

Utredning av kontaktledningstap



Jernbaneverket Utbygging Prosjektjenester april 2004

Eks.1

9621.332.3 7BV Utr

UTREDNING AV KONTAKTLEDNINGSTAP

Jernbaneverket har ansvaret for en korrekt fordeling av kostnadene for energien som kjøpes inn og leveres til kontaktledningsnettet. De største forbrukerne er togselskapene gjennom togframføring og oppvarming av hensatt rullende materiell. Nytt regime for fordeling av energikostnadene er under utarbeidelse, og i den forbindelse ønsker Jernbaneverket og togselskapene mer kunnskap om energitapene i kontaktledningen og hvordan disse varierer.

Gjennom datamaskinsimuleringer i SIMPOW/SIMTRAC har en studert kontaktledningstapenes størrelse og variasjon. Simuleringene har vært både stiliserte for å kunne skille ulike variasjoner og utført for hele landet delt inn i fem geografiske områder gjennom et helt driftdøgn for å etterligne virkeligheten mest mulig.

I løpet av en normal ukedag med dagens trafikk og infrastruktur viser simuleringene at det tapes i størrelsesorden 113 MWh i kontaktledningen tilhørende det statlige jernbanenettet i Norge. Dette utgjør 5,3 % av total mengde energi matet inn i systemet (inkludert tilbakemating). De prosentvise tapene er minst i Oslo-området og på Ofotbanen med 3,8 %. For de andre fjernstrekningene er kontaktledningstapene funnet til 6-9 %. Det antas at kontaktledningstapene i simuleringene er underestimert framfor overestimert, både i forhold til i dag og i forhold til fremtiden, på grunn av tekniske forhold ved simuleringene og økt trafikk i forhold til ruteplanene lagt til grunn.

Simuleringsresultatene viser at timesverdien av tapsprosenten typisk varierer innenfor $\pm 0,5-1,5$ prosentpoeng gjennom driftsdøgnet avhengig av banestrekning. Tendensene synes å være at tapsprosenten minker noe når energiforbruket øker, men det er ikke entydig. Den synkende tendensen er antatt å skyldes tap som resultat av effektutveksling mellom matestasjoner. Tapsprosenten er vurdert til å ikke variere særlig gjennom året. Bruk av tilbakemating ser ut til å øke kontaktledningstapene. De stiliserte simuleringene viser imidlertid at tapsprosenten øker ved økt togvekt, fremføringshastighet, frekvens/togtetthet, forbruk av reaktiv effekt og stoppmønster samt indikerer at togets trekkraft/ytelse kan ha innvirkning. Endring i togvekten ser ut til påvirke kontaktledningstapene mer enn de andre momentene med trafikken.

For bruk i energiavregningen er det også studert hvilke retningslinjer som gjelder for tariffene for nettap og hvordan tariffene for kontaktledningstapene kan bygges opp ut i fra variasjonene i tapene som simuleringene har avdekket. Om og hvordan en bør differensiere tariffene er imidlertid et politisk spørsmål som faller utenfor dette arbeidets mandat. Tariffene må ses i sammenheng med tilsvarende tariffene for omformingstap samt hvordan tilbakematet energi godskrives.

000	Utgitt	29.04.05	SD	FM+M	TJA	
Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Utarb. av	Kontr. av	Godkj. av	
Utredning av kontaktledningstap Hovedrapport Rapport		Ant. sider	Emneord	Energitap		
		26	Emneord	Energiavregning		
			Emneord	Tariff		
			Emneord			
		Produsent	Utbygging Prosjektjenester			
		Prod. dok. nr.	Prosjekt 760253			
		Erstatning for				
Erstattet av						
 Jernbaneverket		Dokument nr.			Rev.	
		SAK 200400568-26			000	

1	INNLEDNING.....	3
1.1	BAKGRUNN	3
1.2	METODIKK	3
1.3	MÅLSETTING.....	3
1.4	AVGRENSNINGER OG FORUTSETNINGER	3
2	OM KONTAKTLEDNINGSTAP.....	4
2.1	INNLEDNING	4
2.2	KONTAKTLEDNINGSIMPEDANS	4
2.3	METODE FOR BEREKNING AV KONTAKTLEDNINGSTAP	5
3	KONTAKTLEDNINGSTAPENES STØRRELSE OG VARIASJONER	7
3.1	INNLEDNING	7
3.2	TAPENES STØRRELSE.....	7
3.3	VARIASJON I FORHOLD TIL GEOGRAFI	7
3.4	VARIASJON I TID.....	8
3.4.1	<i>Variasjon gjennom driftsdøgnet.....</i>	<i>8</i>
3.4.2	<i>Variasjon gjennom uka.....</i>	<i>9</i>
3.4.3	<i>Variasjon gjennom året</i>	<i>10</i>
3.5	VARIASJON I FORHOLD TIL TRAFIKK.....	10
3.6	USIKKERHETER	10
3.7	ROBUSTHET OG NØYAKTIGHET.....	11
4	TARIFFER FOR KONTAKTLEDNINGSTAP.....	13
4.1	STYRENDE DOKUMENTER.....	13
4.2	DEFINISJONER	13
4.3	RETNINGSLINJER	13
4.4	FORHOLD VED KONTAKTLEDNINGSTAP KAN REGULERES GJENNOM TARIFFER.....	14
4.4.1	<i>Tid på døgnet.....</i>	<i>14</i>
4.4.2	<i>Tid i uka eller på året</i>	<i>14</i>
4.4.3	<i>Geografi.....</i>	<i>15</i>
4.4.4	<i>Trafikk generelt.....</i>	<i>15</i>
4.4.5	<i>Trekraftkjøretøyets effektfaktor.....</i>	<i>16</i>
4.4.6	<i>Tilbakemating</i>	<i>16</i>
4.4.7	<i>Togets trekkraft/ytelse.....</i>	<i>17</i>
4.4.8	<i>Togvekt.....</i>	<i>18</i>
4.4.9	<i>Energi til hensatt rullende materiell, infrastrukturanelegg og eksterne.....</i>	<i>19</i>
4.4.10	<i>Fastledd, energiledd og effektledd.....</i>	<i>19</i>
4.4.11	<i>Energi som tariffen relaterer seg til.....</i>	<i>19</i>
4.4.12	<i>Formel for beregning av tapsprosent for kontaktledning i tilfelle differensiering.....</i>	<i>20</i>
4.4.13	<i>Eksempel på beregning av differensiert tariff.....</i>	<i>20</i>
4.5	SAMMENLIGNINGER	20
4.5.1	<i>Dagens tariffer for kontaktledningstap i Norge.....</i>	<i>20</i>
4.5.2	<i>Tilsvarende i Sverige og Danmark</i>	<i>21</i>
5	DISKUSJON OG KONKLUSJON.....	22
5.1	DISKUSJON	22
5.1.1	<i>Usikkerhet og robusthet.....</i>	<i>22</i>
5.1.2	<i>Resultater.....</i>	<i>22</i>
5.1.3	<i>Momenter ved utarbeidelse av tariffer.....</i>	<i>23</i>
5.2	KONKLUSJON	23
6	KILDER OG REFERANSEDOKUMENTER	25
7	VEDLEGG.....	26

Oppdragsgiver: Jernbaneverket Infrastruktur Teknisk Premiss og utvikling Elkraft

Prosjektleder: Steinar Danielsen

Forsidebilde hentet med tillatelse fra www.jernbaneverket.no. Fotograf: Rune Fossum

1 INNLEDNING

1.1 Bakgrunn

Jernbaneverket har ansvaret for en korrekt fordeling av kostnadene for energien som kjøpes inn og leveres til kontaktledningsnettet. De største forbrukerne er togselskapene gjennom togframføring og oppvarming av hensatt rullende materiell. Nytt regime for fordeling av energikostnadene er under utarbeidelse, og i den forbindelse ønsker Jernbaneverket og togselskapene mer kunnskap om energitapene i kontaktledningen og hvordan disse varierer.

1.2 Metodikk

Økt kunnskap om kontaktledningstapene og deres variasjoner skal innhentes gjennom datamaskinsimuleringer i programverktøyet SIMPOW/SIMTRAC. Det skal både utføres stiliserte simuleringer og simuleringer med 24 timer med trafikk for hele landet, dog delt opp i geografiske områder. Mer informasjon om SIMPOW/SIMTRAC finnes i vedlegg 5.

Prosjektrapporten er organisert slik at denne hovedrapporten sammenfatter resultatene fra underutredninger som er utført. Rapportene fra underutredningene finnes vedlagt.

1.3 Målsetting

Målsetningen med arbeidet er å tilegne seg mer kunnskap om energitapene i kontaktledningen og hvordan disse varierer med tid, sted og trafikk. Arbeidet skal også være med på å danne grunnlag for utarbeidelse av tariffer for belastning av kontaktledningstapene til forbrukerne.

1.4 Avgrensninger og forutsetninger

Denne utredningen studerer kun energitap i kontaktledningsanlegget med tilhørende forsterkningsledninger, mateledninger/-kabler, kondensatorbatterier og returstrømvei. Energitap i matestasjoner og fjernledningen på Sørlands- og Vestfoldbanen er utredet i [1].

Arbeidet bygger delvis på metodikken som er benyttet og simuleringene som er utført i [2], men erstatter også resultatene gitt i den rapporten på grunn av endringer i beregningsmetodikken.

Utredningen studerer kontaktledningstapenes størrelse og variasjoner samt gi en kort oversikt av faktorer som kan tas med i tariffer for avregning av energien ut i fra et faglig synspunkt. Anbefaling av metode for avregning ligger utenfor prosjektets mandat.

Utredningen omhandler kun strømvarmetap. Energitap på grunn av partielle utladninger og lignende er ikke vurdert.

Rapporten omtaler kontaktledningstapene referert energi inn i systemet, det vil si ved matestasjonene, dersom annet ikke er angitt spesielt.

Variasjon i kontaktledningstapene ved ulike kontaktledningssystemer er ikke studert.

2 OM KONTAKTLEDNINGSTAP

2.1 Innledning

Kontaktledningen benyttet i jernbanen har to hensikter; overføre effekt fra matepunkt til det stedet hvor forbruker befinner seg og forestå overføringen av effekten fra kontaktledningen til et togs strømvaktar i fart. I sammenheng med tap i energiforsyningen til togfremføring er det den første hensikten som er interessant. Når en i det videre snakker om kontaktledningen som en del av banestromforsyningens seriekrets mener en også eventuelle forsterkningsledninger, mateledninger/-kabler, kondensatorbatterier samt retur i jernbaneskinne, jord og returleder.

Elektrisk strøm som flyter i denne seriekretsen fører til effekttap P som er proporsjonale med den elektriske motstanden i seriekretsen R og kvadratet av strømmen I som vist i formel 2-1.

$$P = R \cdot I^2 \quad 2-1$$

Den elektriske motstanden er en del av begrepet kontaktledningsimpedans som beskrives i neste delkapittel.

Det er ikke bare overføring av effekt fra matestasjon til tog som fører til strøm i den elektriske kretsen, men også overføring av effekt til andre forbrukere, overføring av effekt fra tog som mater tilbake til andre tog eller matestasjoner og utveksling av effekt mellom matestasjoner. Tapene som følge av overføring av energi fra et sted til et annet kalles gjerne overføringstap.

Utteksling av effekt mellom matestasjoner kan oppstå på grunn av ulike egenskaper i matestasjonene (type, bestykning, innstilt karakteristikk) eller forhold i det overliggende trefasenettet som leverer energi til omformerstasjonene. Energitap på grunn av utveksling av effekt mellom matestasjoner kalles utvekslingstap. Dersom det ikke er belastning (forbrukere) tilknyttet kontaktledningen og det fremdeles flyter effekt i den, kaller en utvekslingstapene for tomgangstapene.

Energien som tapes på grunn av strømmen som går i kontaktledningen omdannes til varme, derav ordet strømvarmetap.

2.2 Kontaktledningsimpedans

Kontaktledningsimpedansen (Z) består av to deler; et realledd (R) og et imaginærledd (X). Det er realleddet som direkte fører til strømvarmetap gjennom formel 2-1. Imaginærleddet bidrar imidlertid indirekte til økte tap gjennom at det medvirker til økt spenningsfall. Det vil si at spenningen i mottakerpunktet synker, og for at effekten, som er lik produktet av strøm og spenning, skal være den samme må strømmen økes tilsvarende.

I vedlegg 1 er det gjort rede for hvilke forhold som påvirker kontaktledningsimpedansens størrelse. Det er også gitt en oversikt over kontaktledningsimpedansen for de ulike banestrekningene i Norge og som er lagt til grunn for utredningene i dette prosjektet. Hovedregelen er at i Jernbaneverket skal kontaktledningsimpedansen måles. For strekninger hvor en ikke har målinger er impedansen antatt ut i fra vurdering av kontaktledningsanleggets konfigurasjon. Kontaktledningsimpedansen oppgis normal som impedans ($R+jX$) per kilometer.

Oppsummert kan følgende faktorer i større eller mindre grad ha innvirkning på kontaktledningsimpedansen:

- Ledertverrsnitt for både kontakttråd, bæreline, eventuell forsterkningsledning, eventuell returledning samt skinne
- Ledernes plassering i forhold til hverandre, både ledere i parallell og fremleder i forhold til tilbakeleder
- Bruk av sugetransformatorer og impedansespoler
- Avledning til jord, jordsmonn, ballastens renhet og bruk av jordleder (kontinuerlig eller ikke)
- Temperatur
- Strømmens størrelse og frekvens

I forhold til kontaktledningsimpedansen har en valgt å dele kontaktledningsanlegget inn i 6 ulike hovedkonfigurasjoner/-kategorier som vist i tabell 2-1.

Tabell 2-1: Hovedkonfigurasjoner for kontaktledningsanlegg i forhold til kontaktledningsimpedans

Konfigurasjon	Kontakttråd	Bæreline	Suge- transformatorer	Retur-ledning	Forsterknings- ledning
1	80 mm ² Cu	50 mm ² BzII	Nei	Nei	Nei
2	100 mm ² Cu	50 mm ² BzII	Ja	Nei	Nei
3	100 mm ² Cu	50 mm ² BzII	Ja	2x240 mm ² AL	Nei
4	100 mm ² Cu	50 mm ² BzII	Ja	2x240 mm ² AL	FeAl nr 150
5	100 mm ² Cu	50 mm ² BzII	Ja	Nei	FeAl nr 150
6	120 mm ² Cu	70 mm ² BzII	Ja	2x240 mm ² AL	Nei

2.3 Metode for beregning av kontaktledningstap

Hvordan kontaktledningstapene defineres og beregnes kan være en utfordring i forhold til den vanlige energiforsyningen. I jernbanen har en laster som i størrelse varierer mye i tid, forflytter seg geografisk og som også kan opptre som produksjon gjennom tilbakemating. I tidligere studier av kontaktledningstapene har det vært benyttet ulike metodikk for beregning av dem.

I vedlegg 2 er det studert og vurdert ulike metoder for beregning av kontaktledningstapene opp i mot kriterier som robusthet, ikke-diskriminerende fordeling, inndekning av innkjøpt energi, muligheter, fleksibilitet og synliggjøring av viktige faktorer og størrelser. Utgangspunktet for arbeidet var å synliggjøre kontaktledningstapenes størrelse, variasjoner og faktorer slik at en har valgt å ikke vektlegge kriteriene til fordeling og inndekning.

To av de fire metodene er benyttet tidligere i andre utredninger/arbeider, og to av dem er forslag til nye. Ingen av metodene er perfekte, men det ene forslaget til metode, metode 5, utpeker seg til å tilfredsstillende kriteriene best. Metoden tar utgangspunkt i å betrakte alle tog, matestasjoner og randsoner som "sorte bokser" som leverer inn og tar ut energi i/fra kontaktledningen. Denne metoden definerer tapene og tapsprosenten slik som Jernbaneverket avtalt mellom og togselskapene (formel 2-2) og slik som tap normalt defineres i energiforsyningen forøvrig.

Energi matet inn i kontaktledningen - Energi matet ut av kontaktledningen

Energi matet inn i kontaktledningen

2-2

Tabell 2-2: Oversikt over uttrykk og størrelser.

Uttrykk	Forklaring
E_{innmat}	Energi matet inn i systemet fra matestasjon (enfase)
E_{utmat}	Energi matet ut av systemet tilbake til matestasjon (enfase)
$E_{innrand}$	Energi matet inn i systemet via randsoner
$E_{utrandsone}$	Energi matet ut av systemet via randsoner
$E_{tillegg}$	Energi til skifting (som ikke inngår i $E_{opptatt}$ og $E_{avlevert}$), hensatt rullende materiell, togvarmeanlegg og infrastrukturens biforbruk/reservestrømsforbruk
$E_{opptatt}$	Energi opptatt i tog (P+)
$E_{avlevert}$	Energi avlevert fra tog med tilbakemating (P-)
E_{kltap}	Energitap i kontaktledning
$E_{kltap\%}$	Prosentvis energitap i kontaktledning

Ved å dekomponere formel 2-2 til størrelsene gitt i tabell 2-2 får en tapene som vist i formel 2-3.

$$E_{kltap} = (E_{innmat} + E_{innrand} + E_{avlevert}) - (E_{utmat} + E_{opptatt} + E_{utrandsone} + E_{tillegg}) \quad 2-3$$

For beregning av tapsprosenten får en da formel 2-4 referert sum innmatet energi i systemet.

$$E_{kltap\%} = \frac{E_{kltap}}{(E_{innmat} + E_{innrand} + E_{avlevert})} \cdot 100[\%] \quad 2-4$$

3 KONTAKTLEDNINGSTAPENES STØRRELSE OG VARIASJONER

3.1 Innledning

Det er utført relativt omfattende simuleringer i SIMPOW/SIMTRAC for å få bedre kunnskap om kontaktledningstapenes størrelse og variasjoner. Arbeidet er delt i to deler:

- Simulering av dagens trafikk i nesten hele landet gjennom et helt driftsdøgn for å se kontaktledningstapenes størrelse samt hvilke forhold i infrastrukturen og trafikken som påvirker dette. Rapport fra simuleringene finnes i vedlegg 3.
- Stiliserte simuleringer i enkle kontrollerbare omgivelser for bedre å kunne studere hvordan kontaktledningstapene varierer med ulike typer trafikk, det vil si trekraftmateriell, togvekter/togsammensetninger, fremføringshastighet og togtetthet/frekvens. Rapport fra simuleringene finnes i vedlegg 4.

3.2 Tapenes størrelse

I simuleringene av togtrafikk ett helt driftsdøgn er landet delt inn i geografiske områder. Noen av områdene overlapper noe samtidig som det er kortere strekninger som ikke er tatt med i noen av dem. Simuleringene er utført med dagens ruteplan (R151.2 og R152.2) for en normal ukedag (onsdag) og med dagens rullende materiell samtidig som dagens infrastruktur er lagt til grunn.

I løpet av dette driftsdøgnet tapes det grovt sett 113 MWh i hele landet. Dette utgjør 5,3 % av total innmatet energi i systemet på 2132 MWh. Mer detaljer rundt tap på de ulike strekningene er gitt i tabell 3-1. Tallene er ikke helt korrekte ettersom noen kortere strekninger er simulert to ganger mens andre ikke er simulert i det hele tatt. Samtidig medfører modelleringen av randsonelastene i simuleringene at energi inn i systemet kan regnes to ganger, både levert gjennom inn gjennom matestasjon i en simulering og inn gjennom randsone i en annen simulering.

Tabell 3-1: Oversikt over simulerte tap i kontaktledning for et helt døgn med normal trafikk (typisk ukedag) for de ulike banestrekningene sammen med typiske gjennomsnittsverdier for hele landet, Sør-Norge og fjernstrekningene.

	Gj.snitt tapsprosent kontaktledning	Energi inn i systemet	Kontaktledningstap
	[%]	[MWh]	[MWh]
Bergensbanen	8,7	266,55	23,22
Dovrebanen	6,3	310,31	19,61
Sørlands-og Vestfoldbanen	6,5	432,12	27,94
Ofofbanen	3,8	94,51	3,58
Oslo-området	3,8	1028,88	39,02
Typisk gjennomsnitt for landet	5,3	2132,36	113,36
Typisk gjennomsnitt for Sør-Norge	5,4	2037,85	109,78
Typisk gjennomsnitt for fjernstrekningene	7,0	1008,97	70,76

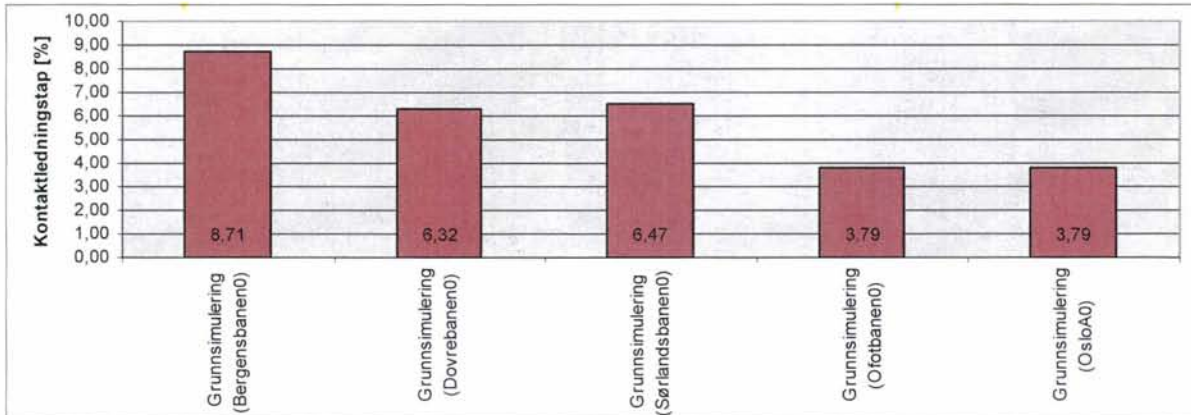
3.3 Variasjon i forhold til geografi

Figur 3-1 viser en sammenligning av tapsprosenten for kontaktledningen på de ulike banestrekningene/-områdene. Til tross for stor trafikkbelastning i Oslo-området så er likevel de prosentvise tapene minst. En regner med at dette skyldes korte matestrekninger og mye dobbelspor som gir parallelle strømveier, med andre ord en form for maskenett.

Matestrekningene på Ofotbanen er også relativt korte samtidig som trafikkbelastningen i antall tog er liten, hvilket ser ut til å gi lave prosentvise tap.

En ser også at tapsprosenten på Bergensbanen er noe høyere enn på de to andre fjernstrekningene det er naturlig å sammenligne med. Årsaken til dette er usikker, men det er antatt at utvekslingstapenes andel av tapene er større samt større andel tilbakematet energi.

Det er naturlig å tro at det innenfor områdene som de ulike simuleringmodellene omfatter også kan være lokale variasjoner i kontaktledningstapene, men det er ikke studert ytterligere.



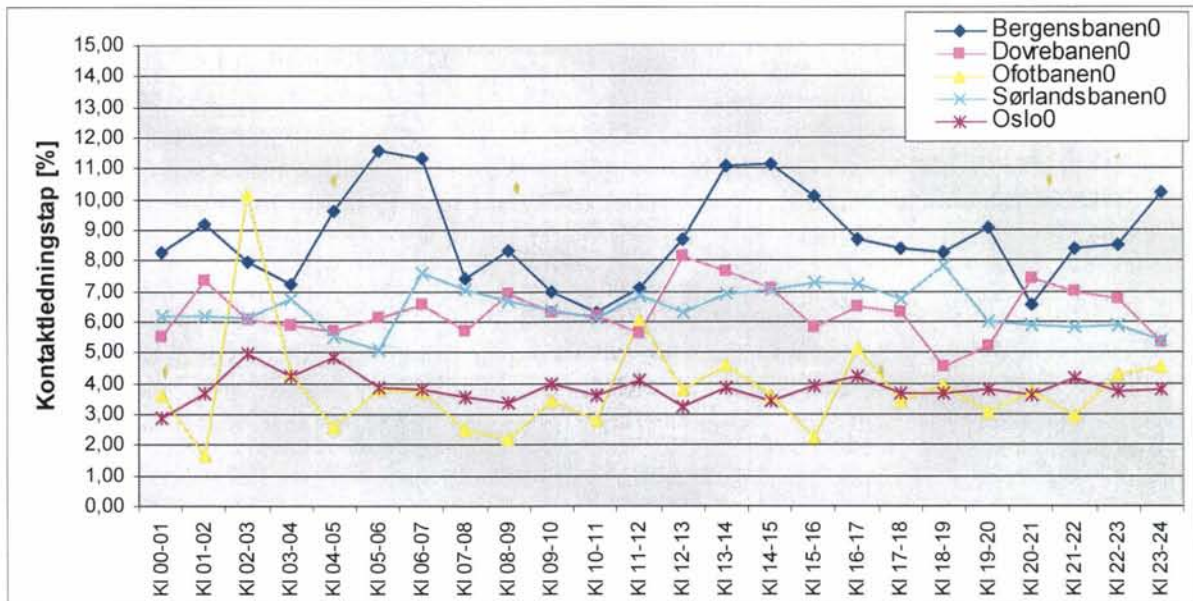
Figur 3-1: Sammenligning av simulert tapsprosent for kontaktledning for de ulike banestrekningene/-områdene

3.4 Variasjon i tid

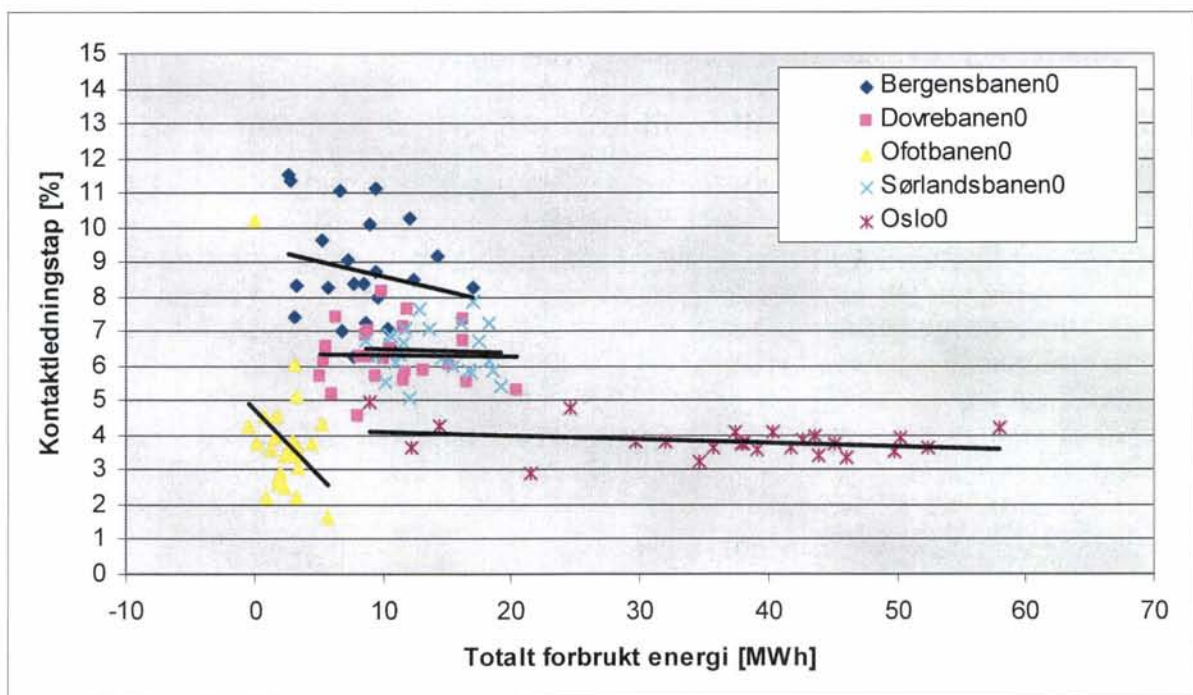
3.4.1 Variasjon gjennom driftsdøgnet

Kontaktledningstapene, både i størrelse og prosent av innmatet energi, varierer gjennom driftsdøgnet. For simuleringene som er utført er variasjonen i tapsprosentens middelverdi vist i figur 3-2. Standardavviket for timesverdiene er typisk på 0,5-1,5 prosentpoeng på Bergensbanen og Ofotbanen med størst variasjon og Oslo-området med minst variasjon. Typisk ligger 19 av døgnetts 24 timer innenfor gjennomsnitt pluss minus ett standardavvik.

Tapenes størrelse øker når forbrukt energi per time øker, men ut i fra denne figuren er det ikke mulig å si entydig om hvordan tapsprosenten varierer med belastningen. Figur 3-3 viser imidlertid tendenser til at kontaktledningstapene i prosent av innmatet energi synker ved økt energiforbruk per time. Det virker som om dette skyldes at utvekslingstapene og dermed de totale tapene ved lav belastning (forbruk) relativt sett i forhold til innmatet energi er større ved lav belastning enn ved høy. En medvirkende faktor kan være at det både i simuleringene på Bergensbanen, Sørlands- og Vestfoldbanen samt Oslo-området er vannkraftverk som mater inn en konstant aktiv effekt som, dersom den ikke forbrukes i nærheten, må transporteres over lengre avstand.



Figur 3-2: Sammenligning av simulert tapsprosent i timesverdi for de ulike grunnsimuleringene.



Figur 3-3: Simulert tapsprosent for kontaktledningen som funksjon av totalt forbrukt energi (tog+tillegg) for de ulike grunnsimuleringene med timesoppløsning.

3.4.2 Variasjon gjennom uka

Variasjonen i kontaktledningstapene i prosent av innmatet energi gjennom uka er ikke studert. Men dersom resonnetet rundt tapsprosentens variasjon i forhold til lav og høy belastning i forrige avsnitt stemmer, kan en anta at en på dager med lav belastning (helger, fridager og helligdager) har en noe høyere gjennomsnittlig tapsprosent. Forskjellene antas imidlertid ikke til å være store, og vektet i forhold til energiforbruket vil det nok ha lite å si.

3.4.3 Variasjon gjennom året

I de utførte simuleringene er det lagt til grunn et typisk årsgjennomsnitt for de ulike forbruken. Mesteparten av energien som mates inn i kontaktledningen går til fremføring av tog. I det store og det hele er togproduksjonen relativt lik gjennom året over hele landet. Noen innstillinger om sommeren er naturlig, særlig i Oslo-området. I tillegg til at det kan være perioder (arrangementer, ekstratog ved ferier osv) hvor vær og føreforhold kan ha noen innvirkning på energiforbruket til togfremføring.

Energiforbruket til oppvarming av både infrastrukturanlegg og hensatt rullende materiell er imidlertid antatt å variere avhengig av utetemperaturen slik at tapene kan bli noe større på vinteren. Tilleggsuttak til rullende materiell som går i tog kan en kanskje anta at heller holder seg mer konstant ettersom det også er blitt mer og mer vanlig med kjøleanlegg for å holde temperaturen nede.

Lastflyten, vinklene og spenningene i trefasenettet som mater omformerstasjonene kan også tenkes å variere gjennom året. Det er tidligere antatt, både i denne utredningen (vedlegg 3) og i utredninger for dimensjonering av banestrømforsyningen, at vinterlasten er den som gir størst vinkelforskjeller og dermed størst effektutveksling mellom stasjonene. Dette skulle da ut i fra diskusjonen over føre til at også utvekslingstapene er størst om vinteren.

Alt i alt tror en ikke at variasjonene gjennom året er store.

3.5 Variasjon i forhold til trafikk

Resultatene fra de stiliserte simuleringene i vedlegg 4 viser at kontaktledningstapene i prosent av energi matet inn i kontaktledningen generelt øker ved:

- Økt togvekt (både økt lastvekt for godstog og multipelkjøring av motorvognsett)
- Økt fremføringshastighet
- Økt frekvens/togtetthet
- Økt forbruk av reaktiv effekt
- Økt stoppfrekvens

I de fleste tilfellene (fremføringshastighet, frekvens/togtetthet, stoppfrekvens og reaktivt effektforbruk) er endringene små, mens ved togvekt er endringene godt synlige.

Simuleringene viser også at det er forskjell på tapsprosenten avhengig av hva slags trekkraft som benyttes. Forskjellene er ikke entydige, men varierer ut i fra faktorer som antall likeretterbroer og hvilken hastighet disse styres ut ved, hastighet, motorkraft i forhold til togvekt, bruk av telefilterkondensatorer, karakteristikk angitt i asynkronmateriellets programvare og mulighet for bruk av nettbrems (tilbakemating). I tillegg vises det i vedlegg 3 til arbeid som viser at overharmoniske strømmer også øker tapene.

Simuleringer av trafikken på Dovrebanen og i Oslo-området viser at kontaktledningstapene, i motsetning til de stiliserte simuleringene, både i størrelse og prosent av innmatet energi i systemet øker ved tilbakemating.

3.6 Usikkerheter

Generelt tror en at resultatene og tendensene som er fremkommet i dette arbeidet stort sett gjenspeiler virkeligheten. Men ved modellering og simuleringer er det alltid forhold som ikke tas med eller som gis annen vekt enn det som er reelt. Ved simuleringene utført i

SIMPOW/SIMTRAC er det følgende momenter som en tror kan ha innvirkning på simuleringsresultatene i forhold til de virkelige kontaktledningstapene:

- Simuleringene tar ikke hensyn til overharmoniske strømmer som gir ekstra strømvarmetap. SIMPOW/SIMTRAC modellerer og regner kun grunnharmoniske (16 2/3 Hz). Spesielt fra tyristormateriell kan det overharmoniske bidraget være betydelig. Vurderinger utført i Sverige viser at tapene i et system kan øke med rundt 50 % på grunn av overharmoniske fra tyristormateriell. Med andre ord kan manglende hensyn til overharmoniske strømmer bidra til at tapene blir underestimert.
- Kurvemotstanden er ikke modellert. Sammenligning med simuleringer utført med kurvemotstand på Ofotbanen med overvekt av mange tunge godstog indikerer at energiforbruket på baner med stor andel krappe kurver kan øke med 5-15 %. Det kan utgjøre en økning i kontaktledningens tapsprosent på et halvt til ett prosentpoeng. Med andre ord kan manglende modellering av horisontalkurvatur bidra til at tapene blir underestimert.
- Den simulerte lokomotivføreren i SIMPOW/SIMTRAC har en kjørestil som kan være mer energikrevende enn virkelige lokomotivførere. Tidligere energilogginger utført på type 73 og E118 har vist at det simulerte energiforbruket for togtyper som trafikkeres av dette materiellet er gjennomsnittlig 5 % høyere enn det som er logget. Med andre ord kan dette bidra til at tapene blir overestimert.

De stiliserte simuleringene viser at kontaktledningstapene, både i MWh og prosent av innmatet energi øker når belastningen (energiforbruket) øker. Simuleringene med 24 timer trafikk på de ulike banestrekningene viser imidlertid at selv om kontaktledningstapene i MWh øker ved økt energiforbruk per time, så ser tendensen ut til å være at tapsprosenten minker. De divergerende resultatene er antatt å skyldes utvekslingstapene mellom matestasjonene. I de stiliserte simuleringene er det lagt til grunn stive spenningskilder i matepunktene, og trafikksimuleringen på Dovrebanen med tilsvarende modellering viser at tapsprosenten da øker ved økt belastning.

De stiliserte simuleringene viser også tendenser til at tapsprosenten synker ved bruk av tilbakemating. Trafikksimuleringene på Dovrebanen viser det motsatte. Det kan være flere forhold som påvirker dette, og ett av dem er om det er tog i nærheten til å ta opp den tilbakematede energien. Et annet spørsmål er om matestasjonene i SIMPOW's modeller har like lett for å ta opp tilbakematet effekt som matestasjoner modellert som stive spenningskilder.

3.7 Robusthet og nøyaktighet

Det er utført en rekke trafikksimuleringer med relevante endringer i infrastruktur og trafikk. De fleste endringene har liten eller marginal innvirkning på kontaktledningstapene, mens noen har større innvirkning. Noen av endringene i trafikken er slike som en kan forvente at skjer i fremtiden (godstog med tilbakemating og endring i spenningsvinkler i overliggende trefasenett), og noen av endringene har allerede skjedd (økt trafikk i Oslo-området og trekkraftmaterieell med tilbakemating i malmtogene på Ofotbanen). I tillegg kan en forvente endringer som ikke er studert her som for eksempel økt hastighet for fjerntog (krengehastighet), økt hastighet for flytogene (210 km/t innført etter at simuleringene ble utført) og økte togvekter i godstog (1000-1200 tonn med for eksempel E116 i multipl forekommer allerede på Bergensbanen). De fleste av disse endringene fører til økte tap i kontaktledningen. Samtidig endres noen av infrastrukturparameterne, spenningsvinkler i trefasenett, gjennom året. Modelleringen av randsonelastene spiller også inn.

I ut i fra tendensene referert og diskutert i avsnitt 3.4.1 kan det virke som om tapsprosenten er størst ved lav belastning. For simuleringsdøgnet er det lagt til grunn en virkedag (ukedag) med mer trafikkbelastning enn helger og feriedager.

Sammen med punktene nevnt i avsnitt 3.6 er derfor naturlig å tro at tapsprosenten som fremkommer av simuleringen heller er underestimert enn overestimert, både i forhold til i dag og i forhold til fremtiden.

4 TARIFFER FOR KONTAKTLEDNINGSTAP

4.1 Styrende dokumenter

[3] (Stortingsprop. nr 64) legger overordnede føringer for salg av elektrisitet til togfremføring hvor Jernbaneverket gis ansvaret for dette sammen med utbygging, drift og vedlikehold av tilhørende elektriske anlegg. Jernbaneverket er ikke unntatt fra [4] (energiloven), men er som en del av staten ikke underlagt plikt om konsesjon. Her heter det at Departementet gir forskrifter om måling, avregning og fakturering, og samtidig utpeker myndighet for å koordinere dette under nærmere fastsatte vilkår. Ut i fra dette kan en heller ikke se at Jernbaneverket er unntatt [5] som ”(...) gjelder økonomiske vilkår ved salg av netjtjenester samt rapportering av økonomiske og tekniske data ved kraftproduksjon, kraftomsetning, nettvirksomhet og øvrig virksomhet for rapporteringspliktige selskaper”. Sistnevnte gir også retningslinjer for utarbeidelse av nettariffer.

4.2 Definisjoner

Ut i fra den terminologien som brukes i energiforsyningen kan det være naturlig å summere opp og klargjøre følgende definisjoner:

- *Distribusjonsnett* – Kontaktledningsnettet og matestasjonsanlegg samt fjernledningen ([5]: overføringsnett med nominell spenning opp til og med 22 kV, med mindre annet er bestemt)
- *Nettselskap* – Jernbaneverket ([5]: konsesjonær som eier eller har ansvar for netjtjenester)
- *Netjtjenester* ([5]: omfatter en eller flere av følgende; a) overføring av kraft, herunder drift, vedlikehold og investering i nettanlegg, b) tariffing, c) måling, avregning og kundebehandling, d) tilsyn og sikkerhet, e) driftskoordinering, f) pålagte beredskapstiltak, g) pålagt kraftsystemplanlegging)
- *Sluttbruker* – Togselskapene og andre forbrukere av energi tilknyttet kontaktledningen ([5]: kjøper av elektrisk energi som ikke selger den videre)
- *Tariffer* ([5]: alle priser og annen økonomisk godtgjørelse som konsesjonæren fastsetter for tilknytning til og bruk av elektriske anlegg)

4.3 Retningslinjer

Del V i [5] omhandler tariffer og utforming av disse. Oppsummert kapittel 13 Generelt om tariffer og kapittel 14 Praktisk utforming av tariffer for ordinære uttak finner en følgende:

Alle nettselskapene er ansvarlige for at det utarbeides tariffer som er punktbaserte etter følgende prinsipper:

- a) Tariffene skal refereres tilknytningspunktene
- b) Avtale med nettselskapet skal gi adgang til hele nettsystemet
- c) Nettselskapet plikter å tilby alle som etterspør netjtjenester ikke-diskriminerende og objektive punkttariffer og vilkår
- d) Tariffene skal utformes slik at de i størst mulig grad gir signaler om effektiv utnyttelse og effektiv utvikling av nettet
- e) Tariffene kan differensieres etter objektive og kontrollerbare kriterier basert på relevante nettforhold
- f) Tariffene skal fastsettes uavhengig av avtaler om kraftkjøp/kraftsalg
- g) Tariffene skal gi nettselskapet inntekter til dekning av kostnader innenfor tildelt inntektsramme, kostnader i overliggende nett, innbetalt eiendomsskatt og lovpålagt innbetaling til energifond

Tariffene for uttak og innmating av kraft skal utarbeides med grunnstruktur i bruksavhengige tariffledd som består av energiledd og kapasitetsledd, samt andre tariffledd. Energileddet skal som hovedregel fastsettes på grunnlag av marginale tapskostnader i nettet. Kapasitetsleddet kan fastsettes slik at det skapes balanse mellom overføringsbehov og nettkapasitet og kan benyttes når overføringsbehovet overstiger nettkapasiteten. Andre tariffledd skal dekke nettkostnader som ikke dekkes gjennom bruksavhengige tariffledd.

Kunder uten effektavregning skal avregnes etter et fastledd og et energiledd hvor fastleddet dekker kundespesifikke kostnader (kostnader knyttet til kundeføring, herunder måling, avregning, fakturering, tilsyn m.v.). Energileddet skal dekke marginale tapskostnader og kan i tillegg dekke en andel av de øvrige kostnader som ikke innkreves gjennom fastleddet. Kunder med effektavregning skal i tillegg belastes effektledd basert på kundens effektuttak i definerte perioder.

Det skal utarbeides separate tariffier for høyspent og lavspent uttak. For lavspent uttak skal effektleddet være kvantumsdifferensiert.

Netteier skal tilby tariffier med tidsdifferensiert energiledd til alle kunder i distribusjonsnettet, som i forskrift er pålagt måleravlesning flere ganger i året.

4.4 Forhold ved kontaktledningstap kan reguleres gjennom tariffier

Det er vanskelig å anbefale utforming av tariffier for kontaktledningstap alene uten å skjele til resten av nettapene (matestasjoner og fjernledning). Tross alt er det totalen som teller og som bør optimaliseres (jamfør punkt d) i avsnitt 4.3). Det er veldig vanskelig å la være å blande politikk inn i dette, hvilket i utgangspunktet ikke er innenfor mandatet til denne oppgaven.

En kan likevel forsøke å sette opp noen punkter som kan medvirke til at tariffiene for kontaktledningstapene sin del blir ikke-diskriminerende og objektive ut i fra den kunnskapen en har tilegnet seg i underutredningene til denne rapporten. Det vil i utgangspunktet være naturlig at tapene som et tog påfører systemet adresseres til rett forbruker.

Trafikksimuleringene i vedlegg 3 viste at marginaltapene generelt var relativt små, et tog eller en MWh forbrukt ekstra utgjorde lite. Ut i fra dette kan det være vanskelig å skille ut det enkelte tog. De stiliserte simuleringene i vedlegg 4 viser ofte forskjellene bedre. Det kan imidlertid diskuteres om det er riktig å legge de resultatene til grunn.

4.4.1 Tid på døgnet

Simuleringene av 24 timer trafikk for de ulike delene av landet viser at det er endringer i tapsprosenten for kontaktledningen gjennom døgnet. Disse variasjonene er jevnt over ikke store, typisk 19 av 24 timer innenfor aritmetisk middelværdi pluss minus ett standardavvik, og er heller ikke entydige. Trendlinjer for resultatene fra simuleringene av banestrekningene for et helt døgn viser at tapsprosenten synker litt ved økende belastning (energiforbruk). Tendensen er størst på Bergensbanen og Ofotbanen. Periodene med lav trafikk/forbruk er ikke nødvendigvis sammenfallende i tid for de ulike delene av landet.

4.4.2 Tid i uka eller på året

En har tidligere (kapittel 3.4.2 og 3.4.3) heller ikke funnet de store variasjonene i kontaktledningens tapsprosent gjennom uka eller over året. På bakgrunn av dette finner en det ikke hensiktsmessig å differensiere tariffiene for kontaktledningstapene med hensyn på tid.

4.4.3 Geografi

Simuleringen av de ulike områdene av landet viser forskjeller i tapsprosenten midlet over døgnet. Noe av denne variasjonen kan sannsynligvis forklares i forskjell i de elektriske anleggene; Oslo-området er i større grad et maskenett med korte matestrekninger og flere knutepunkter som gir lavere prosentvise tap enn fjernstrekningene som er radialnett med lengre matestrekninger. Forskjellen internt mellom fjernstrekningene i Sør-Norge er vanskeligere å forklare, men antas å skyldes større utvekslingstap. Avhengig av hvilken politikk og filosofi en legger til grunn kan det være riktig å differensiere tariffene for kontaktledningstapene med hensyn på geografi (strekning/område/soner).

Om en velger å ikke differensiere tariffen med hensyn på geografi synes det fornuftig å legge til grunn 5,5 % kontaktledningstap for hele landet.

I tilfelle differensiering vil det da være naturlig at en skiller mellom fjernstrekninger og Oslo-området på grunn av forskjellig anleggstype (og for så vidt også forskjellig trafikkbelastning). For fjernstrekningene vil det til tross for at Bergensbanen ligger noe høyere antakelig være mest riktig å benytte en lik tariff. Ofofbanen kan godt skilles ut siden en fører ulike energiregnskap i Sør-Norge og Ofofbanen. Områdeavgrensningen for Oslo-området foreslås da begrenset av Skoppum, Hokksund, Hakadal, Eidsvoll, Årnes og Sarpsborg ut i fra filosofien om at en trekker grensa på knutepunkter (unntak finnes) et lite stykke på utsiden av maskenettet og dobbeltsporene. Foreslåtte tariffen ved differensiering med hensyn på geografi er gitt i tabell 4-1.

Tabell 4-1: Forslag til tariff for kontaktledningstap i tilfelle differensiering av tariffen med hensyn på geografi

Strekning/område/soner	Tariff for kontaktledningstap
Oslo-området	4 %
Fjernstrekninger	7 %
Ofofbanen	4 %

De tekniske løsningene for dette ligger etter hva en forstår til rette for det i den nye felles nordiske energiavregningsentralen ettersom allerede differensierer hvor energien er tatt ut av kontaktledningen med hensyn på geografi (land).

Karakteristikken av kontaktledningsnettene som nevnt over er ikke noe som togselskapene har noen innvirkning på. Det er ikke riktig å hevde at en differensiering av tariffen for kontaktledningstapene med hensyn på geografi gir signaler til togselskapene om en effektiv utnyttelse av nettet. Det er heller ikke sikkert at en slik differensiering bidrar til mer ikke-diskriminerende og objektiv tariff gjennom at grenseoppgangene alltid vil være vanskelige. I energiforsyningen for øvrig er det ikke vanlig å differensiere tariffene med hensyn på geografi innen samme nettselskap for samme type belastning. Valget om differensiering med hensyn på geografi er mer et politisk spørsmål.

4.4.4 Trafikk generelt

De stiliserte simuleringene i vedlegg 4 referert til i avsnitt 3.5 viste at det er forskjell på kontaktledningstapene i forhold til ulike variasjoner i trafikken. Disse variasjonene har togselskapene selv større påvirkningskraft på enn de geografiske nevnt over. Det vil si at togselskapene i stor grad selv er med på å bestemme togvekt, trekraft, fremføringshastighet, frekvens (for egne tog) og stoppmønster. Det er imidlertid ikke riktig å hevde at alle disse

denne er gitt i formel 4-1. Tapsprosenten for opptatt energi til tog og tilleggsuttak må da justeres ned tilsvarende etter formel 4-2. Beregnede differensierte tapsprosenten i de simulerte tilfellene er vist i tabell 4-3.

$$E_{kltap\% \text{ på avlevert energi}} = \frac{E_{kltap_med_tilbakemating} - E_{kltap_uten_tilbakemating}}{E_{avlevert_med_tilbakemating}} \quad 4-1$$

$$E_{kltap\% \text{ på opptatt energi}} = \frac{E_{kltap} - (E_{kltap_med_tilbakemating} - E_{kltap_uten_tilbakemating})}{(E_{inmat} + E_{innrand} + E_{avlevert})} \cdot 100[\%] \quad 4-2$$

Tabell 4-3: Differensierte tapsprosenten på opptatt og avlevert energi funnet i simuleringer av Dovrebanen og Oslo-området.

