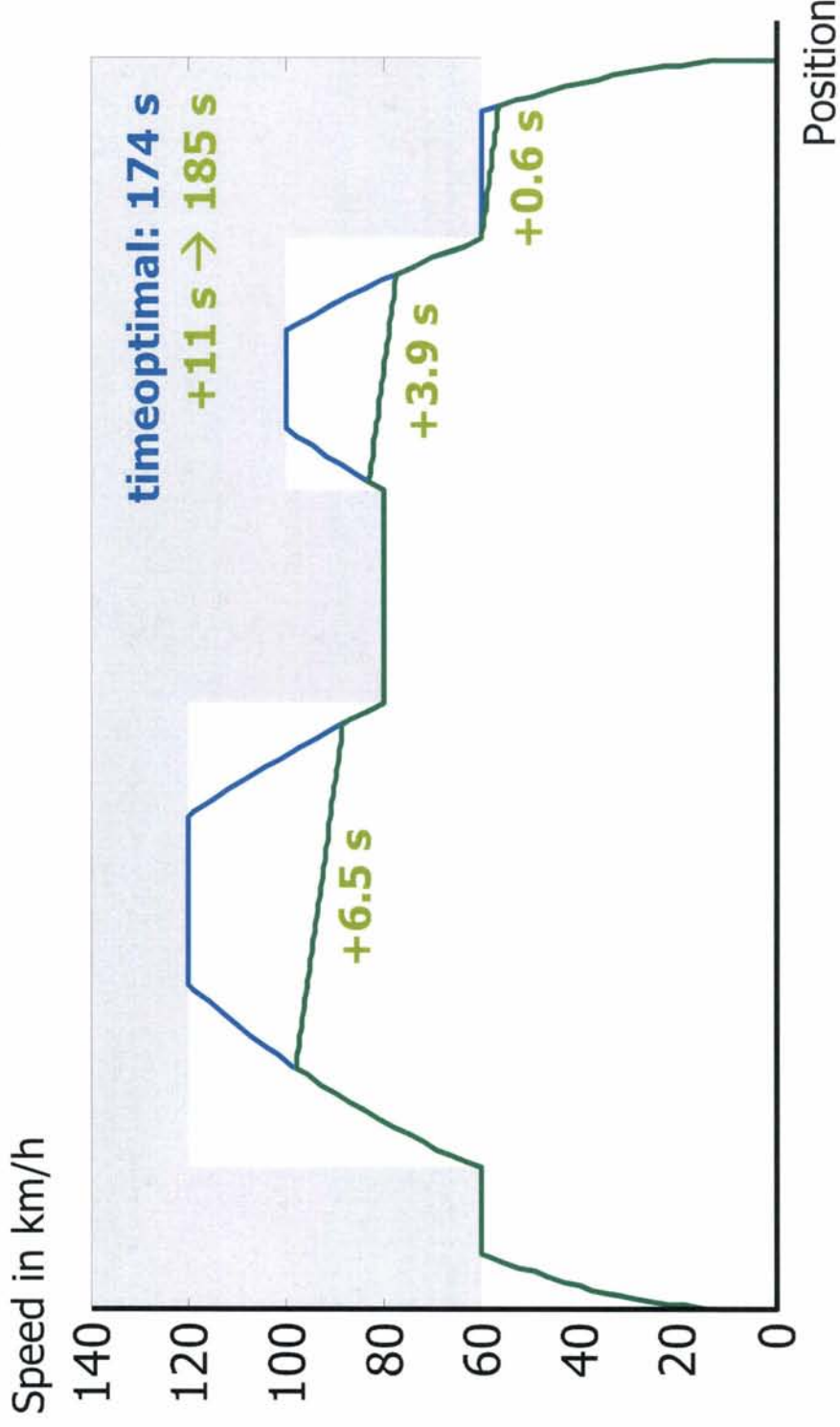


Multiple speed limits and gradients

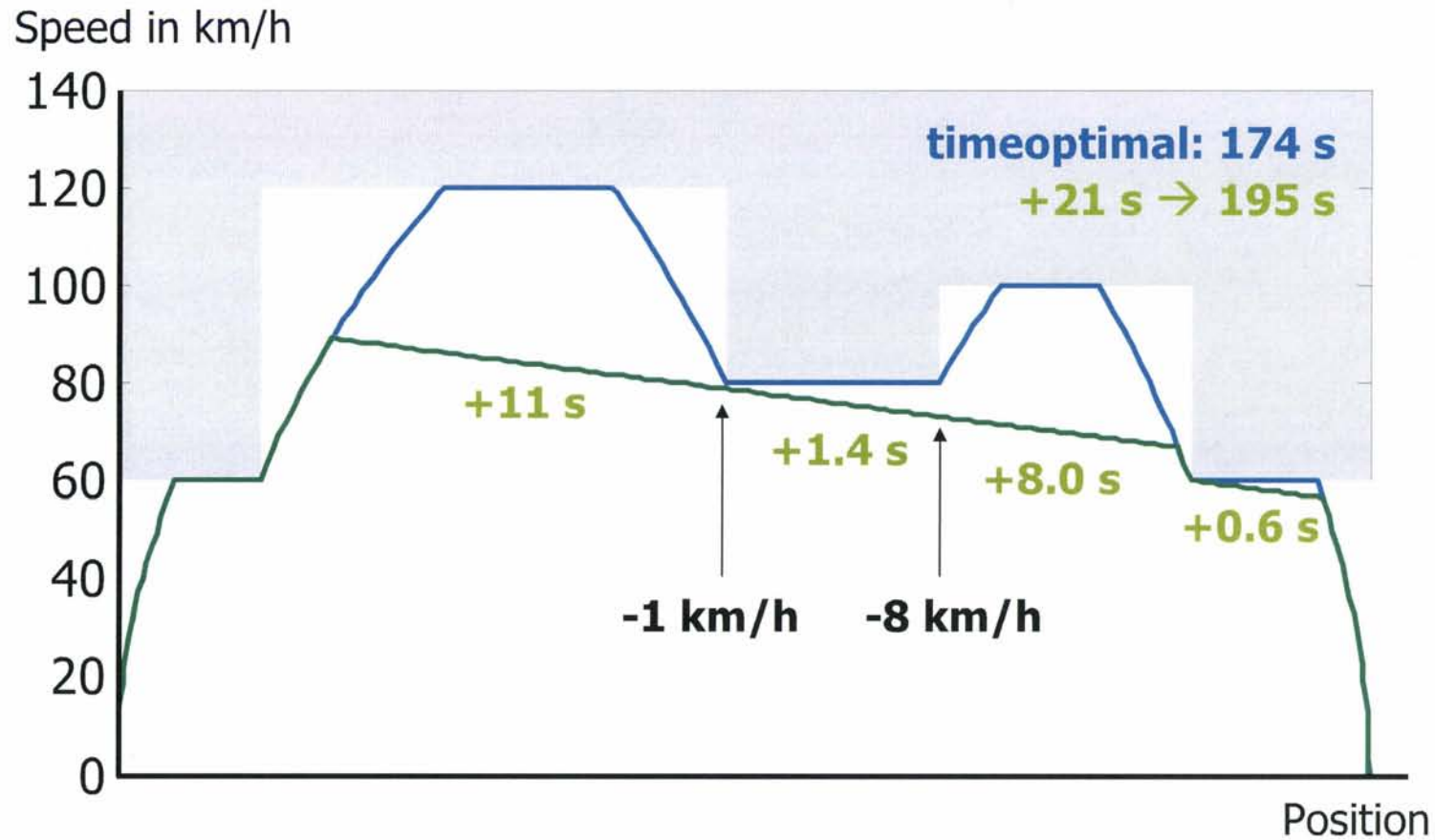
Speed in km/h



Multiple speed limits and gradients

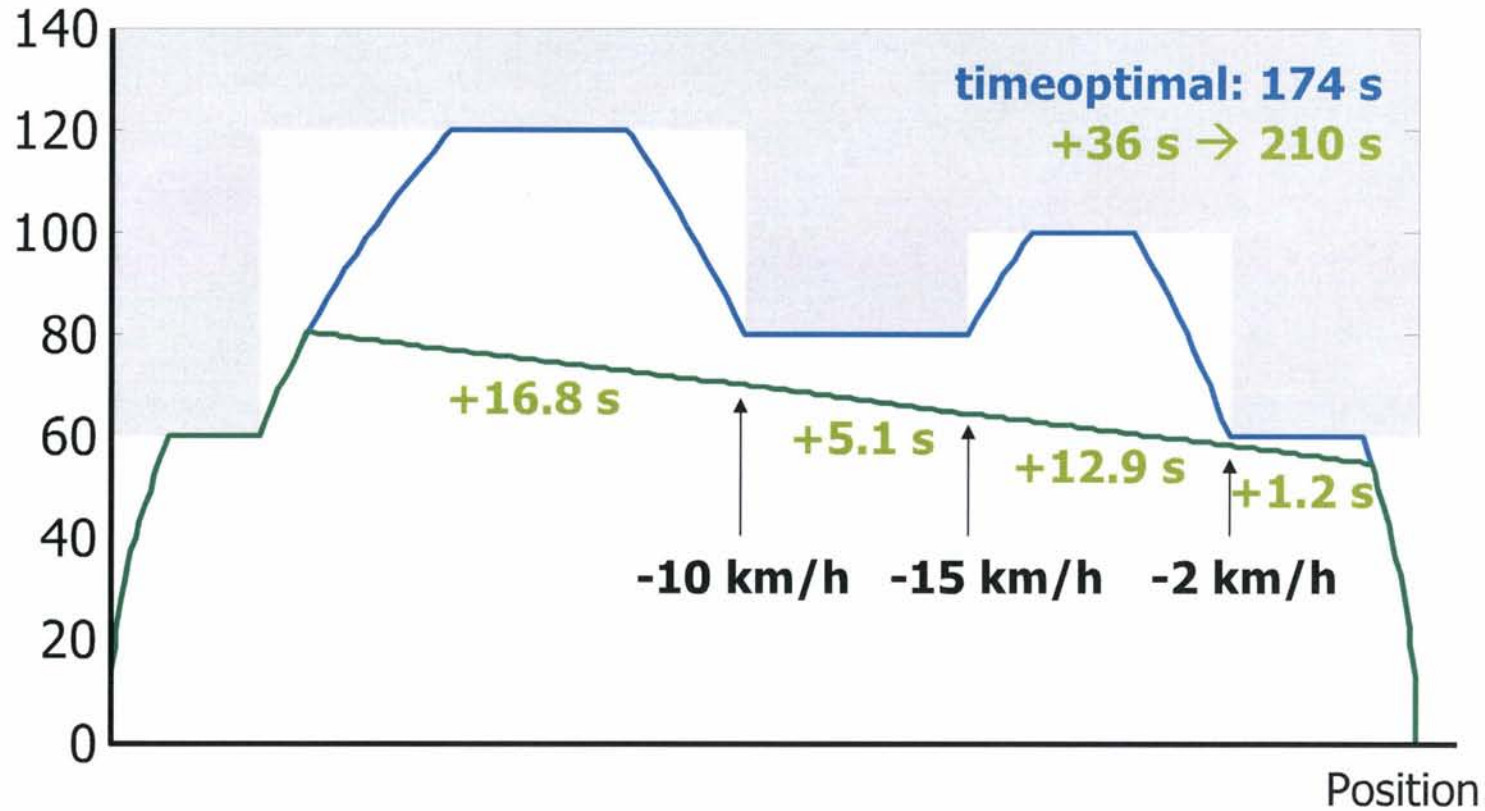


Multiple speed limits and gradients