Simulering	Tap på opptatt energi	Tap på avlevert energi
Dovrebanen med dagens trafikk	6,14 %	3,51 %
Dovrebanen med godstog med tilbakemating	6,59 %	4,08 %
Oslo-området med økt lokaltrafikk	4,34 %	2,11 %

Tabellen viser at tapsprosenten for avlevert energi ved den beregningen som er lagt til grunn over er om lag halvparten av tapsprosenten for opptatt energi. Denne tapsprosenten må ikke forveksles med det som flere steder er omtalt som ikke nyttiggjort tilbakematet energi.

Det er naturlig å tro at en kan finne tilsvarende forskjeller i tap på avlevert effekt som på opptatt effekt. Spesielt er tapene avhengig av om det er tog i nærheten som kan oppta den avleverte effekten. Det er noe togselskapet bare i liten grad kan styre. Ruteplanen bestemmes for det meste gjennom ruteplanprosessen i Jernbaneverket.

Det virker som om det er vanlig i energiforsyningen for øvrig å differensiere tariffene på energi som tas ut respektive leveres inn i nettet.

Dersom en velger å differensiere på dette bør det utføres ytterligere simuleringer for å finne tilsvarende verdier for Ofotbanen spesielt, men også de andre fjernstrekningene. Hvorvidt en bør differensiere denne tapsprosenten i forhold til geografi får simuleringresultatene da vise sammen med om en velger å differensiere tapsprosenten for opptatt energi. Tapsprosenten for opptatt energi bør da reduseres tilsvarende.

4.4.7 Togets trekkraft/ytelse

De stiliserte simuleringene indikerte at tapsprosenten også kan være avhengig togets trekkraft/ytelse/motorkraft. Høy akselerasjon og hastighet gir høyere strømtrekk og kan føre til høyere tap ettersom tapene er proporsjonale med strømmen kvadrert til tross for redusert akselerasjons- og fremføringstid. Kortvarige høye effektuttak kan også føre til store uønskede spenningsfall. Enkelte kjørestiler legger imidlertid til grunn utløpsmetoden med kortvarig høy akselerasjon ettersom den totalt sett skal gi minst energiforbruk ([8]).

Høyeste effekt som et lokomotiv eller motorvognsett kan trekke er avhengig av ytelsen. Det er imidlertid ikke nødvendigvis riktig å knytte tariffene til det enkelte trekkraftaggregat da flere aggregater sammen (enten multippel, ekstra forspann eller skyvelokomotiv) vil kunne gi tilsvarende høyere effektuttak.

I fremtidig felles nordisk energiavregningsentral legges det opp til rapportering av energiforbruk hvert 5. min. Dette kan i utgangspunktet være med å indikere effektuttaket over noe lengre tid og harmonerer med en viktig dimensjoneringsparameter (6 minutters belastning) for omformerstasjoner. Men heller ikke denne løsningen tar hensyn til at ett tog kan bestå av flere trekraftaggregater og at det sitter en måler i hvert aggregat.

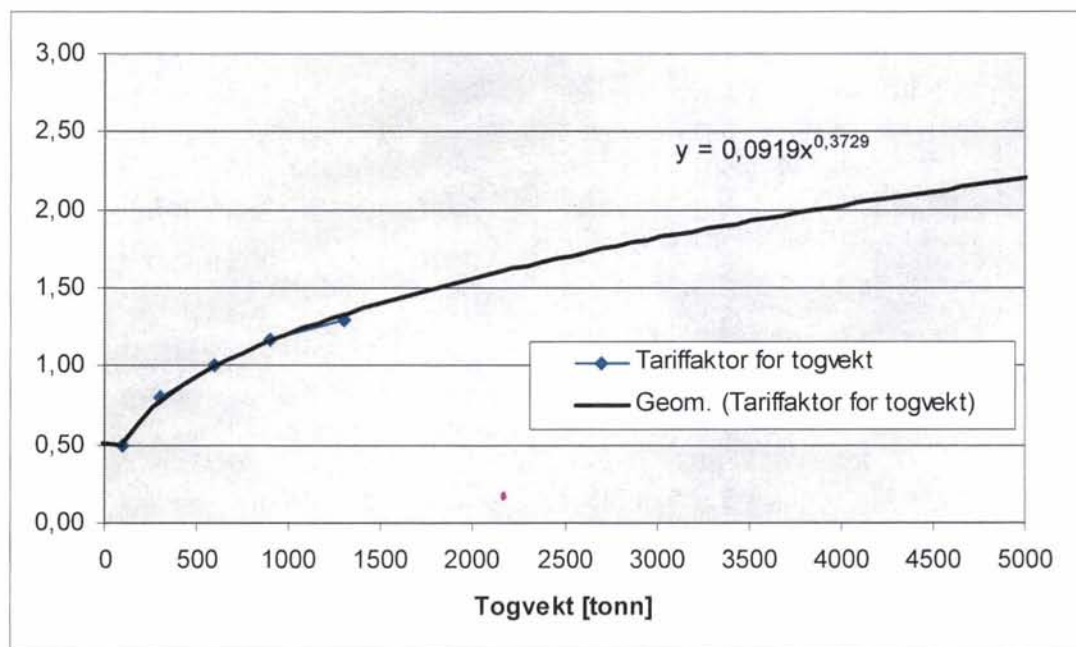
En differensiering av tariffene for kontaktledningstap isolert sett i forhold til effektuttak gjennom en form for effektledd finnes her imidlertid ikke hensiktsmessig. Det kan være mer aktuelt i forbindelse med tariffen for tap i matestasjoner.

4.4.8 Togvekt

En mer objektiv måte å differensiere dette på kan være gjennom den totale togvekten ettersom de stiliserte simuleringene viser at det er en direkte sammenheng mellom togvekt og tapsprosent. Den differensieringen kan også foretas ved å multiplisere en faktor med tapsprosenten for strekningen/området/sonen. Ved å legge til grunn ei middelvekt på 600 tonn som gir faktor 1 vil togvekter under dette gi lavere tapsprosent og togvekter over gi høyere tapsprosent etter mønster fra tabell 4-4 og illustrert med formel og geometrisk trendlinje i figur 4-1. Laveste faktor foreslås til 0,5.

Tabell 4-4: Forslag til tariffaktor for togvekt som kan legges til grunn ved eventuell differensiering på togvekt.

Togvekt [tonn]	Tariffaktor for togvekt	Eksempel på tapsprosent
100	0,50	2 %
300	0,80	3 %
600	1,00	4 %
900	1,17	4,5 %
1300	1,30	5 %



Figur 4-1: Illustrasjon av foreslått eventuell tariffaktor for togvekt med formel for geometrisk trendlinje

Togvekten er imidlertid ikke fast knyttet til trekkaggregatet, det vil si individet/objektet som energimåleren befinner seg på. Lokomotiver i godstog og persontog kan ha ulik etterhengt lastvekt avhengig av hvilket tog de går i, og motorvognsett kan kjøres i multippel. Differensieringen i forhold til togvekt er etter hva en forstår ikke tilrettelagt i den nye felles energiavregningssentralen ved at informasjon om tognummer på aktuelt tidspunkt ikke foreligger og heller ikke er planlagt implementert. Togvekten kan ved hjelp av tognummer i tilfelle hentes fra TIOS (Trafikk Informasjon og Oppfølgingssystem) eller annet tilsvarende system. Per i dag ligger ikke slike opplysninger fra alle togselskapene inne i TIOS.

En konstaterer imidlertid at resultatene fra de stiliserte simuleringene og trafikksimuleringen for de ulike banene ikke viser helt like tendenser når det gjelder tapsprosent i forhold til forbrukt energi. Ettersom det er virkeligheten og ikke nødvendigvis de stiliserte simuleringene en bør ta hensyn til kan det diskuteres hvorvidt det er riktig å differensiere på togvekten selv om økt togvekt fører til økt energiforbruk.

4.4.9 Energi til hensatt rullende materiell, infrastrukturanlegg og eksterne

I utgangspunktet ser en ingen grunn til å justere på foreslåtte tariffer for kontaktledningstap for energi til hensatt rullende materiell, infrastrukturanlegg og eksterne i forhold til det som er gjeldende for strekningen/området/sonen uttaket er tilknyttet med mindre Jernbaneverket legger opp til en politikk som tilsier høyere tariffer på grunn av at energi til sådant forbruk i de fleste tilfeller kan/bør forsynes fra det stedlige everk.

Ved installasjon av målere i tog møter en imidlertid på en utfordring dersom en differensierer på materiell (avsnittet over) og ikke velger den samme differensieringen for hensatt rullende materiell som står med strømvaktar oppe. Energiforbruket måles i begge tilfeller av samme energimåleren, men belastningen kan ha forskjellig karakteristikk i forhold til effektfaktor og togvekt, spesielt for godstog. Hensatt materiell kan ofte vanskelig knyttes til noe tognummer.

4.4.10 Fastledd, energiledd og effektledd

Ut i fra kontaktledningstapene isolert sett kan en ikke se at det har noen hensikt å introdusere noe effektledd, ei heller fastledd. Det vil si at i forhold til kontaktledningstapene isolert sett så er energileddet foreslått.

En kan imidlertid vurdere om energileddet skal oppgis i % og belastes med den energiprisen som Jernbaneverket kjøper inn energi for eller om en i fremtiden bør oppgi i kroner per enhet forbrukt/etterspurt energi dersom togselskapene skal kunne kjøpe energi direkte fra energiselskap og Jernbaneverket må kjøpe inn energi for dekking av nettapene (jamfør punkt f) i avsnitt 4.3).

4.4.11 Energi som tariffen relaterer seg til

Ved belastning av kontaktledningstapene må en ta utgangspunkt i en målt (alternativt simulert) verdi som tariffen relaterer seg til. Utredningen av metodene for beregning av kontaktledningstap i vedlegg 2 omtaler også metodikk for belastning av tapene selv om dette er på kanten av mandatet. Det er imidlertid nødvendig å se helheten i og konsekvensene av det en beregner. Det virker fornuftig å legge til grunn den energien som et tog har etterspurt (måler for opptatt energi P+) i forhold til belastning av kontaktledningstapene. Dette fordi det er etterspørselen av effekt som fører til at overføring av den er nødvendig, ikke nødvendigvis forbruket. Dette må ses i nær sammenheng med hvordan en velger å godskrive tilbakematet energi (avlevert energi P-) fra tog som bruker nettbrems. Det er imidlertid en mer prinsipiell

og politisk avveining som sannsynligvis faller utenfor utredningen av selve kontaktledningstapene.

Sannsynligvis må tapsprosentene gitt i denne rapporten regnes om slik at de refereres tilknytningstapene for sluttkundene, det vil si strømvaktaker, i henhold til punkt a) i avsnitt 4.3.

4.4.12 Formel for beregning av tapsprosent for kontaktledning i tilfelle differensiering

Dersom en velger å differensiere kontaktledningstapene med hensyn på parameterene nevnt over, vil tapsprosenten bestå av tre faktorer som vist i formel 4-3. Dersom en eller flere faktorene likevel skal utelates settes respektive til 1 unntatt for geografi der en bruker felles tariff for hele landet.

$$E_{kltap\%} = E_{kltap\% \text{ for } \textit{strekning / område / sone}} \cdot \frac{1}{\textit{Effektfaktor}_{\textit{materiell}}} \cdot \textit{Tariffaktor}_{\textit{togvekt}} \quad 4-3$$

Tariffaktoren for togvekt beregnes i henhold til formel 4-4 hvor togvekten oppgis i tonn.

$$\textit{Tariffaktor}_{\textit{togvekt}} = 0,0919 \cdot \textit{Togvekt}^{0,3729} \quad 4-4$$

4.4.13 Eksempel på beregning av differensiert tariff

Tog 5704 oppsatt med E114 (105 tonn) og 900 tonn lastvekt opptar og forbruker 13,60 MWh fra Trondheim til Eidsvoll. Det gir følgende faktorer som input til formel 4-3 ved differensiering av tariffene som beskrevet over:

- Tapsprosent for strekning: 7 % (Dovrebanen)
- Effektfaktor materiell: 0,9 (trinkoplerlokomotiv)
- Tariffaktor togvekt: 1,21 ($0,0919 \cdot (105+900)^{0,3729}$)

Til sammen gir det en tapsprosent på 9,41.

Tog 41 oppsatt med enkelt 73-sett (225 tonn) opptar 4,48 MWh og avleverer 0,91 MWh fra Eidsvoll til Trondheim. Det gir følgende faktorer som input til formel 4-3 ved differensiering av tariffene som beskrevet over:

- Tapsprosent for strekning: 7 % (Dovrebanen)
- Effektfaktor materiell: 1,0 (asynkronmateriell)
- Tariffaktor togvekt: 0,693 ($0,0919 \cdot (225)^{0,3729}$)

Til sammen gir det en tapsprosent på 4,85 for opptatt energi og tapsprosent i henhold til valgene i kapittel 4.4.6 for avlevert energi.

4.5 Sammenligninger

4.5.1 Dagens tariff for kontaktledningstap i Norge

I dag belastes kontaktledningstapene som et rent energiledd gjennom et prosentvis påslag på energiforbruket. Tapenes pris per energienhet er lik energien som forbrukes ellers. For tog som belastes etter rapporterte kjørte bruttotonnkilometer er kontaktledningstapene inkludert i nøkkeltallet for energiforbruk.

Tapsprosenten differensieres i henhold til [6] i forhold til følgende:

- Geografi: Fjernstrekning, Østlandsområdet og Ofotbanen

- Type trafikk: Ekspresstog, nattog, krengetog og lokaltog og regionaltog
- Togvekt for godstog: 850 tonn og 1200 tonn
- Trekkraft for godstog: EG3100 og andre lokomotiver
- Type forbruk: Togfremføring eller hensatt rullende materiell (togvarme)

4.5.2 Tilsvarende i Sverige og Danmark

I Danmark hvor mesteparten av energi til togfremføring måles tillegges i følge [7] togselskapenes energiforbruk et tillegg på 7,5 % for nettap. Det antas at dette dekker både tap i kontaktledning og transformatorstasjoner³. Tapsprosenten korrigeres ved årsavregning til det den faktisk har vært ut i fra måleravlesning dersom det er avvik.

I Sverige er tap i kontaktledning og matestasjoner inkludert i nøkkeltallene som et rent energiledd. Tapene legges til med 20 % i forhold til de totale energikostnadene inkludert eksterne nettavgifter.

Etter hva en forstår er det ikke planer om innføring av differensierte tariffer for kontaktledningstap i Sverige og Danmark ved innføring av energimålere i tog og felles nordisk energiavregningsentral.

³ I Danmark benyttes 25 kV50 Hz i energiforsyningen til togframføring. Omformerstasjoner er da unødvendig.

5 DISKUSJON OG KONKLUSJON

5.1 Diskusjon

5.1.1 Usikkerhet og robusthet

I dette arbeidet er det ved hjelp av datamaskinsimuleringer i SIMPOW og SIMTRAC utredet i hvilken størrelsesorden kontaktledningstapene for det statlige jernbanenettet er i. Det er også utredet hvordan tapene varierer med en rekke endringer i både trafikk og infrastruktur. Ved større endringer i trafikken (for eksempel endringer i hastighet, trekkraftmateriell eller transportmengde) eller infrastrukturen (for eksempel innføring av autotransformatorsystem) bør en imidlertid vurdere å gjøre nye simuleringer og eventuelle korrigeringer ettersom en i simuleringer er nødt til å legge til grunn konkrete tilfeller, spesielt dersom en velger å differensiere tariffene.

Både valg av simuleringstilfeller, utarbeidelsen av modellene samt hvilke forhold simuleringsverktøyet tar hensyn til vil kunne påvirke simuleringsresultatene. For eksempel er det ikke tatt hensyn til overharmoniske strømmer som fører til økte tap og horisontalkurvatur som fører til økt energiforbruk for togene. Simuleringsprogrammets lokomotivfører har imidlertid erfaringsmessig en mer energikrevende måte å kjøre på enn virkelige lokomotivførere. På grunn av dette er sannsynligvis tapsprosenten for kontaktledningen funnet gjennom simuleringene utført i dette arbeidet underestimert framfor overestimert.

5.1.2 Resultater

Både i forhold til belastning (energiforbruk) og tilbakemating finner en at resultatene fra de stiliserte simuleringene og trafikksimuleringen utført for et helt døgn ikke nødvendigvis samsvarer. De stiliserte simuleringene viser at tapsprosenten øker ved økt belastning og reduseres ved tilbakemating, men trafikksimuleringene viser motsatt tendens (se figur 3-3). Samtidig ser en at trafikksimuleringer med endringer som medfører høyere energiforbruk i flere tilfeller også øker tapsprosenten. Noen av disse motsetningene kan forklares, mens andre er vanskeligere å gi en god begrunnelse for. Det viser at det er mange faktorer som har innvirkning på kontaktledningstapene og at det er totalen av disse som gir resultatene til slutt.

Verdiene for tapsprosent som fremkommer på bakgrunn av simuleringen i dette arbeidet er ikke alltid like med tapsprosenten presentert i tidligere arbeider. I den forbindelse kan følgende kommenteres:

- I [2] viser simuleringer at kontaktledningstapene i Oslo-området er 4,5 % referert netto innmatet energi i systemet fra matatestasjonene. I denne utredningen er det funnet kontaktledningstap på 3,8 % referert total innmatet energi i systemet med samme trafikk og infrastruktur. Avviket skyldes metoden for beregning av tapene og er også årsaken til at simuleringene ble utført på ny.
- I [9] viser simuleringer at kontaktledningstapene på Ofotbanen er 6,3 %. I denne utredningen er det funnet kontaktledningstap på 3,8 % referert total innmatet energi i systemet med delvis samme trafikk. Avvikene skyldes at tapene ikke er beregnet etter samme metode, at [9] modellerer horisontalkurvatur (som gir et økt energiforbruk på 10-15 %) og at [9] benytter en noe høyere kontaktledningsimpedans enn i utredningene her.
- [6] beregner kontaktledningstapene på Bergensbanen mellom Hønefoss og Bergen til 4,2 %. I denne utredningen er det funnet kontaktledningstap på 8,7 % referert total innmatet energi i systemet. Det er antatt at den høye tapsprosenten i forhold til tidligere delvis kan skyldes bruk av annen metode for beregning av tapene samt endrede vinkler i det matende

trefasenettet som endrer effektutvekslingen mellom matestasjonene. I forhold til simuleringene på Dovrebanen og Sørlands-/Vestfoldbanen er det antatt at forskjellen tapsprosent delvis kan skyldes høyere andel utvekslingstap og mer tilbakemating fra tog.

- Kontaktledningstapene på Dovrebanen og Sørlands-/Vestfoldbanen er ikke studert tidligere.

5.1.3 Momenter ved utarbeidelse av tariffer

Det som er viktig er hvordan en benytter dataunderlaget som en har kommet frem til i dette arbeidet videre. Til syvende og sist skal sannsynligvis kostnadene med kontaktledningstapene fordeles på ulike aktører etter tariffer som må utarbeides. En vil aldri få regnestykket for energiavregning av 16 2/3 Hz-nettet til å gå opp og må også i fremtiden belage seg på korrigering ved årsavregning. Selve størrelsen til det prosentvise tapet er i første omgang bare interessant for en estimering av kostnadene ved eventuell akonto-fakturering. Senere kan en justere forutsatt måling alternativt beregning av alt forbruk. Riktige tariffer er imidlertid viktig for å kunne fordele kostnadene riktig mellom forbrukerne slik at hver forbruker belastes for det som den påfører systemet av tap på en ikke-diskriminerende, objektiv og kontrollerbar måte. Utarbeidelsen av tariffer er i stor grad politikk og faller utenfor denne rapportens mandat.

En har likevel vurdert hvordan tariffene for kontaktledningstapene kan utarbeides i forhold til de variasjonene en ser gjennom simuleringene. Men det anbefales at tariffene for kontaktledningstap samordnes med tilsvarende for omformingstap og tap i fjernledningen slik at en ser nettapene under ett. Det kan også foretas en samordning mellom nettselskapene/infrastruktureierne i Norden gjennom felles energiavregningsregler og – sentral. Nært knyttet til tariffene for nettap ligger også godskriving av eventuell tilbakematet energi. Hvordan tilbakematet energi godskrives er imidlertid et sterkt politisk spørsmål.

Når en ser at de ulike simuleringen viser delvis motstridende tendenser for kontaktledningstapenes variasjoner må en også velge hvilken linje en skal legge seg på i forhold til differensiering; skal en se ut fra helheten eller skal en bryte ned i biter. Også det er et politisk spørsmål.

5.2 Konklusjon

Gjennom datamaskinsimuleringer i SIMPOW/SIMTRAC har en studert kontaktledningstapenes størrelse og variasjon. Simuleringene har vært både stiliserte for å kunne skille ulike variasjoner og utført for hele landet delt inn i fem geografiske områder gjennom et helt driftdøgn for å etterligne virkeligheten mest mulig.

I løpet av en normal ukedag med dagens trafikk og infrastruktur viser simuleringene at det tapes i størrelsesorden 113 MWh i kontaktledningen tilhørende det statlige jernbanenettet i Norge. Dette utgjør 5,3 % av total mengde energi matet inn i systemet (inkludert tilbakemating). De prosentvise tapene er minst i Oslo-området og på Ofofbanen med 3,8 %. For de andre fjern-strekningene er kontaktledningstapene funnet til 6-9 %. Det antas at kontaktledningstapene i simuleringene er underestimert framfor overestimert, både i forhold til i dag og i forhold til fremtiden, på grunn av tekniske forhold ved simuleringene og økt trafikk i forhold til ruteplanene lagt til grunn.

Simuleringsresultatene viser at timesverdien av tapsprosenten typisk varierer innenfor $\pm 0,5$ -1,5 prosentpoeng gjennom driftsdøgnet avhengig av banestrekning. Tendensene synes å være at tapsprosenten minker noe når energiforbruket øker, men det er ikke entydig. Den synkende

tendensen er antatt å skyldes tap som resultat av effektutveksling mellom matestasjoner. Tapsprosenten er vurdert til å ikke variere særlig gjennom året. Bruk av tilbakemating ser ut til å øke kontaktledningstapene. De stiliserte simuleringene viser imidlertid at tapsprosenten øker ved økt togvekt, fremføringshastighet, frekvens/togtetthet, forbruk av reaktiv effekt og stoppmønster samt indikerer at togets trekkraft/ytelse kan ha innvirkning. Endring i togvekten ser ut til påvirke kontaktledningstapene mer enn de andre momentene med trafikken.

For bruk i energiavregningen er det også studert hvilke retningslinjer som gjelder for tariffer for nettap og hvordan tariffene for kontaktledningstapene kan bygges opp ut i fra variasjonene i tapene som simuleringene har avdekket. Om og hvordan en bør differensiere tariffene er imidlertid et politisk spørsmål som faller utenfor dette arbeidets mandat. Tariffene må ses i sammenheng med tilsvarende tariffer for omformingstap samt hvordan tilbakematet energi godskrives.

6 KILDER OG REFERANSEDOKUMENTER

- [1] Jernbaneverket Infrastruktur Utbygging Prosjekttjenester på oppdrag fra Jernbaneverket Infrastruktur Teknikk Premiss og utvikling Elkraft, *Utredning av virkningsgrad for matestasjoner og fjernledning – Anbefaling av tapsprosent til bruk i energiavregning*, 2004-03-30, prosjektnummer 760036, saksnummer 03/234 SJU 145
- [2] Jernbaneverket Infrastruktur Utbygging Prosjekttjenester på oppdrag fra Jernbaneverket Infrastruktur Teknikk, *Simulering av kontaktledningstap i Oslo-området*, utgitt 2004-01-16, prosjektnummer 292454, saksnummer 04/234 SJU 145
- [3] Samferdselsdepartementet, *Stortingsproposisjon nr. 64 21.5 Jernbaneformål – Sal av elektrisitet til togframføring*, 1996-97
- [4] Olje og energidepartementet, *LOV 1990-06-29 nr 50: Lov om produksjon, omforming, overføring, omsetning, fordeling og bruk av energi m.m. (energiloven)*, sist endret 2004-01-01
- [5] Olje og energidepartementet/Norges vassdrags- og energidirektorat, *FOR 1999-01-11 nr 302: Forskrift om økonomisk og teknisk rapportering, inntektsramme for nettvirksomheten og tariffer*, sist endret 2004-01-01
- [6] BanePartner på oppdrag fra Bane Energi, *Beregning og anbefaling av forbrukstall til bruk i energiavregning – August 2002*, 2002-07-24, prosjektnummer 199883, saksnummer 01/06331 SJU 760
- [7] Nordisk Elkraft Samarbeid (Jernbaneverket, Banverket og Banedanmark), *Felles energiavregningsregler for energi hentet fra kontaktledningen*, foreløpig rapport datert 2005-04-11
- [8] NSB Utvikling og teknikk på oppdrag fra P-, B- og S-divisjonen, *Energiøkonomisering i banestrømforsyning og togframføring*, Forprosjekt mai 1994 for prosjektet ”Energiøkonomisering i banestrømforsyning og rullende materiell”
- [9] BanePartner på oppdrag fra Jernbaneverket Region Nord, *Hovedplan energiavregning Ofofbanen*, 2000-04-25, prosjekt nummer 199285, saksnummer 00/107 SJI 760

7 VEDLEGG

- Vedlegg 1 Notat *Kontaktledningsimpedanser teori og sammenligning av verdier*
- Vedlegg 2 Problem og idenotat *Metode for beregning av kontaktledningstap*
- Vedlegg 3 Underutredning *Simulering av kontaktledningstap*
- Vedlegg 4 Underutredning *Stilisert simulering av kontaktledningstap*
- Vedlegg 5 *Om SIMPOW og SIMTRAC*



Notat

Til: Saken

Fra: Steinar Danielsen, IUPJE

Telefonnr.:

Dato: 2004-10-05

Saksref.: 04/568 SI 763

Kopi til:

Kontaktledningsimpedanser teori og sammenligning av verdier

I forbindelse med prosjektet "Utredning av KL-tap" er det nødvendig med en gjennomgang av kontaktledningsimpedansverdiene som benyttes i simuleringmodellene i SIMPOW/SIMTRAC.

Forhold som kan virke inn på kontaktledningsimpedansen

Kontaktledningsimpedansen definert som impedansen i banestrømmens seriekrets. Følgende parametre antas å i større eller mindre grad å ha innvirkning på kontaktledningsimpedansens real- og/eller imaginærledd:

- **Kontakttråd:** Trådens tverrsnitt og materiale gir ledningsevne og resistans. Vanlig i Jernbaneverket er 80 mm^2 , 100 mm^2 eller 120 mm^2 kopper gjerne leget med litt sølv. Nye anlegg bygges med 100 mm^2 eller 150 mm^2 . Slitt kontaktråd reduserer tverrsnittet og øker resistansen (se [3] tabell 10.4).
- **Bæreline:** Linas tverrsnitt og materiale gir ledningsevne og resistans. Vanlig i Jernbaneverket er 50 mm^2 eller 70 mm^2 bronse alternativt kopper (se [3] tabell 10.4).
- **Ekvivalent radius i framleder:** Avstanden mellom de ulike fremlede (kontaktråd, bæreline og eventuell forsterkningsledning) bestemmer ekvivalent radius for framleder og har innvirkning på reaktansen. Avstand mellom kontaktråd og bæreline varierer med bærelinas pilhøyde i forhold til kontaktråden og systemhøyden gitt av ulike typer kontaktledningssystemer.
- **Forsterkningsledning:** Bruk av forsterkningsledning øker det ekvivalente ledertverrsnittet i framleder og reduserer resistansen. Resistansen i selve forsterkningsledningen er gitt av tverrsnitt og materiale i lederen. I Jernbaneverket brukes gjerne 240 mm^2 aluminium eller 150 mm^2 kopper. Avstanden mellom nedføringene fra forsterkningsledning til kontaktledning har også innvirkning. Det er normalt kun strekninger med mye tung trafikk som utstyres med forsterkningsledning (se [3] tabell 10.10).
- **Returledning:** Bruk av returledning reduserer ledertverrsnittet i returkretsen i forhold til retur i skinne og jord, hvilket har innvirkning på resistansen. Oppheng av returledningen i forhold til fremlede har innvirkning på reaktansen. Resistansen i selve returledningen er gitt av tverrsnitt og materiale i lederen. I Jernbaneverket brukes gjerne $2 \times 240 \text{ mm}^2$ aluminium som henges opp i mastene nærmest mulig kontaktledningen. Returledning er vanlig på nyere anlegg. Anslagsvis 20 % av det elektrifiserte jernbanenettet i Norge har i dag returledning (se [3] tabell 10.10).
- **Forbigangsledning:** Bruk av forbigangsledning på stasjoner kan ha innvirkning på impedansen avhengig av om ledertverrsnittet endres og oppheng. Resistansen i



selve returledningen er gitt av tverrsnitt og materiale i lederen. I Jernbaneverket brukes gjerne 95 eller 150 mm². Forbigangsledning på stasjon er brukt på noen strekninger, men ikke på dobbelspor.

- **Sugetransformator:** Sugetransformatorene utgjør et ekstra element i banestrømmens seriekrets. Transformatorens impedans tillegges den øvrige kontaktledningsimpedansen. Avstand mellom sugetransformatorene kan variere, men er normalt 3 km. Høy belastningsstrøm i forhold til dimensjonert ytelse kan tenkes å gi metningsfenomener. Ytelser på 250/280, 380, 600 og 800 A er vanlig i Jernbaneverket, mens 600A normalt installeres på nye anlegg. Bruk av sugetransformatorer i seg selv kan ha innvirkning på resistansen og reaktansen ved at strømmen tvinges inn til og opp i sporet hver 3. kilometer i forhold til om den fikk gå fritt mellom last/tog/kortslutning og matepunkt.
- **Impedansespoler:** Impedansespolene for filtrering av sporfeltstrømmen inngår i banestrømmens seriekrets på samme måte som sugetransformatorene. Impedansespolenes impedans tilkommer den øvrige kontaktledningsimpedansen. Med "vanlig" bruk av impedansen der strømmen går inn i midtuttaket og fordeles ut 50/50 på "a" og "b" (eller omvendt) vil denne impedansen være svært liten. Impedansespolenes ytelse er normalt i samme størrelse som sugetransformatorene på samme strekning. Sporfeltlengden og sugetransformatoravstanden gir hvor mange impedansespoler der er på hver strekning.
- **Skinntype:** Skinnens tverrsnitt og materiale gir ledningsevne og resistans. I Jernbaneverket er det vanlig med 49, 54 eller 60 kg skinner i hovedspor. 60 kg benyttes på strekninger med høy hastighet. Ulike legeringer av stål kan ha forskjellige magnetiske egenskaper og dermed gi forskjellige reaktanser. Slitte skinner har mindre tverrsnitt og andre magnetiske egenskaper enn nye (se [3] tabell 10.7).
- **Avledning til jord:** Svilletype, isolasjon mellom skinne og sville, type ballast og kvalitet på denne samt objekter jordet til skinne har innvirkning på hvor godt strømmen avledes til jord. I Jernbaneverket er det vanlig med betongsviller og pukkbullast i hovedspor. Tresviller benyttes bare unntaksvis. Avledningen til jord er også avhengig av været (tørt, fuktig, frost osv.) (se [3] tabell 10.13).
- **Jordsmonn:** Jorden utgjør en parallell returvei til skinnene. Resistansen i jord er avhengig av jordsmonnet (leire, sand, grus, fjell etc.) Bruk av sugetransformatorer og returleder samt god isolasjon av skinnen fra jord reduserer jordens betydning som returstrømvei (se [3] tabell 10.13).
- **Temperatur:** Ledernes temperatur (kontaktledning, returledning, skinne etc.) har innvirkning på resistansen i respektive leder. Temperaturen er avhengig av både strømbelastning, omgivelsestemperatur, solinnstråling, vind. Det er vanlig å referere kontaktledningsresistansen til 20°C. Omgivelsestemperatur og frost har også innvirkning på impedansen mellom skinne og jord (se [3] avsnitt 10.2.3).
- **Strømmen størrelse:** Skinnenens impedans er avhengig av størrelse på strømmen som går i dem på grunn av magnetiske fenomener (se [3] tabell 10.2). Permeabiliteten øker ved økt strøm. Innvirkningen på den totale serieimpedansen er derimot å betrakte som liten.
- **Avstand mellom strømmens framleder og tilbakeleder:** Avstand mellom framleder (kontaktledning og forsterkningsledning) og tilbakeleder (skinner, returleder og jord) har innvirkning på strømsløyvens reaktans. Reaktansen blir minst når framleder og tilbakeleder ligger tettest mulig. Avstanden mellom kontaktledning og skinne er gitt av kontakttrådhøyden. I enkelte tilfeller kan



avstanden mellom framleder (for eksempel mateledningene på Ofotbanen) og tilbakeleder (skinner) være stor.

- **Strømmens frekvens:** Kontaktledningsimpedansens imaginærledd er direkte proporsjonalt med strømmens frekvens. Grunnharmoniske frekvens er gitt av systemfrekvensen som i Jernbaneverket er $16 \frac{2}{3}$ Hz. Overharmoniske strømmer forekommer imidlertid. Høyere frekvens fører til strømførtregning i ledere og redusert effektivt ledertverrsnitt med dertil økende resistans (se [3] tabell 10.2).
- **Langsgående kontinuerlig jordleder:** Bruk av langsgående kontinuerlig jordleder kan resultere i en parallell returvei for strømmen og gi økt tverrsnitt i tilbakelederne. Med bruk av sugetransformator vil jordlederen kun bidra som parallellvei når tog er inne på seksjonen. Dette kan redusere resistansen. Resistansen i selve jordlederen er gitt av tverrsnitt og materiale i lederen. I Jernbaneverket benyttes langsgående jordleder på noen strekninger med typisk dimensjon på $50\text{-}95 \text{ mm}^2$ kopper.
- **Avstand fra matepunkt til tog/last/kortslutning:** Dersom returstrømmen går gjennom jord vil denne delen av strømmen møte elektrisk motstand mellom skinne og jord (både opp og ned) og i selve jorden. Avledningsfeltet kan ha en utstrekning på flere kilometer. Ved kort avstand mellom matepunkt og tog/last/kortslutning på strekninger uten sugetransformatorer vil andelen av impedans i overgang skinne-jord dominere. Det samme vil være tilfelle ved bruk av sugetransformatorer bortsett fra at dette gjentar seg for hver transformator alternativt nedføring for returledningen.
- **Sportype:** Det vil tilkomme en kontaktresistans for hver skinnelask. Antall skinnelasker er avhengig av om sporet er lasket eller helsveist. I Jernbaneverket er det vanlig at hovedspor er helsveist. Lasket spor er alltid forsynt med skinneforbinder i skinneskotene i tillegg til lasken (se [3] tabell 10.5).
- **Antall spor:** Antall spor i parallell kan øke tverrsnittet til både framleder og tilbakeleder. Normalt er det ikke forbindelse mellom kontaktledningen på hvert av sporene på dobbelspor. Parallele strømveier på stasjoner er ikke uvanlig. Paralleles spor kan ha innvirkning på reaktansen og kapasitansen (se [3] tabell 10.5, 10.6, 10.10, 10.11 og 10.12).

Målinger og beregninger av kontaktledningsimpedansens verdi

Det er utført ulike beregninger og målinger for å finne kontaktledningsimpedansen ved ulike konfigurasjoner av kontaktledningsanlegg og returvei. En sammenstilling av disse presenteres i Tabell 1 basert på følgende kilder:

- EFI ([1]) utførte i 1994 på oppdrag fra NSB Bane Ingeniørtjenesten beregninger i det egenutviklede dataprogrammet STRFRD av kontaktledningsimpedansen for et utvalg konfigurasjoner av kontaktledning, returledning, forsterkningsledning og mateledning.
- Banverket ([2]) baserer seg på standardverdier for ulike konfigurasjoner av kontaktledning, returledning og forsterkningsledning ved beregninger og verninnstillinger. Disse standardverdiene er beregnet ved hjelp av beregningsprogrammet PLINE. Det oppgis at beregningene stemmer med det som en kjenner til av målinger.
- Fahrleitungen elektrischer Bahnen ([3]) oppgir i tabell 10.10 beregnede verdier for kontaktledningsimpedans for ulike tyske kontaktledningssystemer som kan sammenlignes med tilsvarende norske (Re200 tilsvarer System 20 og Re250 tilsvarer System 25).



- I forbindelse med Adtranz' utførelse av selektivitetsplan for koblingshuset Oslo S ble det gjennomført impedansmålinger av Bane Energi for tilstøtende matestrekninger.
- Birgitte Storøy har i sin hovedoppgave ([4]) ved NTNU beregnet og målt kontaktledningsimpedansen på strekningene Oppdal-Driva og Lundamo-Ler på Dovrebanen. Kontaktledningssystemet var da og er fortsatt 100 mm² Cu Kt og 50 mm² BzII Bli med sugetransformatorer. Beregningene ble utført i beregningsprogrammet CDEGS98 i tillegg til manuelt for hånd og inkluderer ikke sugetransformatorene. En oversikt over beregnede og målte impedanser er gitt i Tabell 2.
- Målingene fra 1970 som det refereres til er omfattende målinger i 1960-1970 av kontaktledningsimpedans for de fleste strekningene i landet. Måleresultatene er samlet i en perm ([5]) hos Prosjekttjenester.
- Det er også utført andre målinger av kontaktledningsimpedansen i Norge. Disse er også referert i tabellen



Tabell 1 Sammenstilling av verdier for ulike konfigurasjoner fra ulike kilder. Alle tall i Ω/km .

	1	2	3	4	5	6
Konfigurasjon	Kt: 80 mm ² Cu Bli: 50 mm ² Bzll Sug: Nei Rl: Nei Fsl: Nei	Kt: 100 mm ² Cu Bli: 50 mm ² Bzll Sug: Ja Rl: Nei Fsl: Nei	Kt: 100 mm ² Cu Bli: 50 mm ² Bzll Sug: Ja Rl: 2x240 mm ² Al Fsl: Nei	Kt: 100 mm ² Cu Bli: 50 mm ² Bzll Sug: Ja Rl: 2x240 mm ² Al Fsl: FeAl nr 150	Kt: 100 mm ² Cu Bli: 50 mm ² Bzll Sug: Ja Rl: Nei Fsl: FeAl nr 150	Kt: 120 mm ² Cu Bli: 70 mm ² Bzll Sug: Ja Rl: 2x240 mm ² Al Fsl: Nei
Kilde						
Beregninger EFI (1)		0,239 + j0,202 ¹	0,197 + j0,186 ²	0,115 + j0,114 ²		0,170 + j0,181 ²
Beregninger Banverket (2)			0,21 + j0,20 ³	0,14 + j0,16 ^{3,4}		0,20 + j0,20 ^{3,5}
Fahrleitungen (3) tabell 10.10 ⁵ Beregn. 10.12 Målt		0,148 + j0,140 0,152 + j0,166	0,152 + j0,127	0,078 + j0,085	0,073 + j0,105	0,125 + j0,123
Målinger i forbindelse med Oslo kbh			0,218 + j0,188 ⁷	0,171 + j0,173 ⁸		0,182 + j0,19 ⁹
Hovedoppgave Birgitte Storøy (4)		0,15 + j0,18 0,16 + j0,22				
Målinger 1960- 70 (5)	0,233 + j0,228 ¹⁰	0,17 + j0,20 ¹¹	0,171 + j0,158 ¹²		0,092 + j0,106 ¹³	
Andre målinger	0,169 + j0,206 ¹⁴	0,187 + j0,219 ¹⁵ 0,164 + j0,2 ¹⁶ 0,169 + j0,195 ¹⁷ 0,178 + j0,219 ¹⁸ 0,169 + j0,199 ¹⁹			0,124 + j0,176 ²⁰	

¹ Effektivt skinnnetverrsnitt 1000 mm² som er det største som er oppgitt

² Oppritt for seksjoner med framledning i Kl og retur i Rl i motsetning til seksjoner som toget faktisk er på med retur i skinne.

³ 2x212 mm² Al Rl

⁴ 212 mm² Al Fsl

⁵ Beregnet med Bli 50 mm²

⁶ Alle beregnet med UIC 60 skinner, 240 mm² Al Rl og 240 mm² Fsl, uten sugetransformator

⁷ Målinger Oslo-Asker og Asker-Oslo

⁸ Gjennomsnitt av målinger Oslo-Alnabru, Alnabru-Oslo, Alnabru-Lillestrøm og Lillestrøm-Alnabru.

Anlegget har 150 mm² Cu Fsl

⁹ Målt Oslo-Lillestrøm og Lillestrøm-Oslo

¹⁰ Egersund-Stavanger

¹¹ Dombås-Oppdal

¹² Asker-Brakerøya 1973, men med lenger avstand mellom sugetransformatorer enn 3 km i forbindelse med Lieråsen tunnel

¹³ Haugastøl-Myrdal. Spesiell Fsl på egne master et stykke fra sporet og ikke så mange nedføringer som vanlig.

¹⁴ Målt Kielland-Stavanger av Bane Energi 2000. Inneholder noe 95 mm² Fsl

¹⁵ Målt Hønefoss-Hokksund av Bane Energi 2000

¹⁶ Målt Jessheim-Eidsvoll i forbindelse med innstilling av vern på Gardermobanen

¹⁷ Målt Eidsvoll-Tangen i forbindelse med innstilling av vern på Gardermobanen

¹⁸ Målt Lillestrøm-Kongsvinger i forbindelse med innstilling av vern på Gardermobanen

¹⁹ Målt Nordagutu-Gulskogen av Bane Energi 2000

²⁰ Målt Rombak-Horisontalen av Bane Energi 2003

**Tabell 2 Målinger og beregninger i [4]. Alle tall i Ω /km. Hentet fra tabell 5-3 og 5-4.**

	Resistans	Reaktans	Kommentar
Målt Oppdal-Driva	0,15	0,18	Temperaturjustert fra -6°C til 20°C
Målt Lundamo-Ler	0,16	0,22	Temperaturjustert fra 4°C til 20°C
Håndregning	0,17 0,14	0,18 0,15	Ideelt isolert skinne Ideelt jordet skinne
Beregnet	0,16	0,18	Ideelt isolert skinne
CDEGS98	0,13	0,15	Ideelt jordet skinne
Målt 1970	0,17	0,20	

Kommentarer til verdiene i tabellene:

- Tallene for 100+50 med Rl og 120+70 med Rl fra EFI virker fornuftige i forhold til hverandre. 100+50 er imidlertid veldig mye høyere enn forventet i forhold til de andre tallene fra EFI. Det er litt usikkerheter rundt hvordan forhold i jord og skinne er modellert i beregningsprogrammet. Dette har mye å si for denne konfigurasjonen (2) i forhold til konfigurasjonene med returledning.
- Tallene fra Fahrleitungen virker fornuftige innbyrdes; men er lave og til dels veldig lave i forhold til de andre kildene.
 - Innføring av Rl øker resistansen og reduserer reaktansen
 - Innføring av Fsl reduserer resistansen
 - Økning av tverrsnitt i fremleder reduserer resistansenJordforholdene i Tyskland er forskjellige i fra Norge, blant annet brukes ikke sugetransformatorer. Måte returledning og forsterkningsledning benyttes på kan også være forskjellig. På grunn av dette bør en være forsiktig med å vektlegge disse tallene for norske forhold.
- Måling av 100+50+Rl og 120+70+Rl i forbindelse med Oslo kbh virker fornuftig innbyrdes. Tallene er imidlertid generelt høye, men relativt nye.
- Målingene gjort i 1970 virker fornuftige innbyrdes. Eldre målinger som ikke bør vektlegges for høyt siden det gjerne er gjort endringer i anleggene siden den gang og at en ikke har full dokumentasjon på forholdene rundt målingene.
- Det er store sprik mellom verdiene de ulike kildene oppgir for samme konfigurasjon. Forskjellen mellom beregningene og mellom beregninger og målinger kan til dels antas å skyldes ulike forutsetninger, tilnærminger og metoder. Internt mellom målingene er det forskjeller som vanskelig lar seg forklare sikkert. En av grunnene er at det er vanskelig å forklare er at anleggene ikke nødvendigvis er helt like selv om de her er plassert inn under samme konfigurasjon. De ulike faktorene som kan ha større eller mindre innvirkning er kort oppsummert foran, og det ikke mulig å lage egne klasser for hver enkelt kombinasjon av disse. Det er også antatt at måleresultatene varierer utfra forhold ved målingen og målemetoden samt ytre påvirkninger. Dette gjør at det er en del forhold som er spesielle både for når målingen ble utført og hvor, hvilken strekning, den ble utført på.
- I Tabell 3 er det beregnet gjennomsnittsresistans og –reaktans for de 6 ulike konfigurasjonene på bakgrunn av målingene referert til i strekningsoversikten i vedlegg. Resultatene i tabellen gjenspeiler til en viss grad dataunderlaget og gjør både at tyngden bak tallene reduseres og at disse ikke alltid er konsekvente i forhold til hverandre ut fra teorien foran. Dette kan skyldes både årsakene nevnt over og at målinger er gjort for sterkninger med flere ulike konfigurasjoner (ikke "homogent" anlegg).



Tabell 3 Beregnede gjennomsnittsverdier ut fra målinger. "Antall verdier" er antall matestrekningsstrekninger/deler av matestrekningsstrekninger med gitte konfigurasjon i tabellen. Målingene med "forsterkningsledningen" Haugastøl-Myrdal er tatt ut av underlaget ettersom strekningen er litt spesiell. Bergensbanen er i liten grad justert for kjedebrudd.

Konfigurasjon	1	2	3	4	5	6
R [Ω /km]	0,21	0,19	0,19	0,17	0,12	0,17
X [Ω /km]	0,22	0,21	0,19	0,19	0,18	0,19
Antall km	450	1712	352	127	19	164
Antall verdier	15	57	24	6	1	13

Videre arbeid

Mulige forslag til å få bedre kunnskap om kontaktledningsimpedansens størrelse:

- Måling av kontaktledningsimpedans for utvalgte strekninger som kan være representative for de ulike anleggskonfigurasjonene.
- Beregning av kontaktledningsimpedans for de ulike anleggskonfigurasjonene i CDEGS98 gjennom engasjement av SEfAS.
- Beregning av kontaktledningsimpedans for de ulike anleggskonfigurasjonene i PLINE (Jernbaneverket har lisens, men ingen som kjenner programmet).

Foreslått prioriteringsrekkefølge av de ulike konfigurasjonene:

1. 100+50 Kt+Bli med sugetransformatorer (det systemet det finnes mest av på fjernstrekningene)
2. 100+50 Kt+Bli med sugetransformatorer og Fsl (systemet er brukt på Bergensbanen og Ofotbanen, måling for Ofotbanen foreligger)
100+50 Kt+Bli med sugetransformatorer og Rl
80+50 Kt+Bli med sugetransformatorer
3. 100+50 Kt+Bli med sugetransformatorer, Rl og Fsl (mye de dobbelsporede strekningene rundt Oslo som ikke er med i disse simuleringene)
120+70 Kt+Bli med sugetransformatorer og Rl (hovedsakelig Gardermobanen, simulert tidligere, ikke med i simuleringene i dette prosjektet, men finnes også på parseller på Vestfoldbanen)

De to nederste konfigurasjonene er gitt såpass lav prioritet ettersom disse helst finnes i det sentrale Oslo-området som ikke er tema i prosjektet "Utredning av kontaktledningstap". Dersom en ser totalt på hele landet må disse to konfigurasjonene gis høyere prioritet ut fra trafikkbelastningen og konsekvensen ved feil utløsning av vern.

Prioritet 1 kan måles sammen med termografering av strekningen Dombås-Trondheim etter ferien 2004.