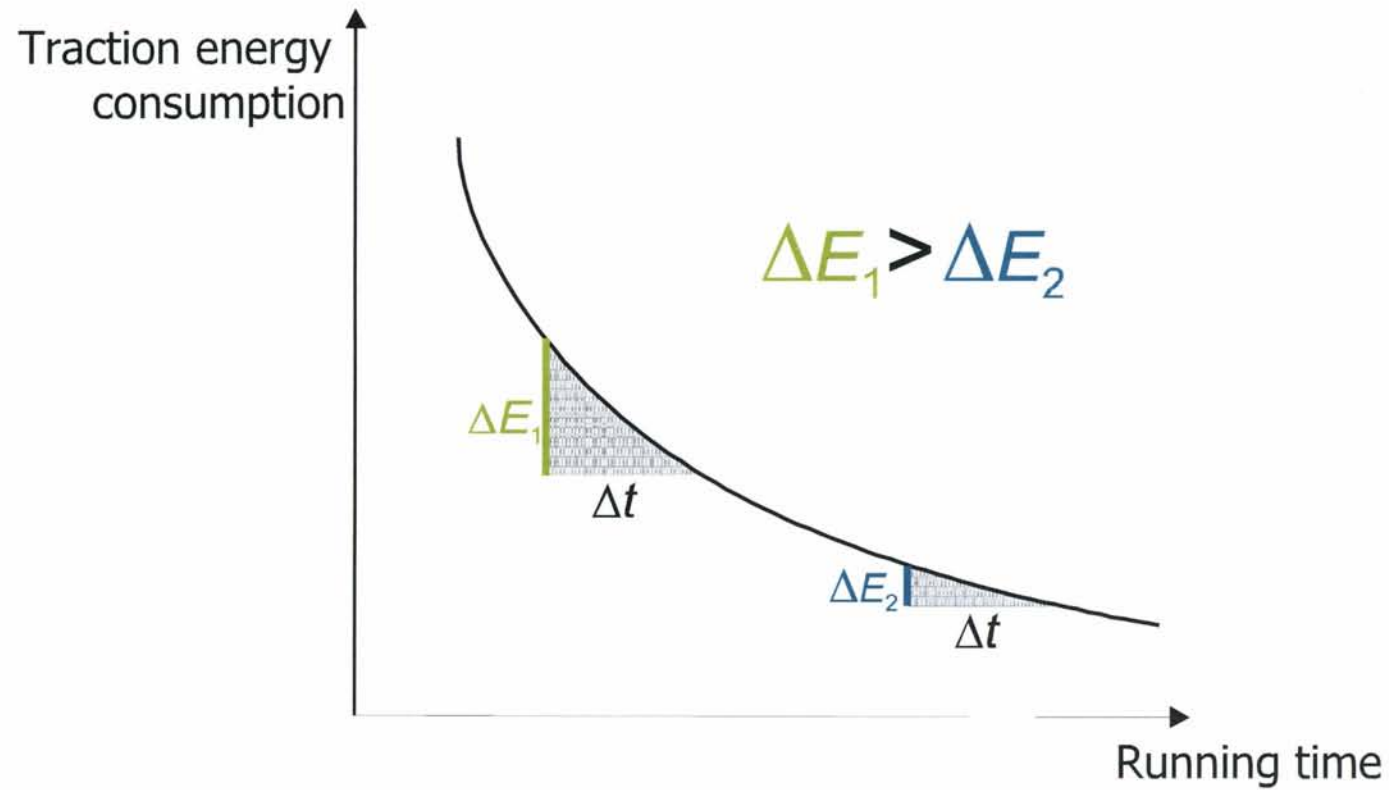


Multiple speed limits and gradients

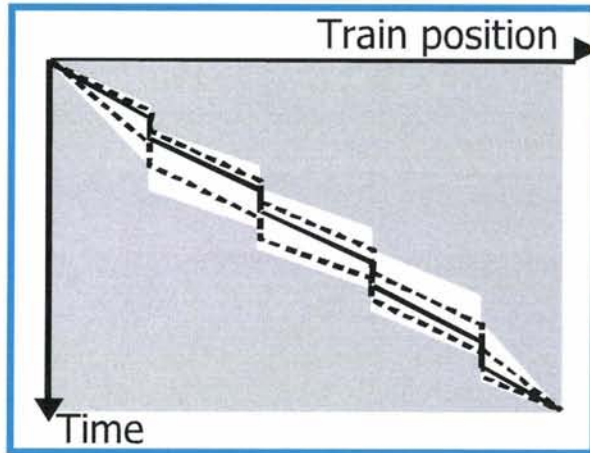
Speed in km/h



Traction energy consumption for different running times



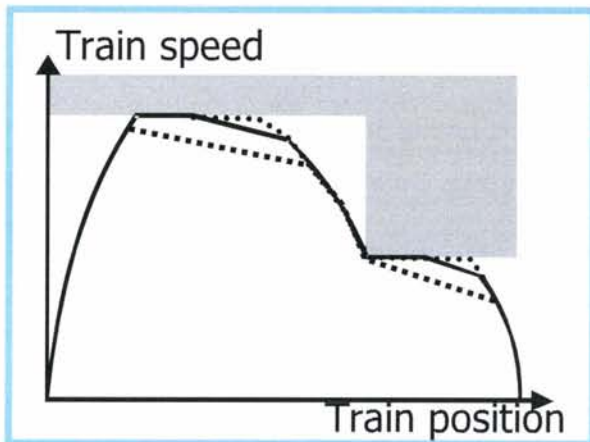
A two level approach to energy saving train control