Dersom en velger å beregne impedansen anbefales det at det gjøres beregninger for alle konfigurasjonene. Beregning ved hjelp PLINE med interne ressurser vil sannsynligvis være rimeligere enn engasjement av SEfAS. Sistnevnte vil imidlertid muligens gi mer pålitelige resultater siden ekspertisen er størst ved SEfAS og CDEGS98 tar mer hensyn til strømmer i jord enn PLINE.

Konklusjon

En registrerer at kontaktledningsimpedansverdien varierer til dels mye fra kilde til kilde, men at de fleste verdiene fra samme kilde står i et fornuftig forhold til hverandre



avhengig av konfigurasjonen. Det er imidlertid vanskelig å dele strekningene inn i og se klare forskjeller mellom konfigurasjonene på bakgrunn av målingene som er gjort. Det blir for mange parametre som varierer og som til dels er ukontrollerbare. Det er på bakgrunn av underlaget her derfor vanskelig å anbefale konkrete tall som bør benyttes for de ulike konfigurasjonene.

Det anbefales at en holder seg til målte verdier og fortrinnsvis nyere målinger der dette foreligger. For strekninger det ikke foreligger målinger foreslås verdier ut fra sammenligninger med tilsvarende konfigurasjon. De valgte verdiene for hver matestrekning er gitt sammen med den strekningsvise oversikten i vedlegg²¹. Dette er det beste underlaget og informasjonen en per dags dato har.

Måling Dombås-Trondheim foreslås gjort i forbindelse med termografering høsten 2004. Det er også den konfigurasjonen (100+50 Kt+Bli med sug) som er mest vanlig på fjernstrekningene. Denne kan forhåpentligvis gi svar på avviket mellom nyere målinger og målingene utført i 1960-70. Ved store avvik bør impedansene valgt her revurderes.

Spesielle strekninger

Bergensbanen

På Bergensbanen mellom Haugastøl og Myrdal går der en blanding av forsterkningsledning, mateledning og forbigangsledning med kun framleder. Haugastøl-Finsetunnelen øst og Finsetunnelen vest-Myrdal går ledningen på egen masterekke gjerne et stykke fra sporet. Ledningen har egne sugetransformatorer i parallell med kontaktledningens sugetransformatorer. Returstrømmen går i sporet. Gjennom Finsetunnelen er ledningen ført som blankline på isolatorer i taket med nedføring til hver sugetransformator som er felles med kontaktledningen. Før Finsetunnelen ble bygd var konfigurasjonen sannsynligvis lik hele veien. Koblingsskjema er vist på tegning E-87 og E-88 for Region Vest. Dimensjonen på forsteringsledningen er oppgitt til å være FeAl nr 120.

Impedansen i kontaktledning og forsterkningsledning ble målt i 1964 til:

- $0,160 + j 0,159$ Ohm/km for Kl
- $0,165 + j 0,228$ Ohm/km for Fsl
- $0,092 + j 0,106$ Ohm/km for Kl+Fsl

I forbindelse med Landsdekkende kraftsystemplan ble det utført simuleringer i SIMPOW/SIMTRAC på Bergensbanen. De verdier for kontaktledningsimpedans som står oppgitt i simuleringsrapporten får en ikke til å stemme med det som er angitt i simuleringsfilene.

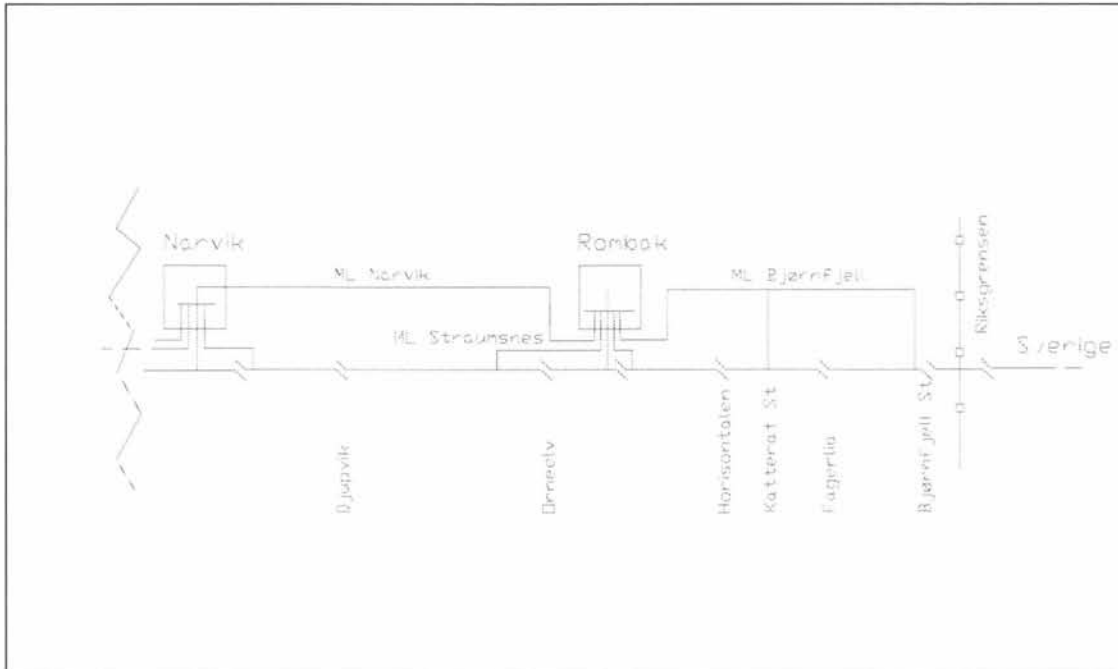
Det foreslås å benytte impedansen $0,092 + j0,106$ Ohm/km for hele strekningen Haugastøl-Myrdal.

²¹ For å forenkle modelleringen, datainnleggingen og simuleringen er det for ved variasjon konfigurasjonen beregnet en gjennomsnittlig impedans for hele strekningen i SIMPOW/SIMTRAC-modellen. Det er antatt at dette har relativt lite å si på nøyaktigheten så lenge målingene gjerne er tatt over flere ulike konfigurasjoner og en generelt er usikker på den eksakte impedansen.



Ofofbanen

Kontaktledningsanlegget på Ofofbanen er i normal drift seksjonert som gitt på tegning NdE 4513 vist med forenklet skisse i Figur 1. Mateledningene består kun av framledere. Returstrømmen går i skinne og jord tilbake til Rombak omf. Strekningen Rombak-Bjørnfjell er forsterket med forsterkningsledning (konfigurasjon 5 uten sugetransformatorer), mens resten av norsk side er konfigurasjon 2 uten sugetransformatorer.



Figur 1: Koblingsbilde i normal drift på Ofofbanen

Kontaktledningsimpedansen for forsterket kontakledning målt til $0,124 + j0,176$ Ohm/km for strekningen Rombak-Horisontalen ([7]). I [5] er det oppgitt kontaktledningsimpedans på $0,165 + j0,148$ Ohm/km. Standard kontaktledningsimpedans for svensk system med 100+50 Kt+Bli med 2 returledere og forsterkningsledning er i [2] oppgitt til $0,14 + j0,16$ Ohm/km.

Matesituasjonen beskrevet over er vanskelig å modellere på korrekt måte med fremleder i mateledningene og kontaktledning og retur i skinne og jord med utgangspunkt i det underlaget en har om de ulike impedansene i seriekretsen (rent tekniske finnes det metoder for slik modellering i SIMPOW/SIMTRAC). Med bakgrunn i dette foreslås det, hvilket også benyttet i banestrømssimuleringer for Ofofbanen tidligere, følgende:

- Mateledningene modelleres som vanlige enfasede ledere med framleder og returleder. Returstrømmen for en seksjon/matestrekning (for eksempel Djupvik-Orneelv) vil gå tilbake til matepunktet (Straumsnes) og i mateledningen tilbake til Rombak omf. Totalimpedansen modellert i seriekretsen for et tog mellom Djupvik og Straumsnes med mateledning og kontaktledning vil da i prinsippet tilsvare virkeligheten gjennom mateledning og kontaktledning med retur i skinne/jord.
- Under forutsetning av at reaktansen i strømsløyfen Rombak-Straumsnes-Rombak er tilnærmet lik om strømmen Straumsnes-Orneelv går i skinne/jord eller kontaktledning, vil også totalimpedansen for et tog mellom Straumsnes og Orneelv med slik modellering i prinsippet tilsvare virkeligheten med mateledning og



kontaktledning med retur i skinne/jord dersom kontaktledningen modelleres med differansen i resistans mellom normal strømsløyfe oppgitt over og resistans i skinne. I forutsetningen om lik reaktans om strømmen Straumsnes-Ornelv går i skinne/jord eller kontaktledning er det antatt at reaktansen i kretsen er mest gitt av avstanden mateledning-spor og mindre av skinnens selvinduktans. For resistans i skinne er det valgt 0,10 Ohm/km som i [4] er oppgitt til å være typisk for S54-skinner ved en strøm på rundt 400 A.

Denne metodikken stemmer relativt bra dersom det bare er ett tog på om gangen på strekningen Narvik-Rombak og Rombak-Bjørnfjell/Riksgrensen. Ved flere tog vil i virkeligheten returstrømmen som går i skinne/jord summeres opp. Når en undersøker elektriske tap vil denne måten å modellere på i prinsippet føre til at tapene blir underestimert på grunn av tapenes proporsjonalitet med kvadratet av strømmen. I ruteplanen utarbeidet for 30 tonnns aksellast på Ofofbanen (vedlagt i [8]) er det sjelden det er to tog samtidig mellom Narvik og Rombak. Det er imidlertid lagt opp til at østgående og vestgående malmtog skal krysse på Katterat.

På bakgrunn av dette anbefales bruk av kontaktledningsimpedans som oppgitt i Tabell 4. Impedansen i mateledningene på Ofofbanen er vist i Tabell 5 og er sannsynligvis hentet fra [5]. Totalimpedansen mellom Rombak omformer og tog/feil blir da summen av impedansen i respektive mateledning (Tabell 5) og kontaktledningsimpedansen fra innmating fra mateledning til tog/feil (Tabell 4).

Tabell 4 Kontaktledningsimpedans Ofofbanen

Strekning	Fra km	Til km	R [Ω /km]	X [Ω /km]
Fagernes-Narvik og Narvik Havn-Narvik	000,000	003,330	0,165	0,148
Narvik stasjon	003,331	004,640	0,165	0,148
Narvik-Djupvik	004,641	008,410	0,065	0,000
Djupvik-Straumsnes	008,411	015,440	0,165	0,148
Straumsnes-Ornelv	015,441	017,440	0,065	0,000
Ornelv-Rombak	017,441	020,430	0,165	0,148
Rombak-Horisontalen	020,431	025,580	0,124	0,176
Horisontalen-Katterat	025,581	029,750	0,024	0,000
Katterat-Fagerlia	029,750	034,480	0,124	0,176
Fagerlia-Bjørnfjell	034,481	040,460	0,024	0,000
Bjørnfjell-Riksgrensen	040,461	041,900	0,165	0,148
Riksgrensen-Tornehamn	041,901	063,155	0,14	0,16
Tornehamn-Stenbacka	063,156	110,765	0,14	0,16

Tabell 5 Impedans i mateledninger på Ofofbanen

Mateledning	Lengde	R [Ω /km]	X [Ω /km]
Rombak-Bjørnfjell	14,8	0,21	0,27
Rombak-Straumsnes	4,9	0,16	0,27
Rombak-Narvik	15,9	0,18	0,18



Kilder

- [1] EFI på oppdrag for NSB Bane Ingeniørtjenesten, *Beregning av impedans*, notat datert 1994-11-03. EFI prosjektnummer 200640.80.
- [2] Banverket dokument TKD PM 95/02, *Kontaktledningsstandard og linjeimpedanser*, datert 1995-03-02.
- [3] Kiessling, Puschmann og Schmieder, *Contact Lines for Electric Railways – Planning Design Implementation*, 2001
- [4] Birgitte Storøy, *Serieimpedans for kontaktledningsanlegget i norske elektriske jernbanesystem*, Hovedoppgave ved NTNU, februar 1999
- [5] *Måling av KL-anleggets elektriske konstanter – Div. strekninger*, gammel perm hos Prosjektjenester med målinger fra 1960-70
- [6] Jernbaneverket Ingeniørtjenesten på oppdrag fra Bane Energi, *Landsdekkende kraftsystemplaner – Simuleringsrapport Bergensbanen*, april 1999. Prosjektnummer 098081, saksnummer 98/4818 JI 760.
- [7] Siemens på oppdrag fra Bane Energi, *Rombak koblingshus – Innstillinger og selektivitetsplan for vern 15 kV. Koblingsanlegg etter imp.måling*, Vedlegg nr 3 til E-115 576. 2003-08-25.
- [8] Jernbaneverket Ingeniørtjenesten på oppdrag for Jernbaneverket Region Nord, *Hovedplan banestrømforsyning*, 1999-06-30, prosjektnummer 098138, saksnummer 98/8221 JI 760

Revisjonsoversikt

- | | |
|------------|---|
| 2004-06-10 | Opprinnelig versjon |
| 2004-06-30 | Oppdatert etter diskusjon ITPE |
| 2004-09-23 | Oppdatert etter innspill fra ITSE |
| 2004-10-05 | Oppdatert etter møte ITSE, Flytoget og SINTEF – endelig versjon |



Vedlegg Strekingsvis oversikt

Bane	Strekning	R	X	Kilde	Konf	Km	System	Kt	Bli	Rl	Fsl	
		[Ohm/km]	[Ohm/km]									
Godssporet Alnabu-Grefsen	Alnabu omf - Grefsen	0,21	j0,24	4	2	0,510	Tabell 54	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei	
Gjøvikbanen	Oslo kbh - Grefsen	0,207	j0,24	1	2	6,900	Tabell 54	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei	
	Grefsen - Oslo kbh	0,207	j0,24	1	2	6,900	Tabell 54	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei	
	Grefsen - Roa	0,207	j0,24	1	2	50,500	Tabell 54	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei	
	Roa - Lunner omf	0,207	j0,24	1	2	3,000	Tabell 54	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei	
	Lunner omf - Gjøvik	0,216	j0,224	4	2	63,830	Tabell 54	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei	
Gardermobanen	Oslo kbh - Lillestrøm omf	0,182	j0,19	1	6	18,000	System 25	120 mm2 Cu	70 mm2 Cu	2*240 mm2 A	Nei	
	Lillestrøm omf - Oslo kbh	0,182	j0,19	1	6	18,000	System 25	120 mm2 Cu	70 mm2 Cu	2*240 mm2 A	Nei	
	Lillestrøm kbh - Kjefta	0,16	j0,18	3	6	15,000	System 25	120 mm2 Cu	70 mm2 Cu	2*240 mm2 A	Nei	
	Kjefta - Lillestrøm omf	0,165	j0,185	3	6	15,000	System 25	120 mm2 Cu	70 mm2 Cu	2*240 mm2 A	Nei	
	Kjefta - Jessheim omf	0,16	j0,18	3	6	8,200	System 25	120 mm2 Cu	70 mm2 Cu	2*240 mm2 A	Nei	
	Jessheim omf - Kjefta	0,165	j0,185	3	6	8,200	System 25	120 mm2 Cu	70 mm2 Cu	2*240 mm2 A	Nei	
	Jessheim omf - Venjar	0,158	j0,179	2	6	21,000	System 25	120 mm2 Cu	70 mm2 Cu	2*240 mm2 A	Nei	
	Venja - Jessheim omf	0,162	j0,176	2	6	21,000	System 25	120 mm2 Cu	70 mm2 Cu	2*240 mm2 A	Nei	
	Venjar - Eidsvoll kbh	0,158	j0,179	2	6	5,660	System 25	120 mm2 Cu	70 mm2 Cu	2*240 mm2 A	Nei	
	Hovedbanen	Oslo kbh - Alnabu omf	0,17	j0,162	1	4	8,800	System 35	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	2*240 mm2 A	150 mm2 Cu
Alnabu omf - Oslo kbh		0,164	j0,155	1	4	8,800	System 35	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	2*240 mm2 A	150 mm2 Cu	
Alnabu omf - Lillestrøm omf		0,175	j0,184	1	4	12,200	System 35	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	2*240 mm2 A	150 mm2 Cu	
Lillestrøm omf - Alnabu omf		0,175	j0,192	1	4	12,200	System 35	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	2*240 mm2 A	150 mm2 Cu	
Lillestrøm omf - Kjefta		0,175	j0,17	3	3	15,000	System 20/ta	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	2*240 mm2 A	Nei	
Kjefta - Jessheim omf		0,175	j0,17	3	3	8,200	System 20/ta	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	2*240 mm2 A	Nei	
Jessheim omf - Eidsvoll kbh		0,164	j0,2	2	2	23,800	Tabell 54	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei	
Dovrebanen	Eidsvoll kbh - Tangen omf	0,169	j0,195	2	2	35,300	Tabell 54	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei	
	Tangen omf - Rudshøgda omf	0,2	j0,23	4	2	44,930	Tabell 54	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei	
	Rudshøgda iomf - Fåberg omf	0,2	j0,23	4	2	42,610	Tabell 54	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei	
	Fåberg omf - Fron omf	0,194	j0,204	4	2	67,850	Tabell 54/syst	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei	
	Fron omf - Otta omf	0,194	j0,204	4	2	39,800	Tabell 54/syst	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei	
	Otta omf - Dombås omf	0,168	j0,215	4	2	43,820	Tabell 54/syst	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei	
	Dombås omf - Oppdal omf	0,169	j0,202	4	2	85,280	Tabell 54/syst	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei	
	Oppdal omf - Lundamo omf	0,171	j0,197	4	2	87,400	Tabell 54/syst	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei	
	Lundamo omf - Stavne omf	0,171	j0,197	4	2	34,210	Tabell 54/syst	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei	
	Stavne omf - Trondheim	0,171	j0,197	1	2	3,640	Tabell 54/syst	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei	
	Bergensbanen	Roa - Hænefoss st	0,187	j0,221	4	2	32,500	Tabell 54	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei
		Hænefoss stasjon - Hænefoss omf	0,183	j0,211	J	2	6,900	Tabell 54	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei
Hænefoss omf - Nesbyen omf		0,183	j0,211	10	2	91,620	Tabell 54	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei	
Nesbyen omf - Eikle kon		0,202	j0,211	4	2	13,955	Tabell 54	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei	
Eikle kon - Øynaden kon		0,202	j0,211	4	2	64,525	Tabell 3/23/4/	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei	
Øynaden kon - Haugastal omf		0,165	j0,166	4	2	8,600	Tabell 3/23/4/	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei	
Haugastal omf - Finse		0,092	j0,106	4	5a	60,300	Tabell 3/23/4/	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Ja	
Finse st - Finssetunnelen V		0,092	j0,106	4	5a	51,500	System 20 C	100 mm2 Cu/50 mm2 Bzl	Nei	2*240 mm2 A	Nei	
Finssetunnelen V - Myrdal		0,092	j0,106	4	5a	95,074	Tabell 3/23/4/	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Ja	
Myrdal - Mjølfjell omf		0,204	j0,192	4	2	18,420	Tabell 3/23/4/	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei	
Mjølfjell omf - Lillevik kon		0,179	j0,199	4/N	2	55,330	Tabell 3/23/4/	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei	
Lillevik kon - Dale omf		0,179	j0,199	N	2	16,450	Tabell 3/23/4/	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei	
Dale omf - Bergen omf/st		0,198	j0,215	9	2	45,250	Tabell 3/23/4/	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei	
Flåmsbana		Myrdal - Kjosfoss krf	0,233	j0,228	L	1	4,200	Tabell 3/Syste	80 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei
		Kjosfoss krf - Flåm	0,233	j0,228	L	1	16,000	Tabell 3/Syste	80 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei
Randsfjordbanen	Hokksund - Hænefoss	0,1874	j0,219	5	2	54,000	System 35 M	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei	
	Drammen - Hokksund	0,169	j0,189	13	3	17,440	System 35	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	2*240 mm2 A	Nei	
Kongsvingerbanen	Lillestrøm - Bingsfoss kon	0,178	j0,219	2	2	19,050	Tabell 23	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei	
	Bingsfoss kon - Skarnes kon	0,178	j0,219	2	2	40,300	Tabell 23	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei	
	Skarnes kon - Kongsvinger omf	0,178	j0,219	2	2	20,000	Tabell 23	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei	
	Kongsvinger omf - Åbøgen				2	12,160	Tabell 54	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei	
	Åbøgen - Riksgrensen				3	30,400	System 20	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	2*240 mm2 A	Nei	
Riksgrensen - Otterbol omf (BV)					0,000		100 mm2 Cu	50 mm2 Cu				
Godssporet Loenga-Alnabu	Loenga - Alnabu omf	0,175	j0,184	B	2	4,070	Tabell 54	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei	
Østfoldbanen vestre linje	Oslo kbh - Loenga	0,19	j0,186	1	3	1,080	System 35 M	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	2*240 mm2 A	Nei	
	Loenga - Oslo kbh	0,185	j0,192	1	3	1,080	System 35 M	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	2*240 mm2 A	Nei	
	Loenga - Holmlia omf	0,19	j0,186	1	3	9,720	System 35 M	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	2*240 mm2 A	Nei	
	Holmlia - Loenga omf	0,185	j0,192	1	3	9,720	System 35 M	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	2*240 mm2 A	Nei	
	Holmlia omf - Ski kbh	0,1875	j0,189	C	3	13,510	System 35 M	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	2*240 mm2 A	Nei	
	Ski kbh - Holmlia omf	0,1875	j0,189	C	3	13,510	System 35 M	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	2*240 mm2 A	Nei	
	Ski kbh - Smarbekk omf	0,1875	j0,189	C	3	28,680	System 20/16	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	2*240 mm2 A	Nei	
	Smarbekk omf - Ski kbh	0,1875	j0,189	C	3	28,680	System 20/16	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	2*240 mm2 A	Nei	
	Smarbekk omf - Sandbukta	0,1875	j0,189	C	3	4,200	System 20	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	2*240 mm2 A	Nei	
	Sandbukta - Smarbekk omf	0,1875	j0,189	C	3	4,200	System 20	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	2*240 mm2 A	Nei	
	Sandbukta - Moss	0,182	j0,225	6	3	2,960	System 20	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	2*240 mm2 A	Nei	
	Moss - Sarpsborg	0,182	j0,225	6	4	49,330	System 20/16	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	2*240 mm2 A	150 mm2 Cu	
	Sarpsborg - Sarpsborg omf				3	5,310	System 20	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	2*240 mm2 A	Nei	
	Sarpsborg omf - Halden kon	0,13	j0,165	4	3	20,300	System 20	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	2*240 mm2 A	Nei	
	Halden kon - Riksgrensen				4	35,730	System 20	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	2*240 mm2 A	240 mm2 Al	
	Riksgrensen - Mon kbh (BV)											
	Østfoldbanen østre linje	Ski kbh - Spydeberg kon	0,22	j0,227	4	2	21,280	Tabell 54	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei
		Spydeberg kon - Rudskau kon	0,22	j0,227	4	2	38,790	Tabell 54	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei
		Rudskau kon - Sarpsborg st	0,22	j0,227	4	2	20,290	Tabell 54	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei
		Sarpsborg - Sarpsborg omf	0,1875	j0,189	C	2	5,310	Tabell 54	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei
	Drammenbanen	Oslo kbh - Skøyen	0,218	j0,188	1	3	4,381	System 20	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	2*240 mm2 A	Nei
		Skøyen - Oslo kbh	0,218	j0,188	1	3	4,381	System 20	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	2*240 mm2 A	Nei
		Filipstad - Skøyen	0,218	j0,188	D	2	2,800	System 20	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei
Skøyen - Asker omf		0,218	j0,188	1	3	19,448	System 20	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	2*240 mm2 A	Nei	
Asker omf - Skøyen		0,218	j0,188	1	3	19,448	System 20	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	2*240 mm2 A	Nei	
Asker omf - Drammen kbh		0,171	j0,158	4	3	16,360	System 35 M	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	2*240 mm2 A	Nei	
Drammen kbh - Asker omf		0,171	j0,158	4	3	16,360	System 35 M	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	2*240 mm2 A	Nei	
Spikkestadlinja	Asker omf - Spikkestad	0,21	j0,21	E/O	2	13,977	System 35 M	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei	



Bane	Strekning	R	X	Kilde	Konf	Km	System	Kt	Bli	RI	Fsl
		[Ohm/km]	[Ohm/km]								
Sørlandsbanen	Hokksund - Skollenborg trf	0,169	j0,199	13	2	22,400	System 35 M	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei
	Skollenborg trf - Kongsberg	0,169	j0,199	13	2	6,800	System 35 M	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei
	Kongsberg - Nordagutu omf	0,169	j0,199	13	2	46,000	System 35 M	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei
	Nordagutu omf - Lunde	0,197	j0,197	11	2	74,150	System 19,5	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei
	Lunde - Neslandsvatn trf	0,197	j0,197	11	3	57,630	System 20	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	2*240 mm2 A	Nei
	Neslandsvatn trf - Nelaug omf	0,233	j0,228	L	1	5,050	System 35	80 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei
	Nelaug omf - Krossen omf	0,233	j0,228	L	1	79,680	System 35	80 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei
	Krossen omf - Kristiansand	0,233	j0,228	L	1	3,027	Tabell 54	80 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei
	Kristiansand - Krossen omf	0,233	j0,228	L	1	2,783	Tabell 54	80 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei
	Dalane - Suldal	0,233	j0,228	L	1	0,590	Tabell 54	80 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei
	Krossen omf - Nodeland	0,181	j0,19	12	2	7,270	System 20	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei
	Nodeland - Marnadal	0,181	j0,19	12	1	26,730	System 35	80 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei
	Marnadal - Leivoll	0,181	j0,19	12	2	10,230	System 20	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei
	Leivoll omf - Sira omf	0,181	j0,19	12	2	56,080	System 20	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei
	Sira omf - Kielland omf	0,178	j0,214	8	1	52,470	System 35	80 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei
	Kielland omf - Oгна	0,169	j0,206	8	1	20,040	System 35/Ta	80 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei
	Oгна - Varhaug	0,169	j0,206	8	1	14,930	System 35	80 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei
	Varhaug - Ganddal	0,169	j0,206	8	1/5	24,774	System 35	80 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	95 mm2 Cu
	Ganddal - Stavanger	0,169	j0,206	8	1	18,116	System 35	80 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei
	Arendalsbanen	Nelaug - Arendal	0,181	j0,19	M	2	36,220	System 20	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei
Vestfoldbanen	Drammen kbh - Kobbervik	0,218	j0,188	G	2	7,620	Tabell 54	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei
	Kobbervik - Sande trf	0,1875	j0,189	H	6	12,799	System 25	120 mm2 Cu	70 mm2 Cu	2*240 mm2 A	Nei
	Sande trf - Kobbervik	0,1875	j0,189	H	6	12,799	System 25	120 mm2 Cu	70 mm2 Cu	2*240 mm2 A	Nei
	Sande trf - Nykirke	0,1875	j0,189	H	6	4,069	System 25	120 mm2 Cu	70 mm2 Cu	2*240 mm2 A	Nei
	Nykirke - Sande trf	0,1875	j0,189	H	6	4,069	System 25	120 mm2 Cu	70 mm2 Cu	2*240 mm2 A	Nei
	Nykirke - Holmestrand	0,218	j0,188	G	2	8,742	System 35 M	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei
	Holmestrand - Skoppum omf	0,219	j0,218	K	2	13,448	System 35 M	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei
	Skoppum omf - Larvik omf	0,219	j0,218	4	2	57,512	System 35 M	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei
Brevikbanen	Larvik omf - Eidanger	0,219	j0,218	K	2	35,550	System 35 M	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei
	Nordagutu omf - Eidanger	0,219	j0,218	K	2	48,400	System 35 M	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei
Hortenlinjen	Skoppum - Horten	0,219	j0,218	K	2	6,980	System 35 M	100 mm2 Cu	50 mm2 Cu	Nei	Nei
Ofotbanen	Narvik - Rombak omf	0,165	j0,148	4	2	17,080	System 35 M	100 mm2	50 mm2 Cu	Nei	Nei
	Rombak - Bjørnfjell	0,124	j0,176	15	5	19,309	System 35 M	100 mm2	50 mm2 Cu	Nei	240 mm2 Al
	Bjørnfjell - Riksgrensen	0,165	0,148	4	2	2,182	System 35 M	100 mm2	50 mm2 Cu	Nei	Nei
	Riksgrensen - Tornehamn omf (BV)	0,14	j0,16	14							

Kilder

- 1 - Tabell fra Region Øst
- 2 - Innstillinger Impedansevern Gardermobanen (Sluttokumentasjon)
- 3 - Prøveprotokoll Adtranz
- 4 - Oversikt i gammel impedansperm
- 5 - Beregnet på bakgrunn av Notat "Måling av impedansen i kontaktledningen" fra Jonny Kleiven til Sigurd Ringen Bane Energi datert 19.05.2000
- 6 - Notat "Impedansmålinger Ski-Sarpsborg" fra VIM til Dobbeltporet Ski-Moss v/Levaas datert 14.06.95
- 7 - Antatt ut fra 6
- 8 - Målt mai 2000. Hentet fra Releplan Krossen-Ganddal JD 546 vedlegg 5a
- 9 - Målt november 2000 av BE Dale-Trengereid. Usikker på måleomsetning
- 10 - Målt mai 2000 av BE Hønefoss-Nesbyen
- 11 - Målt august 2004 av BE Nordagutu-Neslandsvatn
- 12 - Måling april 2000 av BE Leivoll-Krossen
- 13 - Måling mars 2000 av BE Nordagutu-Gulskogen
- 14 - BV TKD 9M 95/02
- 15 - Måling BE 2003 Rombak-Horisontalen

Antakelser for strekninger en ikke har målinger for gjort på møtet hos Flytoget 2003-11-04:

- A - Antatt lik som Hokksund-Hønefoss
- B - Antatt lik som Hovedbanen Alnabru-Lillestrøm
- C - Antatt lik som Oslo-Holmlia (Gjennomsnitt av de to sporene)
- D - Antatt lik som Oslo-Asker
- E - Bruker impedans som finnes i modellen fra før
- F - Antatt lik som Bergensbanen Roa-Hønefoss
- G - Antatt lik som Drammenbanen Oslo-Asker
- H - Antatt lik som Østfoldbanen Oslo-Holmlia (Gjennomsnitt av de to sporene) (lik som C)

Andre antakelser

- I - Antatt lik som Oppdal-Stavne
- J - Antatt lik som Hønefoss-Nesbyen
- K - Antatt lik som Skoppum-Larvik
- L - Antatt lik som Egersund-Stavanger målt i [4]
- M - Antatt lik som Krossen-Leivoll
- N - Antatt lik som Mjølfjell-Voss
- O - Kunne kanskje brukt samme som Hokksund-Hønefoss


METODE FOR BEREGNING AV KONTAKTLEDNINGSTAP

Problem- og idenotat til prosjektet "Utredning av kontaktledningstap"

I forbindelse med prosjektet "Utredning av kontaktledningstap" har det vært diskusjoner rundt metodikken for beregning av kontaktledningstap. I tidligere utredninger har det vært benyttet ulike metoder. Denne rapporten er et problem- og idenotat for å beskrive problemer og synliggjøre viktige momenter i den forbindelse.

Videre er det studert og vurdert ulike metoder for beregning av kontaktledningstapene opp i mot kriterier som robusthet, ikke-diskriminerende fordeling, inndekning av innkjøpt energi, muligheter, fleksibilitet og synliggjøring av viktige faktorer og størrelser. Mandatet for arbeidet er å synliggjøre kontaktledningstapenes størrelse, variasjoner og faktorer slik at en har valgt å ikke vektlegge kriteriene i fordeling og inndekning.

To av de fire metodene er benyttet tidligere i andre utredninger/arbeider, og to av dem er forslag til nye. Ingen av metodene er perfekte, men det ene forslaget til metode, metode 5, utpeker seg til å tilfredsstillende kriteriene best. Metoden tar utgangspunkt i å betrakte alle tog, matestasjoner og randsoner som "sorte bokser" som leverer inn og tar ut energi i/fra kontaktledningen. Denne metoden definerer tapene og tapsprosenten slik som avtalt mellom Jernbaneverket og togselskapene og slik som tap normalt defineres i energiforsyningen.

000	Utgitt	29.04.05	SD	FM	TJA	
Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Utarb. av	Kontr. av	Godkj. av	
Metode for beregning av kontaktledningstap		Ant. sider	Emneord	Effektflyt		
		21	Emneord	Energiavregning		
		Produsent	Utbygging prosjektjenester			
		Prod. dok. nr.	Prosjekt 760253			
		Erstatning for				
Prosjektet "Utredning av kontaktledningstap"		Erstattet av				
		Dokument nr.		Rev.		
 Jernbaneverket					000	

1	INNLEDNING.....	3
1.1	BAKGRUNN	3
1.2	MÅLSETTING	3
1.3	AVGRENSNINGER OG FORUTSETNINGER	3
1.4	TERMINOLOGI	3
2	INTRODUKSJON OG PROBLEMSTILLING	5
2.1	OM MODELLEN	5
2.2	TILFELLE 1; NÅR BEGGE TOG TREKKER EFFEKT	5
2.3	TILFELLE 2; NÅR TOG A BREMSER MEKANISK OG TOG B TREKKER EFFEKT	6
2.4	TILFELLE 3; NÅR TOG A BREMSER LITT ELEKTRISK OG TOG B TREKKER EFFEKT.....	6
2.5	TILFELLE 4; NÅR TOG A BREMSER MYE ELEKTRISK OG TOG B TREKKER EFFEKT	7
2.6	TILFELLE 5; NÅR TOG A BREMSER LITT ELEKTRISK OG TOG B IKKE TREKKER EFFEKT	7
2.7	OPPSUMMERING	8
3	METODER FOR BEREGNING AV KONTAKTLEDNINGSTAP.....	9
3.1	METODE 1	9
3.2	METODE 3	9
3.3	METODE 4	10
3.4	METODE 5	10
3.5	SAMMENLIGNING AV METODENE.....	12
3.5.1	<i>Tenkte tilfeller</i>	<i>12</i>
3.5.2	<i>Eksempel Dovrebanen - totalregnskap</i>	<i>12</i>
3.5.3	<i>Eksempel avregning tog på Dovrebanen.....</i>	<i>13</i>
3.6	VURDERING AV METODENE.....	15
4	DISKUSJON OG KONKLUSJON.....	17
4.1	DISKUSJON	17
4.2	KONKLUSJON	18
5	KILDER OG REFERANSEDOKUMENTER.....	19
6	VEDLEGG.....	20
	VEDLEGG 1 UTREGNING AV TAP I TENKTE TILFELLER MED DE ULIKE METODENE.....	21

1 INNLEDNING

1.1 Bakgrunn

Jernbaneverket har ansvaret for en korrekt fordeling av kostnadene til energi som kjøpes inn og leveres forbrukerne av 16 2/3 Hz energi. De største forbrukerne er togselskapene gjennom togframføring og oppvarming av hensatt rullende materiell. Nytt regime for fordeling av energikostnadene er under utarbeidelse, og i den forbindelse ønsker Jernbaneverket og togselskapene mer kunnskap om energitapene i kontaktledningen og hvordan disse varierer.

I tidligere utredninger har det vært benyttet ulike metoder for beregning av kontaktledningstapene, både for faktiske energitap og tapsprosent. I jernbanesammenheng er beregning og fordeling av tapene å betrakte som noe mer komplisert enn i vanlig elektrisk energiforsyning ettersom en har tog som i tillegg til å forbruke energi også mater tilbake energi ved regenerativ bremsing. Det er derfor behov for å komme frem til en mest mulig korrekt og omforent metode for beregning av disse og videre belastning av forbrukerne. I forbindelse med felles nordis energiavregningsentral skal belastning av tapene utføres automatisk og det er da behov for et eksakt formelverk som kan legges inn.

1.2 Målsetting

Målet med denne rapporten er primært å synliggjøre problemer og viktige momenter samt beskrive ideer rundt metodikk for beregning og fordeling av kontaktledningstap mellom forbrukerne.

Sekundært skal en komme fram til og beskrive en metode for beregning og belastning av kontaktledningstapene. Metoden må:

- Være robust i forhold til endringer i ruteplan og rullende materiell (spesielt tilbakemating)
- Være ikke-diskriminerende for å få riktig fordeling mellom forbrukerne
- Være korrekt slik at Jernbaneverket får dekket inn den energien som blir kjøpt inn.
- Være mulig å benytte i forbindelse med simulering i SIMPOW/SIMTRAC.
- Være mulig å implementere i ny energiavregningsentral.
- Være fleksibel og ikke-prematur slik at den ikke legger unødvendige føringer for hvordan avregningssystemet for elektrisk energi blir i fremtiden.
- Kunne synliggjøre viktige størrelser/faktorer

1.3 Avgrensninger og forutsetninger

Dokumentet var i utgangspunktet ment som et problemnotat i forbindelse med prosjektet "Utredning av kontaktledningstap" og inneholder problembeskrivelse samt ideer og tanker om metode for beregning av kontaktledningstap. Diskusjonene rundt fordeling av energikostnadene er således mer problemformuleringer enn direkte anbefalinger til løsninger.

1.4 Terminologi

Ved beskrivelse av metode for beregning av tapene er det nødvendig å definere de ulike uttrykkene og størrelsene. De benyttede uttrykkene er gitt i tabell 1-1 sammen med en angivelse om størrelsene er tilgjengelige i simuleringene i SIMPOW/SIMTRAC og i den kommende energiavregningsentralen til Jernbaneverket.

Med randsoner menes grensen for det området en beregner tapene og avregner energien for. I simuleringene er det nødvendig å definere randsoner på modellene. I virkeligheten har

Jernbaneverket randsoner mot Sverige og Banverket på Ofotbanen (Riksgrensen), Kongsvingerbanen (Charlottenberg) og Østfoldbanen (Kornsjø).

Formelverket senere i rapporten er forsøkt lagd så generelt at det for den enkelte forbruker, om det er togselskap med rullende materiell som kan mate tilbake eller ikke eller om det er infrastruktureier eller eksterne som tar ut energi, så er metodikken den samme. En setter de størrelsene som ikke er relevant for den aktuelle forbrukeren til 0.

Formlene presenteres også slik at alle tall som puttes inn i dem er positive. Det vil si at selv om tilbakematet energi i noen tilfeller angis med minustegn foran, så benyttes absoluttverdien i formlene.

Når det i rapporten vises til hovedrapporten, er det ment prosjektets samlerapport som nærværende rapport er en underutredning og vedlegg til.

Tabell 1-1: Oversikt over uttrykk og størrelser.

Uttrykk	Forklaring	Tilgjengelig i SIMPOW/SIMTRAC	Tilgjengelig i Energiavregningsentral
E_{mat}	Netto energi matet ut fra matestasjon ($E_{innmat} - E_{utmat}$)	Utregnes	N/A
E_{innmat}	Energi matet inn i systemet fra matestasjon (enfase)	Ja	Nei, måles på trefasesiden
E_{utmat}	Energi matet ut av systemet tilbake til matestasjon (enfase)	Ja	Nei
E_{rand}	Netto energi uvekslet via randsoner ($E_{innrand} - E_{utrand}$)	Utregnes	Utregnes
$E_{innrand}$	Energi matet inn i systemet via randsoner	Ja	Ja (ikke per i dag, men i fremtiden)
E_{utrand}	Energi matet ut av systemet via randsoner	Ja	Ja (ikke per i dag, men i fremtiden)
$E_{tillegg}$	Energi til skifting (som ikke inngår i E_{tog}), hensatt rullende materiell, togvarmeanlegg og infrastrukturens biforbruk/reservestrømsforbruk	Ja	Ja, måles eller beregnes
E_{tog}	Netto forbrukt energi av tog ($E_{opptatt} - E_{avlevert}$)	Utregnes	Utregnes
$E_{opptatt}$	Energi opptatt i tog (P+)	Ja	Ja, måles eller beregnes vha. nøkkeltall
$E_{avlevert}$	Energi avlevert fra tog med tilbakemating (P-)	Ja	Ja, måles eller beregnes vha. nøkkeltall
E_{kiltap}	Energitap i kontaktledning	Beregnes etter metode	Nei, kan fås totalt ved avregningen
$E_{kiltap\%}$	Prosentvis energitap i kontaktledning	Beregnes etter metode	Legges inn
$E_{etterspurt}$	Energi som togselskap og infrastruktureier etterspør, det vil si henholdsvis $E_{opptatt}$ og $E_{tillegg}$	Utregnes	Utregnes
k	Definert virkningsgrad for tilbakematet energi	Nei, ekstra simuleringer må utføres	Legges inn
$E_{ikke\ nyttigjort}$	Energi som er matet tilbake fra tog til matestasjon	Ja, målt ved matestasjon	Nei, inngår i tap
$E_{forbruker}$	Energien som forbrukerne belastes for	Beregnes etter metode	Beregnes

2 INTRODUKSJON OG PROBLEMSTILLING

For å få innsikt i problemstillingen i forhold til beregning og fordeling av energitapene i kontaktledningsnettet vil det i dette kapittelet bli gitt en kort introduksjon. Introduksjonen består i et antall tenkte tilfeller/situasjoner i energiforsyningen til tog.

2.1 Om modellen

Modellen består av følgende komponenter:

- Matestasjon som mater inn i systemet nødvendig effekt med en spenning på 16,5 kV.
- Tog A som er et tog med asynkronmotorer med en ytelse på 5 MW som trekkes med $\cos\phi$ lik 1 og mulighet for tilbakemating (for eksempel El 18)
- Tog B som er et tog med tyristorregulerte likestrømsmotorer med en ytelse på 2 MW som trekkes med $\cos\phi$ lik 0,8 induktiv (for eksempel et dobbelsett tp 69)
- Kontaktledning med en impedans på $0,16 + j0,20 \Omega/\text{km}$. Det er 20 km fra matestasjonen til tog A og videre 10 km til tog B.

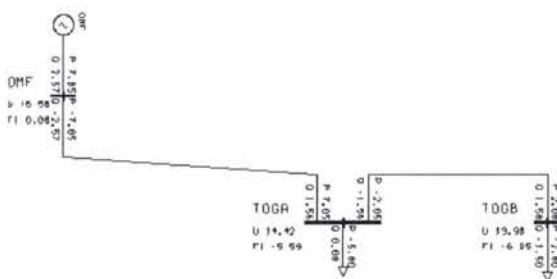
For illustrasjonen av modellen, se figur 2-1.



Figur 2-1: Illustrasjon av modell.

2.2 Tilfelle 1; Når begge tog trekker effekt

I dette tilfellet trekker begge togene effekt, henholdsvis 5 og 2 MW slik som vist i figur 2-2. I dette tilfellet leveres all effekt fra matestasjonen til begge togene. Effektoverføringen til tog B fører til tap i kontaktledningen hele veien fra matestasjonen til toget. I tillegg fører effektoverføringen i tog A til ytterligere tap i kontaktledningen mellom matestasjonen og tog A. Tapene i kontaktledningen må dekkes av matestasjonen som mater ut 7,85 MW. Effektreknskabet er vist i tabell 2-1.



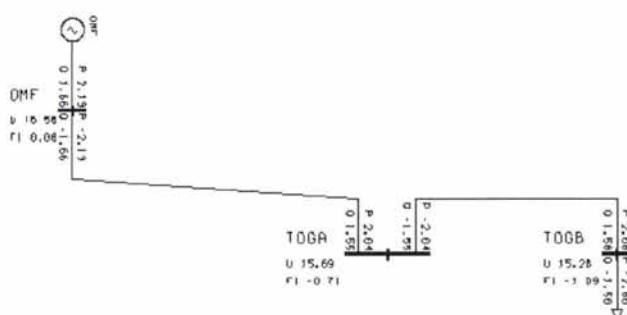
Figur 2-2: Enlinjeskjema for tilfelle 1 når begge tog trekker effekt.

Tabell 2-1: Effektreknskap for tilfelle 1 når begge tog trekker effekt. Alle tall i MW.

Matestasjon			Tog A			Tog B		
Inn	Ut	Sum	Opptatt	Avlevert	Sum	Opptatt	Avlevert	Sum
7,85	0,00	7,85	5,00	0,00	5,00	2,00	0,00	2,00

2.3 Tilfelle 2; Når tog A bremses mekanisk og tog B trekker effekt

Dersom tog A bremses mekanisk med trykkluftbremsen eller ikke trekker effekt i det hele tatt, er det bare tog B som trekker effekt (2 MW). Dette fører til tap i kontaktledningen mellom matestasjon og tog B som dekkes av matestasjonen som mater inn 2,13 MW. Dette er vist i figur 2-3 med effektreknskapet i tabell 2-2.



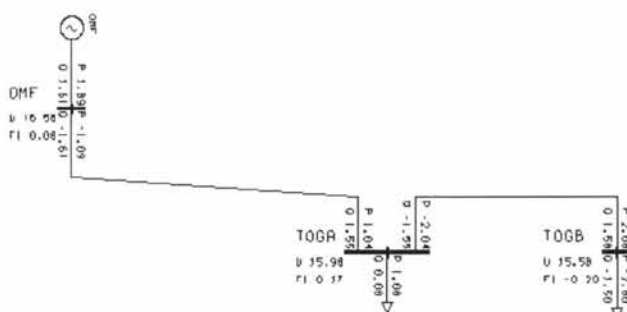
Figur 2-3: Enlinjeskjema for tilfelle 2 når tog A bremses mekanisk og tog B trekker effekt.

Tabell 2-2: Effektreknskap for tilfelle 2 når tog A bremses mekanisk og tog B trekker effekt. Alle tall i MW.

Matestasjon			Tog A			Tog B		
Inn	Ut	Sum	Opptatt	Avlevert	Sum	Opptatt	Avlevert	Sum
2,13	0,00	2,13	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	2,00

2.4 Tilfelle 3; Når tog A bremses litt elektrisk og tog B trekker effekt

Dersom tog A bremses litt elektrisk (1 MW) og mater effekt tilbake til kontaktledningsnettet vil effekten i dette tilfellet inngå i behovet til tog B (2 MW). Det vil si at tog B forsynes både fra matestasjonen og tog A. Fremdeles har en tap i kontaktledningen mellom tog A og B, men tapene mellom matestasjonen og tog A er mindre enn i tilfelle 1 og 2 siden effektoverføringen er mindre. Tapene dekkes av matestasjonen. Dette er vist i figur 2-4 med effektreknskap i tabell 2-3.



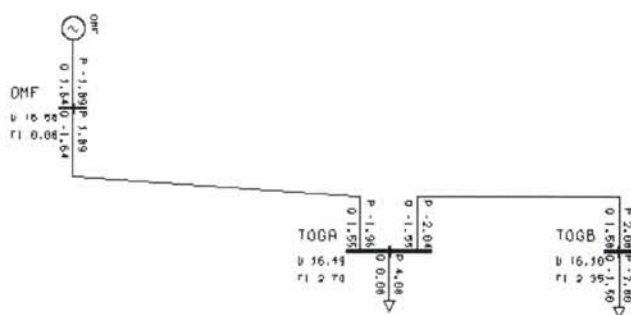
Figur 2-4: Enlinjeskjema for tilfelle 3 når tog A bremses litt elektrisk.

Tabell 2-3: Effektreknskap for tilfelle 3 når tog A bremses litt elektrisk og tog B trekker effekt. Alle tall i MW.

Matestasjon			Tog A			Tog B		
Inn	Ut	Sum	Opptatt	Avlevert	Sum	Opptatt	Avlevert	Sum
1,09	0,00	1,09	0,00	-1,00	0,00	2,00	0,00	2,00

2.5 Tilfelle 4; Når tog A bremses mye elektrisk og tog B trekker effekt

Dersom tog A bremses mye elektrisk (4 MW) vil den tilbakematede effekten først gå til å dekke effektbehovet til tog B (2 MW). Den overskytende effekten går tilbake til og inn i matestasjonen (0,89 MW). Tapene i kontaktledningen dekkes av effekten som tog A mater tilbake. Situasjonen er vist i figur 2-5 med effektreknskap i tabell 2-4.



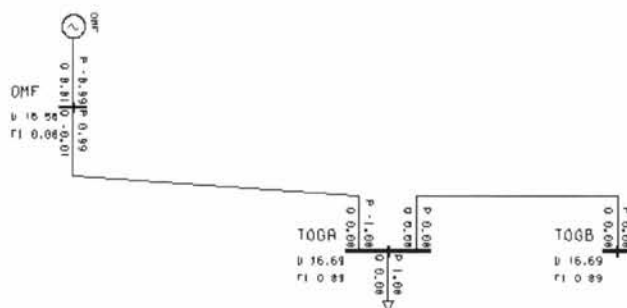
Figur 2-5: Enlinjeskjema for tilfelle 4 når tog A bremses mye elektrisk og tog B trekker effekt.

Tabell 2-4: Effektreknskap for tilfelle 4 når tog A bremses mye elektrisk og tog B trekker effekt. Alle tall i MW.

Matestasjon			Tog A			Tog B		
Inn	Ut	Sum	Opptatt	Avlevert	Sum	Opptatt	Avlevert	Sum
0,00	-0,89	-0,89	0,00	-4,00	-4,00	2,00	0,00	2,00

2.6 Tilfelle 5; Når tog A bremses litt elektrisk og tog B ikke trekker effekt

Dersom tog A bremses elektrisk (1 MW) og mater tilbake effekt til kontaktledningsnett og det ikke er andre tog i nærheten som har behov for effekten, går denne tilbake til matestasjonen. Tapene i kontaktledningen mellom tog A og matestasjonen dekkes av det som tog A mater tilbake. Matestasjonen mottar 0,99 MW. Situasjonen er illustrert i figur 2-6 og effektreknskapet finnes i tabell 2-5.



Figur 2-6: Enlinjeskjema for tilfelle 5 når tog A bremses litt elektrisk og tog B ikke trekker effekt.

Tabell 2-5: Effektrekneskap for tilfelle 5 når tog A bremses litt elektrisk og tog B ikke trekker effekt. Alle tall i MW.

Matestasjon			Tog A			Tog B		
Inn	Ut	Sum	Opptatt	Avlevert	Sum	Opptatt	Avlevert	Sum
0,00	-0,99	-0,99	0,00	-1,00	-1,00	0,00	0,00	0,00

2.7 Oppsummering

Av de fire tilfellene over ser en at effektflyten i nettet og dermed også hvor effekten som dekker kontaktledningstapene produseres varierer ut i fra hvilken situasjon en befinner seg i. Ut i fra de konstruerte tilfellene over kan en konkludere med at:

- All overføring av effekt mellom matestasjon og tog, mellom to tog og mellom tog og matestasjon fører til tap i kontaktledningen
- Tilbakemating kan i noen tilfeller føre til at kontaktledningstapene reduseres dersom det er andre tog i nærheten som har behov for effekten
- Tilbakemating kan i noen tilfeller føre til ekstra kontaktledningstap gjennom transport av effekten tilbake til matestasjonen

I virkelighetens verden kan en se for seg at disse tilfellene kan oppstå i ulik rekkefølge. Det vil si at tilfelle A kan være aktuell en gitt tid hvor tog A trekker effekt opp en bakke. Så går situasjonen over i 5 hvor deler av den opptatte energien leveres tilbake til matestasjonen eller til en annen matestasjon. Det vil si at tilbakemating kan føre til at energi som tidligere er tatt ut av en matestasjon delvis leveres tilbake til samme eller en annen matestasjon, altså en mellomlagring og transport av energi i tog.

Når det gjelder tilbakematet energi/effekt kan en sette opp følgende liste over hva denne energien går til:

- Opptas av andre tog
- Tapes i overføringen til andre tog
- Leveres tilbake til matestasjonene (det vil si nyttiggjøres ikke¹)
- Tapes i overføring tilbake til matestasjonene

¹ Se formel 3-11 og kapittel 4.1

3 METODER FOR BEREGNING AV KONTAKTLEDNINGSTAP

I ulike rapporter som behandler kontaktledningstap er det benyttet ulike metoder for beregning av både tapene i MW(h) og tapsprosenten. Disse metodene er gjengitt nedenfor sammen med forslag til en ny metode. Metodenummereringen har hull i rekken på grunn av forslag til metoder som er blitt forkastet på et tidlig stadium, men nummereringen er beholdt på grunn av sporbarhet.

3.1 Metode 1

Metode 1 ble benyttet i [1] under simulering av kontaktledningstapene i Oslo-området. Metoden var spesifisert i kontrakten for arbeidet som ble utført og er beskrevet i rapporten.

For beregning av tapene legges det til grunn nettoverdier (inn minus ut) for både matestasjoner, randsoner og tog som vist i formel 3-1 og kan derfor kalles nettometoden.

$$\begin{aligned} E_{kltap} &= (E_{innmat} - E_{utmat} + E_{innrand} - E_{utrand}) - (E_{opptatt} - E_{avlevert} + E_{tillegg}) \\ E_{kltap} &= (E_{mat} + E_{rand}) - (E_{tog} + E_{tillegg}) \end{aligned} \quad 3-1$$

For beregning av tapsprosenten legges fremdeles netto energi til grunn som vist i formel 3-2. Tapsprosenten relateres her i forhold til netto energi matet inn i systemet fra matestasjonene og i randsonene.

$$E_{kltap\%} = \frac{E_{kltap}}{E_{mat} + E_{rand}} \cdot 100[\%] \quad 3-2$$

Det er i [1] ikke tatt stilling til hvordan tapene skal legges til den energien som det enkelte tog bruker. En naturlig forlengelse av metoden vil i så henseende være som vist i formel 3-3. Tilbakematet energi godskrives fullt ut.

$$E_{forbruker} = \frac{E_{tillegg} + E_{tog}}{1 - \frac{E_{kltap\%}}{100[\%]}} \quad 3-3$$

3.2 Metode 3

Det er foreslått en metode som har til hensikt å få energiregnskapet for Jernbaneverket og togselskapene til å gå best mulig opp til slutt samtidig som den belaster de forbrukerne som etterspør energien. Av den grunn kan metoden gjerne kalles etterspørsel- og differansemetoden.

Tapene beregnes som differansen mellom det som er matet inn i systemet og det som er forbrukt slik som vist i formel 3-4. Utvekslingen av energi over randsonene trekkes fra/legges til netto og inngår ikke videre i beregningen.

$$E_{kltap} = (E_{innmat} + E_{rand}) - (E_{tog} + E_{tillegg}) \quad 3-4$$

Tapsprosenten beregnes ut i fra det som er etterspurt av energi som vist i formel 3-5 og refereres opptatt energi målt på hos forbruker.

$$E_{kltap\%} = \frac{E_{kltap}}{(E_{opptatt} + E_{tillegg})} \cdot 100[\%] \quad 3-5$$

For fordeling av kostnadene totalt har en lagt til grunn at forbruket belastes fullt ut samt at tapene legges på det som er etterspurt av energi som i formel 3-6. Metoden er nødt til å gi full inndekning av den energien som er levert inn i kontaktledningsanlegget siden nevneren i formel 3-5 er lik faktoren i formel 3-6 som tapsprosenten multipliseres med. Den gir full godskriving av tilbakematet energi.

$$E_{forbruket} = (E_{tog} + E_{tillegg}) + (E_{opptatt} + E_{tillegg}) \cdot \frac{E_{kltap\%}}{100[\%]} \quad 3-6$$

3.3 Metode 4

Metode 4 bygger på den metoden som i dag legges til grunn i energiavregningen anbefalt i [2]. Rapporten beskriver imidlertid ikke metoden gjennom formler slik at det er vanskelig å beskrive den i detalj. Hovedtrekkene er at metode 1 er lagt til grunn.

I [3] finner en at godtgjørelsen av tilbakematet energi på det sentrale østlandsområdet og Flåmsbanen er 100 %. k er for Ofofbanen er 0,70 og for resten av landet 0,91. Det er i [2] gjort beregninger og vurderinger for å ta ut lastflyt mellom matestasjonene på grunn av vinkel- og spenningsforskjeller av denne faktoren.

3.4 Metode 5

Det er her foreslått en ny metode for beregning og fordeling av kontaktledningstapene. Metoden tar utgangspunkt i den overordnede formelen for beregning av tapsprosenten gitt i [3] som vist i formel 3-7. Med kontaktledningen menes hele kontaktledningssystemet.

$$\frac{\text{Energi matet inn i kontaktledningen} - \text{Energi matet ut av kontaktledningen}}{\text{Energi matet inn i kontaktledningen}} \quad 3-7$$

Alle elementene i kraftsystemet (matestasjoner, tog, randsoner og tilleggslaster) betraktes som "sorte bokser" som kan ta energi ut fra eller levere energi inn i systemet. Ved å dekomponere formel 3-7 til størrelsene gitt i tabell 1-1 får en tapene som vist i formel 3-8 (som for øvrig er lik formel 3-1).

$$E_{kltap} = (E_{innmat} + E_{innrand} + E_{avlevert}) - (E_{utmat} + E_{opptatt} + E_{utrand} + E_{tillegg}) \quad 3-8$$

For beregning av tapsprosenten får en da formel 3-9 referert sum innmatet energi til systemet.

$$E_{kltap\%} = \frac{E_{kltap}}{(E_{innmat} + E_{innrand} + E_{avlevert})} \cdot 100[\%] \quad 3-9$$

Ved belastning av energiforbruket er det lagt til grunn at forbrukerne først betaler for den energien som er forbrukt, det vil si det som er opptatt og får godskrevet 100 % av det som mates tilbake. Derimot belastes forbrukerne for tap på den energien som en har etterspurt, altså $E_{opptatt}$. Dette er vist i formel 3-10.

$$E_{\text{forbruker}} = (E_{\text{tog}} + E_{\text{tillegg}}) + (E_{\text{opptatt}} + E_{\text{tillegg}}) \cdot \left(\frac{1}{1 - \frac{E_{\text{kltap\%}}}{100[\%]}} - 1 \right) \quad 3-10$$

Formel 3-10 kan, og vil i de aller fleste tilfeller, gi et gap mellom den energien som er levert inn i systemet fra matestasjonene og den energien som det betales for ettersom alt som mates tilbake blir godskrevet, men ikke nødvendigvis opptatt (se kapittel 2.5 og 2.6) av andre forbrukere. Gapet går begge veier og gi både under- eller overdekning.

Under antakelse av tapene i kontaktledning som går med til å transportere energien fra tog som mater tilbake til matestasjon går opp i opp med de reduserte tapene gitt av kortere avstand ved tog som mater et annet tog enn mating fra matestasjon, kan en si at den energien som ikke nyttiggjøres er lik den energien som mates tilbake i matestasjonene. Altså som i formel 3-11.

$$E_{\text{ikkenyttiggjort}} = E_{\text{utmat}} \quad 3-11$$

En kan via formel 3-12 finne en andel av den tilbakematede energien som finner veien tilbake til matestasjonene.

$$E_{\text{ikkenyttiggjort\%}} = \frac{E_{\text{ikkenyttiggjort}}}{E_{\text{avlevert}}} \cdot 100[\%] \quad 3-12$$

Energien som mates tilbake til matestasjonen kan i de fleste tilfellene ikke nyttiggjøres av Jernbaneverket eller togselskap. I noen tilfeller forbrenner de statiske omformeraggregatene opp denne energien i bremsemotstander. For roterende omformeraggregater leveres energien tilbake til det matende trefasenettet justert for tapene i matestasjonen. Det har ikke vært praksis at Jernbaneverket får godskrevet denne tilbakeleverte energien fra de lokale everkene. For å kompensere for dette kan tog som mater tilbake bare godskrives en viss andel av den tilbakematede energien som kan nyttiggjøres. Dette kan justeres med et ekstra ledd i formel 3-12 og gir en ny formel 3-13.

$$E_{\text{forbruker}} = (E_{\text{tog}} + E_{\text{tillegg}}) + (E_{\text{opptatt}} + E_{\text{tillegg}}) \cdot \left(\frac{1}{1 - E_{\text{kltap\%}}} - 1 \right) + \left(E_{\text{avlevert}} \cdot \frac{E_{\text{ikkenyttiggjort\%}}}{100[\%]} \right) \quad 3-13$$

Alternativt til antakelsen i avsnittene over kan finne en tapsprosent på den tilbakematede energien. En må da utføre ekstra simuleringer hvor tilbakematingen ikke implementeres i modellene mens resten er helt identisk. Tapsprosenten på den tilbakematede/avleverte energien kan finnes ved formel 3-14 og refereres strømvaktaker. For opptatt energi må tapsprosenten da beregnes på nytt igjen ved hjelp av formel 3-15. Om ikke annet er oppgitt skal tallene fra simulering/måling med tilbakemating benyttes.

$$E_{\text{kltap\% pa avlevert energi}} = \frac{E_{\text{kltap med tilbakemating}} - E_{\text{kltap uten tilbakemating}}}{E_{\text{avlevert med tilbakemating}}} \quad 3-14$$

$$E_{kltap\% \text{ p\aa_opptatt_energi}} = \frac{E_{kltap} - (E_{kltap_med_tilbakemating} - E_{kltap_uten_tilbakemating})}{(E_{innmat} + E_{innrand} + E_{avlevert})} \cdot 100[\%] \quad 3-15$$

Ny formel for belastning av energien blir da som vist i 3-16 under. Dersom en også skal belaste for ikke nyttiggjort tilbakematet energi må siste ledd i formel 3-13 legges til.

$$E_{forbru\ ker} = (E_{tog} + E_{tillegg}) + (E_{opptatt} + E_{tillegg}) \cdot \left(\frac{1}{1 - \frac{E_{kltap\% \text{ p\aa_opptatt_energi}}}{100[\%]}} - 1 \right) + \left(E_{avlevert} \cdot \frac{E_{kltap\% \text{ p\aa_avlevert_ener.}}}{100[\%]} \right) \quad 3-16$$

3.5 Sammenligning av metodene

3.5.1 Tenkte tilfeller

Tap, tapsprosent og hva forbrukerne belastes i de ulike tenkte tilfellene er beregnet i vedlegg 1. En har funnet at det er liten forskjell mellom metodene for de tre første tilfellene (kapittel 2), mens metodene faller igjennom når det gjelder å beregne for tilfellene 4 og 5 hvor tilbakematingen er stor eller dominerende.

En registrerer at metode 1 og 3 godskriver all den tilbakematede energien ved å enten si at det totale energibehovet er negativt (energi levert tilbake til matestasjonene) eller ved å øke det belastede energiforbruket til tog som ikke mater tilbake.

Når tilbakematingen blir større enn effektbehovet gir også metode 5 godskriving som gjør at Jernbaneverket må betale for noe av den tilbakematede energien. Samtidig ser en at tilbakematingen i tilfelle 2 og 4 fører til at tog B får redusert sin energiregning.

3.5.2 Eksempel Dovrebanen - totalregnskap

I hovedrapportens vedlegg 3 er det utført simuleringer med trafikk i 24 timer på ulike deler av det statlige jernbanenettet. Som en sammenligning av de ulike metodene med mer realistiske verdier har en valgt å eksemplifisere ved hjelp av simulering Dovrebanen0-6.

Simuleringen Dovrebanen0-6 tar for seg Dovrebanen nord for Eidsvoll, men uten randsonelaster. Det er 24 timer med dagens trafikk. Omformerstasjonene er erstattet med stive spenningskilder på 16,5 kV uten fasevinkelforskjell. Det gjør at simuleringen er mest mulig uten "forstyrrende" tomgangslastflyt. Til sammen er det 69 tog i trafikk dette døgnet.

I simuleringen finner en energiregnskap for hele døgnet som vist i tabell 3-1. En ser at det er matet inn i kontaktledningsanlegget 274 MWh, mens forbruket kun har vært 256 MWh (Tillegg pluss tog). Det er også tilbakematet 16 MWh, hvorav 8 av disse er gått ut av systemet i via matestasjonene.

Tabell 3-1: Energiregnskap for ett døgn på Dovrebanen. Alle tall i MWh.

Periode	Matestasjoner			Tillegg	Randsoner			Tog		
	Inn	Ut	Sum	Sum	Inn	Ut	Sum	Opptatt	Avlevert	Forbrukt
Sum	273,55	-8,22	265,32	5,36	0,00	0,00	0,00	266,93	-16,25	250,68

På bakgrunn av dette beregner en tap, tapsprosent og hva forbrukerne belastes for totalt samt hvor mye av energien som Jernbaneverket kjøper som faktureres videre. Utregningen tar ikke hensyn til eventuelle differensierte tapssetter på grunn av traksjonsmaterieell, tid på døgnet, trafikk osv. For metode 5 er det lagt til grunn den justerte formelen for belastning av ikke nyttiggjort tilbakematet effekt (3-13). Resultatene er vist i tabell 3-2.

Tabell 3-2: Sammenligning av størrelser for de ulike metodene for et døgn på Dovrebanen.

Metode	[nr]	1	3	5
Tap	[MWh]	9,28	17,50	9,28
Tapsprosent	[%]	3,50	6,43	3,20
Forbruker	[MWh]	265,32	273,55	273,27
Inndekning	[%]	96,99	100,00	99,90

En ser at både tapene i seg selv og tapsprosenten varierer alt etter hvordan disse er definert. En ser også at det er skille mellom hvor mye energi Jernbaneverket får dekket inn gjennom viderefakturering i forhold til det som blir kjøpt inn fra lokale elektrisitetsverk. Ikke uventet gir metode 3 100 % inndekning, men også metode 5 gir god balanse. Slik det praktiseres i dag vil en slik differanse gi en korreksjonsfaktor som fordeles likt på alle forbrukerne.

For enkelte timer med metode 5 på Ofotbanen finnes situasjoner det bare er tog i drift og hvor det ikke er andre tog til å ta opp den tilbakematede energien. Dette gjør at tapene og tapsprosenten blir negativ.

For metode 5 er den ikke nyttiggjorte energien funnet til 50,61 % av det som avleveres fra tog. Uten kompensering for dette ville inndekningen blitt 96,9 %.

3.5.3 Eksempel avregning tog på Dovrebanen

Fra simuleringen (Dovrebanen0-6) utført i hovedrapportens vedlegg 3 er det hentet ut målt energi, både opptatt og avgitt, for to tog; et persontog med motorvognsett tp73 og et godstog trukket av E114. For å se hvaslags utslag de ulike metodene har å si når en ser på et enkelt tog, er det som togselskapene må betale beregnet.

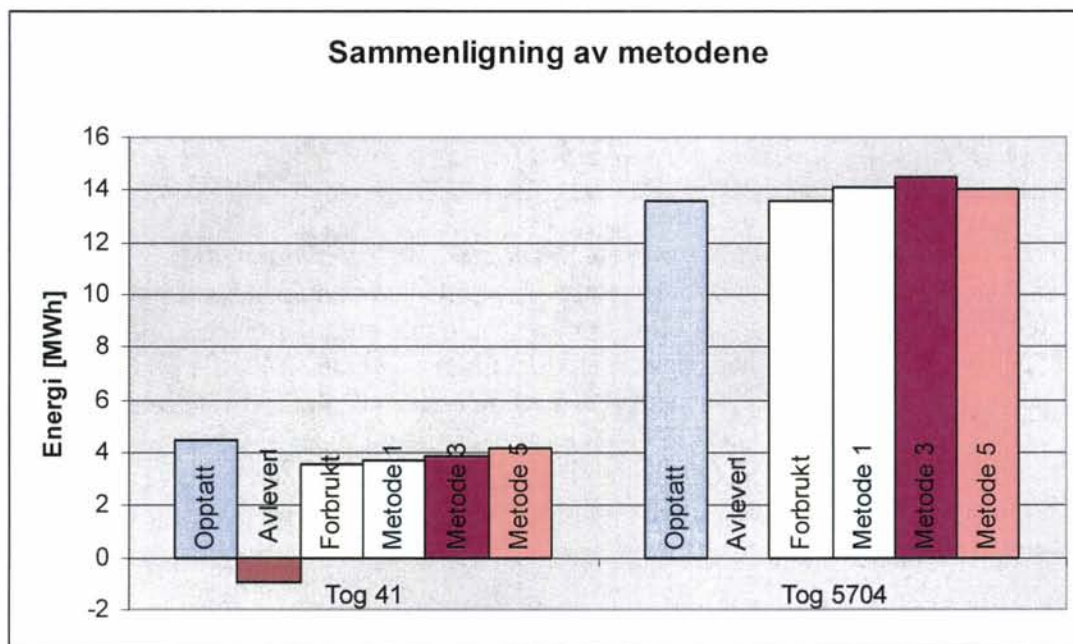
Det er i beregningen lagt til grunn ikke nyttiggjort tilbakematet energi for metode 5 lik 50,61 % som funnet over. Ellers er det lagt til grunn tapsprosent for de ulike metodene som funnet over og det er ikke differensiert på denne i forhold til forskjellig type trekkraft og trafikk.

Energiregnskapet for de to togene er vist i tabell 3-3. En ser at godstoget ikke mater tilbake energi på grunn av lokomotivtypen, mens persontogget mater tilbake 20 % av det det opptar. I tabellen er også vist hva forbrukerne belastes for av energi når en legger de ulike metodene til grunn. Tabellen er illustrert i figur 3-1.

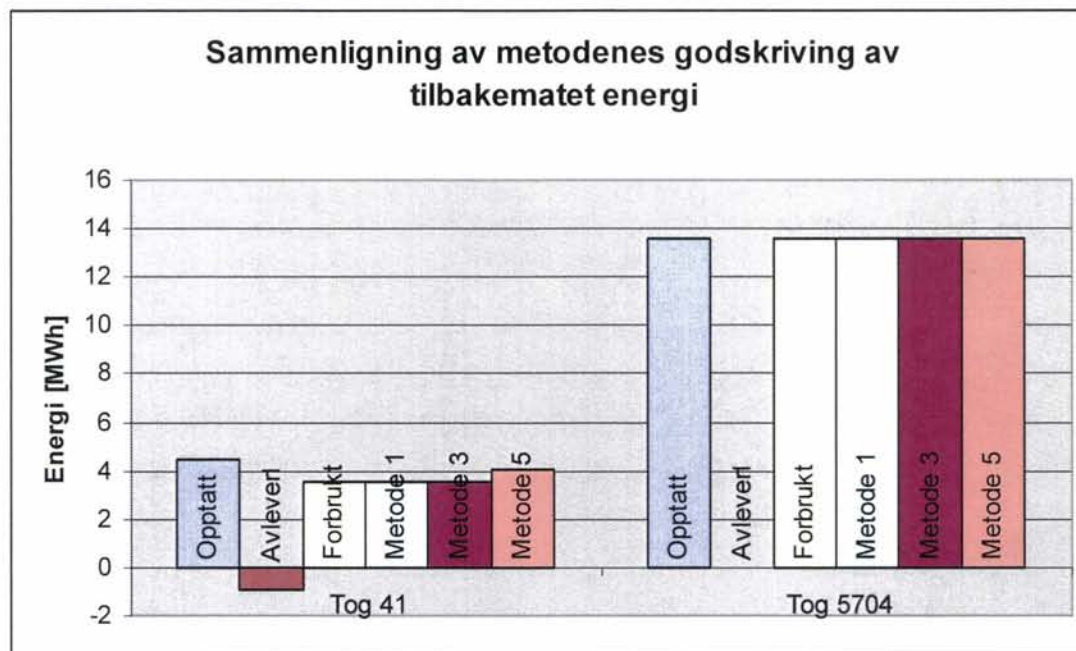
Tabell 3-3: Eksempel på energiavregning av to tog på Dovrebanen. Alle tall i MWh.

Tog	Opptatt energi	Avlevert energi	Forbrukt energi	Forbruker metode 1	Forbruker metode 3	Forbruker metode 5
41 (Tp73)	4,48	-0,91	3,57	3,70	3,86	4,18
5704 (EI14 900t)	13,60	0,00	13,60	14,09	14,47	14,05

En ser at forskjellene er relativt store. For godstoget uten tilbakemating ser en i figur 3-1 hvordan de ulike tapsprosentene virker inn på hva forbrukerne belastes, og det følger tabell 3-3 slavisk. En ser ikke de samme tendensene for persontoget som mater tilbake. Sammenligning av de ulike metodene i forhold til hvordan den tilbakematede energien godtgjøres er vist i figur 3-2 og er gjort ved å sette tapsprosenten til 0. Metode 1 og 3 er like og lavest, mens metode 5 er høyest, det vil si godtgjør minst av den tilbakematede energien.



Figur 3-1: Sammenligning av opptatt, avlevert og forbrukt energi i forhold til hva forbrukerne må betale med de ulike metodene.



Figur 3-2: Sammenligning av metodenes godskrivning av tilbakematet energi.

3.6 Vurdering av metodene

Egenskapene til de fire metodene er på bakgrunn av det en ser i denne undersøkelsen kort beskrevet i tabell 3-4 i forhold til kravene som en stiller til beregnings- og avregningsmetodene i avsnitt 1.2. Felles for alle metodene er at de i utgangspunktet bygger på en eller to faste parametre der en av dem er tapsprosenten. Det er også forskjell på hvordan den tilbakematede energien godskrives. Alle metodene er mulige å benytte ved simuleringer i SIMPOW/SIMTRAC og alle metodene er det mulig å implementere i ny energiavregningssentral.

Hvor fleksibel og ikke-prematur metoden er, vil imidlertid være avhengig av to forhold:

- Hvor mye en vektlegger de andre kravene i forhold til dette.
- Hvor mye en skal ta stilling til nå; skal en bestemme metodikk for fordeling av kostnadene går en lenger enn bare å bestemme metodikk for beregning av selve tapene.

De viktige størrelsene/faktorene i denne sammenheng er

- tapene i seg selv,
- tapsprosenten og
- behandlingen av tilbakematet energi i tillegg til
- effektflyt mellom matestasjonene på grunn av spenningsvinkelforskjeller.

Alle metodene synliggjør tapene og tapsprosenten, men bare noen av dem den tilbakematede energien. Virkningen av effektflyten mellom stasjonene klarer ingen av dem å synliggjøre.

Tabell 3-4: Vurdering av de ulike metodene. Kriteriene i grå skrift vektlegges ikke da det faller utenfor mandatet til dette arbeidet.

Kriterium	Metode 1	Metode 3	Metode 4	Metode 5
Robust i forhold til endringer i ruteplan og rullende materiell (spesielt tilbakemating)	Krever tapsprosent som fast parameter	Krever tapsprosent som fast parameter	Krever en fast parameter i tillegg til tapsprosenten; virkningsgrad for nyttiggjort tilbakematet energi	Krever en fast parameter i tillegg til tapsprosenten; prosent ikke nyttiggjort tilbakematet energi
Rettferdig fordeling mellom forbrukerne	Nei, godskrives 100 % av tilbakematet energi ved at JBV går i minus	Nei, godskrives 100 % av tilbakematet energi ved at tog uten tilbakemating må betale ikke nyttiggjort energi	Bygger på en tidligere beregnet virkningsgrad som i tilfellet bør finnes på ny	Godskrives grovt den tilbakematede energien som kartlegges i denne studien
Korrekt inndekning for Jernbaneverket	Nei	Ja	Nei	Ja, tilnærmet
Mulig å benytte i forbindelse med SIMPOW/SIMTRAC	Ja	Ja	Ja, ytterligere simuleringer nødvendig	Ja
Mulig å implementere i ny energiavregningsentral	Ja	Ja	Ja	Ja
Fleksibel og ikke-prematur	Ja, men noe avhengig av om en ser på forbruker belastet eller ikke	Ja, men noe avhengig av om en ser på forbruker belastet eller ikke	Ja, men noe avhengig av om en ser på forbruker belastet eller ikke	Ja, men noe avhengig av om en ser på forbruker belastet eller ikke
Synliggjøre viktige størrelser og faktorer	Nei, skiller ikke ut tilbakematet energi og effektflyt mellom matestasjonene	Nei, skiller ikke ut tilbakematet energi og effektflyt mellom matestasjonene	Ikke effektflyt mellom matestasjonene	Ikke effektflyt mellom matestasjonene
Annet			Formelverk/dokumentasjon mangler	Baseres på antakelse om at tapene ved mating fra tog til tog oppveier økte tap i tilbakemating fra tog til matestasjon og at tilbakemating er årsak til all energien som flyter ut av systemet og inn i matestasjonene

4 DISKUSJON OG KONKLUSJON

4.1 Diskusjon

Denne rapporten og underutredningen tar for seg 4 ulike metoder for å beregne energitap og tapsprosent for kontaktledningsnett og videre hvordan en skal fordele tapskostnadene på en ikke-diskriminerende måte. To av metodene er benyttet tidligere og de to andre er forslag til nye.

Problematikken rundt beregning og fordeling av tapene i jernbanen er større enn i andre kraftnett på grunn av tog som mater tilbake energi. Noe av denne energien opptas av andre tog og noe går tilbake til matestasjonene. Per i dag får Jernbaneverket ikke godtgjort energi matet tilbake til det matende trefasenettet. Dersom Jernbaneverket ikke skal dekke dette selv, må kostnaden med denne tilbakematede energien dekkes av togselskapene. Politikken i å finne en metode i denne rapporten har vært at tog som mater tilbake skal få godtgjort den energien som kan brukes av andre tog, men må betale for det som er kjøpt inn og som ikke brukes.

Metode 5 slik den er beskrevet foran legger til grunn at all energien som går ut av kontaktledningssystemet til matestasjonene (ikke nyttiggjort energi) skyldes tilbakemating. Det er gjerne ikke helt korrekt ettersom noe av denne energien er utveksling mellom stasjonene på grunn av spenningsvinkelforskjeller. Det er derfor ikke helt riktig at tog som mater tilbake skal belastes for alt dette samtidig som tog som ikke mater tilbake ikke belastes i det hele tatt.

I utgangspunktet kan metodene være statiske. Det vil si at en finner en fast tapsprosent og legger den fast til grunn, eventuelt justert opp og ned i forhold til trekkraftmateriell, trafikk og tidspunkt (se hovedrapportens vedlegg 3 og 4 for variasjoner). Tilsvarende må gjøres med proSENTSATS for ikke nyttiggjort energi i metode 5. Dette vil forholdsvis lett kunne implementeres i ny energiavregningssentral, men med endringer i trafikken eller trekkraften som påvirker tapene, så må en finne nye proSENTSATS og legge disse inn dersom totalen skal bli riktig. Ingen av metodene er spesielt robuste i forhold til dette så lenge en legger til grunn simuleringer med gitte "case". Men det har også noe å si hvordan en velger og har mulighet til å benytte den nye energiavregningssentralen.

En løsning på det kan være at en gjør miniavregninger for eksempel hver time. Det forutsetter at det rapporteres inn opptatt og avlevert energi samt posisjon fra alle tog med en gitt oppløsning. Og slik en forstår det, er dette planlagt. Samtidig må en ha innmatet og utmatet energi fra matestasjonene med samme oppløsning. Tilleggsforbruk som togvarme, sporvekselvarme og så videre må antas som et årsgjennomsnitt slik som i energiavregningen i dag, alternativt en profil for forbruket over døgnet/året. Da vil en på samme måte som i simuleringer i SIMPOW/SIMTRAC kunne regne ut spesifikk tapsprosent for aktuell periode samt nyttiggjort energi for metode 5.

Det ser ikke ut som om kriteriene om robusthet og muligheter i forbindelse med simulering i SIMPOW/SIMTRAC og i ny energiavregningssentral differensierer de ulike metodene mye. Metodene er imidlertid ikke like når det gjelder rettferdig fordeling mellom togselskapene og at Jernbaneverket får dekket inn den energien som kjøpes inn fra lokale elektrisitetsverk. Men å vurdere metodene ut i fra dette "fordelings"-kriteriet gjør gjerne at en trekker unødvendige konklusjoner før en egentlig må og dermed reduserer oppnåelsen av kriteriet om fleksibilitet og ikke-prematur metodikk. Så lenge det er tapenes størrelse og variasjoner og ikke fordelingen mellom togselskapene og Jernbaneverket ikke er mandat i dette arbeidet her,

velger en å se bort i fra denne størrelsen. Dette vil sannsynligvis være tema i senere diskusjoner og utredninger. Strengt tatt har dette da ikke noe å gjøre i denne underutredningen, men er likevel tatt med for å synliggjøre problemstillingene.

Når en i metode 5 omtaler energien som mates tilbake til matestasjonene som ikke nyttiggjort, så er dette bare riktig med visse modifikasjoner. Selv om Jernbaneverket per i dag ikke får refundert energien som leveres tilbake fra omformerstasjonene til lokale trefasenett, så er det likevel noe nytte i denne energitransporten gjennom at det er denne energien som dekker deler av eller hele tomgangstapene i omformerne. Denne dekningen reduserer det som eventuelt måtte vært kjøpt inn fra trefasenettet for å dekke omformere som likevel går i tomgang. Det er gjerne sannsynlig at en har omformere som går i tomgang når tog mater tilbake og denne energien ikke opptas av tog i nærheten. Denne nyttige energien er tatt hensyn til i måten tapene i omformerstasjonene er målt på i [4]. En må ikke glemme at tapskostnadene som beregnes og fordeles gjelder for hele Jernbaneverket sitt nett, det vil si både matestasjoner, fjernledning og kontaktledning, selv om en studerer kontaktledningstapene spesielt i dette arbeidet.

Et argument for metode 5 som det er vanskelig å ignorere er at den definerer tapene og tapsprosenten slik som Jernbaneverket har lovet i [3] og slik som tap normalt defineres energiforsyningen.

Når det gjelder å få energiregnskapet til å gå opp til slutt er det ikke bare avhengig av metoden, men også av om og hvordan en benytter differensiering av tapssatsene og kanskje også godtgjørelsen av tilbakematet energi for ulike typer materiell og trafikk. En vil sannsynligvis også i fremtiden ha behov for å benytte en korreksjonsfaktor for å få det totale energiregnskapet til å gå opp.

4.2 Konklusjon

I denne underutredningen er det studert og vurdert ulike metoder for beregning av kontaktledningstapene opp i mot kriterier som robusthet, ikkediskriminerende fordeling, inndekning av innkjøpt energi, muligheter, fleksibilitet og synliggjøring av viktige faktorer og størrelser. Mandatet for arbeidet er å synliggjøre kontaktledningstapenes størrelse, variasjoner og faktorer slik at en har valgt å ikke vektlegge kriteriene i fordeling og inndekning.

To av de fire metodene er benyttet tidligere i andre utredninger/arbeider, og to av dem er forslag til nye. Ingen av metodene er perfekte, men det ene forslaget til metode, metode 5, utpeker seg til å tilfredsstillende kriteriene best. Metoden tar utgangspunkt i å betrakte alle tog, matestasjoner og randsoner som "sorte bokser" som leverer inn og tar ut energi i/fra kontaktledningen. Denne metoden definerer tapene og tapsprosenten slik som avtalt mellom Jernbaneverket og togselskapene og slik som tap normalt defineres energiforsyningen.

5 KILDER OG REFERANSEDOKUMENTER

- [1] Jernbaneverket Utbygging Prosjekttjenester på oppdrag fra Jernbaneverket Infrastruktur, *Simulering av kontaktledningstap i Oslo-området*, utgitt 2004-01-16, prosjektnummer 292454, saksnummer 04/234 SJU 145
- [2] BanePartner på oppdrag for Bane Energi, *Beregning og anbefaling av forbrukstall til bruk i energiavregning – August 2002*, utgitt 2002-07-24, prosjektnummer 199883, saksnummer 01/06331 JI 760
- [3] Jernbaneverket, *Fordeling av energikostnader 16 2/3 Hz energi - Jernbaneverkets standardvilkår for avregning av 16 2/3 Hz energi*, 2004-05-04
- [4] Jernbaneverket Utbygging Prosjekttjenester på oppdrag fra Jernbaneverket Infrastruktur Teknisk Premiss og utvikling Elkraft, *Utredning av virkningsgrad for matestasjoner og fjernledning*, 2004-03-03, prosjekt nummer 760036, saksnummer 04/234 SJU 145

6 VEDLEGG

Vedlegg 1 Utregning av tap i tenkte tilfeller med de ulike metodene

VEDLEGG 1 UTREGNING AV TAP I TENKTE TILFELLER MED DE ULIKE METODENE

Case	Matestasjoner			Tog A			Tog B		
	Innmat	Utmat	Mat	Opptatt	Avlevert	Tog	Opptatt	Avlevert	Tog
1	7,85	0	7,85	5	0	5	2	0	2
2	1,09	0	1,09	0	-1	-1	2	0	2
3	2,13	0	2,13	0	0	0	2	0	2
4	0	-1,89	-1,9	0	-4	-4	2	0	2
5	0	-0,99	-1	0	-0,99	-1	0	0	0

Metode 1		
Case	Tap	Tap%
1	0,85	10,8 %
2	0,09	8,3 %
3	0,13	6,1 %
4	0,11	-5,8 %
5	0	0,0 %

Tog A	Tog B	Forbruker	Inndekning
Belaster	Belaster	Belaster	JBV
5,61	2,24	7,85	100 %
-1,09	2,18	1,09	100 %
0,00	2,13	2,13	100 %
-3,78	1,89	-1,89	#DIV/0!
-0,99	0,00	-0,99	#DIV/0!

Metode 3		
Case	Tap	Tap%
1	0,85	12,1 %
2	0,09	4,5 %
3	0,13	6,5 %
4	2	100,0 %
5	0,99	#DIV/0!

Tog A	Tog B	Forbruker	Inndekning
Belaster	Belaster	Belaster	JBV
5,61	2,24	7,85	100 %
-1,00	2,09	1,09	100 %
0,00	2,13	2,13	100 %
-4,00	4,00	0,00	#DIV/0!
#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!

Metode 5			Ikke nyttiggjort energi		Tog A	Tog B	Forbruker	Inndekning
Case	Tap	Tap%	energi	%	Belaster	Belaster	Belaster	JBV
1	0,85	10,8 %	0	0,0 %	5,61	2,24	7,85	100 %
2	0,09	4,3 %	0	0,0 %	-1,00	2,09	1,09	100 %
3	0,13	6,1 %	0	0,0 %	0,00	2,13	2,13	100 %
4	0,11	2,8 %	1,89	47,3 %	-2,11	2,06	-0,05	#DIV/0!
5	0	0,0 %	0,99	100,0 %	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!

SIMULERING AV KONTAKTLEDNINGSTAP

Underutredning til prosjektet "Utredning av kontaktledningstap"

For å få mer kunnskap om kontaktledningstapenes størrelse og variasjoner er det valgt å simulere de ulike banestrekningene (Bergensbanen, Dovrebanen, Ofofbanen og Sørlands- og Vestfoldbanen) et representativt døgn (24 timer) i dataprogramverktøyene SIMPOW/SIMTRAC. En forsøker å etterligne dagens situasjon så mye som mulig med tanke på infrastruktur (matestasjoner, kontaktledningsanlegg, vertikalkurvatur og hastighetsskilting) og trafikk (ruteplan, togvekter, trekraft).

Simuleringene viser at som døgngjennomsnitt for en virkedag med normal togtrafikk etter dagens ruteplaner så er tapene for Oslo-området 3,8 % av innmatet energi i kontaktledningen. Tilsvarende er tapene 8,7 % for Bergensbanen, 6,3 % for Dovrebanen, 3,8 % for Ofofbanen og 6,5 % for Sørlands- og Vestfoldbanen. Det er da lagt til grunn typisk årsgjennomsnittlig forbruk for energiforbruket.

Det er gjennom simuleringer funnet at endringer i infrastrukturen som spenningskarakteristikk for de roterende omformerne, utkobling av kraftstasjoner med konstant produksjon av aktiv effekt, endring i vinkler og spenninger i trefasenett, og endringer i kontaktledningsimpedans fører til relativt små endringer i de gjennomsnittlige tapene over driftsdøgnet. De endringene i trafikken som er utført i simuleringene her viser bare mindre variasjoner i kontaktledningstapene med unntak av når det innføres større andel av tog med mulighet for tilbakemating gjennom nettbrems. Da ser det ut som om tapene øker både i Oslo-området og på Dovrebanen

Det er ikke tydelige variasjoner i tapsprosenten for kontaktledningen gjennom driftsdøgnet. Kontaktledningstapene øker i størrelse når antall tog og forbrukt energi øker, men det kan samtidig se ut som om tapsprosenten synker noe.

000	Utgitt	29.04.05	SD	FM	TJA	
Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Utarb. av	Kontr. av	Godkj. av	
Simulering av kontaktledningstap		Ant. sider	Emneord	SIMTRAC		
		68	Emneord	Energiavregning		
		Produsent	Utbygging prosjektjenester			
		Prod. dok. nr.	Prosjekt 760253			
		Erstatning for				
Prosjektet "Utredning av kontaktledningstap"		Erstattet av				
		Dokument nr.		Rev.		
 Jernbaneverket						
				000		

1	INNLEDNING.....	5
1.1	BAKGRUNN	5
1.2	METODIKK	5
1.3	MÅLSETTING	5
1.4	AVGRENSNINGER OG FORUTSETNINGER	5
1.5	TERMINOLOGI	5
2	SIMULERINGSMODELLENE	6
2.1	FELLES INNDATA	6
2.1.1	Ruteplan.....	6
2.1.2	Togsammensetning	6
2.1.3	Tilleggsuttak rullende materiell.....	6
2.1.4	Kontaktledningsimpedans.....	7
2.1.5	Områdeavgrensning	7
2.1.6	Matestasjoner	7
2.1.7	Tilleggsbelastninger	7
2.1.8	Overliggende trefasenett.....	7
2.1.9	Infrastruktur forøvrig.....	7
2.1.10	Simuleringstid.....	8
2.2	MODELL BERGENSBANEN	8
2.2.1	Områdeavgrensning	8
2.2.2	Ruteplan.....	8
2.2.3	Matestasjoner	8
2.2.4	Tilleggsbelastninger	8
2.3	MODELL DOVREBANEN.....	8
2.3.1	Områdeavgrensning	8
2.3.2	Ruteplan.....	8
2.3.3	Matestasjoner	9
2.3.4	Tilleggsbelastninger	9
2.4	MODELL SØRLANDS- OG VESTFOLDBANEN.....	9
2.4.1	Områdeavgrensning	9
2.4.2	Ruteplan.....	9
2.4.3	Matestasjoner	10
2.4.4	Tilleggsbelastninger	10
2.5	MODELL OFOTBANEN	10
2.5.1	Områdeavgrensning	10
2.5.2	Kontaktledning og mateledninger.....	11
2.5.3	Ruteplan og trekkraft.....	12
2.5.4	Matestasjoner	13
2.5.5	Overliggende trefasenett.....	13
2.5.6	Tilleggsbelastninger	13
2.6	MODELL OSLO-OMRÅDET	13
2.7	MODELLER I TOMGANG	13
3	SIMULERINGSRESULTATER	15
3.1	OVERSIKT OVER SIMULERINGSTILFELLER	15
3.2	SPESIFIKKE SIMULERINGSRESULTATER	16
3.2.1	Trafikksimuleringer	16
3.2.2	Tomgang.....	17
3.3	BERGENSBANEN	17
3.3.1	Totale tap over driftsdøgnet.....	17
3.3.2	Variasjon gjennom driftsdøgnet.....	18
3.3.3	Tomgang.....	18
3.4	DOVREBANEN	19
3.4.1	Totale tap over driftsdøgnet.....	19
3.4.2	Variasjon gjennom driftsdøgnet.....	20
3.4.3	Tomgang.....	22
3.5	SØRLANDS- OG VESTFOLDBANEN	22

3.5.1	Totalt tap over driftsdøgnet.....	22
3.5.2	Variasjon gjennom driftsdøgnet.....	22
3.5.3	Tomgang.....	23
3.6	OFOTBANEN.....	23
3.6.1	Totalt tap over driftsdøgnet.....	24
3.6.2	Variasjon gjennom driftsdøgnet.....	24
3.6.3	Variasjon ut fra dominerende trekkraft i malmtog	25
3.6.4	Tomgangstap	26
3.7	OSLO-OMRÅDET	27
3.7.1	Totalt tap over driftsdøgnet.....	27
3.7.2	Variasjon gjennom driftsdøgnet.....	27
3.7.3	Tomgangstap	28
3.8	SAMMENLIGNING ALLE STREKNINGER.....	28
3.8.1	Totalt tap over driftsdøgnet.....	28
3.8.2	Variasjon gjennom driftsdøgnet.....	29
3.8.3	Variasjon i forhold til antall tog.....	30
3.8.4	Variasjon i forhold til levert energi per time.....	31
3.8.5	Marginalendringer	33
4	DISKUSJON OG KONKLUSJON.....	34
4.1	DISKUSJON AV METODIKK OG MODELLERING.....	34
4.1.1	Valg av simuleringsdag	34
4.1.2	Avgrensning av simuleringsområdet og modellering av randsonen.....	35
4.1.3	Bruk av E115 framfor Dm3 i malmtog	35
4.1.4	Modellering av trinnkopplerlokomotiver.....	36
4.1.5	Statiske omformerstasjoners behandling av tilbakematet effekt	36
4.1.6	Overharmoniske strømmer	37
4.1.7	Modellering av horisontalkurvatur.....	37
4.1.8	Inndata for togmodeller	38
4.1.9	Avvik fra normal ruteplan.....	38
4.1.10	Avvik fra togsammensetning i normal turneringsplan for persontog.....	38
4.1.11	Avvik fra antatt togvekt for godstog.....	38
4.1.12	Avvikende adhesjon.....	38
4.1.13	Kjøremønster.....	39
4.1.14	Tilleggslaste.....	39
4.1.15	Spenninger og vinkler i trefasenettet.....	39
4.1.16	Start og stopp av matestasjoner	39
4.1.17	Sannsynligheten for korrekt etterligning av situasjonen.....	40
4.1.18	Numeriske forhold.....	40
4.2	VURDERING AV SIMULERINGSRESULTATENE.....	40
4.2.1	Bergensbanen	40
4.2.2	Dovrebanen	41
4.2.3	Ofofbanen	41
4.2.4	Sørlands- og Vestfoldbanen.....	42
4.2.5	Oslo-området.....	42
4.2.6	Variasjon mellom banestrekningene.....	42
4.2.7	Variasjon gjennom døgnet.....	43
4.2.8	Variasjon gjennom uka.....	43
4.2.9	Variasjon gjennom året	44
4.2.10	Robusthet	44
4.3	KONKLUSJON	45
5	KILDER OG REFERANSEDOKUMENTER.....	47
6	VEDLEGG.....	48
	VEDLEGG 1 STATISTIKK FOR TOGTRAFIKKEN GJENNOM DRIFTSDØGNET	49
	BERGENSBANEN	49
	DOVREBANEN.....	50
	SØRLANDS- OG VESTFOLDBANEN.....	51
	VEDLEGG 2 OVERSIKT OVER TOGMODELLER.....	52

VEDLEGG 3 KONTAKTLEDNINGSIMPEDANS	54
VEDLEGG 4 KJØREPLAN MATESTASJONER	57
VEDLEGG 5 SIMULERINGSRESULTATER	58
BERGENSBANEN	58
<i>Bergensbanen0</i>	58
<i>Bergensbanen0-1</i>	58
<i>Bergensbanen0-2</i>	59
DOVREBANEN.....	59
<i>Dovrebanen0</i>	59
<i>Dovrebanen0-1</i>	60
<i>Dovrebanen0-2</i>	60
<i>Dovrebanen0-4</i>	61
<i>Dovrebanen0-5</i>	61
<i>Dovrebanen0-6</i>	62
<i>Dovrebanen0-7</i>	62
<i>Dovrebanen0-8</i>	63
<i>Dovrebanen1</i>	63
<i>Dovrebanen2</i>	64
<i>Dovrebanen3</i>	64
<i>Dovrebanen3-1</i>	65
SØRLANDS- OG VESTFOLDBANEN.....	65
<i>Sørlandsbanen0</i>	65
OFOTBANEN	66
<i>Ofofbanen0</i>	66
<i>Ofofbanen1</i>	66
OSLO-OMRÅDET	67
<i>Oslo0</i>	67
<i>Oslo1</i>	67
<i>Oslo1-1</i>	67
VEDLEGG 6 KURVER FOR ENERGI GJENNOM DRIFTSDØGNET	68

1 INNLEDNING

1.1 Bakgrunn

Jernbaneverket har ansvaret for en korrekt fordeling av kostnadene til energi som kjøpes inn og leveres til kontaktledningsnett. De største forbrukerne er togselskapene gjennom togframføring og oppvarming av hensatt rullende materiell. Nytt regime for fordeling av energikostnadene er under utarbeidelse, og i den forbindelse ønsker Jernbaneverket og togselskapene mer kunnskap om energitapene i kontaktledningen og hvordan disse varierer.