Departure and arrival times for important stations

LEVEL 2
Train running time control along a line

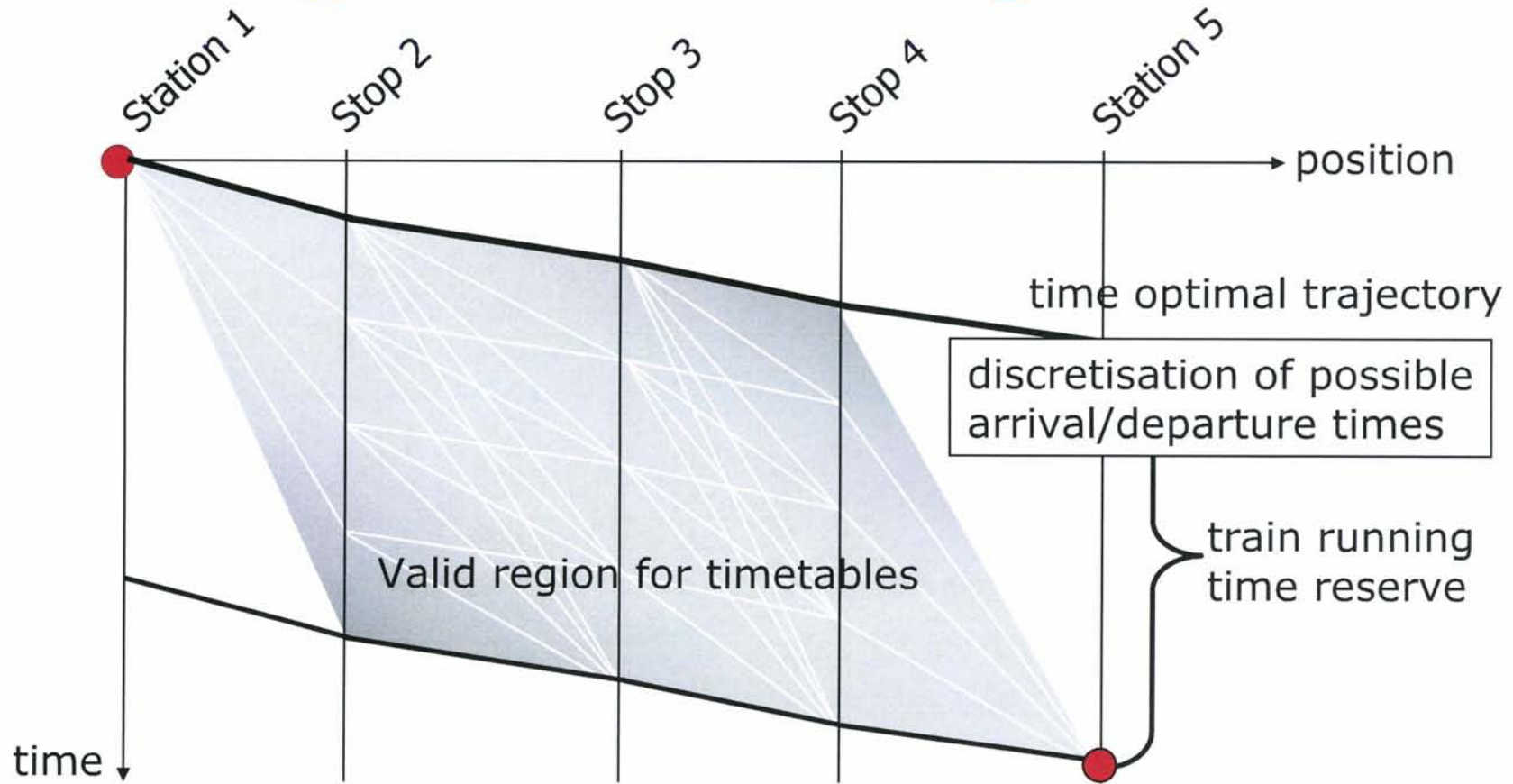
Running time for each section



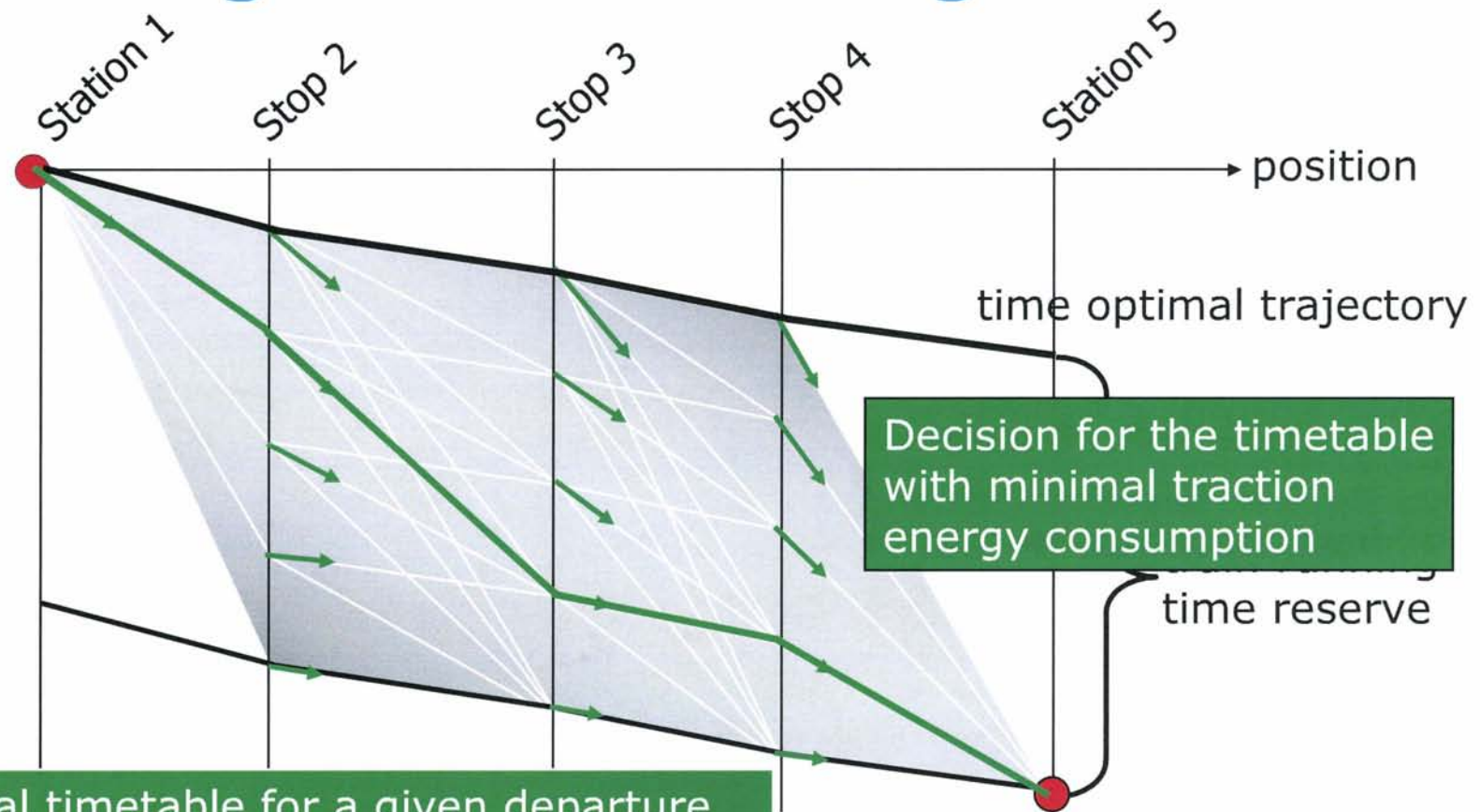
LEVEL 1
Energy-optimal train control between two stations

Points where and when to change driving style, in order to **arrive on time** with **minimal energy** consumption

Running time control along a line



Running time control along a line



Optimal timetable for a given departure time and a fixed time of arrival at terminus

$$= \min_{\forall u_k \in U_k} \{ Q(k, x_k, u_k) + Q^*(k+1, x_{k+1}) \}$$

Structure of presentation

1. Theoretical background: A two level approach to energy saving
2. Implementation and tests of the developed system
3. Real World Obstacles to Energy Saving
4. Conclusions

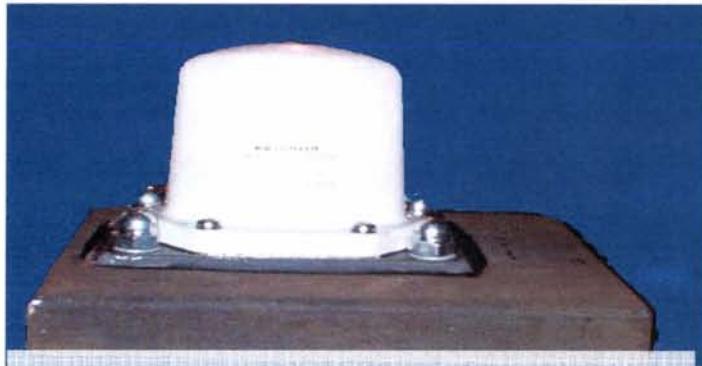
Simulator tests



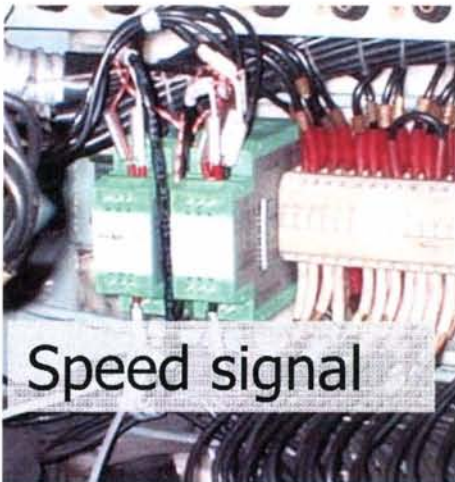
Results of
simulator tests:
Saving potential
between
10 and 15%

→ Further tests in
real operation

Equipment of the Locomotive



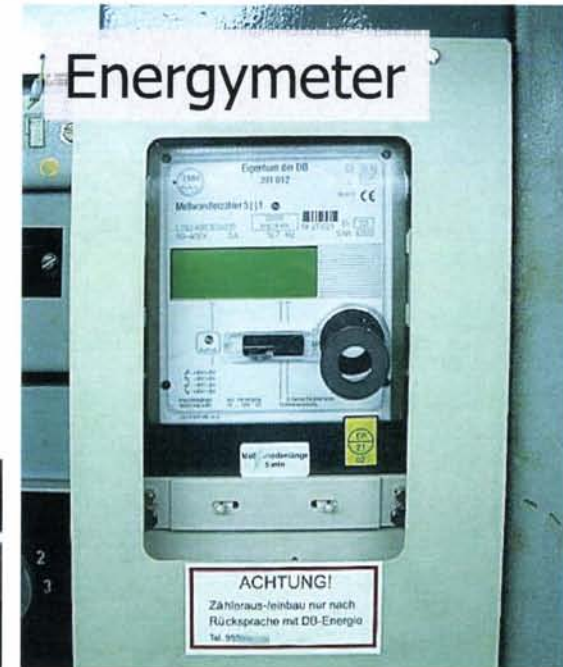
GPS-Antenna



Speed signal

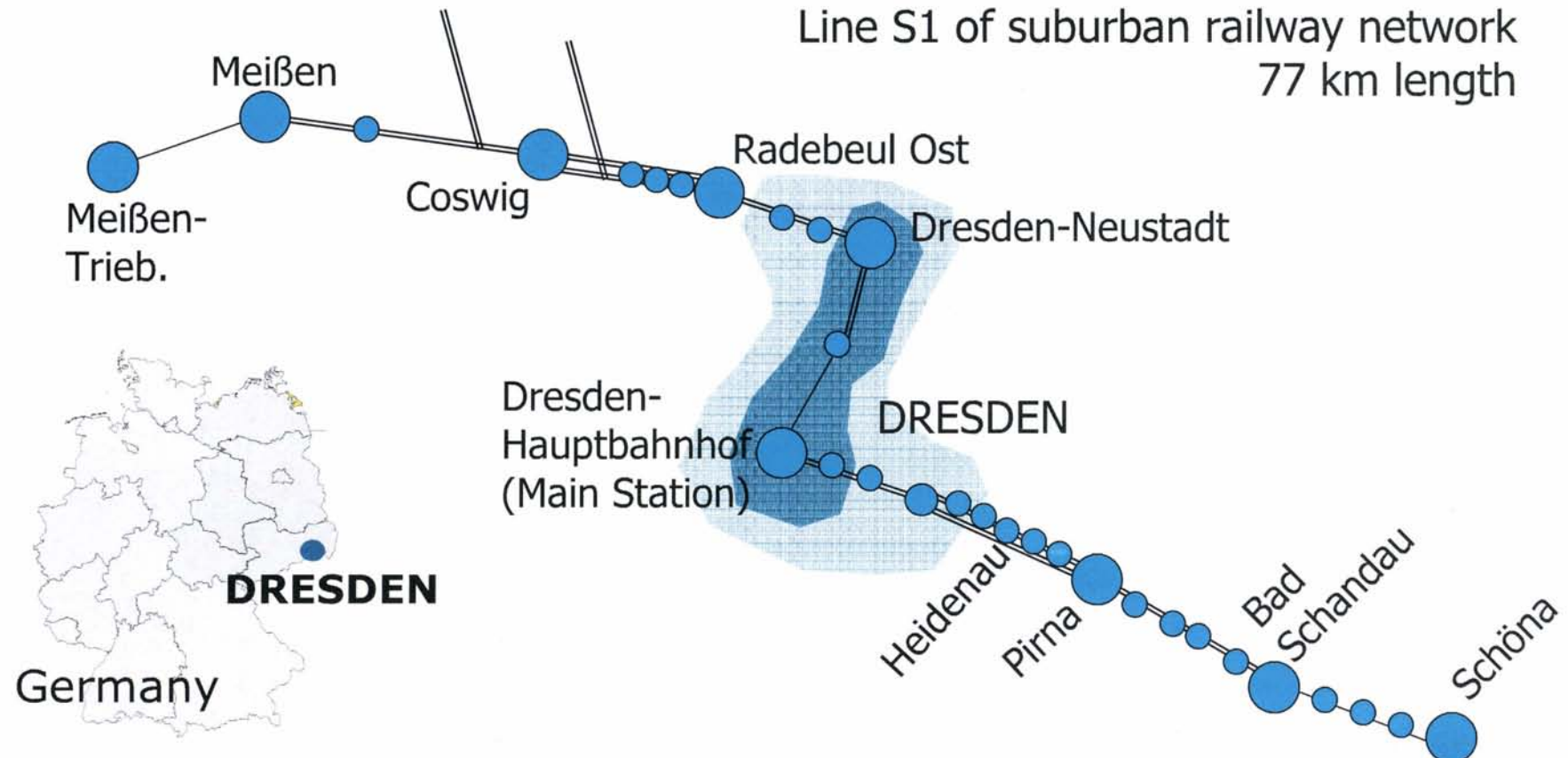


Onboard-Computer



Energymeter

Some moving images: Onboard tests

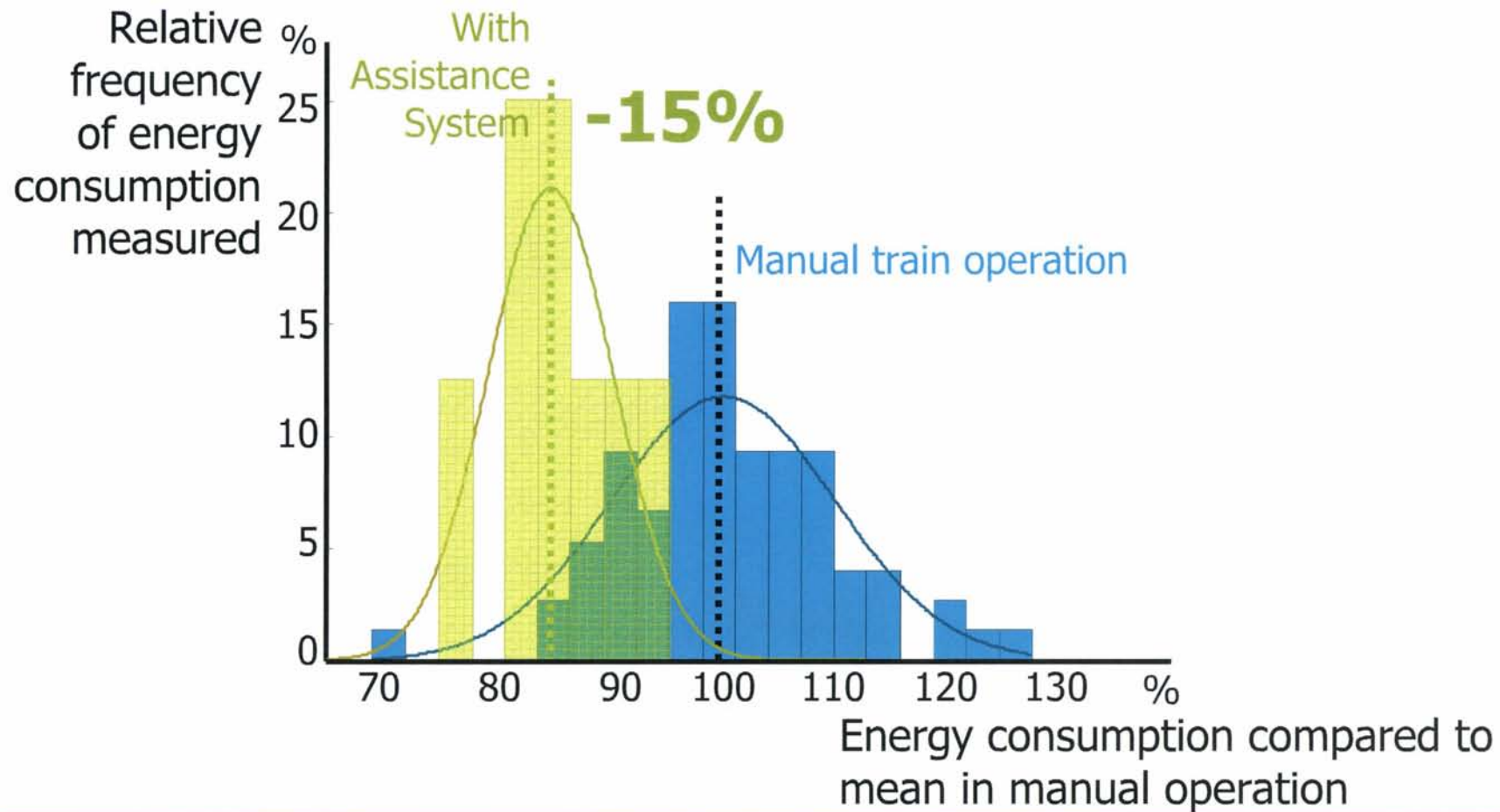


June 15, 2005

19

Test results: Meißen-Bad Schandau

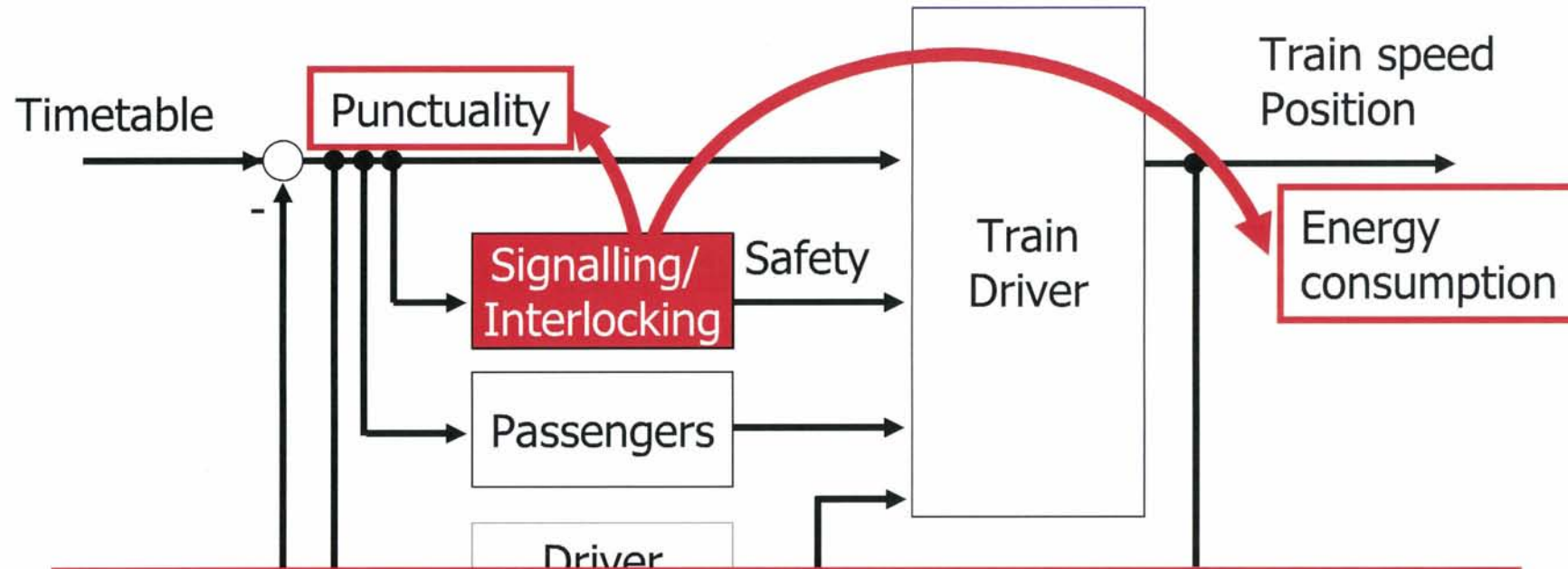
relative frequencies of Energy Consumption, June 2004



Structure of presentation

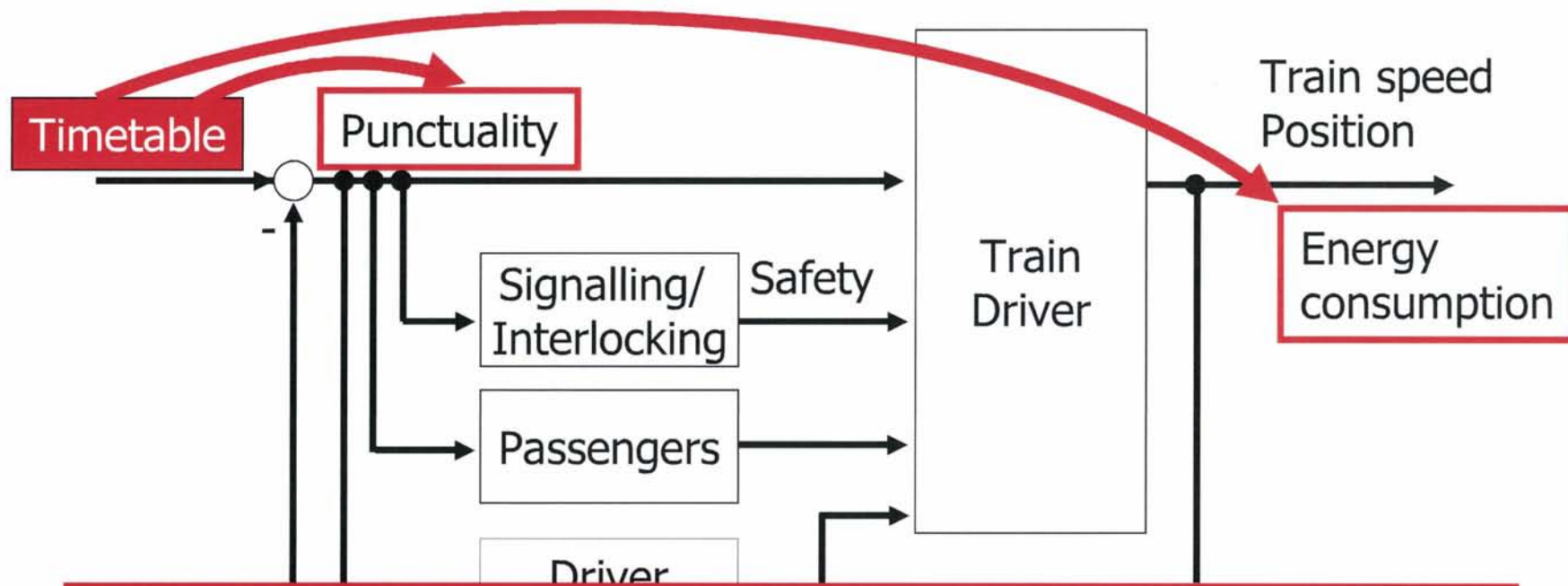
1. Theoretical background: A two level approach to energy saving
2. Implementation and tests of the developed system
3. Real World Obstacles to Energy Saving
4. Conclusions

Timetabling and real operation



- Delays due to mixed operation
- Delays due to old interlocking technology (manual route setting)
- Train protection (ATP) system → increases delays

Timetabling and real operation



- Availability of running time reserves
- **Bad distribution of running time reserves**