1.2 Metodikk

For å få mer kunnskap om kontaktledningstapenes størrelse og variasjoner er det valgt å simulere de ulike banestrekningene (Bergensbanen, Dovrebanen, Ofotbanen og Sørlands- og Vestfoldbanen) et representativt døgn (24 timer) i dataprogramverktøyene SIMPOW/SIMTRAC. En forsøker å etterligne dagens situasjon så mye som mulig med tanke på infrastruktur (matestasjoner, kontaktledningsanlegg, vertikalkurvatur og hastighetsskilting) og trafikk (ruteplan, togvekter, trekraft). Resultatene er gitt med timesoppløsning.

For mer informasjon om SIMPOW/SIMTRAC, se hovedrapportens vedlegg 6.

1.3 Målsetting

Målet med denne rapporten er å få mer kunnskap om hvordan kontaktledningstapene varierer geografisk for de ulike banestrekningen og tidsmessig over døgnet. En ønsker også å kunne si noe om hvor robuste de beregnede tapene er overfor sannsynlige endringer i infrastrukturen og trafikken.

1.4 Avgrensninger og forutsetninger

For arbeidet i denne rapporten gjelder følgende generelt:

- Følgende banestrekninger behandles:
 - Bergensbanen definert som området vest for Roa og Hokksund stasjoner
 - Dovrebanen definert som området nord for Eidsvoll stasjon
 - Ofotbanen definert som området vest for Riksgrensen
 - Sørlandsbanen og Vestfoldbanen definert som området vest for Drammen og Hokksund stasjoner
- Grensesnitt for effektflyt ut av modellene bygger på resultater fra [1].
- Tapene i matestasjoner og fjernledning er hverken modellert eller medregnet/presentert
- Tapene og tapsprosenten beregnes etter metode 5 i hovedrapportens vedlegg 2 "Metode for beregning av kontaktledningstap"
- Resultatene gis med oppløsning på en time og totalt for et helt driftsdøgn (24 timer)

1.5 Terminologi

Utvekslingstap – effekttap i kontaktledning som følge av effektutveksling, aktiv og/eller reaktiv, mellom matestasjonene på grunn av forskjellig spenning i størrelse og vinkel.

Overføringstap – effekttap i kontaktledning som følge av effektoverføring, aktiv og/eller reakti, mellom produksjon (matestasjon eller tog som mater tilbake) og last (tog eller annet forbruk).

2 SIMULERINGSMODELLENE

2.1 Felles inndata

2.1.1 Ruteplan

For grunnsimuleringen er det simulert med normal togtrafikk for ruteplan R152.2 innhentet fra Jernbaneverkets ruteplankontor. Spesielt er det tatt utgangspunkt i trafikken for onsdag 9. juni 2004. Dette punktet gjelder ikke Oslo-området og Ofotbanen.

Statistikk for togtrafikken gjennom driftsdøgnet er gitt i vedlegg 1.

2.1.2 Togsammensetning

Det er simulert med togsammensetning i henhold til normal turneringsplan for respektive rutetermin.

For godstogene er det benyttet en lastvekt tilsvarende det godstogoperatøren har fått tildelt rute for i ruteplanprosessen. For alle godstog unntatt Malmtrafikk AS sine tog på Ofotbanen er togvekten rundet ned til nærmeste 100 tonn.

For persontogene er det angitt et belegg på 70 % og en passasjervekt på 70 kg per passasjer.

En oversikt over de ulike togmodellene finnes i vedlegg 2.

2.1.3 Tilleggsuttak rullende materiell

For tilleggsuttak for rullende materiell er det benyttet verdier som vist i tabell 2-1 og effektfaktor 0,78-0,80. Størrelsen på tilleggsuttaket er antatt å være en representativ midlere verdi for helt år. Tallenes størrelse er anslått da eksakte tall er vanskelig å finne.

Tabell 2-1: Tilleggsuttak for rullende materiell

Materiell	Tilleggsuttak [kW]	Kommentar
Personvogn (uten aircondition)	20	Oppvarming, lys samt diverse hjelpekraft i vogn
Personvogn (med aircondition)	30	Oppvarming, kjøling, lys samt diverse hjelpekraft i vogn
Type 69 (2 vogner)	70	2 vogner à 20 + 30 til hjelpekraft traksjonsutrustning
Type 69 (3 vogner)	90	3 vogner à 20 + 30 til hjelpekraft traksjonsutrustning
Type 70	120	4 vogner à 20 + 40 til hjelpekraft traksjonsutrustning
Type 71	140	3 vogner à 30 + 50 til hjelpekraft traksjonsutrustning
Type 72	170	4 vogner à 30 + 50 til hjelpekraft traksjonsutrustning
Type 73	170	4 vogner à 30 + 50 til hjelpekraft traksjonsutrustning
X2-1	225	4 vogner à 37 + 77 til hjelpekraft traksjonsutrustning
EI14	40	Kun hjelpekraft traksjonsutrustning
EI15	40	Kun hjelpekraft traksjonsutrustning
EI16	40	Kun hjelpekraft traksjonsutrustning
EI17	50	Kun hjelpekraft traksjonsutrustning
EI18	60	Kun hjelpekraft traksjonsutrustning
Rc4	40	Kun hjelpekraft traksjonsutrustning
Rc6	40	Kun hjelpekraft traksjonsutrustning
IORE	65	Kun hjelpekraft traksjonsutrustning, per lokomotivenhet
EG3100	100	Kun hjelpekraft traksjonsutrustning

Med hjelpekraft traksjonsutrustning menes effektuttak til kompressorer, vifter, pumper, datamaskiner og lignende som finnes i lokomotiver og motorvogner og som kommer i tillegg til effektuttak til togframføring (traksjon). Med hjelpekraft vogn menes effektuttak til pumper, vifter og elektrisk utstyr om bord i personvogner i tillegg til effektuttaket til oppvarming og kjøling av kupé og lys.

2.1.4 Kontaktledningsimpedans

En oversikt over kontaktledningsimpedansen brukt på de ulike banestrekningene i simuleringene er gitt med kildehenvisninger i vedlegg 3. Tabellen er hentet fra [2] justert for målinger som i ettertid er utført på Dovrebanens nordre del (Dombås omformerstasjon til Trondheim stasjon).

2.1.5 Områdeavgrensning

Tog som kommer inn i simuleringsområdet og ikke ordinært har stopp på disse randsonestasjonene er gitt en initialhastighet lik skiltet hastighet. For å få korrekt lastflyt mellom modellen og omgivelsene gjennom kontaktledning og eventuell fjernledning er det på disse stasjonene i randsonene lagt inn en både aktiv og reaktiv last/produksjon hentet fra resultatene i [1].

2.1.6 Matestasjoner

De oppgitte verdiene gjelder for generator i kraftstasjoner og omformerstasjoner med roterende aggregater, transformatorer i transformatorstasjoner og innstilt strømgrense i omformerstasjoner med statiske aggregater.

De ulike mateenhetene i matestasjonene startes og stoppes i simuleringen i henhold til kjøreplan i vedlegg 4.

Alle omformerstasjoner er gitt flat spenningskarakteristikk på 16,5 kV når alle stasjonenes aggregater er i drift i henhold til JD 548 ([3]). Intern stabilisering mellom de roterende omformeraggregatene er 5 %. Dette punktet gjelder ikke Oslo-området.

2.1.7 Tilleggsbelastninger

For å modellere tilleggsuttak fra kontaktledningsnett i form av togvarme (enten togvarmeanlegg eller hensatt materiell som forsynes via strømtaker) samt reserve- og biforbruk i infrastrukturen er det lagt inn egne spenningsuavhengige laster. Lastenes plassering og størrelse er antatt ut fra NSB AS sin hensettingsplan. Den virkelige plasseringen i modellen er lagt til nærmeste node. Daglastene ligger inne fra kl 06 til 23 og nattlastene ligger inne fra kl 23 til 06. Lastene har $\cos \phi$ lik 1. Dette punktet gjelder ikke Oslo-området og Ofotbanen.

2.1.8 Overliggende trefasenett

Overliggende trefasenett er modellert som en radial ned fra sentralnettet som er modellert som en stiv node med spenning og vinkel som i typisk vinterlast. Regionalnettet ned til omformerstasjonene er også gitt koblingsbilde og belastning som i typisk vinterlast. Dette punktet gjelder ikke Oslo-området og Ofotbanen.

2.1.9 Infrastruktur forøvrig

For banestrekningenes vertikalkurvatur, skiltet hastighet og tunneler/snøoverbygg er det benyttet informasjon fra Jernbaneverket Banedata (Maximo) hentet ut sommeren 2004. Horisontalkurvatur er ikke modellert.

2.1.10 Simuleringstid

Alle simuleringene starter kl 03 om natten og går til kl 03 neste natt (det vil si time 27). I resultatbehandlingen er det automatisk justert for dette.

2.2 Modell Bergensbanen

2.2.1 Områdeavgrensning

Infrastrukturuområdet som inngår i modellen for Bergensbanen er avgrenset av Roa og Hokksund stasjoner i øst.

Flåmsbanen er modellert i sin helhet som en avgreiing fra Bergensbanen ved Myrdal stasjon.

2.2.2 Ruteplan

Totalt går det 148 tog i simuleringen.

2.2.3 Matestasjoner

Modellen inneholder matestasjoner med installert ytelse som vist i tabell 2-2.

Tabell 2-2: Matestasjoner i modellen med installert ytelse.

Matestasjon	Installert ytelse [MVA]	Kommentar
Hønefoss omformerstasjon	2x5,8	Roterende aggregater
Nesbyen omformerstasjon	1x5,8 + 1x7	Roterende aggregater
Haugstøl omformerstasjon	1x5,8 + 1x7	Roterende aggregater
Kjosfoss kraftstasjon	2x0,625	Aktiv effekt: 2x0,5 MW
Mjølfjell omformerstasjon	2x5,8	Roterende aggregater
Dale omformerstasjon	3x5,8	Roterende aggregater
Bergen omformerstasjon	1x5,8	Roterende aggregat

Kjosfoss kraftstasjon har to aggregater som hver produserer 0,5 MW kontinuerlig. Utgangsspenning på stasjonen er 16,5 kV flatt.

2.2.4 Tilleggsbelastninger

Lastenes plassering og størrelse er angitt i tabell 2-3.

Tabell 2-3: Tilleggslaster i modellen

Sted	Plassering i modell	Dag [kW]	Natt [kW]	Type last
Bergen stasjon	Bergen stasjon	182	210	Togvarme
Voss stasjon	Trengereid	0	246	Togvarme
Sum	-	182	456	-

2.3 Modell Dovrebanen

2.3.1 Områdeavgrensning

Infrastrukturuområdet som inngår i modellen for Dovrebanen er avgrenset av Eidsvoll stasjon i sør.

2.3.2 Ruteplan

Totalt går det 69 tog i simuleringen.

For å få et inntrykk av marginaltapene ved ett tog ekstra utføres det en simulering med 2 ekstra tog med togsammensetning som de andre godstogene:

- 5707 – alene nordover fra Eidsvoll kl 18.08 til Trondheim kl 01.37.
- 5714 – mellom 5712 og 5724 sørover fra Trondheim kl 06.25 til Eidsvoll kl 13.50.

2.3.3 Matestasjoner

Modellen inneholder matestasjoner med installert ytelse som vist i tabell 2-2.

Tabell 2-4: Matestasjoner i modellen med installert ytelse.

Matestasjon	Installert ytelse [MVA]	Kommentar
Tangen omformerstasjon	2x7	Roterende aggregater
Rudshøgda omformerstasjon	1x3,1	Roterende aggregat
Fåberg omformerstasjon	2x5,8	Roterende aggregater
Fron omformerstasjon	2x5,8	Roterende aggregater
Otta omformerstasjon	1x3,1	Roterende aggregat
Dombås omformerstasjon	2x7	Roterende aggregater
Oppdal omformerstasjon	2x5,8	Roterende aggregater
Lundamo omformerstasjon	2x7	Roterende aggregater
Stavne omformerstasjon	2x7,5	Statiske aggregater

Unntatt de generelle spenningsregulatorinnstillingene gitt i avsnitt 2.1.6 er Rudshøgda og Otta omformerstasjoner som på grunn av den lave ytelsen er gitt flat spenningskarakteristikk på 16,2 kV.

2.3.4 Tilleggsbelastninger

Lastenes plassering og størrelse er angitt i tabell 2-3.

Tabell 2-5: Tilleggsbelastninger i modellen

Sted	Plassering i modell	Dag [kW]	Natt [kW]	Type last
Trondheim stasjon	Trondheim stasjon	161	362	Togvarme
Lillehammer stasjon	Fåberg omformerstasjon	0	13	Togvarme
Sum	-	161	375	-

2.4 Modell Sørlands- og Vestfoldbanen

2.4.1 Områdeavgrensning

Infrastrukturuområdet som inngår i modellen for Sørlands- og Vestfoldbanen er avgrenset av Drammen og Hokksund stasjoner i øst. Randsfjordbanen mellom Drammen og Hokksund er med i modellen.

Arendalsbanen er modellert i sin helhet som en avgreiing fra Sørlandsbanen ved Nelaug stasjon.

Fjernledningen er modellert i sin helhet helt til og med transformator 55/15 kV i Asker. Det er her lagt inn en randsonelast/-produksjon på samme måte som på Drammen og Hokksund.

2.4.2 Ruteplan

Totalt går det 277 tog i simuleringen.

2.4.3 Matestasjoner

Modellen inneholder matestasjoner med installert ytelse som vist i tabell 2-6.

Tabell 2-6: Matestasjoner i modellen med installert ytelse.

Matestasjon	Installert ytelse [MVA]	Kommentar
Asker omformerstasjon	1x8	Kun transformator til fjernledning
Hakavik kraftstasjon	2x2,7	Aktiv effekt: 2x2,0 MW
Sande transformatorstasjon	2x2,5	
Skoppum omformerstasjon	2x3,1	Roterende aggregater
Larvik omformerstasjon	2x5,8	Roterende aggregater
Skollenborg transformatorstasjon	2x2,5	
Nordagutu omformerstasjon	(1x7 + 1x5,8) + 1x8	Roterende aggregater og transformator
Neslandsvatn transformatorstasjon	1x8	Transformator med automatisk trinnkobling
Nelaug omformerstasjon	2x5,8	Roterende aggregater
Krossen omformerstasjon	2x5,8	Roterende aggregater
Leivoll omformerstasjon	1x5,8	Roterende aggregat
Sira omformerstasjon	2x5,8	Roterende aggregater
Kielland omformerstasjon	2x7,5	Statiske aggregater
Ganddal omformerstasjon	2x5,8	Roterende aggregater

Hakavik kraftstasjon har to aggregater som hver produserer 2,0 MW kontinuerlig.

Neslandsvatn transformatorstasjon har automatisk trinnkobling med 16,5 kV som referanse. Spenningsstegene er 0,3 kV.

2.4.4 Tilleggsbelastninger

Lastenes plassering og størrelse er angitt i tabell 2-7.

Tabell 2-7: Tilleggslaster i modellen

Sted	Plassering i modell	Dag [kW]	Natt [kW]	Type last
Drammen stasjon	Drammen stasjon	245	245	Togvarme
Sundland driftsbane-gård	Drammen stasjon	0	216	Togvarme
Skien driftsbane-gård	Skien stasjon	0	995	Togvarme
Arendal stasjon	Arendal stasjon	0	52	Togvarme
Kristiansand stasjon	Kristiansand stasjon	0	97	Togvarme
Egersund stasjon	Kielland omformerstasjon	0	35	Togvarme
Stavanger stasjon	Stavanger stasjon	134	154	Togvarme
Sum	-	379	1794	-

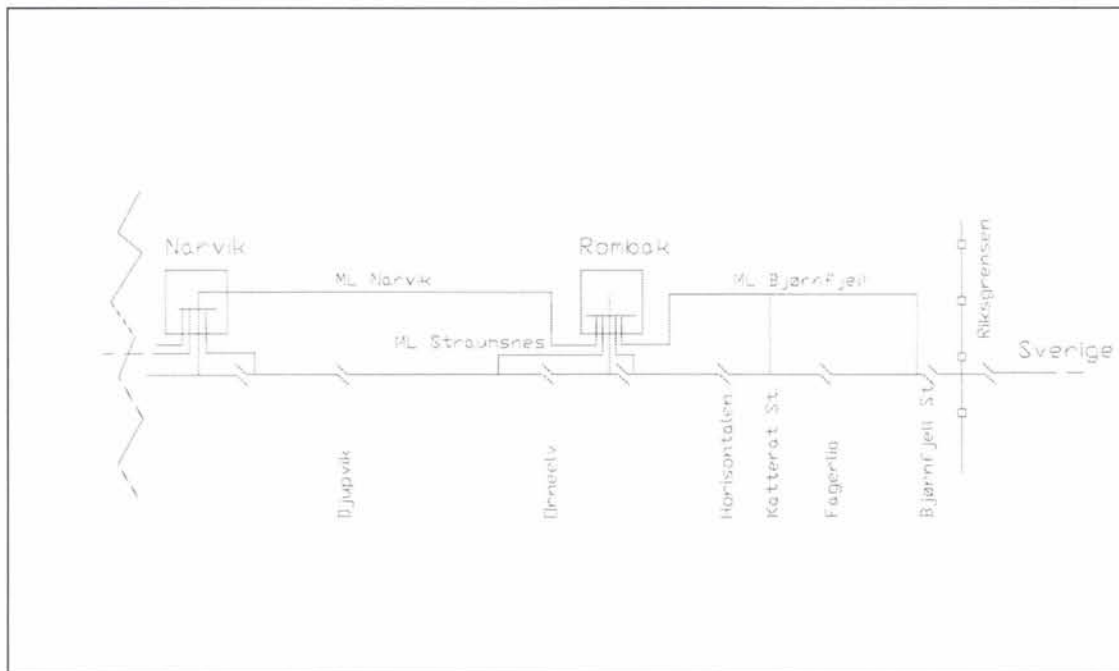
2.5 Modell Ofotbanen

2.5.1 Områdeavgrensning

Infrastrukturuområdet som inngår i modellen for Ofotbanen er avgrenset av Stenbacken stasjon på svensk side. Det er imidlertid plassert energimåler på riksgrensen for å kunne beregne tapene bare på norsk side.

2.5.2 Kontaktledning og mateledninger

Det er i modellen lagt til grunn et koblingsbilde for kontaktledningen og mateledningene på norsk side i henhold til tegning NdE. 4513 rev 05. Det vil si seksjonert kontaktledning med mating fra Rombak omformerstasjon gjennom mateledningene til Narvik, Straumsnes og Katterat/Bjørnfjell. Koblingsbildet er vist i figur 2-1.



Figur 2-1: Koblingsbilde for kontaktledning og mateledninger på Ofotbanen.

Impedansen for kontaktledning og mateledninger i modellen er gjengitt i henholdsvis tabell 2-8 og tabell 2-9. Begrunnelsen for valg av kontaktledningsimpedansen er gitt i [2].

Tabell 2-8: Kontaktledningsimpedans Ofotbanen

Strekning	Fra km	Til km	R [Ω /km]	X [Ω /km]
Fagernes-Narvik og Narvik Havn-Narvik	000,000	003,330	0,165	0,148
Narvik stasjon	003,331	004,640	0,165	0,148
Narvik-Djupvik	004,641	008,410	0,065	0,000
Djupvik-Straumsnes	008,411	015,440	0,165	0,148
Straumsnes-Ornelv	015,441	017,440	0,065	0,000
Ornelv-Rombak	017,441	020,430	0,165	0,148
Rombak-Horisontalen	020,431	025,580	0,124	0,176
Horisontalen-Katterat	025,581	029,750	0,024	0,000
Katterat-Fagerlia	029,750	034,480	0,124	0,176
Fagerlia-Bjørnfjell	034,481	040,460	0,024	0,000
Bjørnfjell-Riksgrensen	040,461	041,900	0,165	0,148
Riksgrensen-Tornehamn	041,901	063,155	0,14	0,16
Tornehamn-Stenbacka	063,156	110,765	0,14	0,16

Tabell 2-9: Impedans i mateledninger på Ofotbanen

Mateledning	Lengde	R [Ω /km]	X [Ω /km]
Rombak-Bjørnfjell	14,8	0,21	0,27
Rombak-Straumsnes	4,9	0,16	0,27
Rombak-Narvik	15,9	0,18	0,18

2.5.3 Ruteplan og trekraft

For grunnsimuleringen er det simulert med normal togtrafikk for ruteplan R152.2 innhentet fra Jernbaneverkets ruteplankontor. Spesielt er det tatt utgangspunkt i trafikken for onsdag 9. juni 2004.

For malmtogene har en tatt utgangspunkt i den eksisterende 12-togsmodellen. Siden en de nærmeste årene kan forvente en endring i trekraft fra trinnkoblerlokomotiver type Dm3 til asynkronlokomotiver type IORE med tilbakemating, har en valgt å simulere med gamle lokomotiver en del av døgnet for så å få en glidende overgang til moderne lokomotiver andre del av døgnet. Fordelingen av tog er vist i tabell 2-10. Togene angitt som malmtog kjører alltid ned til Narvik og tomtogene og togene med olivin (tilsatsmiddel) alltid kjører opp fra Narvik til Riksgrensen. Alle Malmtrafikk AS sine tog kjører i simuleringen med 52 vogner med maksimalt 25 tonn aksellast. Totalt går det 41 tog i simuleringen.

Tabell 2-10: Togtrafikk på Ofotbanen Narvik-Riksgrensen.

Time	Malmtrafikk	Annen trafikk
KI 00-01	IORE_Malm og IORE_Tom	Godstog ned
KI 01-02	IORE_Malm og IORE_Tom	Godstog opp
KI 02-03	IORE_Malm	Godstog opp og løsløk ned
KI 03-04	EI15_Malm og EI15_Tom	Godstog opp
KI 04-05		
KI 05-06	EI15_Malm og EI15_Tom	
KI 06-07	EI15_Malm og EI15_Tom	
KI 07-08		
KI 08-09	EI15_Malm	
KI 09-10	EI15_Malm og EI15_Tom	Persontog ned
KI 10-11	EI15_Malm og EI15_Tom	
KI 11-12	EI15_Malm og EI15_Olivin	Persontog opp
KI 12-13	EI15_Olivin	Persontog ned
KI 13-14	IORE_Malm og EI15_Tom	Persontog ned
KI 14-15	EI15_Tom	
KI 15-16	EI15_Malm og IORE_Tom	
KI 16-17	EI15_Malm og IORE_Olivin	Persontog opp og ned
KI 17-18	IORE_Malm og IORE_Olivin	Persontog ned
KI 18-19		Persontog opp
KI 19-20	IORE_Tom	
KI 20-21	IORE_Malm og IORE_Tom	
KI 21-22	IORE_Malm og IORE_Tom	
KI 22-23	IORE_Malm	
KI 23-24	IORE_Malm og IORE_Tom	Godstog ned

I mangel av modell av lokomotiv type Dm3 har en valgt å simulere med EI15 som gamle lokomotiver isteden. EI15 er et diodelokomotiv.

På grunn av begrensninger i tillatte krefter på sporet og maksimal forskyvning mellom skinne og sville på Ofotbanen er det i simuleringen lagt inn en maksimal tillatt bremskraft for lokomotivet (elektrisk nettbrems) på 250 kN for IORE i henhold til gjeldende restriksjoner.

2.5.4 Matestasjoner

Modellen inneholder matestasjoner med installert ytelse som vist i tabell 2-11. De oppgitte verdiene gjelder for generator i kraftstasjoner og omformerstasjoner med roterende aggregater, transformatorer i transformatorstasjoner og innstilt strømgrense på mellom leddet i omformerstasjoner med statiske aggregater.

Tabell 2-11: Matestasjoner i modellen med installert ytelse.

Matestasjon	Installert ytelse [MVA]	Kommentar
Rombak omformerstasjon	2x10 + 1x5,8	Roterende aggregater
Tornehamn omformerstasjon	2x10 + 2x5,8	Roterende aggregater (Banverket)
Stenbacken omformerstasjon	2x10	Roterende aggregater (Banverket)

Intern stabilisering mellom de roterende omformeraggregatene i Banverkets omformerstasjoner er 4 %.

2.5.5 Overliggende trefasenett

Overliggende trefasenett er i modellen modellert som en radial ned fra sentralnettet som er modellert som en stiv node med spenning og vinkel. Fra Statnett får en opplyst at effektflyten i trefasenettet mellom Norge og Sverige normalt varierer mellom 100 MW i begge retninger, men det er umulig å definere en typisk driftsituasjon. En har derfor tatt utgangspunkt i 0 MW effektflyt, men utfører en tilleggssimulering med 100 MW fra Sverige til Norge, hvilket utgjør en vinkelforskjell på 4,5°.

2.5.6 Tilleggsbelastninger

Lastenes plassering og størrelse er angitt i tabell 2-12. Alle tallene er hentet fra [4] unntatt for Narvik driftsbanegård der en har brukt årsgjennomsnitt for energimåleren for 2003.

Tabell 2-12: Tilleggslaster i modellen

Sted	Plassering i modell	Aktiv effekt [kW]	Reaktiv effekt [kVAr]	Type last
Fagernes	Fagernes havn	0,544	0,06	Biforbruk
Narvik driftsbanegård	Narvik stasjon	0,04	0	Togvarme
Horisontalen	Horisontalen øst	0,038	0,285	Biforbruk
Bjørnfjell stasjon	Bjørnfjell stasjon	0,04	0,03	Biforbruk
Riksgrensen	Riksgrensen vest	0,07	0,06	Biforbruk
Sum	-	0,732	0,435	-

2.6 Modell Oslo-området

For Oslo-området er det benyttet eksakt samme modell og inndata som i [1]. Eneste forskjellen er at energimålerne i togene er byttet ut etter oppgradering slik at en kan differensiere mellom opptatt og avlevert energi.

2.7 Modeller i tomgang

For simulering av tomgangstapene for de ulike modellene er følgende lagt til grunn dersom ikke annet er oppgitt eller det fremgår av simuleringstilfellet:

- Ingen tog i trafikk
- Ingen tilleggslaster (infrastruktur)

- Ingen last i randsoner
- Normal produksjon i eventuelle kraftverk
- Alle aggregatene i alle matestasjonene i drift (for Oslo-området er det lagt til grunn kl 02-03 på natten)

3 SIMULERINGSRESULTATER

3.1 Oversikt over simuleringstilfeller

I tabell 3-1 er det vist en oversikt over og forklaring av de ulike simuleringstilfellene som danner grunnlag for studien.

Tabell 3-1: Oversikt over simuleringstilfeller.

Simulerings-ID	Forklaring/beskrivelse	Hensikt
Bergensbanen0	Grunnsimulering med dagens infrastruktur og trafikk	Finne tapene på Bergensbanen
Bergensbanen0-1	Som Bergensbanen0, men uten Kjosfoss kraftstasjon	Se virkningen av Kjosfoss kraftstasjon som leverer konstant aktiv effekt
Bergensbanen0-2	Som Bergensbanen0, men uten randsonelaster	Se virkningen av metodikken med randsonelastene som er valgt
Dovrebanen0	Grunnsimulering med dagens infrastruktur og trafikk	Finne tapene på Dovrebanen
Dovrebanen0-1	Som Dovrebanen0, men uten randsonelast på Eidsvoll stasjon	Se virkningen av metodikken med randsonelastene som er valgt
Dovrebanen0-2	Som Dovrebanen0, men med fallende spenningskarakteristikk fra 16,5 kV i tomgang til 16,3 kV i fullast (70° induktivt) for stasjonene med roterende aggregater unntatt Rudshøgda og Otta omformerstasjoner som er gitt fallende spenningskarakteristikk fra 16,2 til 15,6 kV	Se virkningen av fallende spenningskarakteristikk framfor flat
Dovrebanen0-4	Som Dovrebanen0, men uten vinkelforskjeller mellom omformerstasjonenes tilkopling til det matende trefasenettet.	Se virkningen av vinkelforskjeller i trefasenettet.
Dovrebanen0-5	Som Dovrebanen0, men med 16,5 kV flatt på Rudshøgda og Otta omformere.	Se virkningen av redusert spenning på svake/små stasjoner.
Dovrebanen0-6	Som Dovrebanen0-1, men uten omformere og trefasenett. Samleskinnespenning for alle omformerstasjoner er 16,5 kV flatt.	Se virkningen av vinkelvridding i omformeraggregatene. Gir kun lastgenererte tap.
Dovrebanen0-7	Som Dovrebanen0-1, men $R=0,157$ og $X=0,198$ for hele banen	Se virkningen av at hele banen har samme kontaktledningsimpedans som målt Dombås-Trondheim i oktober 05.
Dovrebanen0-8	Som Dovrebanen0, men uten tilbakemating fra tog	Se virkningen av tilbakemating
Dovrebanen1	Som Dovrebanen0, men med et godstogpar mer	Se virkningen av et togpar mer (på en måte marginaltap)
Dovrebanen2	Som Dovrebanen0, men med EI16 som trekkraft i alle godstogene i stedet for EI14	Se virkningen av total endring av trekkraftmateriellet i godstog
Dovrebanen3	Som Dovrebanen0, men med EG som trekkraft i alle godstogene i stedet for EI14	Se virkningen av total endring av trekkraftmateriellet i godstog
Dovrebanen3-1	Som Dovrebanen3, men uten tilbakemating fra tog (gjelder også persontog)	Se virkningen av tilbakemating
Sørlandsbanen0	Grunnsimulering med dagens	Finne tapene på Sørlands- og

Simulerings-ID	Forklaring/beskrivelse	Hensikt
	infrastruktur og trafikk	Vestfoldbanen
Sørlandsbanen0-1	Som Sørlandsbanen0-1, men uten Hakavik kraftstasjon	Se virkningen av Hakavik kraftstasjon som leverer konstant effekt.
Ofofbanen0	12-togsmodell med 0 MW effektutveksling mellom Norge og Sverige	Finne tapene på Ofofbanen
Ofofbanen1	Som Ofofbanen0, men med 100 MW fra Sverige til Norge	Se virkningen av vinkelforskjell i trefasenettet
Oslo0	Grunnsimulering med dagens infrastruktur og trafikk	Finne tapene i Oslo-området
Oslo0-1	Som Oslo0, men uten tilleggsuttak (skifting og stasjonær togvarme)	
Oslo0-2	Som Oslo0, men uten tilleggsuttak (skifting og stasjonær togvarme) og randsonelaster/dummylaster	
Oslo0-3	Som Oslo0, men uten randsonelaster/dummylaster	
Oslo1	Som Oslo0, men materiell benyttet i pendlene Kongsberg-Eidsvoll og Spikkestad-Moss endret fra tp69 til tp72 og innerlokalpendlene Asker-Lillestrøm og Skøyen-Ski utøket med et ekstra trevogns 69-sett.	Se virkningen av økt lokaltrafikk i Oslo-området.
Oslo1-1	Som Oslo1, men uten tilbakemating fra tog.	Se virkningen av tilbakemating.

Simulering Oslo1 og Oslo1-1 er ikke utført for et helt døgn på grunn av arbeidsomfanget.

3.2 Spesifikke simuleringresultater

3.2.1 Trafikksimuleringer

Spesifikke resultater totalt for de ulike simuleringstilfellene med trafikk er gitt i tabell 3-2 under. Tabellen inneholder både energi matet inn i og ut fra systemet gjennom matestasjonene og randsonene og energi opptatt og avlevert fra tog samt utregnet tap og tapsprosent for 24 timer. Resultater med timesoppløsning finnes i vedlegg 5.

Tabell 3-2: Oversikt over simuleringresultater for de ulike trafikksimuleringene. Alle tall i MWh om ikke annet er oppgitt.

Simulerings-ID	Matestasjoner			Tillegg	Randsoner			Tog			Tog	Metode 5	
	Inn	Ut	Sum		Sum	Inn	Ut	Sum	Opptatt	Avlevert		Forbrukt	Antall
Bergensbanen0	235,64	-5,14	230,50	6,29	15,64	-22,47	-6,83	209,43	-15,26	194,17	69	23,22	8,71
Bergensbanen0-1	235,92	-4,18	231,75	6,29	16,34	-23,57	-7,22	211,07	-15,25	195,82	69	22,42	8,38
Bergensbanen0-2	224,60	-4,12	220,48	6,29	0,00	0,00	0,00	209,52	-15,30	194,22	69	19,97	8,32
Dovrebanen0	279,83	-3,68	276,15	5,36	14,23	-14,68	-0,45	266,98	-16,25	250,73	69	19,61	6,32
Dovrebanen0-1	276,30	-2,93	273,37	5,36	0,00	0,00	0,00	266,93	-16,31	250,63	69	17,39	5,94
Dovrebanen0-2	280,02	-4,30	275,73	5,36	14,22	-14,68	-0,46	266,86	-16,23	250,63	69	19,28	6,21
Dovrebanen0-4	279,98	-4,33	275,66	5,36	14,22	-14,68	-0,46	267,02	-16,26	250,76	69	19,07	6,14
Dovrebanen0-5	279,12	-3,29	275,83	5,36	14,22	-14,69	-0,46	267,00	-16,24	250,76	69	19,25	6,22
Dovrebanen0-6	273,55	-8,22	265,32	5,36	0,00	0,00	0,00	266,93	-16,25	250,68	69	9,28	3,20
Dovrebanen0-7	278,68	-3,58	275,10	5,36	14,19	-14,74	-0,55	267,49	-16,32	251,17	69	18,02	5,83
Dovrebanen0-8	296,93	-1,16	295,78	5,36	14,22	-14,66	-0,44	270,93	0,00	270,93	69	19,04	6,12
Dovrebanen1	307,14	-3,24	303,90	5,36	14,21	-14,66	-0,45	293,07	-16,28	276,79	71	21,29	6,31
Dovrebanen2	284,91	-3,72	281,20	5,36	14,26	-14,70	-0,45	272,43	-16,27	256,16	69	19,23	6,10
Dovrebanen3	278,00	-9,52	268,48	5,36	14,40	-14,76	-0,37	286,87	-48,02	238,85	69	23,90	7,02
Dovrebanen3-1	321,83	-0,97	320,86	5,36	14,34	-14,69	-0,35	292,71	0,00	292,71	69	22,44	6,67
Sørlandsbanen0	348,64	-26,04	322,60	16,72	47,71	-4,85	42,85	356,57	-35,77	320,79	277	27,94	6,47
Ofofbanen0	64,48	-1,97	62,52	17,57	17,64	-19,14	-1,50	52,25	-12,38	39,87	41	3,58	3,79
Ofofbanen1	60,45	-2,44	58,02	17,57	20,09	-16,48	3,61	52,25	-12,38	39,87	41	4,19	4,51
OsloA0	976,71	-21,66	955,04	48,00	0,00	-36,00	-36,00	884,20	-52,17	832,02	933,00	39,02	3,79
OsloA1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OsloA1-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

3.2.2 Tomgang

For de ulike variasjonene i infrastrukturen er det utført simuleringer av modellene i tomgang. Spesifikke resultater fra disse simuleringene er gitt i tabell 3-3.

Tabell 3-3: Oversikt over simuleringresultater for de ulike simuleringene i tomgang. Alle tall i MW om ikke annet er oppgitt.

Simulerings-ID	Matestasjoner			Tillegg	Randsoner			Tog			Tog	Metode 5	
	Inn	Ut	Sum		Sum	Inn	Ut	Sum	Opptatt	Avlevert		Forbrukt	Antall
Bergensbanen0	1,12	-1,03	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,09	7,92
Bergensbanen0-1	0,46	-0,43	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,03	6,23
Dovrebanen0	0,57	-0,54	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,03	5,85
Dovrebanen0-2	0,47	-0,46	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,02	3,26
Dovrebanen0-4	0,34	-0,31	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,03	7,59
Dovrebanen0-5	0,40	-0,39	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,01	1,68
Dovrebanen0-6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	#DIV/0!
Sørlandsbanen0	2,69	-2,59	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,10	3,72
Sørlandsbanen0-1	1,14	-1,12	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,02	1,66
Ofofbanen0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,12
Ofofbanen1	0,00	-0,25	-0,25	0,00	0,25	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,56
Oslo0	2,60	-0,43	2,17	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,17	6,56
Oslo0-1	0,71	-0,48	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,23	32,57
Oslo0-2	1,33	-1,26	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,07	5,07
Oslo0-3	2,40	-0,34	2,06	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,06	2,40

3.3 Bergensbanen

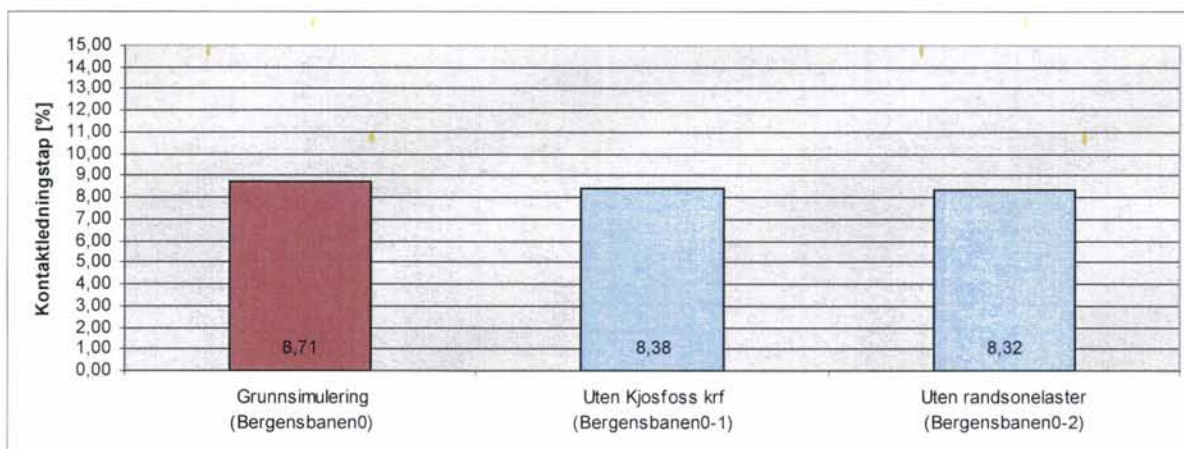
For Bergensbanen er det utført tre simuleringer;

- grunnsimulering for å se tapene i kontaktledningen mellom Hokksund/Roa og Bergen,
- ekstra simulering for å se virkningen av Kjosfoss kraftstasjon og
- simulering for å se hvordan modelleringen av randsonelaster påvirker de simulerte tapene.

3.3.1 Totale tap over driftsdøgnet

Simuleringen utført her (Bergensbanen0) viser at det tapes 23,22 MWh i døgnet. Dette utgjør 8,71 % av energien levert inn i systemet. Dersom en tar bort Kjosfoss kraftstasjon reduseres kontaktledningstapene i følge simuleringene til 8,38 % som vist i figur 3-1.

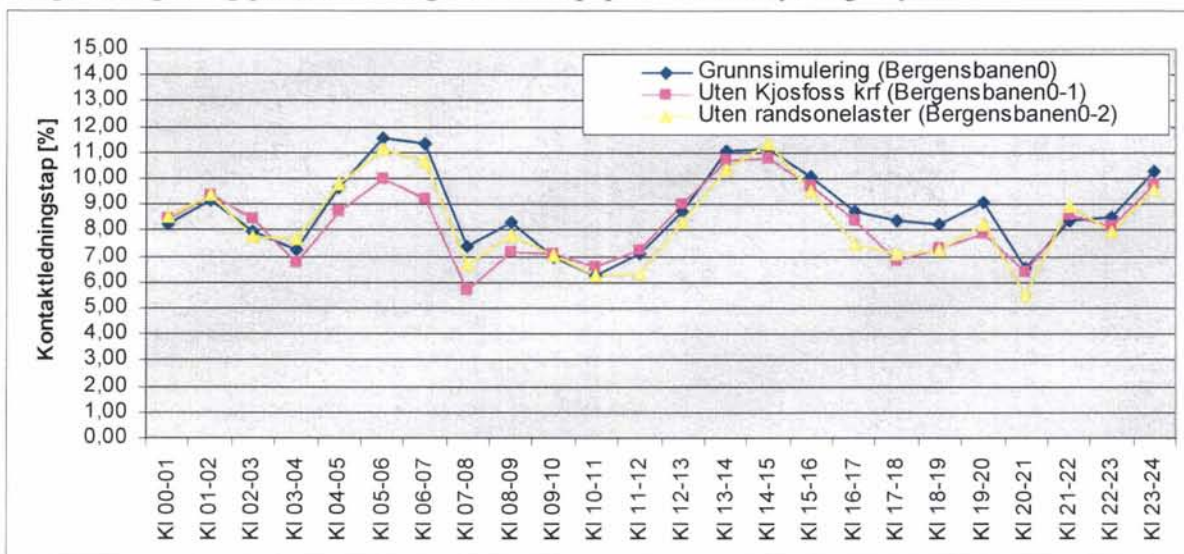
Randsonelelastene på Hokksund og Roa fører til at tapsprosenten øker litt i forhold til om en ikke hadde hatt dem med i modellen.



Figur 3-1: Sammenligning av simulert tapsprosent for et helt driftdøgn på Bergensbanen.

3.3.2 Variasjon gjennom driftsdøgnet

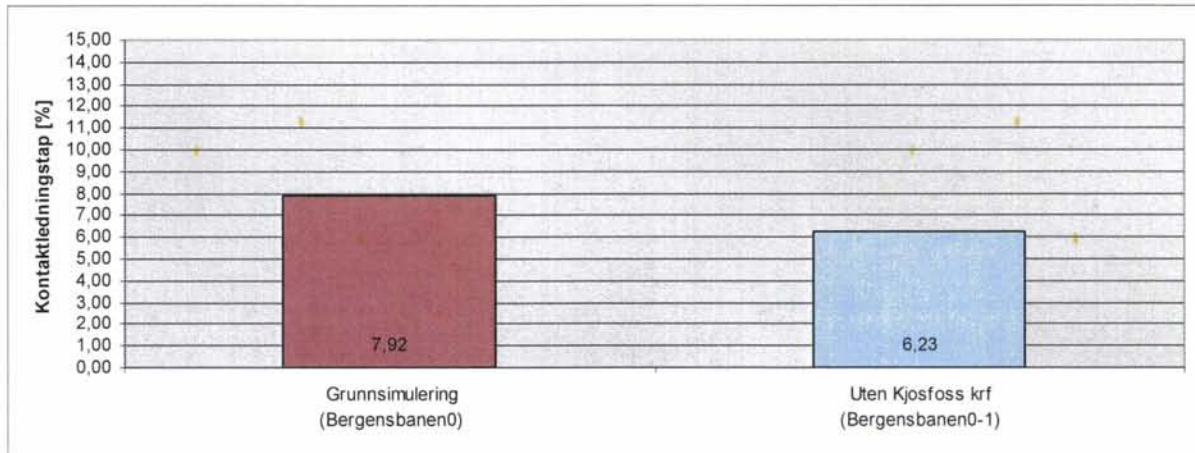
Figur 3-2 viser simulert variasjon i kontaktledningstapene gjennom driftsdøgnet på Bergensbanen for de tre simuleringene. En ser at det er noe forskjell mellom de tre tilfellene, og at resultatene i figur 3-1 gjenspeiles selv om det ikke er konsekvent for hver time gjennom døgnet. Tapsprosenten varierer mellom 6 og 9 %, men det er to tider på døgnet, tidlig på morgenen og tidlig på ettermiddagen, hvor tapsprosenten er tydelig høyere.



Figur 3-2: Simulert variasjon i kontaktledningstapene på Bergensbanen gjennom driftsdøgnet.

3.3.3 Tomgang

I tomgang er kontaktledningstapene simulert til 7,92 % med konstant produksjon i Kjosfoss kraftstasjon som vist i figur 3-3. Dersom Kjosfoss legges ut reduseres tapene til 6,23 %. Tapsprosenten i tomgang er nesten like stor som den gjennomsnittlige tapsprosenten over døgnet.



Figur 3-3: Simulerte kontaktledningstap i prosent i tomgang for modellen av Bergensbanen med og uten Kjosfoss kraftstasjon.

3.4 Dovrebanen

Med modellen av Dovrebanen er det utført en rekke simuleringer for å studere hvordan kontaktledningstapene endres ved ulike parametere og påvirkninger i infrastrukturen av kraftsystemet samt hvordan kontaktledningstapene i en virkelig ruteplan påvirkes av endringer i trafikken, det vil si antall tog og trekraft.

Det er med andre ord utført følgende simuleringer;

- grunnsimulering med dagens trafikk og infrastruktur,
- simuleringer med variasjoner rundt spenningskarakteristikk og vinkeldreining i omformerstasjonene og trefasenettet,
- variasjoner i trekraft for godstogene (E114, E116 og EG3100 som dominerende) og
- marginal økning i antall godstog (ett ekstra togpar).

3.4.1 Totale tap over driftsdøgnet

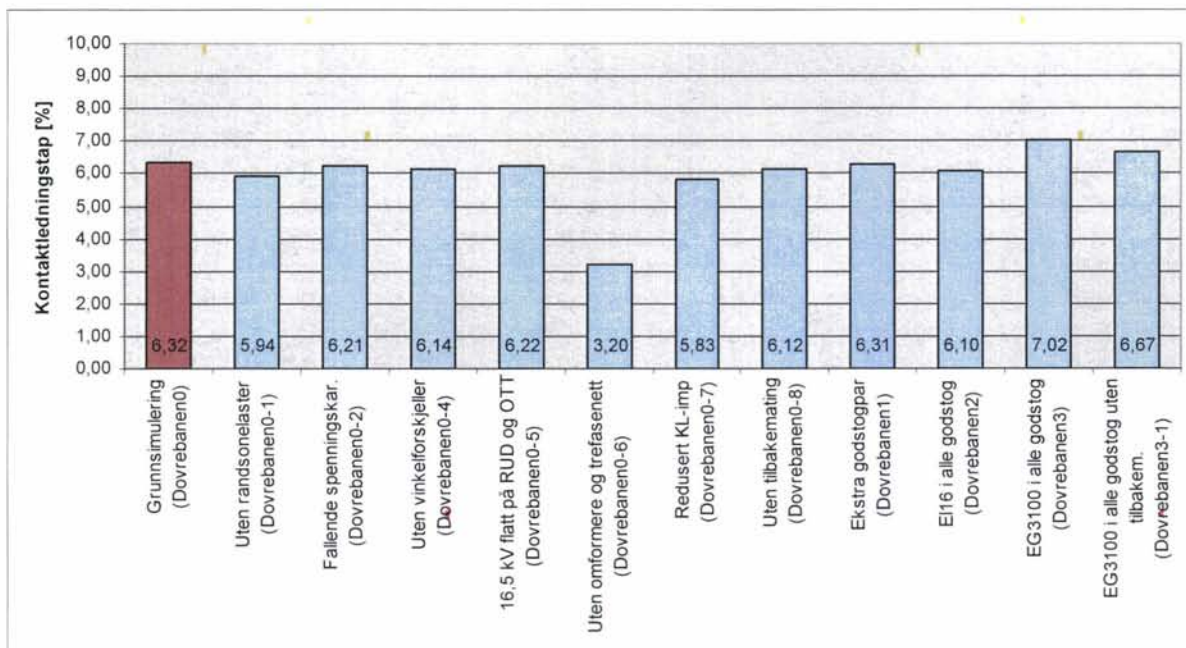
Ved hjelp av simuleringene har en funnet at det i normal driftsituasjon tapes 19,61 MWh i kontaktledningen på Dovrebanen i løpet av et døgn. Dette utgjør 6,32 % av den innmatede energien i systemet.