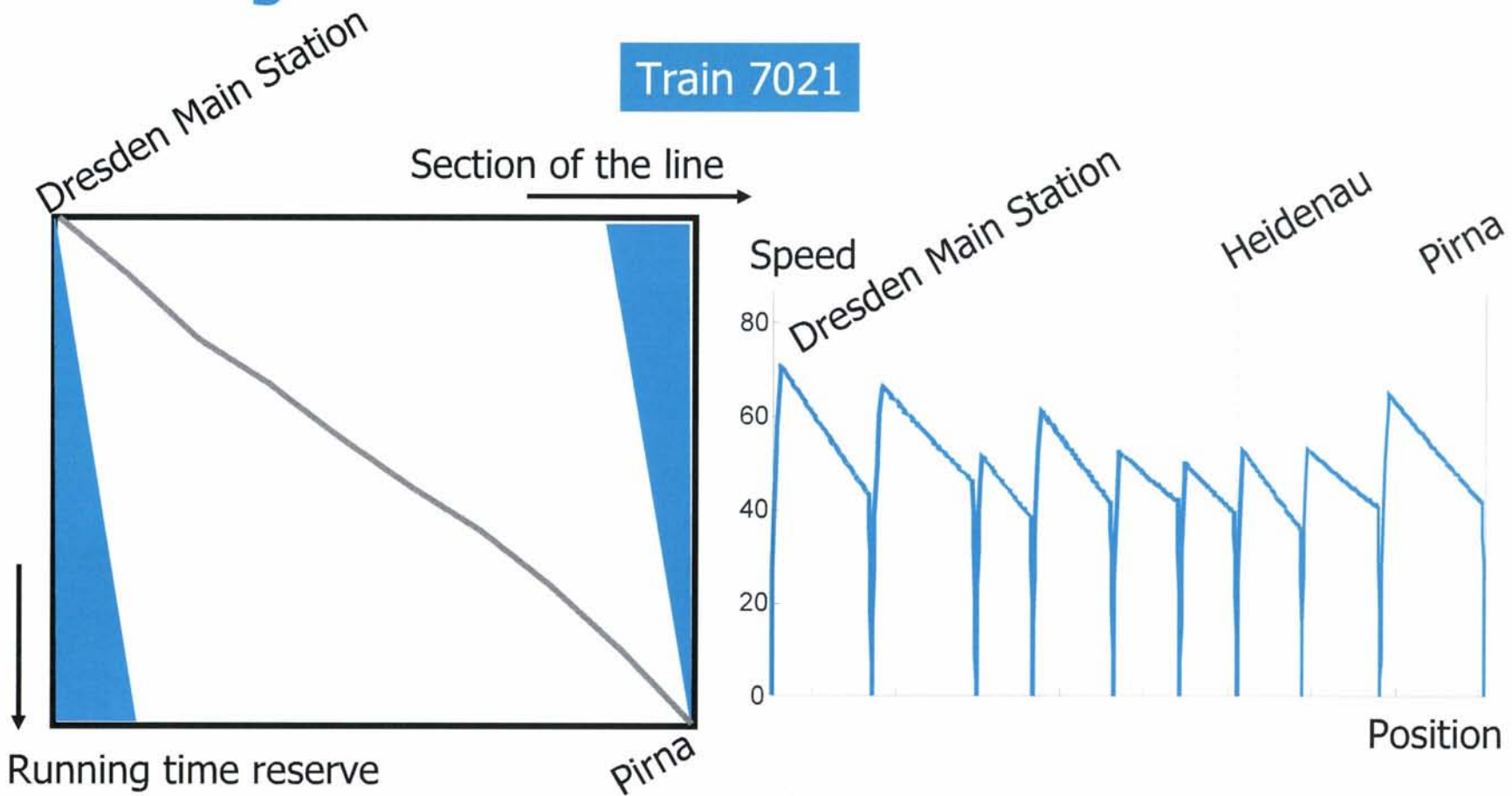
Timetable during november 2004 test campaign

		Zug	7017	7021	7023	7025
km				7021	7023	
		von	Interval: 30 mins			
	Dresden Hbf		7 00	7 30	8 00	8 30
32	Dresden-Strehlen		7 03	7 33	8 05	8 33
35	Dresden-Reick		7 06	7 36	8 08	8 36
36	Dresden-Dobritz		7 09	7 39	8 12	8 39
38	Dresden-Niedersedlitz		7 12	7 42	8 14	8 42
39	Dresden-Zschachwitz		7 15	7 45	8 16	8 45
41	Heidenau	246	7 18	7 48	8 19	8 48
42	Heidenau Süd		7 21	7 51	8 21	8 51
44	Heidenau-Großsedlitz		7 24	7 54	8 23	8 54
47	Pirna	247	7 27	7 57	8 27	8 57

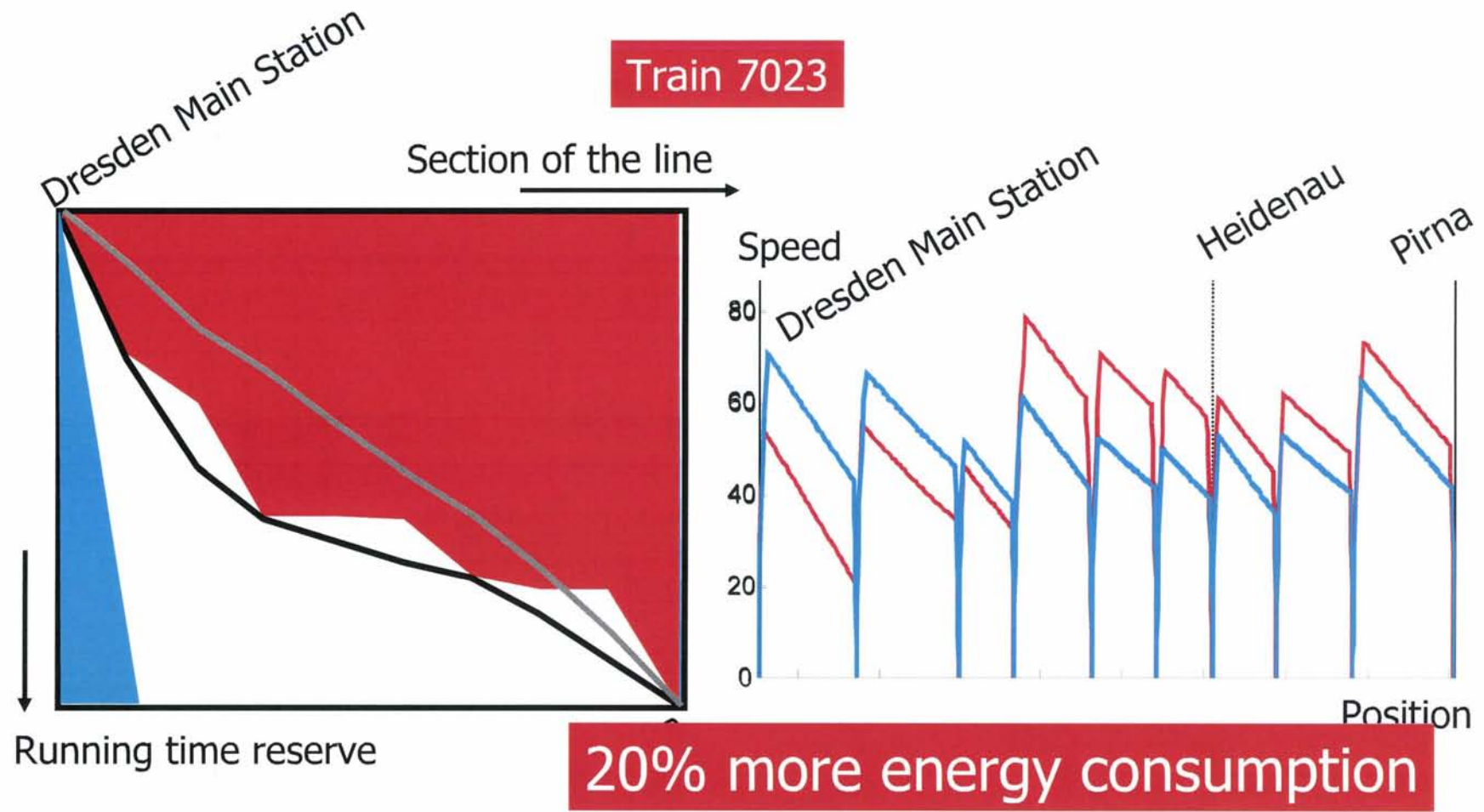
June 15, 2005

24

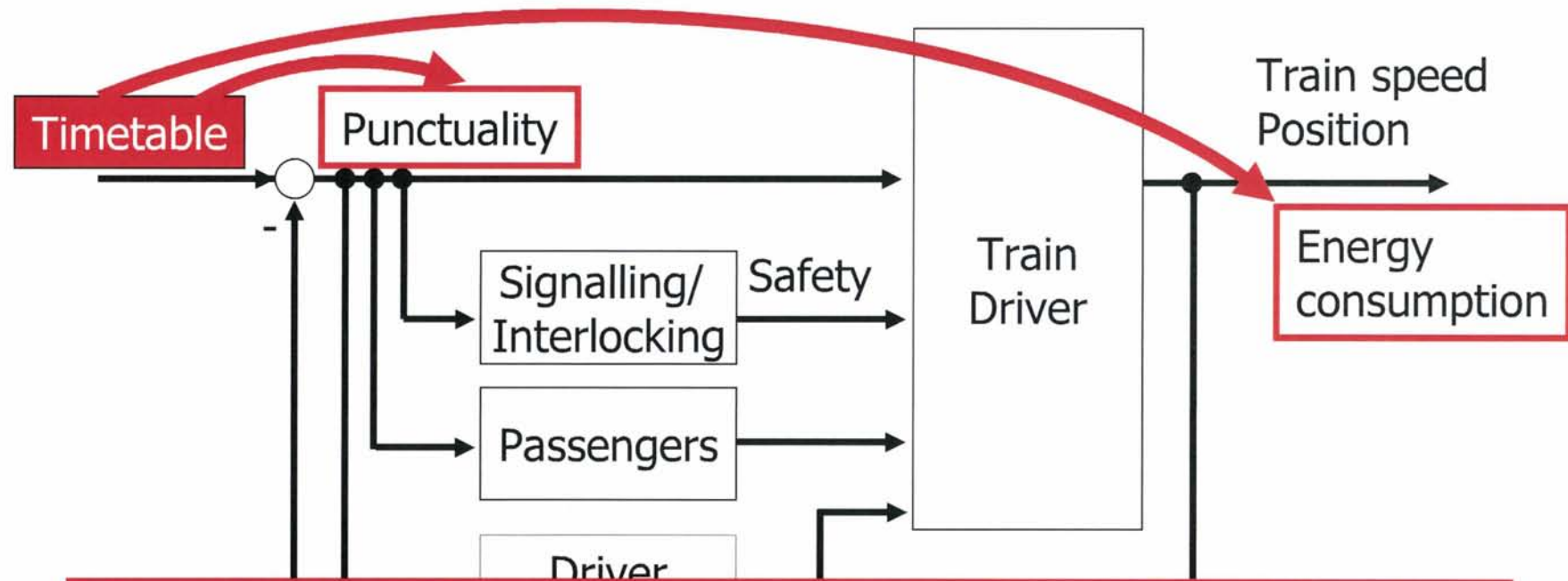
Energy optimal distribution of running time reserve