Som figur 3-4 under viser varierer tapsprosenten for kontaktledningen lite avhengig av hvordan en endrer spenningene i matepunktene med ett unntak; helt lik spenning. Simuleringene viser at lik spenning og vinkel i alle matepunkt fører til en halvering av kontaktledningstapene, både i energi og i prosent av innmatet energi.

Bytte av trekraft fra E114 til E116 i alle godstog ser ut til å redusere kontaktledningstapsprosenten med bare 0,2 prosentpoeng, mens en overgang til EG3100 med tilbakemating ser ut til å øke kontaktledningstapsprosenten med 0,7 prosentpoeng i forhold til grunnsimuleringen. Tilbakemating ser generelt ut til å føre til høyere tapsprosent, både ved dagens trafikk og ved eventuell fremtidig trafikk med godstog med tilbakematingsmulighet.

Dersom en i forhold til grunnsimuleringen setter inn et ekstra godstogpar, øker de totale kontaktledningstapene med 1,68 MWh. Tapsprosenten reduseres med 0,01 prosentpoeng, altså -1,6 ‰.

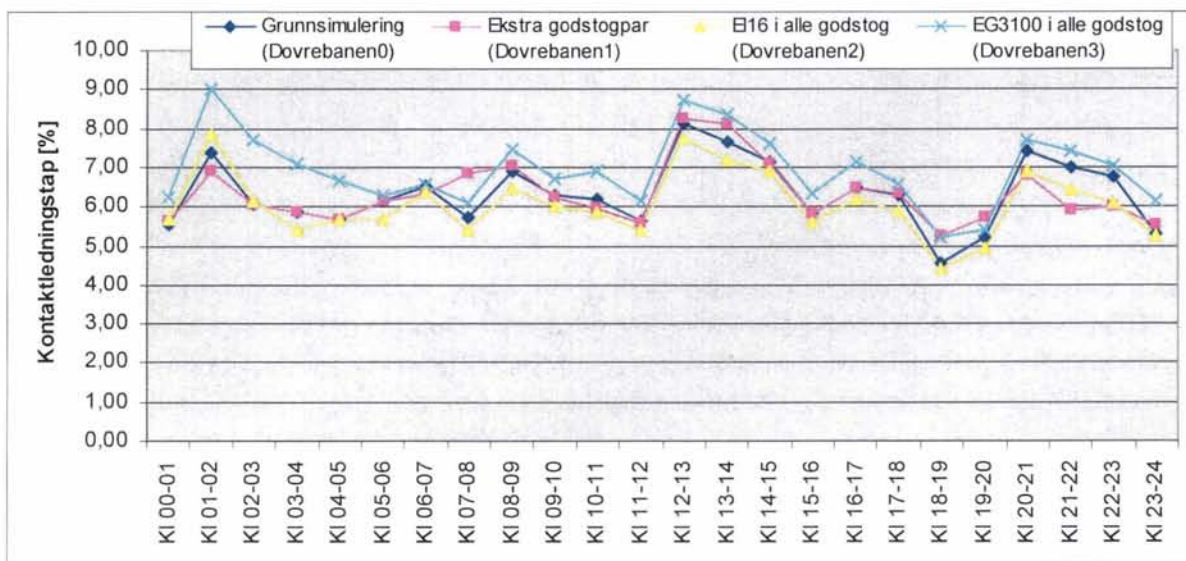
En reduksjon i kontaktledningsimpedansen ser også ut til å gi lavere kontaktledningstapsprosent.



Figur 3-4: Sammenligning av tapsprosent for kontaktledningen for et helt døgn på Dovrebanen med ulike variasjoner i infrastruktur og trafikk.

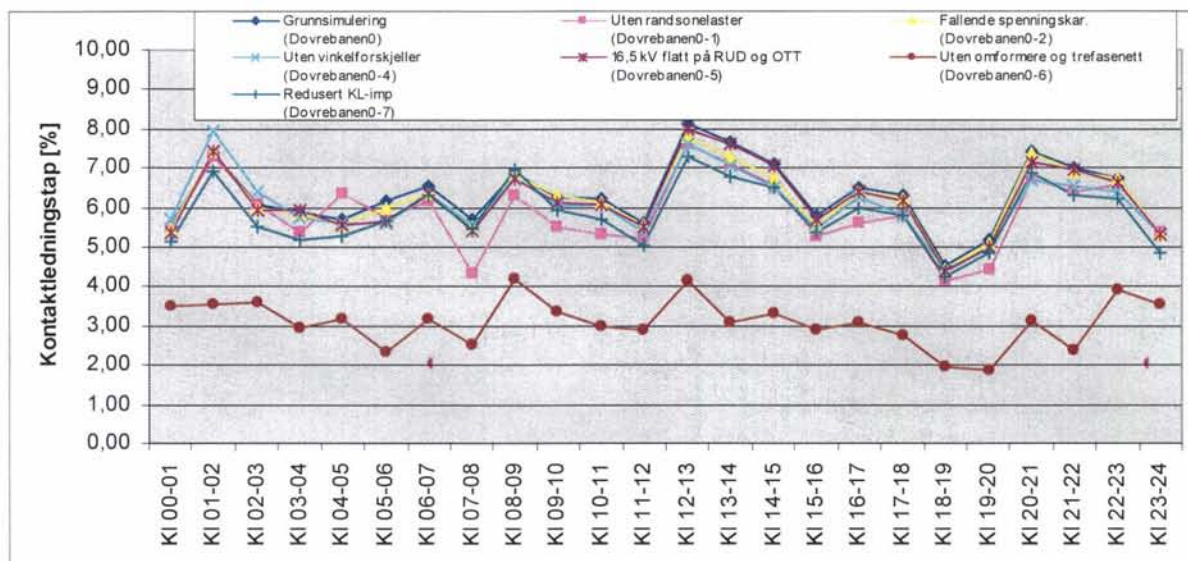
3.4.2 Variasjon gjennom driftsdøgnet

Tapsprosenten for kontaktledningen på Dovrebanen er i grunnsimuleringen funnet å variere mellom 5 og 8 som vist i figur 3-5. Noe tydelig skille mellom natt og dag kan en ikke se. Et ekstra godstogpar ser ut til å både kunne øke og redusere timesverdien av tapsprosenten. Generelt ser det ut som om tapsprosenten reduseres noe når en bytter ut E114 i alle godstogene til E116 med telefilter, men at tapsprosenten øker ved overgang til EG3100 med tilbakemating. Forskjellen mellom E114/E116 og EG3100 er størst på natten når godstrafikken dominerer.



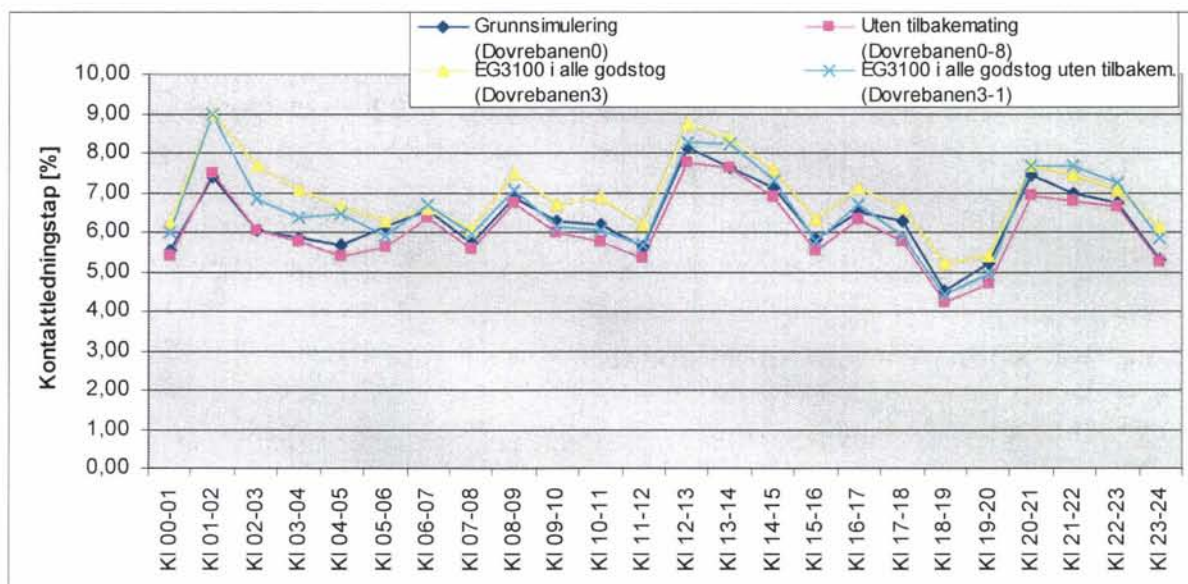
Figur 3-5: Simulert tapsprosent for kontaktledningen på Dovrebanen med timesoppløsning for ulike variasjoner i trafikken.

Figur 3-6 viser hvordan tapsprosenten varierer gjennom driftsdøgnet ved ulike variasjoner i infrastrukturen. For alle simuleringene utenom den uten omformere (Dovrebanen0-6) ligger resultatene relativt nære hverandre. Grunnsimuleringen ligger generelt høyt av disse, og ekstrasimuleringene hvor ulike elementer tas ut fører gjerne til at tapsprosenten blir noe mindre. Generelt kan det se ut som om simuleringen uten randsonelaster ligger lavt.



Figur 3-6: Simulert tapsprosent for kontaktledningen på Dovrebanen med timesoppløsning for ulike variasjoner i infrastrukturen.

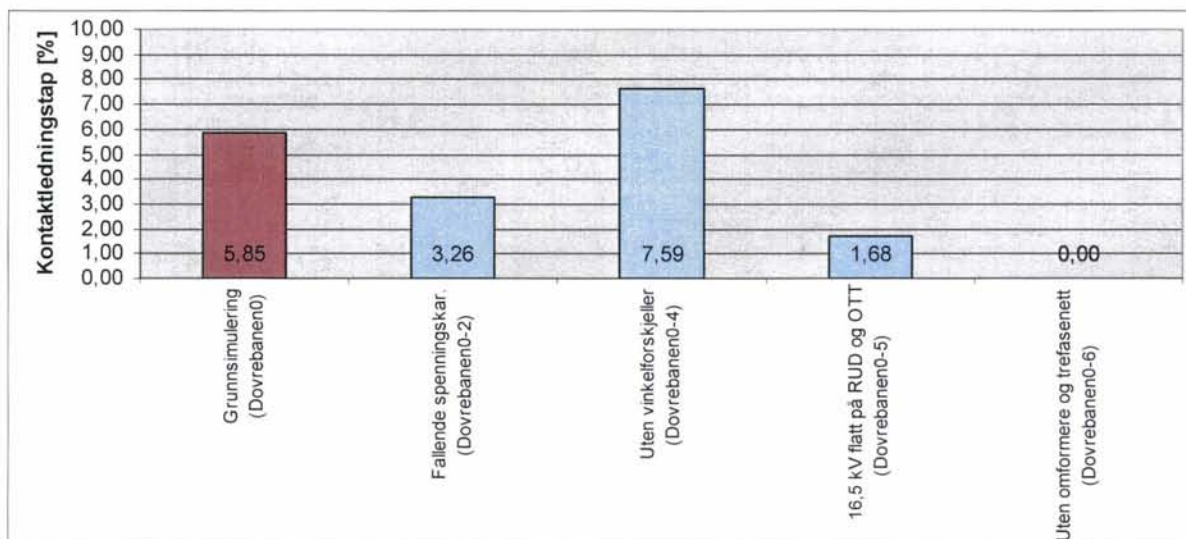
Figur 3-7 under viser hvordan den simulerte tapsprosenten på Dovrebanen endres gjennom døgnet for to ulike trafikktilfeller med og uten tilbakemating. Generelt er tapsprosenten høyere ved tilbakemating enn uten, men dette er ikke konsekvent for alle døgnetts timer.



Figur 3-7: Simulert tapsprosent for kontaktledningen på Dovrebanen med timesoppløsning for dagens og mulig fremtidens trafikk med og uten tilbakemating.

3.4.3 Tomgang

I tomgang er kontaktledningstapene simulert til 5,85 % for modellen av Dovrebanen som figur 3-8. Dersom alle omformerstasjonene ligger likt i fase på trefasesiden viser simuleringene at tapsprosenten øker, men den totale energien matet inn i systemet synker. Ved øket tomgangsspenning på de små stasjonene Rudshøgda og Otta reduseres tomgangstapene mye i forhold til grunnsimuleringen. Om spenningskarakteristikken for omformernes generatorer endres fra flat til fallende ved økende (reaktiv) belastning så synker de prosentvise kontaktledningstapene. Tomgangstapene forsvinner helt dersom alle matepunktene har lik spenning (16,5 kV) uten vinkelforskjell.



Figur 3-8: Simulerte kontaktledningstap i prosent i tomgang for modellen av Dovrebanen med ulike innstillinger av spenningsregulatorer og ulike vinkelforskjeller mellom matepunktene.

3.5 Sørlands- og Vestfoldbanen

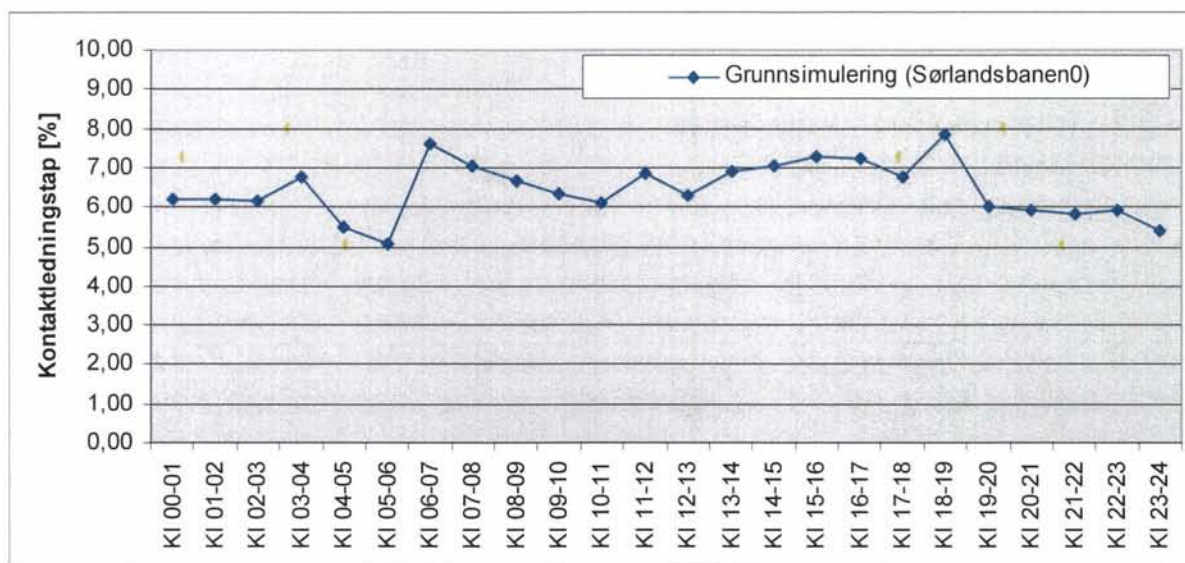
For Sørlands- og Vestfoldbanen er det utført en trafikksimulering av normal driftsituasjon. I tillegg er det utført en tomgangssimulering uten Hakavik kraftstasjon. Tap i fjernledningen fra Hakavik til Sande, Skollenborg, Nordagutu og Neslandsvatn holdes utenfor her.

3.5.1 Totale tap over driftsdøgnet

På Sørlandsbanen og Vestfoldbanen er det funnet at det tapes 27,94 MWh i døgnet for en normal driftsituasjon som simulert. Dette utgjør 6,47 % av den totale innmattede energien i kontaktledningen.

3.5.2 Variasjon gjennom driftsdøgnet

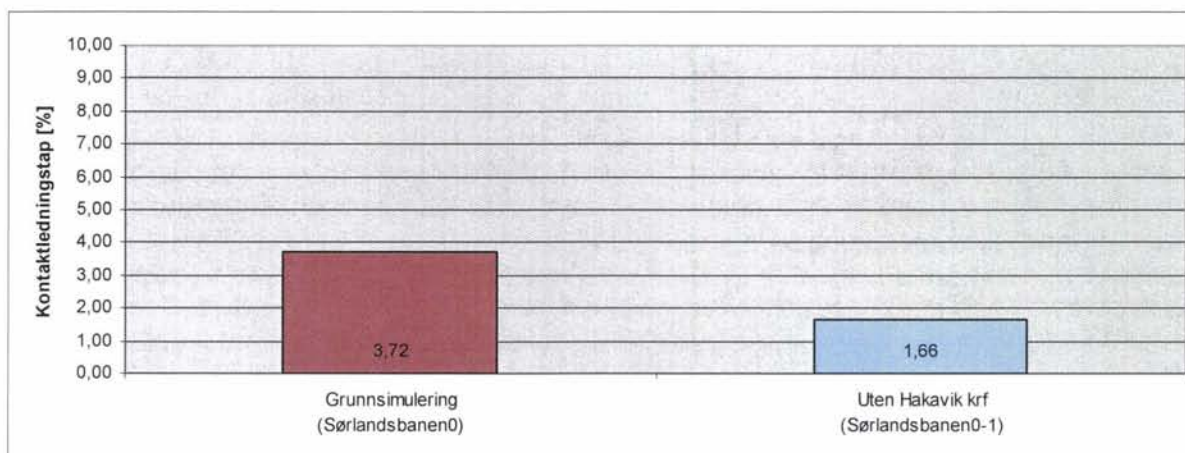
For tapsprosenten gjennom driftsdøgnet ser vi av figur 3-9 at timesverdiene varierer mellom 5 og 8 %. Det er kanskje antydning til at tapsprosenten er opptil ett prosentpoeng høyere i de typiske rushtidene enn ellers i døgnet, men det er ikke entydig.



Figur 3-9: Simulert variasjon i kontaktledningstapene på Sørlands- og Vestfoldbanen gjennom driftsdøgnet.

3.5.3 Tomgang

I tomgang er kontaktledningstapene simulert til 3,7 % med konstant produksjon i Hakavik kraftstasjon som vist i figur 3-10. Dersom Hakavik legges ut reduseres tomgangstapene til 1,66 %. Tapsprosenten i tomgang er nesten halvparten av gjennomsnittet av tapene over døgnet.



Figur 3-10: Sammenligning av simulert prosent for kontaktledningstap for Sørlands- og Vestfoldbanen med og uten Hakavik kraftstasjon.

3.6 Ofofbanen

For Ofofbanen er trafikken simulert helt til Stenbacka omformerstasjon 62 km inn på svensk side. Det er imidlertid plassert en energimåler i seksjoneringsstasjonen på riksgrensen samt at simuleringene er utført slik at en kun studerer energiforbruk og tap på norsk side.

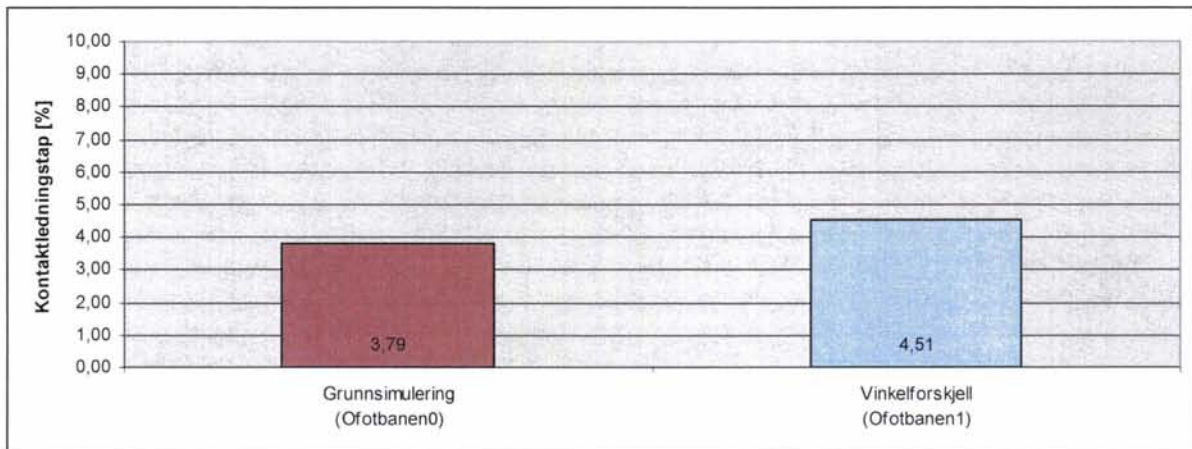
Det er utført to simuleringer på Ofofbanen;

- en simulering der det ikke er vinkelforskjell mellom tilknytningen til trefasenettet for Rombak omformerstasjon (Sildvik) og tilknytningene til omformerstasjonene på svensk side og

- en simulering der det importeres 100 MW fra Sverige, hvilket gir en vinkelforskjell på 4,5°.

3.6.1 Totale tap over driftsdøgnet

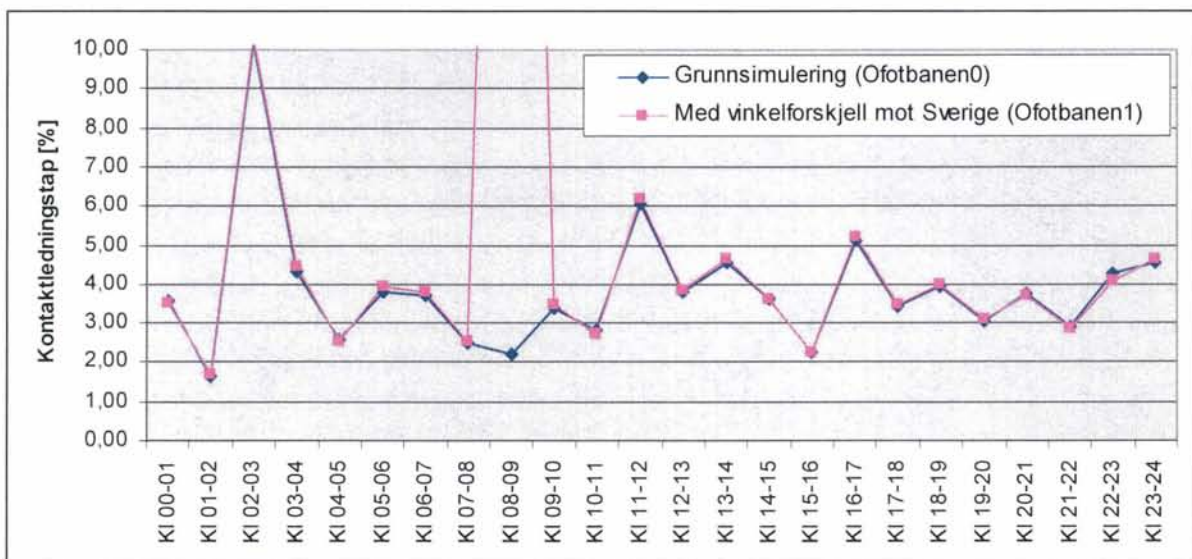
Totalt er det ved hjelp av simuleringer funnet at det tapes 3,58 MWh i døgnet i kontaktledning og mateledninger på Ofofbanen ved den trafikken som legges til grunn her (Ofofbanen0). Det utgjør 3,79 % av den totale energien som er levert inn i systemet. Dersom en legger til grunn 100 MW import i fra Sverige øker tapsprosenten til 4,51 som vist i figur 3-11.



Figur 3-11: Sammenligning av simulert tapsprosent for kontaktledning inkludert mateledninger for et helt driftsdøgn på Ofofbanen.

3.6.2 Variasjon gjennom driftsdøgnet

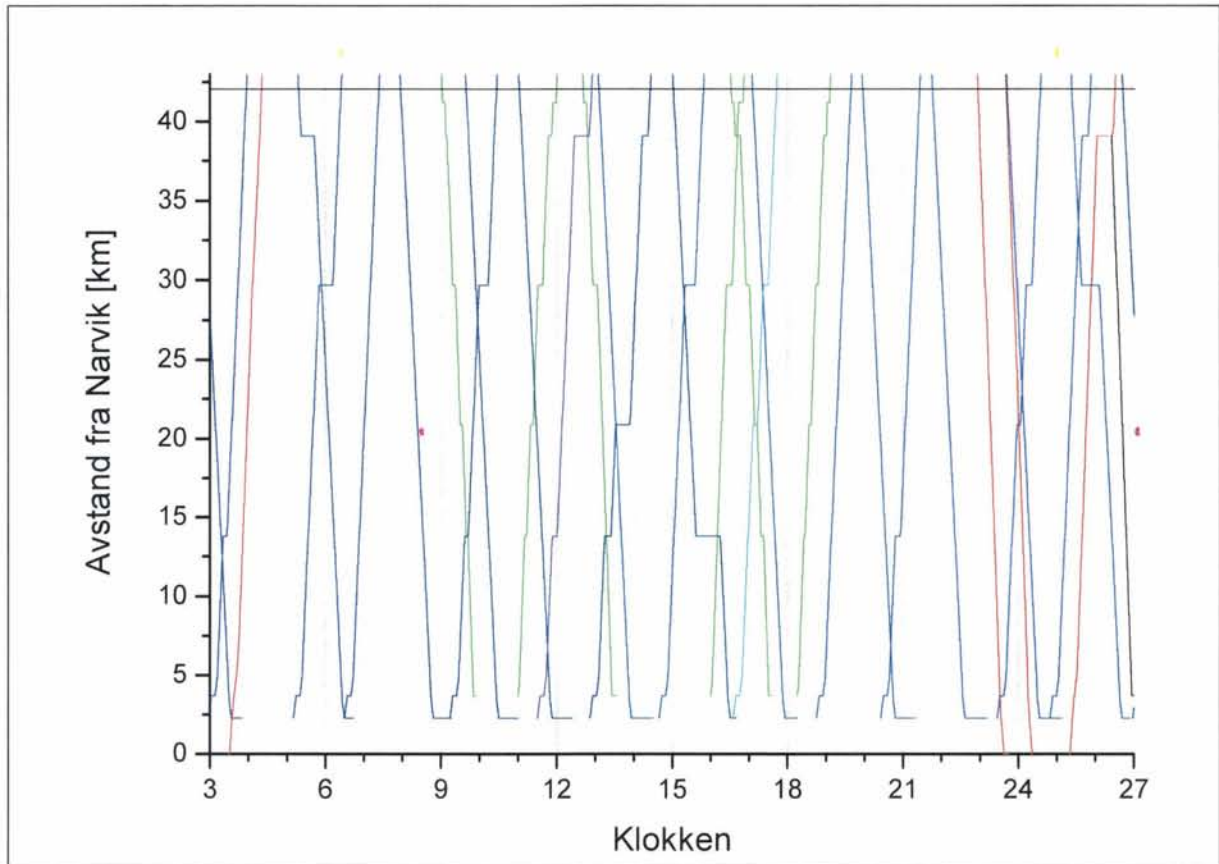
Figur 3-12 viser hvordan de simulerte kontaktledningstapene i prosent varierer gjennom driftsdøgnet med timesoppløsning for de to tilfellene. Det kan se ut som at tapene normalt varierer mellom 2 og 6 %, og bare sjelden er høyere enn dette. Variasjonen synes å være tilnærmet lik for de to tilfellene med unntak av et tilfelle der avviket er veldig stort. Verdien som faller utenfor figurens skala er på 40 %. Det er ikke lett å se noe system i hvordan tapsprosenten varierer gjennom døgnet.



Figur 3-12: Variasjon i simulerte kontaktledningstap i prosent gjennom driftsdøgnet med og uten vinkelforskjell mot Sverige gitt med timesoppløsning.

3.6.3 Variasjon ut fra dominerende trekraft i malmtog

Som vist i tabell 2-10 er driftsdøgnet delt opp i tre deler alt etter hva slags trekraft/lokomotiv som benyttes i malmtogene. Grafisk oversikt over simulert trafikk Narvik-Riksgrensen er vist i figur 3-13.

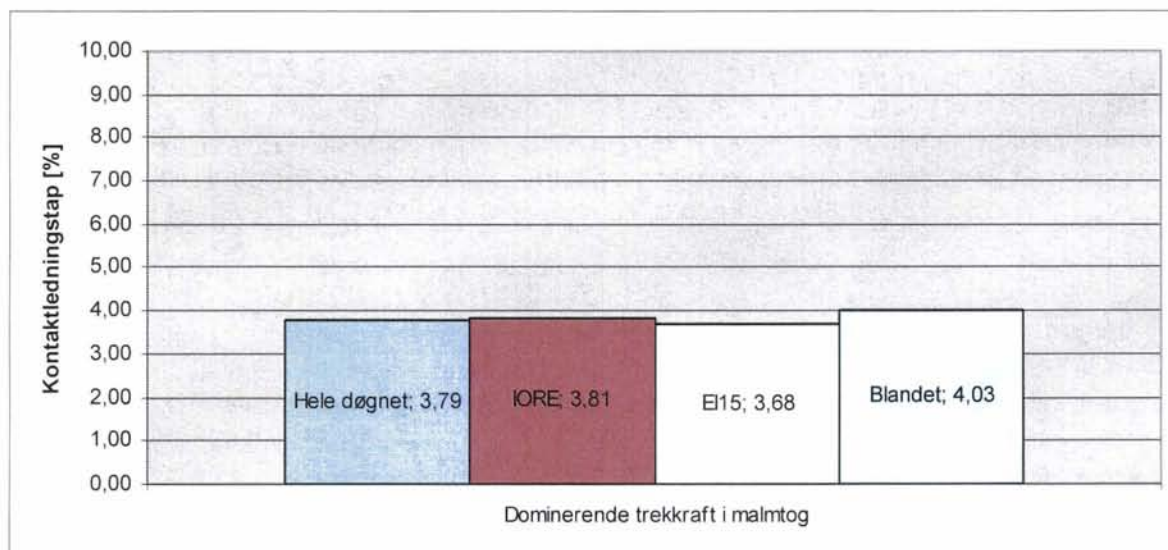


Figur 3-13: Simulert ruteplan for Ofotbanen (rød er godstog, grønn er persontog, sort er lølokomotiv, lys blå er malmtog (eventuelt tomt malmtog) med EI15 som trekraft, turkis er malmtog med tilsatsmidler (olivin) og EI15 som trekraft, mørk blå er malmtog (eventuelt tomt malmtog med IORE som trekraft og lilla er malmtog med tilsatsmidler (olivin) og IORE som trekraft. Fagernes havn ligger på km 0 og Narvik stasjon på km 3,33. Klokken 24-27 tilsvarer klokken 00-03 på natten.

Tabell 3-4 viser en oversikt over hva slags trafikk det er i de forskjellige timene av døgnet sammen med gjennomsnittlig simulert prosentvis kontaktledningstap i tilsvarende periode. Det er ut i fra denne tabellen alene eller sammen med figur 3-13 ikke lett å se noen tendenser eller sammenhenger. Det er derfor beregnet gjennomsnittlig tapsprosent for de tre typene trafikk som vist i figur 3-15 sammenlignet med døgngjennomsnittet. Ut i fra simuleringene utført her er det litt, men ikke mye forskjell mellom de forskjellige typene trekraft.

Tabell 3-4: Togtrafikk (ruteplan) på Ofofbanen Narvik-Riksgrensen sammenlignet med simulert tapsprosent for respektive time (simulerings-id Ofofbanen0)

Time	Malmtrafikk	Annen trafikk	Tap i kontaktledning [%]
KI 00-01	IORE_Malm og IORE_Tom	Godstog ned	3,59
KI 01-02	IORE_Malm og IORE_Tom	Godstog opp	1,66
KI 02-03	IORE_Malm	Godstog opp og løsløk ned	10,19
KI 03-04	EI15_Malm og EI15_Tom	Godstog opp	4,31
KI 04-05			2,60
KI 05-06	EI15_Malm og EI15_Tom		3,82
KI 06-07	EI15_Malm og EI15_Tom		3,70
KI 07-08			2,48
KI 08-09	EI15_Malm		2,22
KI 09-10	EI15_Malm og EI15_Tom	Persontog ned	3,40
KI 10-11	EI15_Malm og EI15_Tom		2,80
KI 11-12	EI15_Malm og EI15_Olivin	Persontog opp	6,04
KI 12-13	EI15_Olivin	Persontog ned	3,78
KI 13-14	IORE_Malm og EI15_Tom	Persontog ned	4,58
KI 14-15	EI15_Tom		3,61
KI 15-16	EI15_Malm og IORE_Tom		2,24
KI 16-17	EI15_Malm og IORE_Olivin	Persontog opp og ned	5,13
KI 17-18	IORE_Malm og IORE_Olivin	Persontog ned	3,44
KI 18-19		Persontog opp	3,94
KI 19-20	IORE_Tom		3,06
KI 20-21	IORE_Malm og IORE_Tom		3,76
KI 21-22	IORE_Malm og IORE_Tom		2,92
KI 22-23	IORE_Malm		4,28
KI 23-24	IORE_Malm og IORE_Tom	Godstog ned	4,55

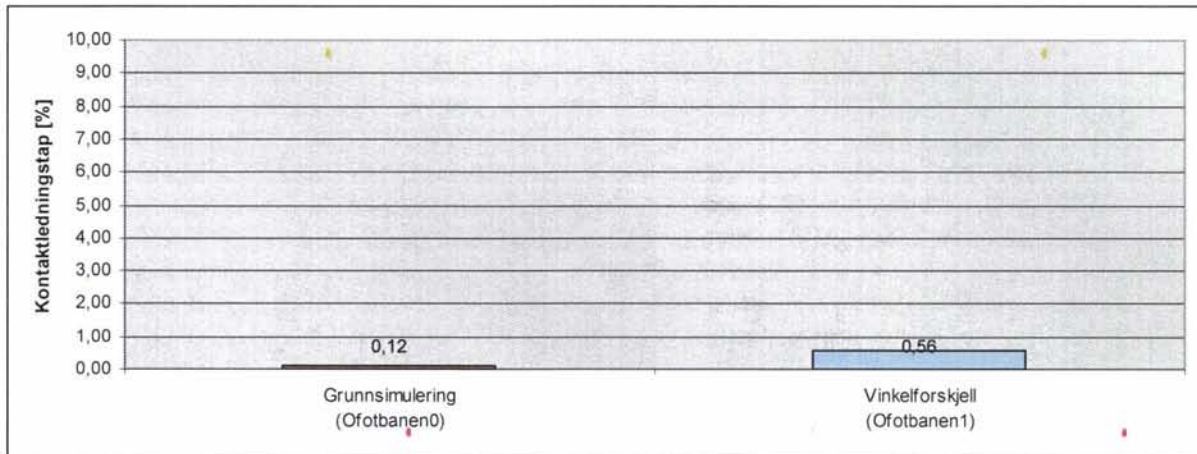


Figur 3-14: Sammenligning av gjennomsnittlig simulering tapsprosent for kontaktledningen ved de tre ulike typene trafikk. Med "Blandet" menes det timene som verken IORE eller EI15 dominerer.

3.6.4 Tomgangstap

Figur 3-15 under viser simulert kontaktledningstap for modellen av Ofofbanen i tomgang med og uten effektutveksling mot Sverige gjennom overliggende trefasenett. Tomgangstapene i kontaktledningen er simulert til 0,12 % når det ikke er vinkelforskjell mellom trefasenettet

ved Rombak omformer og Tornehamn og Stenbacka omformerstasjoner, men øker til 0,56 % når det importeres 100 MW fra Sverige. Ved importen transporteres 0,25 MW gjennom kontaktledningen, og det øker tapene. Tomgangstapsprosenten er mye mindre enn den gjennomsnittlige tapsprosenten over driftsdøgnet.



Figur 3-15: Sammenligning av simulerte kontaktledningstap i prosent med og uten effektutveksling gjennom overliggende trefasenett mot Sverige.

3.7 Oslo-området

3.7.1 Totale tap over driftsdøgnet

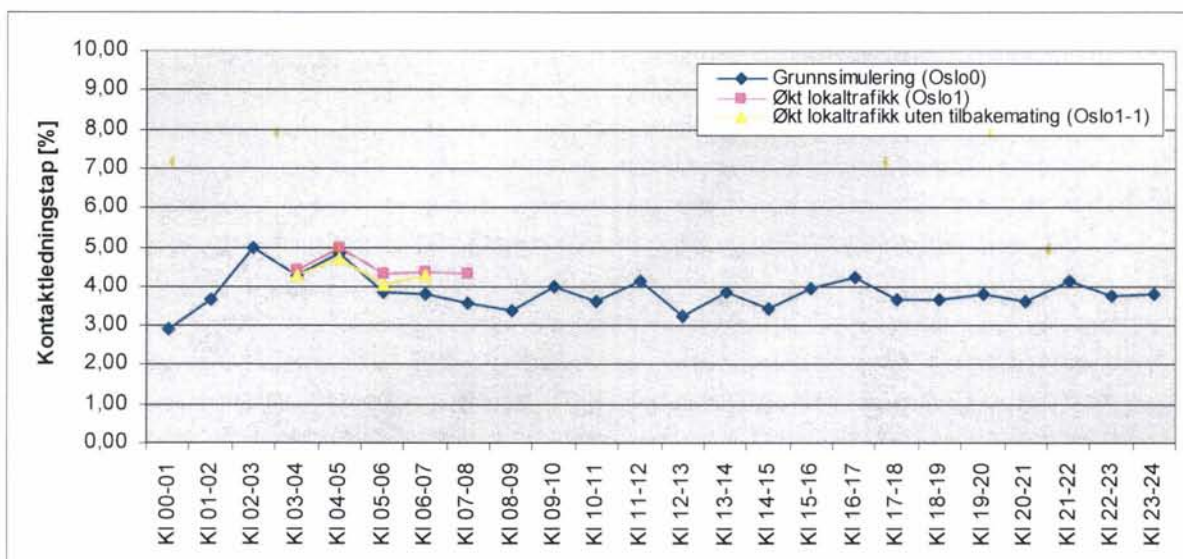
I Oslo-området er det ved hjelp av simuleringen funnet ut at det i det aktuelle driftsdøgnet tapes 39,02 MWh. Det utgjør 3,79 % av energien matet inn i systemet.

Om en bare ser på perioden kl 03 til 08 øker kontaktledningstapene fra 3,92 % til 4,42 % ved en økning i lokaltrafikken som beskrevet i tabell 3-1. Ved økt lokaltrafikk fører tilbakematingen til 0,2 prosentpoeng av tapsprosenten i det tidsintervallet som er simulert (kl 03-07), det vil si at tilbakemating fører til høyere kontaktledningstap.

3.7.2 Variasjon gjennom driftsdøgnet

Figur 3-16 viser hvordan kontaktledningstapene i prosent varierer gjennom driftsdøgnet for simuleringene av Oslo-området. Tapsprosenten ser i grunnsimuleringen ut til å variere mellom 3 og 5 %. Det kan se ut som om tapsprosenten er høyere i de timene på natten hvor det går lite tog sammenlignet med resten av døgnet.

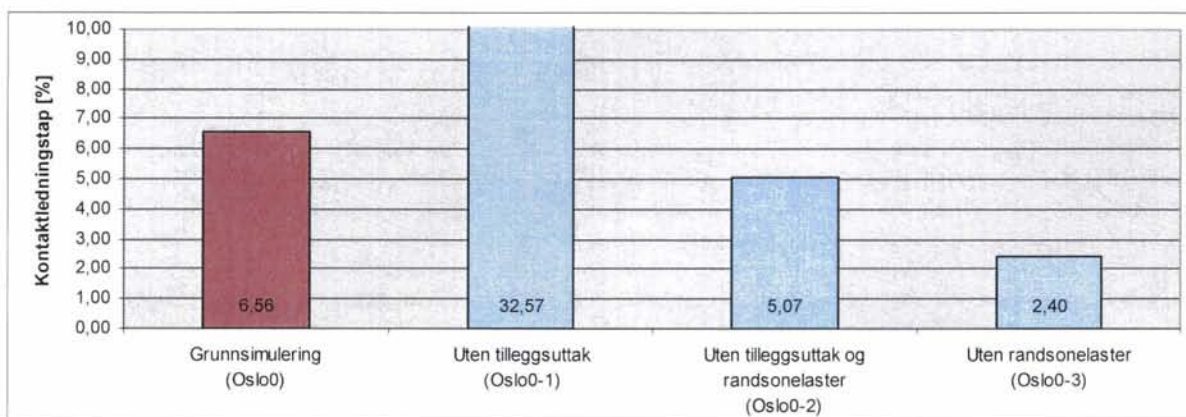
Figuren viser også at endringen og økningen i lokaltrafikken fører til økt tapsprosent og at økningen er størst når trafikken er størst i morgenrushet.



Figur 3-16: Variasjon i kontaktledningstapsprosenten gjennom driftsdøgnet for simuleringene av Oslo-området.

3.7.3 Tomgangstap

Det er utført flere forskjellige simuleringer av modellen i tomgang. Tapsprosenten for disse tilfellene er presentert i figur 3-17. Tapsprosenten i grunnsimuleringen i tomgang er om lag dobbelt så stor som gjennomsnittet over døgnet med trafikk i samme simulering. Om en tar bort tilleggsuttaket til skifting og stasjonær togvarme ser en at tapsprosenten øker kontaktledningstapene i størrelse og prosent av energi matet inn i systemet.

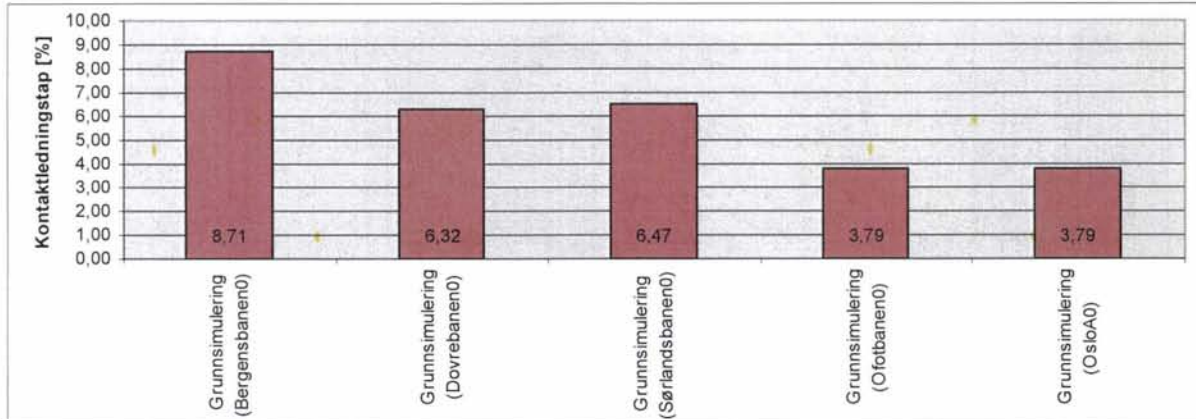


Figur 3-17: Sammenligning av simulert kontaktledningstap i ulike tilfeller av tomgang for modellen av Oslo-området.

3.8 Sammenligning alle strekninger

3.8.1 Totale tap over driftsdøgnet

Figur 3-18 viser en sammenligning mellom simulert gjennomsnittlig tapsprosent for kontaktledningen for de ulike banestrekningene/-områdene. Grovt sett ser det ut som om tapsprosenten på Bergens-, Dovre- og Sørlands-/Vestfoldbanen er dobbelt så høy som for Ofotbanen og Oslo-området.



Figur 3-18: Sammenligning av simulert tapsprosent for kontaktledning for de ulike banestrekningene/-områdene

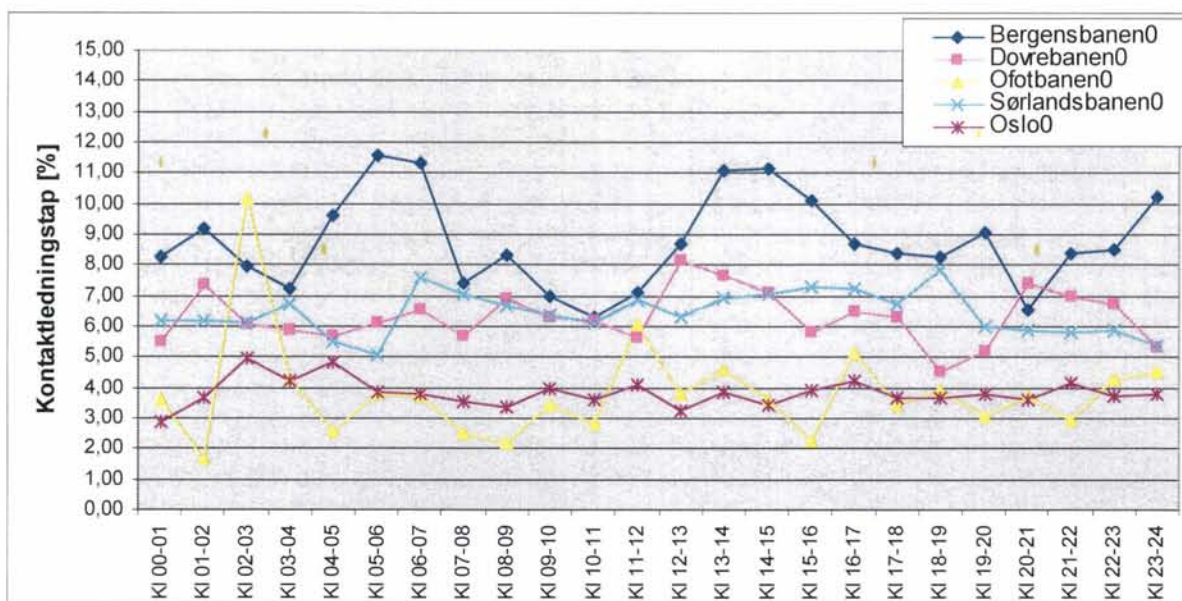
I tabell 3-5 er det satt opp et anslag over gjennomsnittlig tapsprosent for hele landet og ulike inndelinger av landet basert på grunnsimuleringene utført her. I estimeringen er kun resultatene fra de forskjellige simuleringene summert uten vektning. Det vil si at strekningene som er med i flere simuleringer (Drammen-Kongsberg, Hokksund-Hønefoss, Roa-Hønefoss, Drammen-Holmestrand og Eidsvoll-Fåberg) er tatt med flere ganger, mens strekningene som ikke er simulert (Sarpsborg-Kornsjø grense og Kongsvinger-Charlottenberg grense) ikke er med i det hele tatt. Samtidig medfører modelleringen av randsoneelastene at energi inn i systemet kan regnes to ganger, både levert gjennom inn gjennom matestasjon i en simulering og inn gjennom randsone i en annen simulering.

Tabell 3-5: Oversikt over simulerte tap i kontaktledning for et helt døgn med normal trafikk (typisk ukedag) for de ulike banestrekningene sammen med anslåtte gjennomsnittsverdier for hele landet, Sør-Norge og fjernstrekningene.

	Gj.snitt tapsprosent kontaktledning [%]	Energi inn i systemet [MWh]	Kontaktledningstap [MWh]
Bergensbanen	8,7	266,55	23,22
Dovrebanen	6,3	310,31	19,61
Sørlands-og Vestfoldbanen	6,5	432,12	27,94
Ofotbanen	3,8	94,51	3,58
Oslo-området	3,8	1028,88	39,02
Anslått gjennomsnitt for landet	5,3	2132,36	113,36
Anslått gjennomsnitt for Sør-Norge	5,4	2037,85	109,78
Anslått gjennomsnitt for fjernstrekningene	7,0	1008,97	70,76

3.8.2 Variasjon gjennom driftsdøgnet

I figur 3-19 er det sammenlignet hvordan de simulerte kontaktledningstapene i prosent av innmatet energi i systemet i driftdøgnet varierer gjennom døgnet. En tilsvarende oversikt over det totale energiforbruket og energitapet gjennom driftsdøgnet er gitt i vedlegg 6.



Figur 3-19: Sammenligning av simulert tapsprosent i timesverdi for de ulike grunnsimuleringene.

For å kunne studere statistikk er gjennomsnitt og standardavvik for de timesverdiene av tapsprosenten for de ulike strekningene vist i tabell 3-6. Standardavviket for timesverdiene er typisk på 0,5-1,5 prosentpoeng med Bergensbanen og Ofotbanen med størst variasjon og Oslo-området med minst variasjon. Typisk ligger 19 av døgnetts 24 timer innenfor gjennomsnitt pluss minus ett standardavvik.

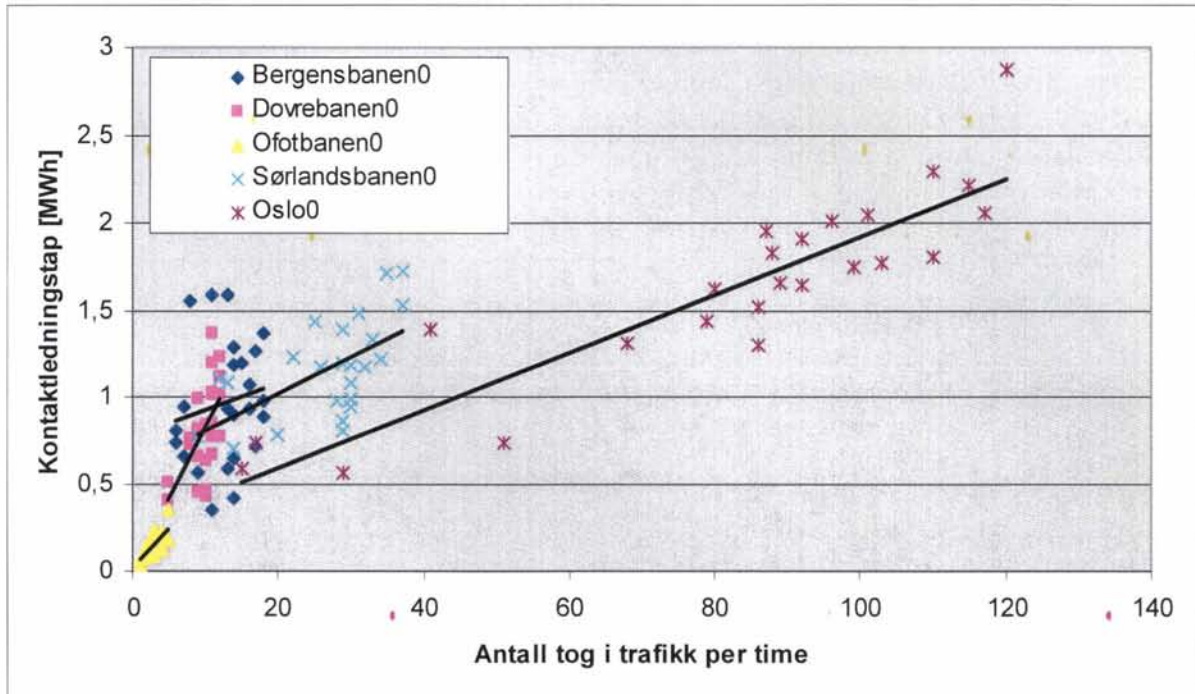
Tabell 3-6: Typiske variasjoner i tapsprosentens timesverdi for de ulike strekningene/områdene. Alle tall i %.

Strekning/område	Vektet Gjennomsnitt (døgnverdi)	Gjennomsnitt av timesverdi	Standardavvik	Antall timer innefor ± 1 standardavvik
Bergensbanen	8,71	8,77	1,52	16
Dovrebanen	6,32	6,32	0,86	21
Sørlands- og Vestfoldbanen	6,47	6,45	0,70	17
Ofotbanen	3,79	3,84	1,68	21
Oslo-området	3,79	3,83	0,45	19

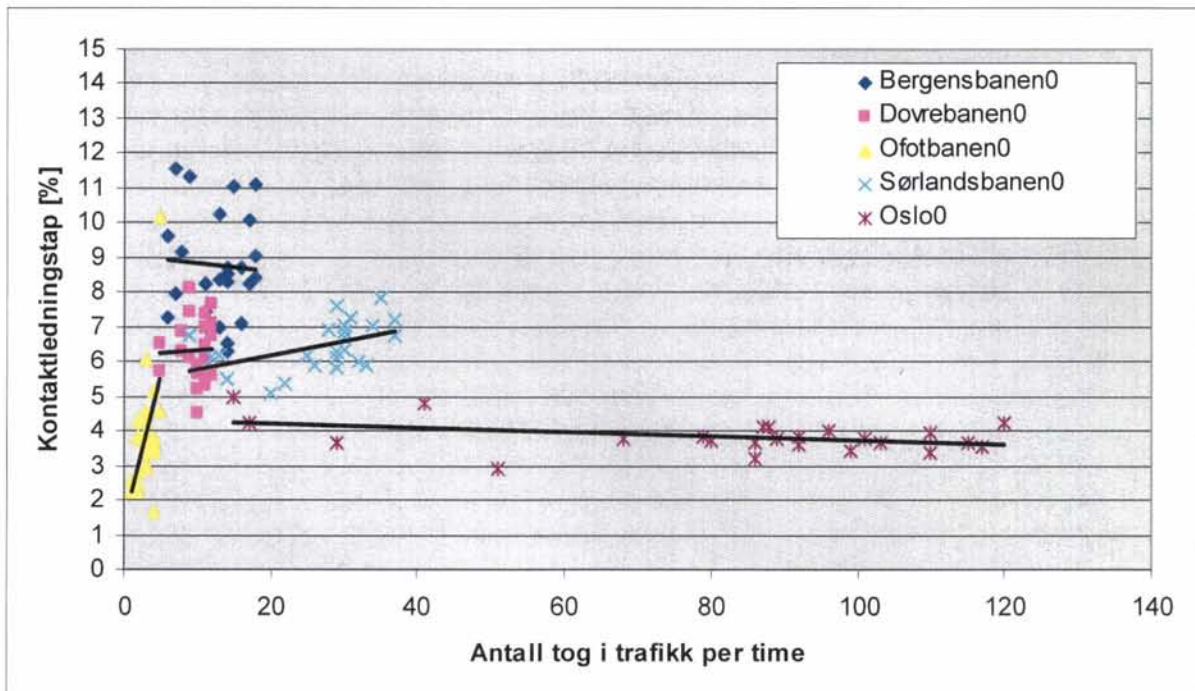
3.8.3 Variasjon i forhold til antall tog

For å se hvordan kontaktledningstapene varierer med belastningen er det i figur 3-21 og figur 3-20 under plottet tapene, både i størrelse og prosent av innmatet energi i systemet, i forhold til antall tog i trafikk per time for de ulike grunnsimuleringene. Med antall tog i trafikk menes antall tog i respektive time som opptar og/eller avgir energi.

Tapenes størrelse ser ut til å øke når antall tog i trafikk øker. Men hvor mye de øker per tog ser ut til å være forskjellig fra de forskjellige banestrekningene. Tapsprosentene derimot ser ut til å øke når antall tog øker for noen baner og minke når antall tog øker for andre baner.



Figur 3-20: Kontaktledningstap som funksjon av antall tog i trafikk per timer for de ulike grunnsimuleringene.

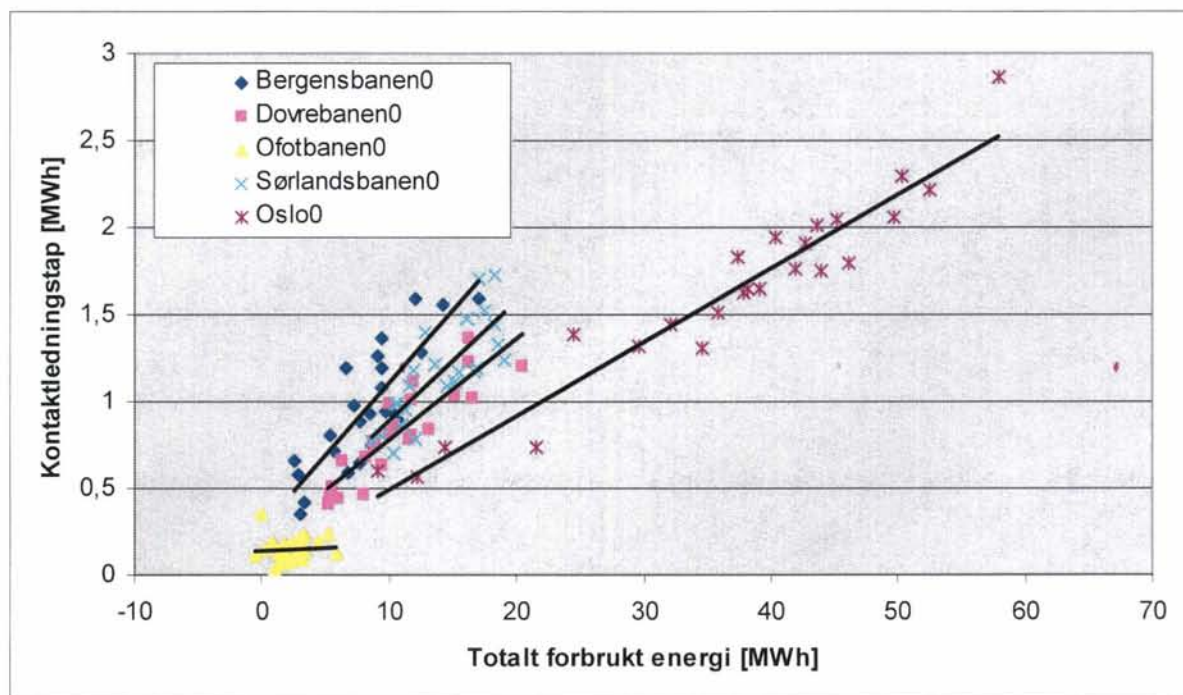


Figur 3-21: Variasjon mellom antall tog i trafikk per time for de forskjellige grunnsimuleringene og tapsprosenten.

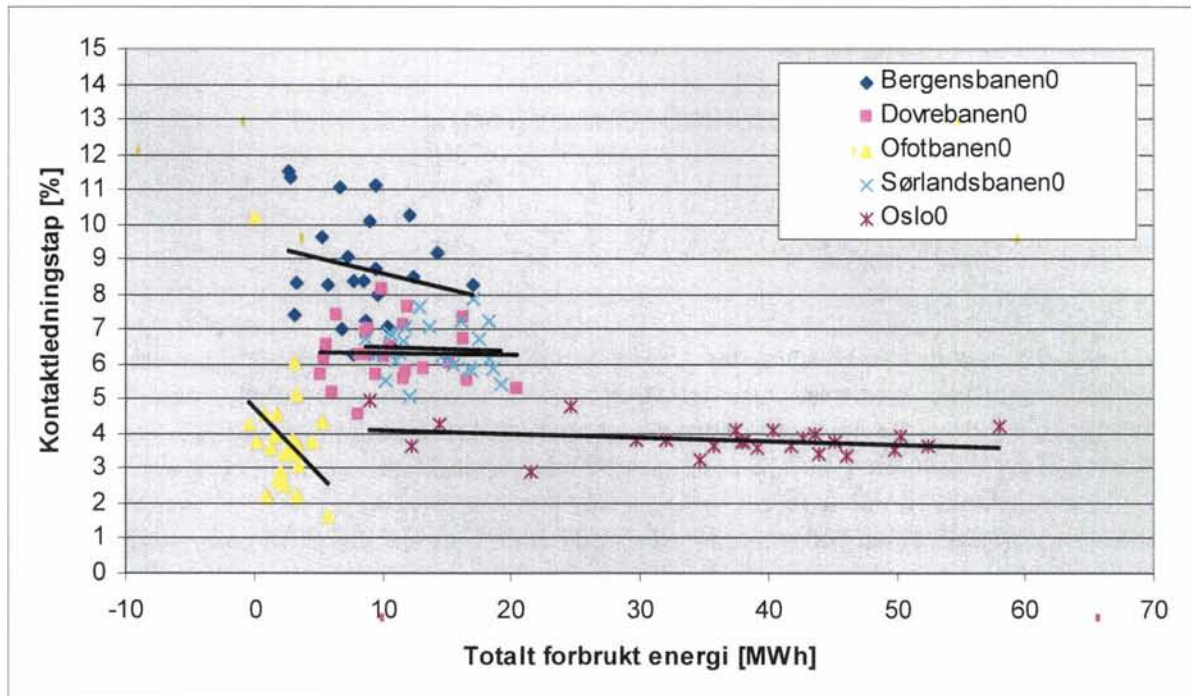
3.8.4 Variasjon i forhold til levert energi per time

For å se hvordan kontaktledningstapene, både i størrelse og i prosent av innmatet energi i systemet varierer i forhold til totalt forbrukt energi i systemet er disse plottet i henholdsvis figur 3-22 og figur 3-23.

Av den første figuren ser en at kontaktledningstapenes størrelse ser ut til å øke relativt likt med det totale energiforbruket for alle banene utenom Ofotbanen som er nesten upåvirket av energiforbruket. Tapsprosenten viser imidlertid tendenser til å minke ved økt forbruk for de fleste banene, men i forskjellig styrke. Kurvene kan være noe misvisende i perioder med mye tilbakemating ettersom forbrukt energi da reduseres. Tendensene ser imidlertid ut til å være de samme når en ser i forhold til total energi inn i systemet.



Figur 3-22: Simulerte kontaktledningstap som funksjon av totalt forbrukt energi (tog+tillegg) for de ulike grunnsimuleringene med timesopløsning.



Figur 3-23: Simulert tapsprosent for kontaktledningen som funksjon av totalt forbrukt energi (tog+tilllegg) for de ulike grunnsimuleringene med timesoppløsning.

3.8.5 Marginalendringer

Ut i fra figurene i de to foregående avsnittene er det i tabell 3-7 vist med tall hvordan trenden er for energitap og tapsprosent som funksjon av forbrukt energi og antall tog. Trendlinjene er for lineære og for så vidt også tegnet inn i figurene. Dersom en ser bort fra variasjonene i tapene som ikke er belastningsavhengige kan tallene i tabellen grovt fortelle om marginaltapene ved å for eksempel kjøre et tog til eller øke energiuttaket med 1 MWh per time.

Tabell 3-7: Marginale tap og tapsprosent i ut i fra trendlinjene i henholdsvis figur 3-22, figur 3-20, figur 3-23 og figur 3-21.

Strekning/område	Marginale tap		Marginal tapsprosent	
	[MWh/forbrukt MWh]	[MWh/tog]	[%/forbrukt MWh]	[%/tog]
Bergensbanen	0,0832	0,0154	-0,0868	-0,0204
Dovrebanen	0,0583	0,0842	-0,0042	0,0203
Sørlands- og Vestfoldbanen	0,0689	0,0213	-0,0125	0,0408
Ofotbanen	0,0028	0,0422	-0,3670	-0,0144
Oslo-området	0,0423	0,0165	-0,0100	-0,0061

4 DISKUSJON OG KONKLUSJON

4.1 Diskusjon av metodikk og modellering

Mesteparten av diskusjonen i dette avsnittet tar for seg forhold rundt simuleringene av fjernstrekningene selv om mesteparten også er gyldig for Oslo-området. For detaljert diskusjon og opplysninger om Oslo-området spesielt vises det til [1].

4.1.1 Valg av simuleringsdag

I simuleringen av kontaktledningstap i Oslo-området i [1] var det først tenkt å simulere en hel uke med togtrafikk. Så ble dette moderert til onsdag, lørdag og søndag på grunn av arbeidsomfanget og der SINTEF mente at lørdagene tilsvarte sommerruter. Til slutt ble det redusert til onsdag med opsjon på lørdag og søndag som ikke ble løst ut.

Tilsvarende gjelder for simuleringene utført i denne rapporten. En skulle gjerne ønske å simulere mest mulig, men dette må avveies opp i mot at innlegging og kvalitetssikring av data er meget tidkrevende. Det har derfor også her vært nødvendig å velge kun ett døgn å simulere, og det ble valgt onsdag 9. juni.

Argumentasjonen for valg av denne dagen kan sammenfattes i:

- Mener det er riktig å velge en dag som i størst mulig grad består av grunnruter med normal trafikk. Mandager, fredager, lørdager og søndager har enten færre eller flere tog. Dette begrenser til tirsdag, onsdag eller torsdag.
- Det vil vel være riktig å velge en dag med normalruter i motsetning til sommerruter siden det er flest normale dager. Dette utelukker spesielt sommeren ca 15/6 til 15/8.
- Det er enklere å legge inn rutene i SIMPOW med like ruter dagen før på grunn av at overgangen fra en dag til en annen og valg av simuleringens start i forhold til $t=0$ som det ikke er mulig å starte simuleringen på. Dette begrenser til tirsdag, onsdag eller torsdag
- Flere godstog går kun mandag/tirsdag til torsdag/fredag. Dette begrenser til tirsdag, onsdag eller torsdag.
- I simulering av Oslo-området ble det valgt onsdag 11.juni 2003. Valg av samme ukedag vil være naturlig ut fra samme vurderinger og når vi bruker resultatene fra denne simuleringen til modellering av randsoner.
- Det kjøres ikke i krengehastighet neste rutetermin (R153.1), og det har derfor ikke hensikt å simulere denne for "bedre fremtidige" resultater. Ruter lenger frem enn det foreligger normalt ikke.
- Det er en stor fordel å benytte ruter for den ruteterminene en er i siden det da er lettere å skaffe ruteplaner og turneringsdata for gjeldende enn for tidligere som er "glemt".

Motargumenter:

- Det kan være endringer i ruteplanen (denne som er 2 ruteterminer senere enn den som ble valgt for Oslo-området) som gjør at modelleringen av randsonelastene ikke er fullstendig korrekt for alle tidspunkt. Typisk kan en tenke seg flytting av enkelte fjerntog 1-30 minutter. Det er også mulig at ruteleiet for IC-togene fra Skien til Lillehammer flyttet litt. Som timesverdi antar vi at dette har mindre å si. Fullstendig korrekt vil det bare bli om en simulerer samme rute som for ett år siden (se siste kulepunkt over).

I tilleggssimuleringen som er utført i Oslo-området er det bare simulert 4 timer fra kl 03 til kl 07 på morgenen på grunn av arbeidsomfanget. Denne tidsperioden inneholder både lav trafikk og høy trafikk (rushtid).

4.1.2 Avgrensning av simuleringsområdet og modellering av randsonen

For å kunne se på variasjonene i kontaktledningstapet på forskjellige geografiske områder og for å begrense kompleksiteten i simuleringene er landet delt opp i flere modeller. Det gir imidlertid utfordringer med å modellere randsonene riktig slik at de totale kontaktledningstapene blir mest mulig lik virkeligheten.

Utgangspunktet for modelloppdelingen har vært modellen av Oslo-området fra arbeidet i [1]. I modellene i [1] og for så vidt også simuleringene for Oslo-området i dette arbeidet har randsonemodelleringen bestått i at randen på modellen er valgt til matepunkter hvor en normalt har kontroll på spenningen, og så har en lagt inn en fast last på utsiden av randen. Dette gir økt belastning på matestasjonen i randen, men ikke energitransport i kontaktledningen. Dette med unntak av Kongsberg.

I modelleringen av fjernstrekningene har en valgt å legge randsonene litt på innsiden av modellen av Oslo-området. Ved å hente ut resultater fra simuleringen av Oslo-området og legge aktiv og reaktiv effekt inn på randen av fjernstrekningsmodellene har en kunnet modellere effektflyten inn og ut av modellen. Siden ruteplanen er noe endret på et år kan noen tog være tidligerelagt og andre senerelagt med noen minutter. Det fører til at en kan oppleve effektterspørsel både i modellen og i randsonelasten samtidig. En har oppdaget at dette kan føre til både lavere og høyere spenning for togene enn det som er naturlig. Med andre ord er denne metodikken ikke perfekt.

Det er utført to simuleringer på henholdsvis Bergens- og Dovrebanen for å se hva denne modelleringen har å si på kontaktledningstapene. I begge tilfellene ser en at tapene reduseres litt dersom randsonelastene tas ut. Det er derfor tydelig at modelleringen av randsonelastene har innvirkning på kontaktledningstapen, men det er likevel vanskelig å si at det hadde gitt riktigere resultater uten dem.

Modelleringen av effektflyten over randen på Riksgrensen på Ofotbanen regnes som den beste, men også den mest tidkrevende.

Antallet simuleringsmodeller har vært veid mellom ønske om detaljering og arbeidsomfang ved oppdeling. Oppdelingen tilsvarende nå de fleste hovedrelasjonene i landet, det vil si Oslo-området og fjernstrekningene hver for seg. Ulempen er at lokaltrafikk på bare deler av fjernstrekningene (Bergen-Arna, Flåmsbana, Arendalsbanen og Jærbanen) belyses i bare liten grad. Ei heller klarer en å skille intercitytrafikken rundt Oslo-området fra lokaltrafikken og trafikken på fjernstrekningene ellers. Det vil si at det kan være lokale forskjeller en ikke får synliggjort.

4.1.3 Bruk av E115 framfor Dm3 i malmtog

I malmtogene på Ofotbanen går det i dag både ny og gammel trekkraft i en overgangsperiode. Med gammel trekkraft menes Dm3 ettersom alle 6 E115-lokomotivene er solgt. I alle tidligere simuleringer av "dagens" trafikk på Ofotbanen er det kun benyttet E115 som trekkraft. Det er ikke utført simuleringer med Dm3, og Jernbaneverket har derfor ingen modell av dette lokomotivet. Å lage en slik modell tar 3-4 dager alt etter kvaliteten på dataunderlaget. Dette underlaget har ikke Jernbaneverket, men må skaffes fra MTAS/MTAB/LKAB.

En annen løsning er å simulere med E115 som trekraft. E115 og Dm3 er ikke samme teknologi, henholdsvis diodelok og vekselstrømslok. Ut fra karakteristikken for E114 som også er vekselstrømslok ser en at forskjellen i forbruk av reaktiv effekt er liten, det vil si veldig liten for spenninger over 15 kV, og litt større ved lavere spenninger hvor E114 trekker mest reaktiv effekt. E115 er kraftigere enn Dm3, henholdsvis 2x5,4 MW og 7,2 MW. I og med at en bruker samme akselerasjon ($0,5 \text{ m/s}^2$) antar en at dette vil ha lite å si.

Ettersom en da simuleringene ble planlagt og utført ikke kjente til at det var spenningsproblemer på Ofotbanen valgte en den siste løsningen med E115 ettersom den første løsningen ble ansett som for tidskrevende. I ettertid har en via arbeidet med [5] ved hjelp av tilsvarende simuleringer som i denne rapporten funnet at spenningen for tilsatstogene med E115 på vei østover kan komme ned i 12,5 kV i opp til et halvt minutt. Til tross for dette har en imidlertid ikke funnet at dette gir store og avgjørende avvik for kontaktledningstapene.

Det skal også nevnes at det ikke finnes en egen modelltype for diodelokomotiver i SIMTRAC, slik at en må benytte modelltypen for asynkronlokomotiver og gi det karakteristikker som et diodelokomotiv. Dette gjelder også for trinkoplerlokomotiver som beskrevet i neste avsnitt.

4.1.4 Modellering av trinkoplerlokomotiver

I SIMTRAC finnes ikke modelltype for trinkoplerlokomotiver som for eksempel E114. Ut fra hva en tidligere har erfart har det vært et nytte/kostspørsmål fra programvareleverandøren og Jernbaneverket sin side. For at resultatene skal bli så riktige som mulig er da trinkoplerlokomotivene modellert ved hjelp av modelltypen for asynkronlokomotiver og gitt karakteristika for å likne mest mulig.

En stor del av godstrafikken i Norge utføres med E114. En vurderer det slik at de eventuelle avvikene i resultatene dette måtte medføre dekkes innefor den unøyaktigheten en må forvente ved modellering og datamaskinsimuleringer generelt.

4.1.5 Statiske omformerstasjoners behandling av tilbakematet effekt

Omformerstasjoner med statiske aggregater kan i virkeligheten, avhengig av type og valg ved installasjon, behandle tilbakematet effekt fra tog på fire forskjellige måter:

- Omforming tilbake til trefasnettet ved at vekselretteren går som likeretter og likeretteren som vekselretter etter samme prinsipp som en roterende omformerstasjon.
- Forbrenning av den tilbakematede effekten ved hjelp av såkalte bremsemotstander.
- Vri på spenningens vinkel slik at den tilbakematede effekten sendes videre til neste tog eller neste matestasjon på strekningen.
- Ikke foreta seg noen ting og satse på at det er tog i nærheten som kan ta opp effekten.

I virkeligheten er det bare Sarpsborg omformer som kan mate tilbake, mens Stavne og Kielland omformerstasjonen vrir på vinkelen (bremsemotstand kun oppta små effekter over tid). MegaMacs-omformerne fra ADtranz (Jessheim, Lillestrøm og Smørbekk) foretar seg ingenting som i kulepunkt nummer 4.

Å mate tilbake til trefasnettet er den metoden som gir minst tap i kontaktledningen siden energi forsvinner ut av systemet fortest mulig. Å vri på vinkelen fører til at energien må transporteres lenger i kontaktledningen før den kan opptas av matestasjon eller tog. Spesielt kan en nevne Stavne som ligger på enden av en strekning i fall. Tilbakematet energi fra tog på

vei til Trondheim må helt tilbake til Lundamo for å gå ut av systemet om det ikke er tog i mellom.

I modellene av de statiske omformerstasjonene i SIMPOW finnes bare mulighet for tilbakemating til trefasenettet som i kulepunkt 1. Det er derfor naturlig å tro at simuleringene underestimerer tapene på dette punktet. Simuleringsresultatene viser imidlertid at det kun er snakk om meget beskjedne energimengder, så en kan anta at virkningen av dette er nesten neglisjerbart.

4.1.6 Overharmoniske strømmer

Ulineære komponenter i kraftsystemet kan forårsake overharmoniske strømmer som fører til økte energitap. Slike komponenter kan være enten kraftelektronikk (tog og statiske omformerstasjoner), lysbuer og magnetiske (roterende maskiner, transformatorer etc). Lysbuer kan en se bort fra i denne studien. Dersom en antar at systemet opererer innen normale grenser, hvilket simuleringene foran indikerer, kan en også neglisjere overharmoniske magnetiseringsstrømmer.

Overharmoniske strømmer i jernbanens kraftsystem er likevel vanlig på grunn av bruk av kraftelektronikk i traksjons- og omformerutrustning hvor tyristorlokomotiver er hovedkilden. [6] skriver på side 64-65 at innholdet at overharmoniske strømmer i det svenske kraftsystemet for jernbane er å betrakte som høyt. Det refereres også til feltmålinger der en ved mange tunge godstog trukket av RC-lokomotiver har funnet et normalt relativt innhold av overharmoniske strømmer på 25-30 % og ekstremtilfeller av 46 %.

[6] (side 73) gjennomfører stillbildesimuleringer¹ i simuleringsprogrammet LITS som tar hensyn til overharmoniske strømmer forårsaket av tyristorlokomotiver i en modell av deler av det svenske kraftsystemet for jernbane (kontaktledning og omformerstasjoner) med 130 kV fjernledning. Resultatene viser at ved å ta hensyn til overharmoniske strømmer i forhold til bare grunnharmoniske så synker virkningsgraden for systemet fra 92,0 % til 87,3 %.

De aller fleste modellene i SIMPOW/SIMTRAC er kun gyldige for grunnharmoniske strømmer og spenninger. Overharmoniske blir ikke modellert i tog og statiske omformerstasjoner.

Ut i fra dette er det naturlig å tro at kontaktledningstapsprosenten funnet i simuleringene her er noe underestimert på grunn av manglende modellering av overharmoniske strømmer. Dette gjelder spesielt i simuleringer med mye tyristormateriell som simuleringen av Oslo-området (type 69 i lokaltrafikk og godstog med E116 og Rc4 til Sverige), Bergensbanen (Type 69 i lokaltrafikk) og simuleringen med E116 som dominerende i godstrafikken på Dovrebanen. Rc-lokomotiver benyttes også en del på Ofofbanen.

4.1.7 Modellering av horisontalkurvatur

I modellene brukt i simuleringene gjengitt i denne rapporten (inkludert [1]) er ikke banens horisontalkurvatur modellert. Dette skyldes en generell tidligere vurdering (mye tidligere og utenfor dette prosjektet) om at horisontalkurvatures bidrag på togenes effektbehov er relativt lite i forhold til ekstra arbeid i innlegging av data og økt simuleringstid for datamaskinene.

¹ I motsetning til trafikksimulering med tog som beveger seg.

[7] skriver på side 20 at en horisontalkurve med $R=300$ meter fører til en kurvemotstand tilsvarende nødvendig trekraft for en stiging på 2,7 %. Ved $R=1000$ tilsvarer kurvemotstanden bare 0,7 % stigning.

2,7 % i seg selv er ikke mye. På fjernstrekningene finnes flere kurver med radius 300 og gjerne også mindre. Kilden er imidlertid datert til et tidspunkt der en kan anta at det ikke tas hensyn til radially stillbare aksler som reduserer kurvemotstanden.

For lange og tunge godstog kan det imidlertid tenkes at effektforbruket påvirkes noe ettersom kurvemotstanden til syvende og sist kommer i tillegg til resten av rulle- og stigningsmotstand. Det vil si at opptatt energi kan være noe underestimert og mens eventuell avlevert energi er noe overestimert. Det vil si at tapene ved tunge godstog kan være noe underestimert, spesielt på Ofofbanen.

4.1.8 Inndata for togmodeller

Inndata som grunnlag for togmodellene er det som benyttes som standard verdier i kraftsystemsimuleringer i Jernbaneverket. For enkelte parametere kan det imidlertid være enkelte størrelser som ikke er dokumentert på grunn av manglende informasjon. Det er da benyttet erfaringsverdier, verdier fra litteraturen eller verdier fra sammenlignbart materiell. Det antas derfor at togenes energiforbruk generelt totalt sett på grunn av inndata er innenfor det en kan anse som et rimelig usikkerhetsområde.

4.1.9 Avvik fra normal ruteplan

Ekstratog og innstillinger gir endringer i antall tog i trafikk som igjen gir endring i energiforbruket. Tilsvarende gir forsinkede tog og tog før ruten endringer i tidspunktet for effektuttaket.

Det er utført en simulering på Dovrebanen som viser hvor mye et ekstra godstogpar har å si på kontaktledningstapsprosenten. Resultatene viser at dette totalt sett over døgnet hadde lite (ingenting) å si på tapsprosenten. For de ulike timene kunne tapsprosenten både øke og minke noe.

4.1.10 Avvik fra togsammensetning i normal turneringsplan for persontog

Endret togsammensetning kan gi endret togvekt og trekraft som igjen kan gi endret effektuttak. I det lange løp er det antatt at togsammensetningene lagt til grunn gir et riktig bilde av belastningen dersom denne ikke endres mye.

4.1.11 Avvik fra antatt togvekt for godstog

I simuleringene er det antatt ei lastvekt for godstog lik det den enkelte godsroute er satt opp med og tillatt for, rundet ned til nærmeste 100 tonn. Det kan tenkes at gjennomsnittlig lastvekt kan være lavere enn dette på grunn av at hele kapasiteten av ulike grunner ikke utnyttes. Dette vil i tilfelle gi lavere effektbehov og intuitivt lavere kontaktledningstap.

4.1.12 Avvikende adhesjon

For å beskrive adhesjonen for hvert enkelt tog er det benyttet Curtius og Kniffers formel. Denne er tidligere antatt å være konservativ for normale forhold og nyere materiell. Det vil si at en i simuleringen har lagt til grunn lavere adhesjon enn det som regnes som normalt. Lav adhesjon begrenser hvor stor trekraft et tog har og kan da også begrense effektuttaket fra kontaktledningen. Ekstrasimuleringen utført i [1] med lavere adhesjon viste at dette kun reduserte kontaktledningstapene marginalt.

4.1.13 Kjøremønster

Den simulerte lokomotivføreren i SIMTRAC kjører konsekvent etter hastighetsskiltene og akselererer når han har mulighet. Normalt vil en lokomotivfører være kjent på strekningen og utnytte banens fall til akselerasjon samt unngå å akselerere opp i hastighet dersom strekningshastigheten rett etter reduseres igjen. Dette gjelder spesielt for godstog. Det gir at det simulerte energiforbruket til togfremføring kan være høyere enn i virkeligheten.

”Formildende” for den simulerte lokomotivføreren i SIMTRAC kan imidlertid være at han konsekvent bruker elektrisk nettbremse som primærbremse og kun bruker den mekaniske bremsen om den elektriske ikke gir tilstrekkelig bremskraft. Dette kan føre til mer tilbakemating av energi.

For intensiv lokaltrafikk antas likevel ikke denne lokomotivføreren å være urealistisk på grunn av de stramme lokaltrrutene.

Energiloggingene om bord i lokomotiv referert til i hovedrapportens vedlegg 5 for E118 og type 73 viser at det loggede energiforbruket jevnt over ligger 5 % under det simulerte. Gjennom installasjon av energimålere i tog samt økt fokus på kjørestil hos togselskapene kan det gjerne forventes at virkelig energiforbruk i fremtiden går ytterligere ned og at forskjellen mellom virkeligheten og simuleringene blir enda større.

4.1.14 Tilleggslaster

I simuleringene er det lagt inn belastning for å etterligne effektuttak som går til skifting, infrastrukturanlegg, 16 2/3 Hz togvarmeanlegg, rullende materiell som står med strømavtaker oppe og som ikke går i tog samt, biforbruk til private der dette er aktuelt. Fordelingen og størrelsen på lastene er relativt grov, men det skilles på last mellom natt og dag. Det er ikke lagt ned mye arbeid i modelleringen, men det er antatt å gi et noenlunde bilde av belastningen som årsgjennomsnitt. Bidraget til kontaktledningstapene er usikre.

4.1.15 Spenninger og vinkler i trefasenettet

Spenningsene og vinklene i trefasenettet som mater omformerstasjonene endrer seg gjerne alt etter lastsituasjonen som igjen gjerne er noe avhengig av årstiden. Spesielt gjelder dette effektutveksling med utlandet som studert i simuleringene av Ofotbanen. Tilsvarende forhold kan en oppleve på Sørlandsbanens vestre del der forskjellen mellom import og eksport over kablene til Danmark er stor.

Det har ikke vært mulig å få lage modeller som alltid er gyldige slik at en må velge ut konkrete driftsituasjoner. Det er da generelt valgt typisk vinterlast som gjerne gir det største vinkelforskjellene på grunn av innenlands høyt forbruk og produksjon. Både for Dovrebanen og Ofotbanen har det i tillegg vært utført simuleringer for å synliggjøre hvor mye spennings- og vinkelforskjeller i trefasenettet har å si for tapene i kontaktledningen.

4.1.16 Start og stopp av matestasjoner

Det er utført flere simuleringer der forhold med infrastrukturdelen av kraftsystemet varieres, for eksempel endret spenningskarakteristikk og stopp av kraftstasjoner som konstant leverer aktiv effekt inn i systemet. Det er imidlertid ikke undersøkt hvordan start og stopp av omformeraggregater påvirker kontaktledningstapene, kun lagt til grunn den oppgitte kjøreplanen.

Ettersom vinkeldreiningen gjennom omformerstasjonene er avhengig av hvilken type aggregater og hvor mange av dem som er i drift kan en gjerne tro at dette kan påvirke utvekslingen av både aktiv og reaktiv effekt mellom stasjonene og dermed være med på å øke utvekslingstapene på en uheldig måte. En legger merke til at de to tydelige toppene i kurven for tapsprosenten på Bergensbanen gjennom driftsdøgnet sammenfaller med den tiden Hønefoss, Nesbyen og Haugastøl omformere både startes og stoppes etter kjøreplanen, det vil si i den perioden der antall aggregater i drift i forhold til effektbehovet går fra å være ansett tilpasset/tilstrekkelig/hensiktsmessig til et annet nivå hvor justeringer er funnet nødvendig.

Start og stopp av aggregatene er sannsynligvis optimalisert i forhold til å holde omformingstapene så lave som mulig og å ha nok aggregater i drift for å dekke effektterspørselen. Omformingstapene er i gjennomsnitt høyere enn kontaktledningstapene slik at det forhåpentligvis er riktig å søke å redusere disse mest mulig.

4.1.17 Sannsynligheten for korrekt etterligning av situasjonen

I tillegg til punktene nevnt over er det flere parametere som kan tenkes å ha innvirkning på resultatene. Trafikksimulering for hele døgn og med så mange tog som det er i flere av modellene er relativt komplekse studier. Forhold som en ikke er herre over som for eksempel regnvær, temperaturendringer, koblinger i trefasenettet, start og stopp av mateenheter utover kjøreplan og så videre, kan virke inn både på energiforbruk, energiutveksling og energitap. En har imidlertid etterstrebet å lage modellene så typiske som mulig slik at resultatene skal være gyldige og representative for så lang tid og energiforbruk som mulig, og det antas at disse i det store og hele skal reflektere virkeligheten på en god måte.

4.1.18 Numeriske forhold

Ved bruk av datamaskinsimuleringer kan alltid algoritmene og de numeriske metodene som benyttes ha innvirkning, det vil si både metodenes robusthet og bruk i forhold til gyldighetsområde. Valg av tidsskritt i simuleringen kan også spille inn. En har imidlertid ingen grunn til å anta at numeriske forhold skal ha hatt nevneverdig innvirkning på simuleringsresultatene, spesielt ikke siden det er snakk om energiresultater med en oppløsning på en time.

4.2 Vurdering av simuleringsresultatene

Det vil føre for langt å diskutere og tolke alle simuleringsresultatene som fremkommer i denne rapporten. Det vil sannsynligvis også være en del forhold som en ikke vil kunne forklare på grunn av kompleksiteten. En nøyer seg da bare med å kommentere kort i forhold til de variasjonene en var ute etter å studere.

4.2.1 Bergensbanen

For en ukedag på Bergensbanen har en funnet at gjennomsnittlig tapsprosent for kontaktledningen over hele driftsdøgnet er 8,7. Dette er det høyeste resultatet av de banestrekningene som er simulert i denne utredningen. Det er også høyere enn det som ble funnet [8] og som var 4,2 %.

En har ikke klart å finne den endelig årsaken til dette høye avviket verken i forhold til tidligere arbeid og i forhold til de andre fjernstrekningene, men konstaterer følgende:

- Ransonelastene er sjekket gjennom egne simuleringer og fører bare til 0,4 prosentpoeng
- Kjosfoss kraftstasjon er sjekket gjennom egne simuleringer og fører bare til 0,3 prosentpoeng

- Kontaktledningsimpedansen er ikke veldig forskjellig, den er heller lavere gjennom mateledningen som går i parallell.
- Trafikken er ikke spesiell med unntak av på Flåmsbana hvor tilbakematet effekt er stor den tiden et tog er på vei ned fra Myrdal til Flåm. Trafikken på Flåmsbana er kan deles opp i to kategorier; den ene hvor tog fra Myrdal og Flåm starter samtidig og krysser på Berekvam og den andre hvor det bare er ett tog som pendler opp og ned. Tog på vei ned som mater tilbake uten at det er tog på vei opp kan forsterke virkingen av Kjosfoss kraftstasjon. I simuleringene i denne rapporten er det to tog som krysser på dagen og ett tog som pendler alene på kvelden.
- Tomgangstapene i prosent er i størrelsesorden med døgngjennomsnittet, men det er de jo nesten på Dovrebanen også. I MWh er de derimot 3 ganger så store samtidig som forbrukt energi bare er 80 % i forhold til Dovrebanen. Om en regner at utvekslingstapene er konstante gjennom hele døgnet utgjør disse bare om lag 10 % av de totale tapene. Simuleringene på Dovrebanen viste at ved lik spenning og vinkel i alle matepunktene så ble kontaktledningstapene halvert til tross for at utvekslingstapene bare utgjør 4 % av de totale tapene om en regner på samme måte. Med andre ord kan det være den høye tapsprosenten skyldes effektutveksling mellom matestasjonene. Det virker fornuftig i forhold til kurvene gitt i avsnitt 3.8.3 og 3.8.4.
- Mjølfjell omformer er tilknyttet en relativt svak trefase forsyning. Det medfører at ved høy last vil spenningen på utgående linjer trekke mye bak i fase i forhold til matestasjonene rundt. Det kan medføre at en større andel av effektbehovet må dekkes av matestasjoner lenger borte samtidig som den reaktive effektutvekslingen øker. Med andre ord kan det oppstå økte både overførings- og utvekslingstap. Om dette er sammenlignbart med de svake stasjonene (Rudshøgda og Otta) på Dovrebanen er usikkert.
- [8] legger til grunn en annen metode for beregning av kontaktledningstapene (metode 4 i hovedrapportens vedlegg 2).
- Den tilbakeleverte energien fra tog er i MWh på Bergensbanen er neste lik som for Dovrebanen, men energiforbruket er bare 80 %. Simuleringene på Dovrebanen viser at tapene øker ved økt tilbakemating.

4.2.2 Dovrebanen

For Dovrebanen er det utført mange simuleringer med ulike variasjoner i trafikk og infrastruktur. De fleste av resultatene er som en kunne forvente med unntak av at en hadde trodd at kontaktledningstapene ville reduseres når godstogene har mulighet for å mate effekt tilbake. Isteden opplever en at tapsprosenten øker med et prosentpoeng til 7 %. Forbrukt energi i togene og levert energi fra matestasjonene går noe ned slik som en hadde forventet. Opptatt energi i togene stiger noe. Godstogene mater tilbake 32 MWh, mens bare 6 av disse går tilbake til matestasjonene. De resterende 26 forbrukes i andre tog eller tapes i kontaktledningen.

En konstaterer også at dersom alle matepunktene hadde hatt lik spenning i størrelse og vinkel ville kontaktledningstapene vært halvert.

4.2.3 Ofotbanen

For Ofotbanen er det tidligere ([9]) simulert kontaktledningstap til 6,3 % ved å "summere levert energi fra Rombak og over Riksgrensen og trekke fra forbruk energi i toget" for to ulike tidsrom. Dette tilsvarer metode 1 i hovedrapportens vedlegg 2. Simuleringene i denne rapporten gir imidlertid gjennomsnittlige energitap i kontaktledningen på 3,8 % i det tidsrommet med tilsvarende trafikk (E115 som trekkraft i malmtogene). Dette er en markant nedgang og ser ut til å skyldes følgende:

- Annen metode for beregning av tapene. Bruk av metode 1 på simuleringene utført i denne rapporten gir en tapsprosent på 4,43 %.
- Simuleringene i [9] tar hensyn til kurvemotstanden. Den ser ut til å utgjøre 5-15 %, typisk 10 %, på energiforbruket til togene.
- Det er benyttet høyere kontaktledningsimpedans i [9].

For øvrig er det uvisst hvilken vinkelforskjell mellom Rombak og Tornehamn [9] har i sine simuleringer.

En økning på 10 og 20 % i energiforbruket på grunn av kurvemotstanden kan estimeres til å øke tapsprosenten (metode 5) for denne perioden til henholdsvis 4,2 og 4,7 %.

Nye vurderinger av kontaktledningstapene på Ofotbanen bør vurderes når malmtogene øker lastvekten i forbindelse med 30 tonns-prosjektet og ved eventuell øket godstrafikk mellom øst og vest (Kina-Narvik).

4.2.4 Sørlands- og Vestfoldbanen

For Sørlands- og Vestfoldbanen er det bare utført en trafikksimulering. Tapene som er beregnet her er uten tap i fjernledningen fra Hakavik kraftstasjon som er utredet i [10]. Tomgangssimuleringene kan indikere at effektflyt på grunn av konstant produksjon i Hakavik kraftstasjon sannsynligvis fører til noe økte kontaktledningstap.

4.2.5 Oslo-området

At Oslo-området har lave prosentvise tap var gjerne forventet siden dette hadde vært utredet før og simuleringene ble kjørt på nytt på grunn av annen beregningsmetode for tapene.

4.2.6 Variasjon mellom banestrekningene

Det er her utført simuleringer for de 5 hovedområdene for elektrisk jernbane i Norge. Simuleringene viser at det er forskjell mellom de ulike banestrekningene/-områdene. Kontaktledningstapene i prosent i forhold til innmatet energi i kontaktledningen er minst i Oslo-området til tross for stor trafikk. At strømmen i kontaktledningen likevel ikke fører til større tap kan sikkert skyldes dobbelspor og korte matestrekninger.

Ofotbanen har også lave prosentvise tap, men det er vanskelig å sammenligne denne med de andre fjernstrekningene på grunn av både bruk av mateledning og måten den er modellert på. Korte matestrekninger og liten trafikk tilsier imidlertid noe lavere tap. Omfattende bruk av tilbakemating på noen av malmtogene samt kontinuerlig stigning virker andre veien igjen.

Dovrebanen har så godt som tilsvarende tapsprosent for Sørlands- og Vestfoldbanen. Det hadde antakelig vært naturlig at også Bergensbanen lå i samme størrelsesorden. Forholdene disse banene imellom er ikke så forskjellige til tross for noe mateledning, fjernledning, kraftverk og lokaltrafikk.

Ved den geografiske oppdelingen som er foretatt har en ikke mulighet til å si noe mer om kontaktledningstapene i lokaltrafikkområdene rundt Stavanger og Bergen. Disse områdene er noe mer trafikkintensive enn resten av banestrekningene. Flåmsbana med mye tilbakemating er også spesiell, men ikke skilt ut. En klarer heller ikke å skille ut intercitytrafikken på Østlandet fra trafikken på resten av fjernstrekningene samt Gjøvikbanen fra det sentrale Oslo-området.

4.2.7 Variasjon gjennom døgnet

Resultatene fra trafikksimuleringene er gitt med timesoppløsning. Når en kikker på de ulike kurvene for kontaktledningstapsprosenten gjennom døgnet er det ikke enkelt å umiddelbart finne noe system for med hvilke parametere den varierer. Derfor er det i kapittel 3.8.3 og 3.8.4 laget kurver som viser noe om samvariasjonen. En ser at kontaktledningstapene i størrelse nesten uten unntak øker når både antall tog per time og forbrukt energi per time øker. Det virker fornuftig siden økning i antall tog gjerne gir et økt forbruk av energi, samt at økt forbruk av energi fører til tilsvarende økt strømbelastning. Men tapsprosenten for kontaktledningstapene ser i flesteparten av tilfellene ut til å reduseres når antall tog og forbrukt energi per time øker.

Denne tendensen er også diskutert i [1], og en antok at det kunne skyldes et eller flere av følgende:

- Utvekslingstapenes andel av de totale tapene er høyere ved lav belastning enn ved høy belastning,
- Togenes geografiske plassering i forhold til matestasjonene,
- Konstant kraftverksmating og
- Effekttutveksling mellom tog på grunn av tilbakemating.

Det er i denne rapporten utført simuleringer som gjør at en gjerne kan se bort fra togenes geografiske plassering ettersom det er lite sannsynlig (iallfall i forhold til argumentasjonen i [1]) og konstant kraftverksmating (det er ikke konsekvent for de simuleringene med kraftverk og de uten). I tillegg viser simuleringen med asynkronlokomotiver i alle godstog på Dovrebanen den motsatte tendensen enn det hypotesen om effekttutveksling mellom tog på grunn av tilbakemating.

Da sitter en igjen med punktet om at utvekslingstapenes andel av de totale tapene reduseres ved høyere belastning. Det kan derfor være at tapsprosenten på Bergensbanen er høyere enn de andre banene. Simuleringen på Dovrebanen uten omformerstasjoner og med helt lik samleskinnespenning i alle matepunkt bekrefter dette ved at tapsprosenten øker både ved økt antall tog og ved økt energiforbruk.