Constraints don't allow energy saving

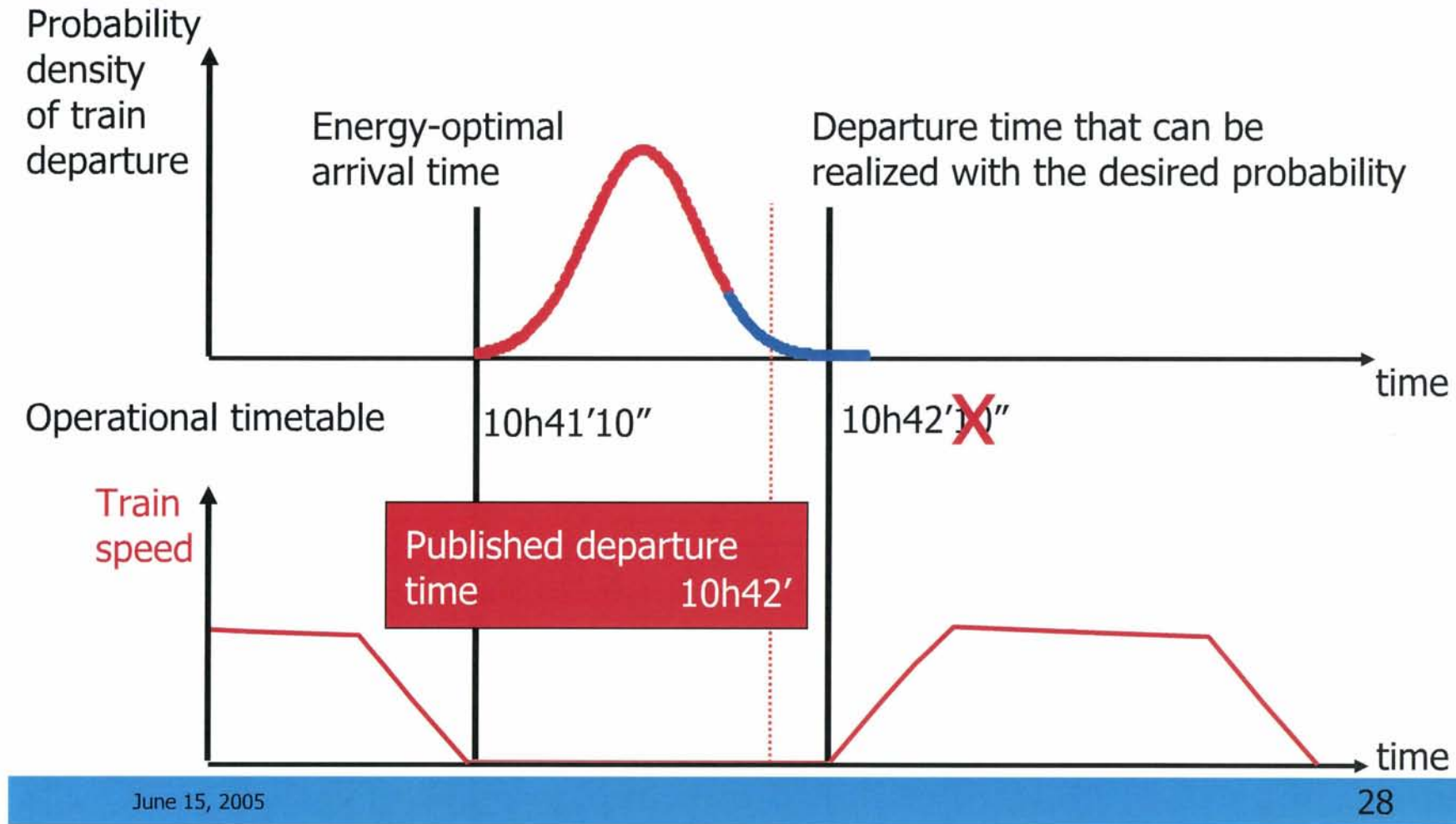


Timetabling and real operation



- Availability of running time reserves
- Bad distribution of running time reserves
- **Bad dimensioning of stopping times**

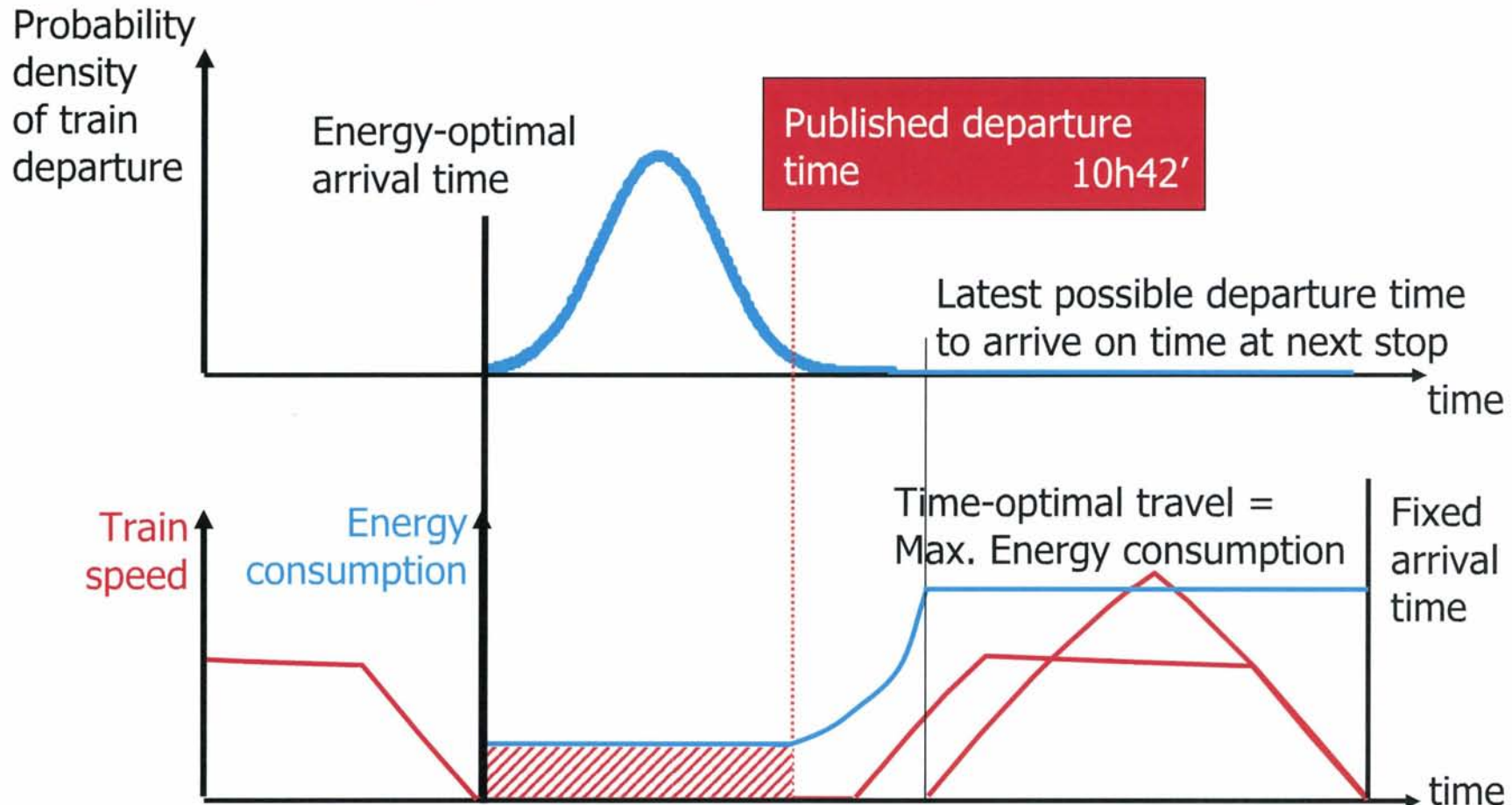
How the timetable is constructed



June 15, 2005

28

Mean energy consumption in real operation



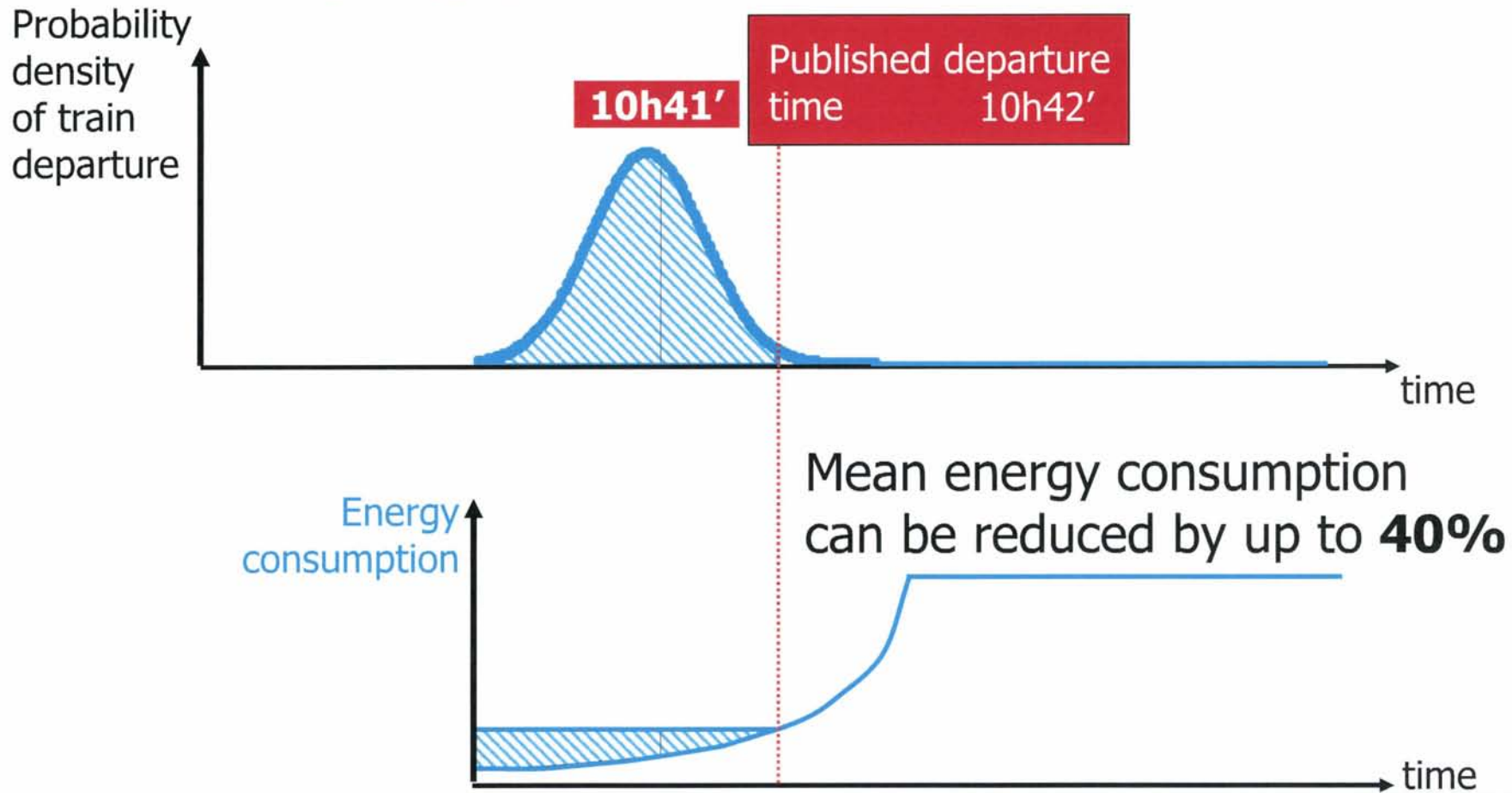
June 15, 2005

29

Structure of presentation

1. Theoretical background: A two level approach to energy saving
2. Implementation and tests of the developed system
3. Real World Obstacles to Energy Saving
4. Conclusions

Improving energy efficiency by modifying published timetable

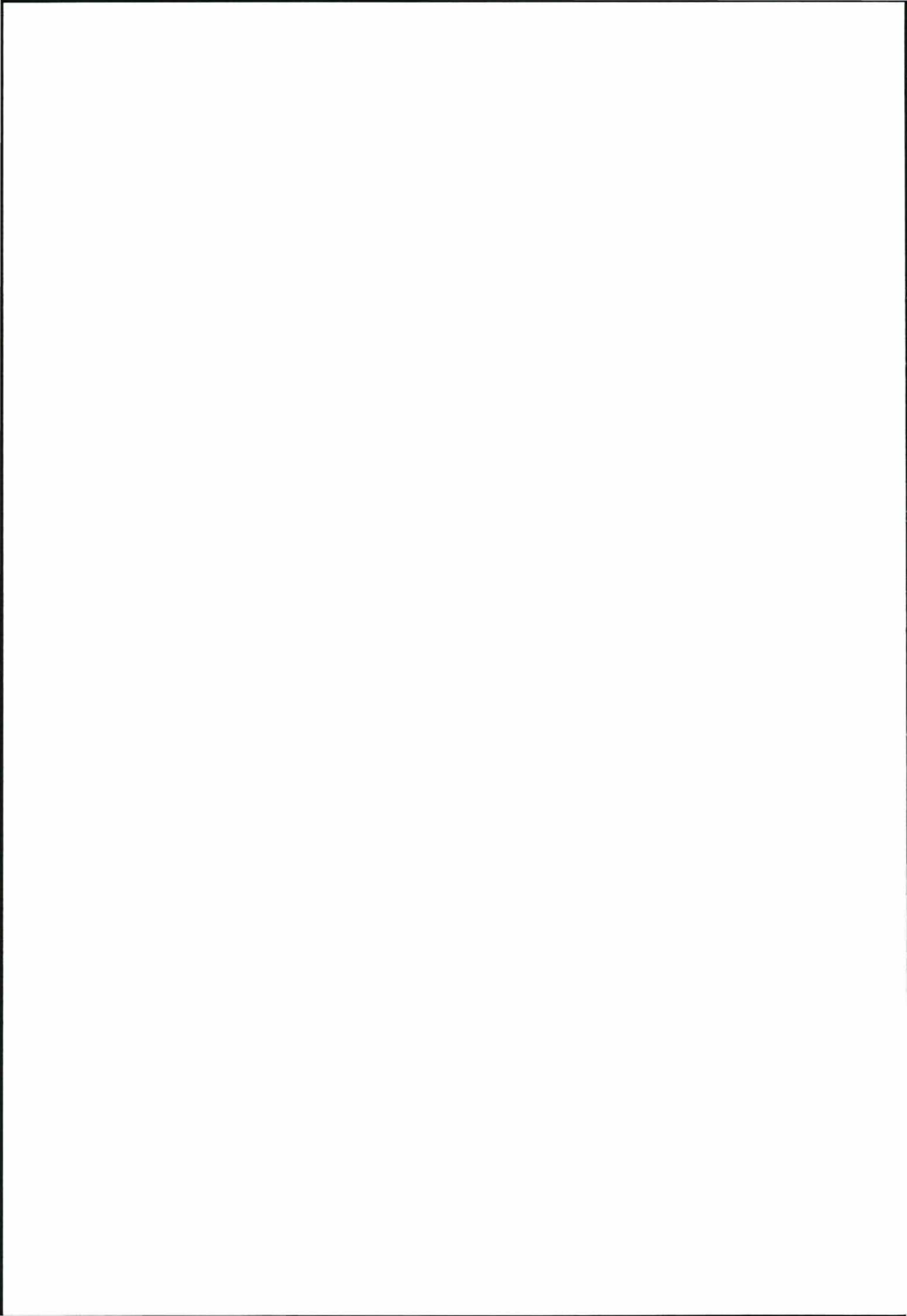


June 15, 2005

30

Conclusions

- High savings between 15 and 20% were measured
- Variation of energy consumption shrank drastically
- Major obstacles could be identified
- Some of them are easily to overcome to furtherly reduce energy consumption, improve punctuality and therefore increase attractivity of railway system



Classic DFS, 9 mm for 51-90 sheets
www.blindomatic.com

912