Avhengig av trafikken varierer tapsprosenten gjennom døgnet på de forskjellige banene. Selv om den er noe høyere ved lav belastning betyr det ikke at trafikkvariasjonene på alle banene er like i tid. Når det er sagt så er det heller ikke de veldig store variasjonene gjennom døgnet.

Standardavviket for timesverdiene av tapsprosenten ligger på typisk 0,5-1,5 prosentpoeng. Typisk 19 av døgnetts 24 timer ligger innenfor gjennomsnittlig timesverdi pluss minus ett standardavvik.

4.2.8 Variasjon gjennom uka

Variasjonen i tapene gjennom uka er ikke studert i dette arbeidet ettersom det bare er simulert en virkedag. En kan imidlertid, ut i fra tendensene og diskusjonen om variasjonene gjennom driftsdøgnet over, anta at tapsprosenten gjerne vil øke noe når trafikkbelastningen synker i helgene og ved ferier og fridager. Men noen større forskjeller for disse dagene enn for det døgnet som er simulert kan en gjerne ikke forvente å finne. Vektet i forhold til energiforbruket utgjør den eventuelle økningen i tapsprosenten ved lav trafikk lite.

4.2.9 Variasjon gjennom året

I simuleringene som er utført her har en benyttet årsgjennomsnitt så godt det har latt seg gjøre, både i tilleggsuttak til skifting, togvarme, infrastrukturanlegg og eksterne, samt tilleggsuttak til varme, lys og kjøling i tog. Energiforbruket til oppvarming i rullende materiell (både hensatt og i tog) og til infrastrukturanlegg og private skulle en tro varierte gjennom året med toppforbruket om vinteren når det er kaldest. Iallfall er det lagt til grunn for avregningene av energi til hensatt rullende materiell i Jernbaneverket ([11]), og energiforbruket estimert i den utredningen er ikke ubetydelig i forhold til det totale forbruket fra kontaktledningen (ca 12 %). Forskjellen mellom sommer og vinter for rullende materiell som går i tog vil gjerne være mindre for nyere materiell enn eldre materiell på grunn av loftkondisjoneringsanleggets energibehov om sommeren.

Lastflyten, vinklene og spenningene i trefasenettet som mater omformerstasjonene kan også tenkes å variere gjennom året. Det er tidligere antatt, både i denne utredningen og i utredninger for dimensjonering av banestrømforsyningen, at vinterlasten er den som gir størst vinkelforskjeller og dermed størst effektutveksling mellom stasjonene. Dette skulle da ut i fra diskusjonen over føre til at også utvekslingstapene er størst om vinteren.

Gjennom året varierer også føreforholdene. Det er naturlig å tro at snø i sporet fører til økt energiforbruk. Samtidig vil regn og løvfall om høsten gjerne føre til dårligere adhesjon og i henhold til simuleringresultatene gjengitt i avsnitt 4.1.12 redusere kontaktledningstapene marginalt.

I simuleringene er det lagt til grunn kontaktledningsimpedans ved 20°C. Hvor mye kontaktledningstapene varierer gjennom året som følge av temperaturvariasjoner i omgivelsene er ikke undersøkt. Men i tilfelle det har noe å si vil det være med på å dempe ut forskjellene mellom sommer og vinter.

Ut i fra dette er det ikke lett å kunne forutsi hvordan tapene endres gjennom året. Fremdeles er det slik at energi til togfremføring dominerer og en kan kanskje anta at forskjellene mellom sommer og vinter ikke er så veldig store. Simuleringene med et ekstra godstogpar viste ikke de store forskjellene og det tilsvarer jo noen MWh i løpet av et døgn.

4.2.10 Robusthet

Det er i dette arbeidet utført en rekke simuleringer for å kunne si noe om variasjonene i tapene og robustheten til resultatene. Simuleringene viser at det er noen forskjeller i kontaktledningstapene mellom grunnsimuleringene og ekstrasimuleringene hvor kraftverk tas ut, omformeraggregatens spenningskarakteristikk endres, kontaktledningsimpedansen endres, vinkler i overliggende trefasenett endres og randsonelaster tas ut. De fleste endringene fører til små og nesten marginale forskjeller, mens noen endringer gir større utslag. Tabell 4-1 viser en oversikt over hvordan tapene endres i forhold til grunnsimuleringene ved endringer i infrastruktur eller trafikk.

Oppsummert tabellen ser en følgende:

- Kraftstasjoner som mater inn konstant effekt øker kontaktledningstapene
- Fallende spenningskarakteristikk reduserer kontaktledningstapene
- Vinkelforskjeller i overliggende trefasenett øker kontaktledningstapene
- Forskjellig spenning i matestasjonene øker kontaktledningstapene
- Redusert kontaktledningsimpedans reduserer kontaktledningstapene

- Materiell med tilbakemating øker kontaktledningstapene
- Økt trafikk øker energitapene, men nødvendigvis ikke tapsprosenten
- Modelleringen av randsoneelastene har økt kontaktledningstapene

Størst endring medførte endringen i modelleringen av matestasjonene. Ved bruk av stive spenningskilder framfor omformermodellene ble tapene halvert.

Noen av disse endringene er slike som en kan forvente at skjer i fremtiden (godstog med tilbakemating og endring i spenningsvinkler i overliggende trefasenett), og noen av endringene har allerede skjedd (økt trafikk i Oslo-området og trekkraftmateriell med tilbakemating i malmtogene på Ofotbanen). I tillegg kan en forvente endringer som ikke er studert her som for eksempel økt hastighet for fjerntog (krengehastighet), økt hastighet for flytogene (210 km/t innført etter at simuleringene ble utført) og økte togvekter i godstog (100-1200 tonn med for eksempel E116 i multippel forekommer allerede på Bergensbanen).

Det kan virke selvmotsigende at en ved disse sammenligningene finner at økt trafikk for Oslo-området fører til høyere tapsprosent, mens trenden i figur 3-23 viser det motsatte.

Tabell 4-1: Endringer i energitap gjennom driftsdøgnet og tapsprosent i forhold til respektive grunnsimuleringer som følge av endringer i infrastruktur og trafikk. Alle betraktninger for et helt driftsdøgn utenom Oslo-området (kl 03-07) og Ofotbanen IORE framfor E115 i malmtogene i henhold til kapittel 3.6.3.

Type endring	SimuleringID	Endring i energitap i forhold til grunnsimulering	Endring i tapsprosent forhold til grunnsimulering
Uten Kjosfoss kraftstasjon	Bergensbanen0-1	-4%	-4%
Fallende spenningskarakteristikk	Dovrebanen0-2	-2%	-2 %
Uten vinkelforskjeller	Dovrebanen0-4	-3 %	-3 %
Vinkelforskjell	Ofotbanen1	+17 %	+19 %
16,5 kV flatt på RUD og OTT	Dovrebanen0-5	-2 %	-2 %
Uten omformere og trefasenett	Dovrebanen0-6	-53 %	-49 %
Redusert KL-imp	Dovrebanen0-7	-8 %	-8 %
Uten randsoneelaster	Bergensbanen0-2	-14 %	-4%
Uten randsoneelaster	Dovrebanen0-1	-11 %	-6%
Uten tilbakemating	Dovrebanen0-8	-3 %	-3 %
Ekstra godstogpar	Dovrebanen1	+9 %	0 %
E116 i alle godstog	Dovrebanen2	-2 %	-4 %
EG3100 i alle godstog	Dovrebanen3	+22 %	+11 %
Økt lokaltrafikk	Oslo1	+20 %	+19 %
Økt lokaltrafikk uten tilbakemating	Oslo1-1 ²	-3 %	-4 %
IORE framfor E115 i malmtogene	(Ofotbanen0)	-	+4 %

4.3 Konklusjon

Det er i denne utredningen simulert togtrafikk i SIMPOW/SIMTRAC for ulike deler av det statlige elektrifiserte jernbanenettet. Simuleringene er delt geografisk inn i store områder som tilsvarer Oslo-området og hovedrelasjonene på fjernstrekningene. Hensikten med utredningen var å få mer kunnskap om kontaktledningstapenes størrelse og variasjoner i tid og geografi.

² I forhold til Oslo1

Simuleringene viser at som døgngjennomsnitt for en virkedag med normal togtrafikk etter dagens ruteplaner så er tapene for Oslo-området 3,8 % av innmatet energi i kontaktledningen. Tilsvarende er tapene 8,7 % for Bergensbanen, 6,3 % for Dovrebanen, 3,8 % for Ofotbanen og 6,5 % for Sørlands- og Vestfoldbanen. Det er da lagt til grunn typisk årsgjennomsnittlig forbruk for energiforbruket.

Det er gjennom simuleringer funnet at endringer i infrastrukturen som spenningskarakteristikk for de roterende omformerne, utkobling av kraftstasjoner med konstant produksjon av aktiv effekt, endring i vinkler og spenninger i trefasenett, og endringer i kontaktledningssimpedans fører til relativt små endringer i de gjennomsnittlige tapene over driftsdøgnet. Men dersom en har lik spenning i størrelse og vinkel i alle matepunktene viser en simulering av Dovrebanen at kontaktledningstapene kan halveres.

De endringene i trafikken som er utført i simuleringene her viser bare mindre variasjoner i kontaktledningstapene med unntak av når det innføres større andel av tog med mulighet for tilbakemating gjennom nettbrems. Da ser det ut som om tapene øker både i Oslo-området og på Dovrebanen.

Det er ikke tydelige variasjoner i tapsprosenten for kontaktledningen gjennom driftsdøgnet. Kontaktledningstapene øker i størrelse når antall tog og forbrukt energi øker, men det kan samtidig se ut som om tapsprosenten synker noe. Dette er antatt å skyldes at utvekslingstapenes andel av de totale kontaktledningstapene øker samtidig som total innmatet energi minker. Dersom dette er riktig vil tapsprosenten være noe høyere i lavtrafikkdøgn som helger og ferie- og fridager. Det er vanskeligere å si noe om årsvariasjonene siden det er flere faktorer som spiller inn her. Variasjonene er uansett vurdert til å være små.

Simuleringene tar ikke hensyn til overharmoniske strømmer som fører til tap i kontaktledningsanlegget. Vurderinger utført i Sverige viser at tapene i et system kan øke med rundt 50 % på grunn av overharmoniske fra tyristormateriell. Ei heller er kurvemotstanden som kan føre til økt energiforbruk til togfremføring hensyntatt, spesielt kan dette ha noe å si for lange og tunge godstog. For Ofotbanen er det vurdert at en modellering av kurvemotstanden vil øke kontaktledningstapene med ett halvt til ett prosentpoeng. På den andre side er det kjent at den simulerte lokomotivføreren i SIMPOW/SIMTRAC har en kjørestil som kan være mer energikrevende enn virkelige lokomotivførere. Tidligere energilogginger utført på type 73 og E18 har vist at det simulerte energiforbruket for togtyper som trafikkeres av dette materiellet er gjennomsnittlig 5 % høyere enn det som er logget.

5 KILDER OG REFERANSEDOKUMENTER

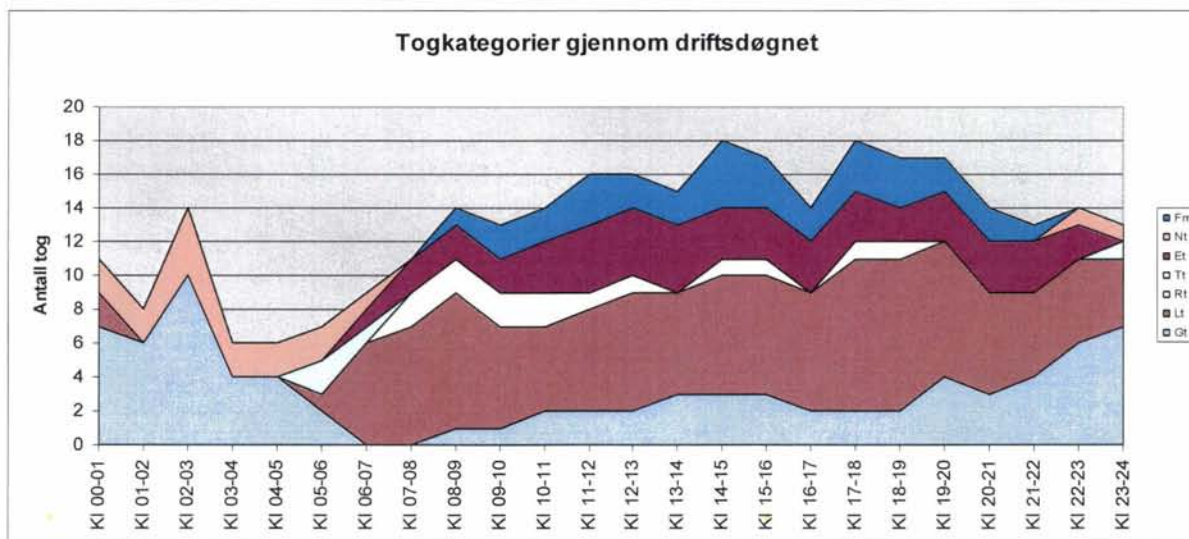
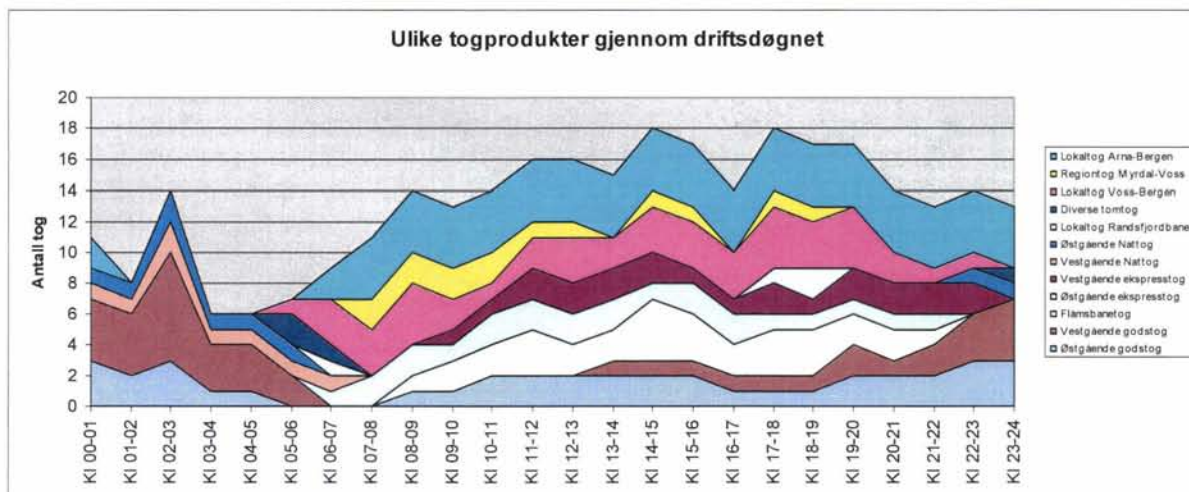
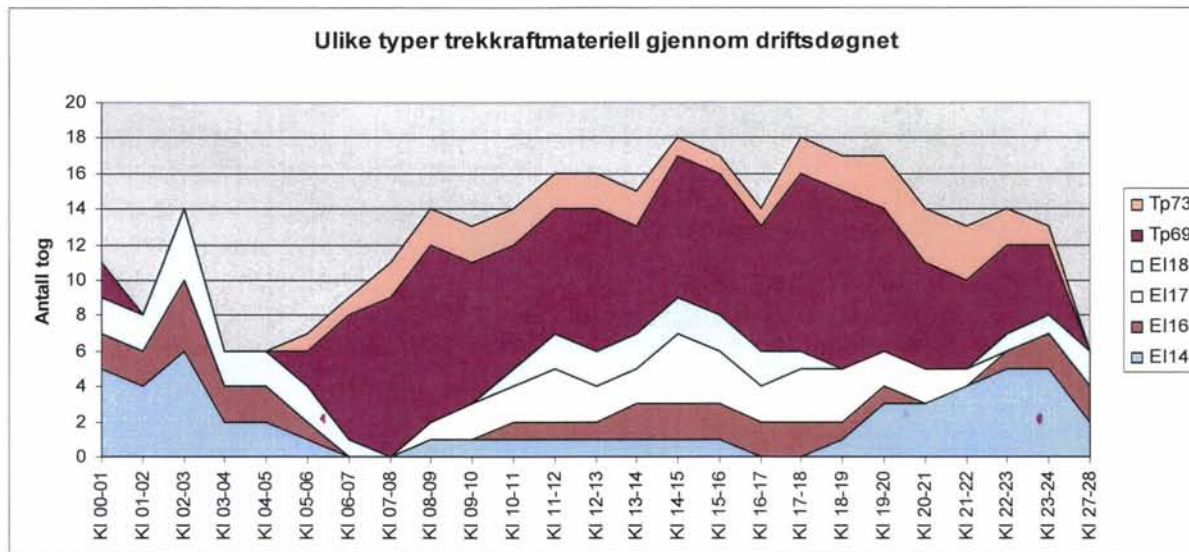
- [1] Jernbaneverket Utbygging Prosjekttjenester på oppdrag fra Jernbaneverket Infrastruktur, *Simulering av kontaktledningstap i Oslo-området*, utgitt 2004-01-16, prosjektnummer 292454, saksnummer 04/234 SJU 145
- [2] Notat til sak 04/568 SI 763 fra Steinar Danielsen, *Kontaktledningsimpedanser – teori og sammenligning av verdier*, 2004-10-05 (finnes som vedlegg 1 til hovedrapporten).
- [3] Jernbaneverket Teknisk Regelverk Vedlikehold Banestrømforsyning, revisjon 01 utgitt 2004-01-01
- [4] Jernbaneverket Ingeniørtjenesten på oppdrag fra Jernbaneverket Region Nord, *Hovedplan Banestrømforsyning Ofotbanen*, 1. juli 1999, prosjektnummer 098138, saksnummer 98/8221 JI 760
- [5] Jernbaneverket Utbygging Prosjekttjenester på oppdrag fra Jernbaneverket Infrastruktur Teknisk Premiss og utvikling Elkraft, *Vurdering av redundans- og dimensjoneringskriteriet for banestrømforsyning*, prosjektnummer 760277, saksnummer 200404562, p.t. ikke ferdigstilt og utgitt.
- [6] Magnus Olofsson, *Power Flow Analysis of the Swedish Railway Electrical System*, Kungliga Tekniska Högskolan, Department Of Electric Power Systems, TRITA-EES-9301 ISSN 110-1607, februar 1993
- [7] NSB, *Lærebok for linjepersonalet – Linjearbeid og linjetjeneste – Del 1*, Grøndahl & Søns Boktrykkeri, Oslo , September 1962
- [8] BanePartner på oppdrag fra Bane Energi, *Beregning og anbefaling av forbrukstall til bruk i energiavregning – August 2002*, 2002-07-24, prosjekt nummer 199883, saksnummer 01/06331 SJI 760
- [9] BanePartner på oppdrag fra Jernbaneverket Region Nord, *Hovedplan energiavregning Ofotbanen*, 2000-04-25, prosjekt nummer 199285, saksnummer 00/107 SJI 760
- [10] Jernbaneverket Infrastruktur Utbygging Prosjekttjenester på oppdrag fra Jernbaneverket Infrastruktur Teknisk Premiss og utvikling Elkraft, *Utredning av virkningsgrad for matestasjoner og fjernledning*, 2004-03-03, prosjekt nummer 760036, saksnummer 04/234 SJU 145
- [11] Jernbaneverket Infrastruktur Utbygging Prosjekttjenester på oppdrag fra Jernbaneverket Bane Energi, *Estimering av energiforbruk for hensatt rullende materiell 2004 – Energiavregning for 16 2/3 Hz-nettet*, 2005-03-30, saksnummer 200311285

6 VEDLEGG

- Vedlegg 1 Statistikk for togtrafikken gjennom driftsdøgnet
- Vedlegg 2 Oversikt over togmodeller
- Vedlegg 3 Kontaktledningsimpedans
- Vedlegg 4 Kjøreplan matestasjoner
- Vedlegg 5 Simuleringsresultater
- Vedlegg 6 Kurver for energi gjennom driftsdøgnet

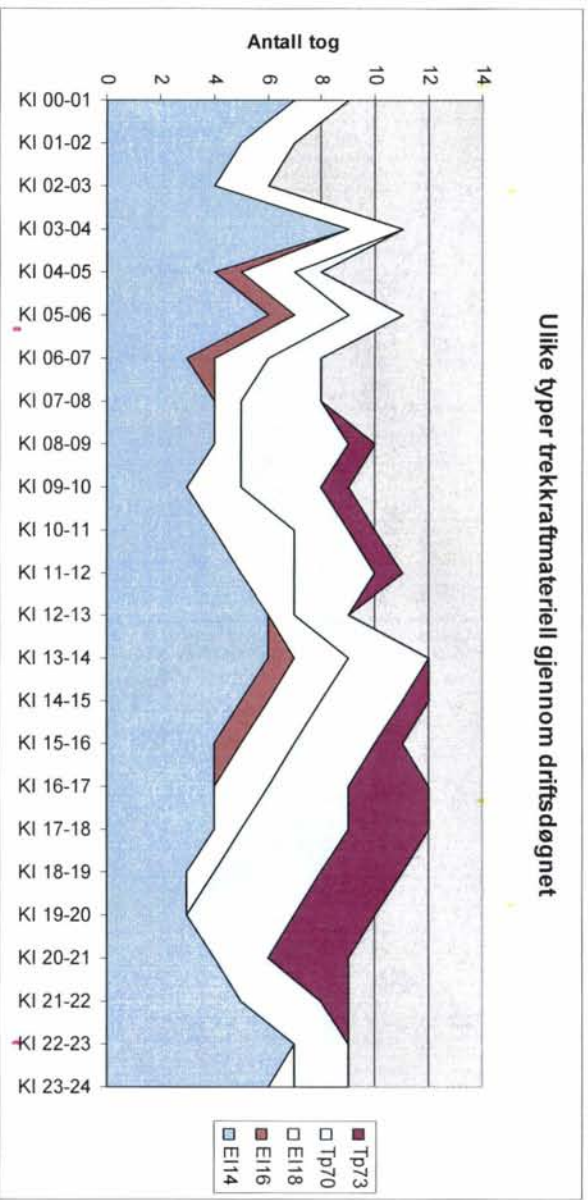
VEDLEGG 1 STATISTIKK FOR TOGTRAFIKKEN GJENNOM DRIFTSDØGNET

Bergensbanen

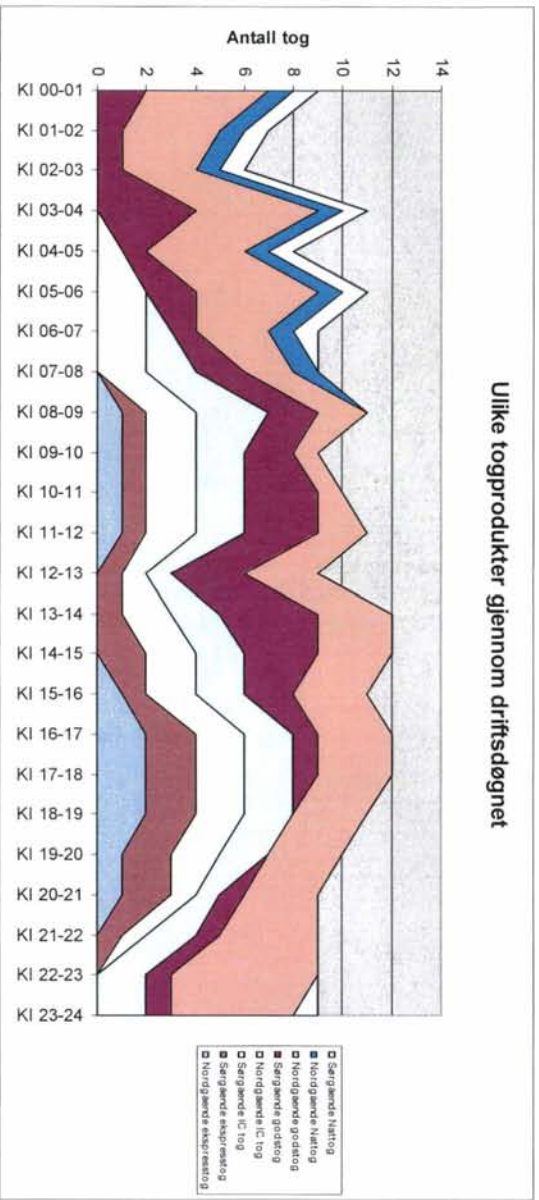


Dovrebanen

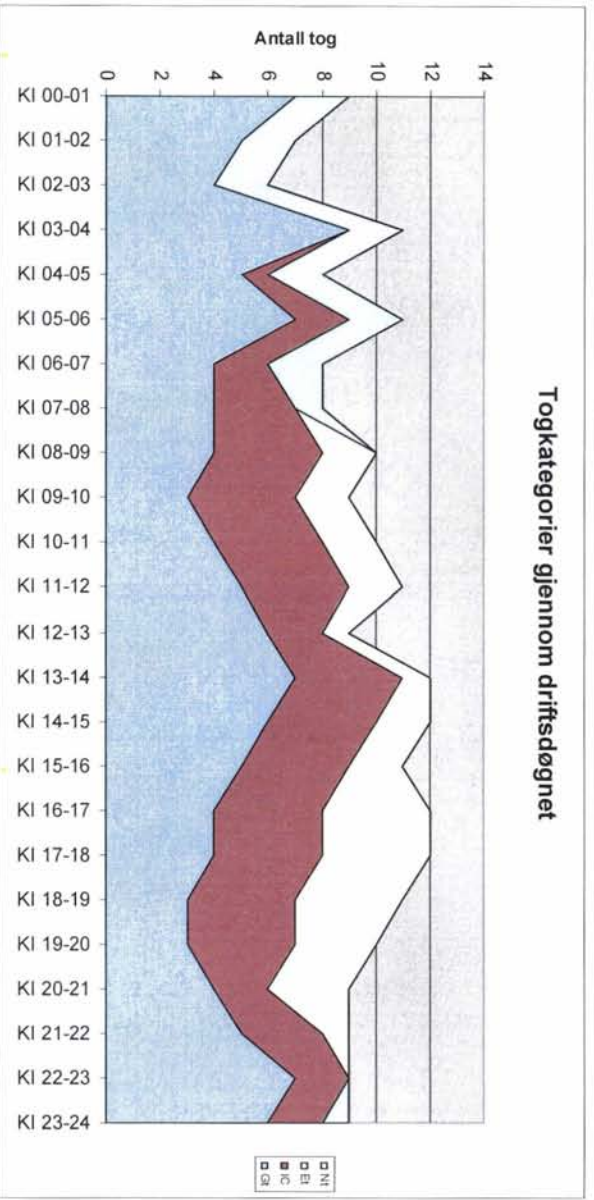
Ulike typer trekkraftmaterieil gjennom driftsdøgnet



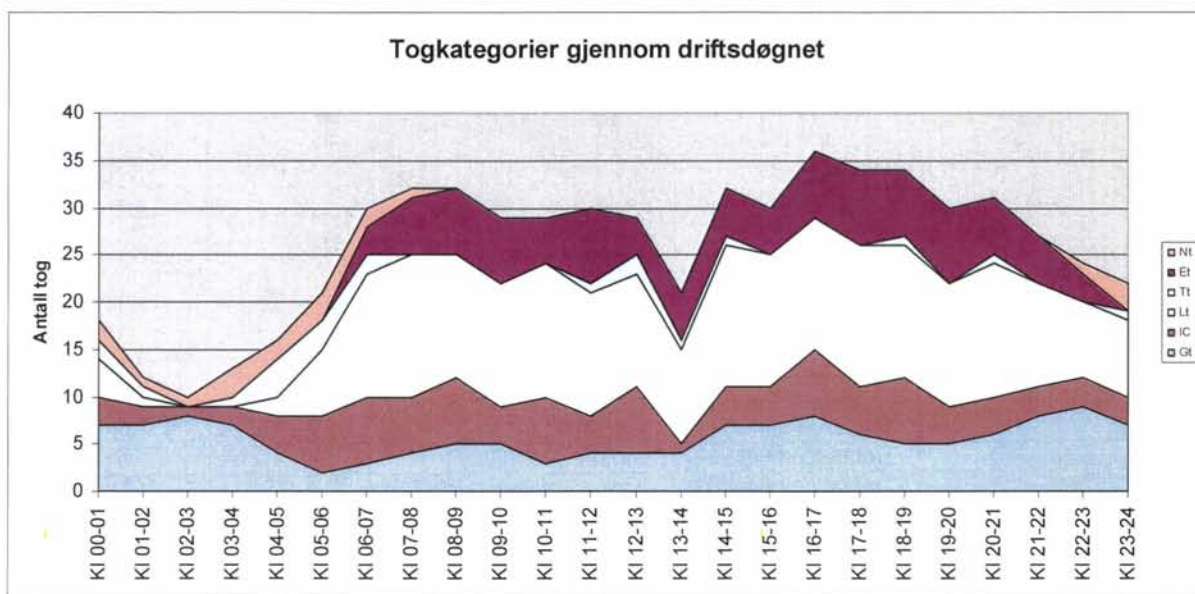
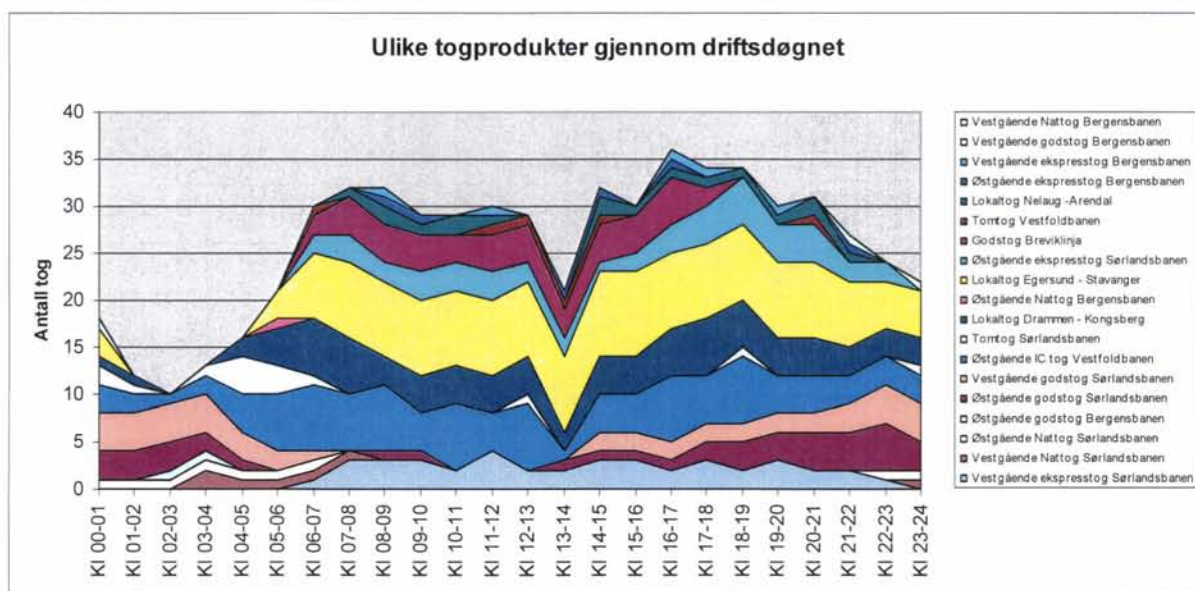
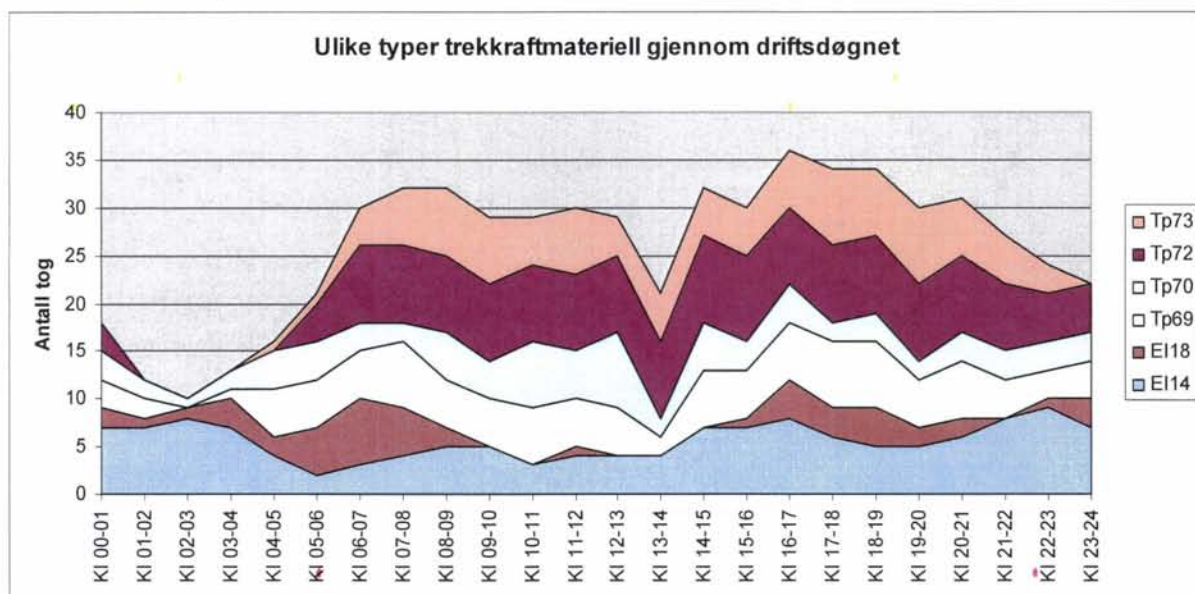
Ulike togprodukter gjennom driftsdøgnet



Togkategorier gjennom driftsdøgnet



Sørlands- og Vestfoldbanen



VEDLEGG 2 OVERSIKT OVER TOGMODELLER

Modell	Forklaring
EI14_1000	EI14 i godstog med 1000 tonn lastvekt
EI14_1100	EI14 i godstog med 1100 tonn lastvekt
EI14_300	EI14 i godstog med 300 tonn lastvekt
EI14_700	EI14 i godstog med 700 tonn lastvekt
EI14_800	EI14 i godstog med 800 tonn lastvekt
EI14_900	EI14 i godstog med 900 tonn lastvekt
EI14-2_1400	2 stk EI14 med 1400 tonn lastvekt i Flydrivstofftoget
EI15-2_1040	2 stk EI15 med tomt malmtog på 1040 tonn lastvekt
EI15-2_2080	2 stk EI15 med tomt malmtog og 13 vogner med tilsatsstoff med lastvekt på 2080 tonn
EI15-2_5200	2 stk EI15 med fullastet malmtog på 52 vogner med lastvekt 5200 tonn
EI16_1000	EI16 i godstog med 1000 tonn lastvekt
EI16_1200	EI16 i godstog med 1200 tonn lastvekt
EI16_1300	EI16 i godstog med 1300 tonn lastvekt
EI16_1500	EI16 i godstog med 1500 tonn lastvekt
EI16_300	EI16 i godstog med 300 tonn lastvekt
EI16_600	EI16 i godstog med 600 tonn lastvekt
EI16_6B5	EI16 i persontog med B3+BF14+4B5
EI16_700	EI16 i godstog med 700 tonn lastvekt
EI16_800	EI16 i godstog med 800 tonn lastvekt
EI16_8B3	EI16 i persontog med 7B3+BF13
EI16_900	EI16 i godstog med 900 tonn lastvekt
EI17_3B3	EI17 i persontog med 3B3
EI17_4B3	EI17 i persontog med 3B3+BF13
EI17_5B3	EI17 i persontog med 4B3+BF13
EI17_6B5	EI17 i persontog med B3+BF14+4B5
EI18_0	EI18 som løsløk
EI18_6B5	EI18 i persontog med 5B5+BF14
EI18_7B5	EI18 i persontog med 6B5+BF14
EI18_7B7	EI18 i persontog med AB7+4B7+BC7+FR7
EI18_8B5	EI18 i persontog med 7B5+BF14
EI18_8B7	EI18 i persontog med AB7+5B7+BC7+FR7
EI18_9B7	EI18 i persontog med AB7+6B7+BC7+FR7
EI18_NBB	EI18 i nattog Bergensbanen med 3B7+FR7+2WLAB+3WLAB2+WL5+F3
EI18_NDB	EI18 i nattog Dovrebanen med 3B5+FR7+2WLAB+3WLAB2+WL5
EI18_NSB	EI18 i nattog Sørlandsbanen med 3B7+FR7+2WLAB+1WLAB2+WL5
EI18_NSBKS	EI18 i nattog Sørlandsbanen vest for Kristiansand med 2B5+CB1+WLAB+WLAB2+WL5
EI18_NSBOOK	EI18 i nattog Sørlandsbanen øst for Kristiansand med 2B5+CB1+3WLAB+WLAB2+WL5
IORE25_1040_250kN	IORE med 25t aksellast og 250 kN elektrisk brems med tomt malmtog med lastvekt 1040 tonn
IORE25_2080_250kN	IORE med 25t aksellast og 250 kN elektrisk med tomt malmtog og 13 vogner med tilsatsstoff med lastvekt på 2080 tonn
IORE25_5200_250kN	IORE med 25t aksellast og 250 kN elektrisk brems med fullastet malmtog på 52 vogner med lastvekt 5200 tonn
Rc4_0	Rc4 som løsløk
Rc4_100	Rc4 i godstog med 100 tonn lastvekt
Rc4_1100	Rc4 i godstog med 1100 tonn lastvekt
Rc4_1200	Rc4 i godstog med 1200 tonn lastvekt
Rc4_1300	Rc4 i godstog med 1300 tonn lastvekt
Rc4_600	Rc4 i godstog med 600 tonn lastvekt
Rc4_900	Rc4 i godstog med 900 tonn lastvekt
Rc4-2_900	2 stk Rc4 i multippel i godstog med 900 tonn lastvekt
Rc6_3	Rc6 i persontog med 3 vogner
Rc6_4	Rc6 i persontog med 4 vogner
Tp69_2_2vg	Dobbelsett type 69A 2 vogner
Tp69_2_2vgt	Dobbelsett type 69A 2 vogner tomtog
Tp69_2_3_3vg	Type 69B 2 vogner og dobbelsett type 69C 3 vogner
Tp69_2_3_3vgt	Type 69B 2 vogner og dobbelsett type 69C 3 vogner tomtog
Tp69_2_3vg	Type 69B 2 vogner og type 69C 3 vogner

Modell	Forklaring
Tp69_2_3vgt	Type 69B 2 vogner og type 69C 3 vogner tomtog
Tp69_2vg	Type 69A 2 vogner
Tp69_2vgt	Type 69A 2 vogner tomtog
Tp69_3_3_3vg	Trippelsett type 69D 3 vogner
Tp69_3_3_3vgt	Trippelsett type 69D 3 vogner tomtog
Tp69_3_3vg	Dobbelsett type 69D 3 vogner
Tp69_3_3vgt	Dobbelsett type 69D 3 vogner tomtog
Tp69_3vg	Type 69D 3 vogner
Tp69_3vgt	Type 69D 3 vogner tomtog
Tp70_1	Type 70
Tp70_1t	Type 70 tomtog
Tp70_2	Dobbelsett type 70
Tp71_1	Type 71
Tp71_1t	Type 71 tomtog
Tp71_2	Dobbelsett type 71
Tp71_2t	Dobbelsett type 71 tomtog
Tp72_1	Type 72
Tp72_1t	Type 72 tomtog
Tp72_2	Dobbelsett type 72
Tp72_2t	Dobbelsett type 72 tomtog
Tp73_1	Type 73 (inkl. 73B)
Tp73_1t	Type 73 (inkl. 73B) tomtog
Tp73_2	Dobbelsett type 73 (inkl. 73B)
X2_-1	X2-1 med drivenhet 3 mellomvogner og styrevogn

VEDLEGG 3 KONTAKTLEDNINGSIMPEDANS

Bane	Strekning	R	X	Kilde	Konf	Km
		[Ohm/km]	[Ohm/km]			
Godssporet Alnabru-Grefsen	Alnabru omf - Grefsen	0,21	j0,24	4	2	0,510
Gjøvikbanen	Oslo kbh - Grefsen	0,207	j0,24	1	2	6,900
	Grefsen - Oslo kbh	0,207	j0,24	1	2	6,900
	Grefsen - Roa	0,207	j0,24	1	2	50,500
	Roa - Lunner omf	0,207	j0,24	1	2	3,000
	Lunner omf - Gjøvik	0,216	j0,224	4	2	63,830
Gardermobanen	Oslo kbh - Lillestrøm omf	0,182	j0,19	1	6	18,000
	Lillestrøm omf - Oslo kbh	0,182	j0,19	1	6	18,000
	Lillestrøm kbh - Kløfta	0,16	j0,18	3	6	15,000
	Kløfta - Lillestrøm omf	0,165	j0,185	3	6	15,000
	Kløfta - Jessheim omf	0,16	j0,18	3	6	8,200
	Jessheim omf - Kløfta	0,165	j0,185	3	6	8,200
	Jessheim omf - Venjar	0,158	j0,179	2	6	21,000
	Venja - Jessheim omf	0,162	j0,176	2	6	21,000
	Venjar - Eidsvoll kbh	0,158	j0,179	2	6	5,660
Hovedbanen	Oslo kbh - Alnabru omf	0,17	j0,162	1	4	8,800
	Alnabru omf - Oslo kbh	0,164	j0,155	1	4	8,800
	Alnabru omf - Lillestrøm omf	0,175	j0,184	1	4	12,200
	Lillestrøm omf - Alnabru omf	0,175	j0,192	1	4	12,200
	Lillestrøm omf - Kløfta	0,175	j0,17	3	3	15,000
	Kløfta - Jessheim omf	0,175	j0,17	3	3	8,200
	Jessheim omf - Eidsvoll kbh	0,164	j0,2	2	2	23,800
Dovrebanen	Eidsvoll kbh - Tangen omf	0,169	j0,195	2	2	35,300
	Tangen omf - Rudshøgda omf	0,2	j0,23	4	2	44,930
	Rudshøgda iomf - Fåberg omf	0,2	j0,23	4	2	42,610
	Fåberg omf - Fron omf	0,194	j0,204	4	2	67,850
	Fron omf - Otta omf	0,194	j0,204	4	2	39,800
	Otta omf - Dombås omf	0,168	j0,215	4	2	43,820
	Dombås omf - Oppdal omf	0,157	j0,198	16	2	85,280
	Oppdal omf - Lundamo omf	0,154	j0,198	17	2	87,400
	Lundamo omf - Stavne omf	0,157	j0,198	18	2	34,210
	Stavne omf - Trondheim	0,157	j0,198	18	2	3,640
Bergensbanen	Roa - Hønefoss st	0,187	j0,221	4	2	32,500
	Hønefoss stasjon - Hønefoss omf	0,183	j0,211	J	2	6,900
	Hønefoss omf - Nesbyen omf	0,183	j0,211	10	2	91,620
	Nesbyen omf - Eikle kon	0,202	j0,211	4	2	13,955
	Eikle kon - Øynaden kon	0,202	j0,211	4	2	64,525
	Øynaden kon - Haugastøl omf	0,165	j0,166	4	2	8,600
	Haugastøl omf - Finse	0,092	j0,106	4	5a	60,300
	Finse st - Finsetunnellen V	0,092	j0,106	4	5a	51,500
	Finsetunnellen V - Myrdal	0,092	j0,106	4	5a	95,074
	Myrdal - Mjølfjell omf	0,204	j0,192	4	2	18,420
	Mjølfjell omf - Lillevik kon	0,179	j0,199	4/N	2	55,330
	Lillevik kon - Dale omf	0,179	j0,199	N	2	16,450
	Dale omf - Bergen omf/st	0,198	j0,215	9	2	45,250
	Flåmsbana	Myrdal - Kjosfoss krf	0,233	j0,228	L	1
Kjosfoss krf - Flåm		0,233	j0,228	L	1	16,000
Randsfjordbanen	Hokksund - Hønefoss	0,1874	j0,219	5	2	54,000
	Drammen - Hokksund	0,169	j0,199	13	3	17,440

Bane	Strekning	R [Ohm/km]	X [Ohm/km]	Kilde	Konf	Km
Kongsvingerbanen	Lillestrøm - Bingsfoss kon	0,178	j0,219	2	2	19,050
	Bingsfoss kon - Skarnes kon	0,178	j0,219	2	2	40,300
	Skarnes kon - Kongsvinger omf	0,178	j0,219	2	2	20,000
	Kongsvinger omf - Åbogen				2	12,160
	Åbogen - Riksgrensen				3	30,400
	Riksgrensen - Otterbol omf (BV)					0,000
Godssporet Loenga-Alnabru	Loenga - Alnabru omf	0,175	j0,184	B	2	4,070
Østfoldbanen vestre linje	Oslo kbh- Loenga	0,19	j0,186	1	3	1,080
	Loenga - Oslo kbh	0,185	j0,192	1	3	1,080
	Loenga - Holmlia omf	0,19	j0,186	1	3	9,720
	Holmlia - Loenga omf	0,185	j0,192	1	3	9,720
	Holmlia omf - Ski kbh	0,1875	j0,189	C	3	13,510
	Ski kbh - Holmlia omf	0,1875	j0,189	C	3	13,510
	Ski kbh - Smørbekk omf	0,1875	j0,189	C	3	28,680
	Smørbekk omf - Ski kbh	0,1875	j0,189	C	3	28,680
	Smørbekk omf - Sandbukta	0,1875	j0,189	C	3	4,200
	Sandbukta - Smørbekk omf	0,1875	j0,189	C	3	4,200
	Sandbukta - Moss	0,182	j0,225	6	3	2,960
	Moss - Sarpsborg	0,182	j0,225	6	4	49,330
	Sarpsborg - Sarpsborg omf				3	5,310
	Sarpsborg omf - Halden kon	0,13	j0,165	4	3	20,300
	Halden kon - Riksgrensen				4	35,730
Riksgrensen - Mon kbh (BV)						
Østfoldbanen østre linje	Ski kbh - Spydeberg kon	0,22	j0,227	4	2	21,280
	Spydeberg kon - Rudskau kon	0,22	j0,227	4	2	38,790
	Rudskau kon - Sarpsborg st	0,22	j0,227	4	2	20,290
	Sarpsborg - Sarpsborg omf	0,1875	j0,189	C	2	5,310
Drammenbanen	Oslo kbh - Skøyen	0,218	j0,188	1	3	4,381
	Skøyen - Oslo kbh	0,218	j0,188	1	3	4,381
	Fillipstad - Skøyen	0,218	j0,188	D	2	2,800
	Skøyen - Asker omf	0,218	j0,188	1	3	19,448
	Asker omf - Skøyen	0,218	j0,188	1	3	19,448
	Asker omf - Drammen kbh	0,171	j0,158	4	3	16,360
	Drammen kbh - Asker omf	0,171	j0,158	4	3	16,360
Spikkestadlinja	Asker omf - Spikkestad	0,21	j0,21	E/O	2	13,977
Sørlandsbanen	Hokksund - Skollenborg trf	0,169	j0,199	13	2	22,400
	Skollenborg trf - Kongsberg	0,169	j0,199	13	2	6,800
	Kongsberg - Nordagutu omf	0,169	j0,199	13	2	46,000
	Nordagutu omf - Lunde	0,197	j0,197	11	2	74,150
	Lunde - Neslandsvatn trf	0,197	j0,197	11	3	57,830
	Neslandsvatn trf - Nelaug omf	0,233	j0,228	L	1	5,050
	Nelaug omf - Krossen omf	0,233	j0,228	L	1	79,680
	Krossen omf - Kristiansand	0,233	j0,228	L	1	3,027
	Kristiansand - Krossen omf	0,233	j0,228	L	1	2,783
	Dalane - Suldal	0,233	j0,228	L	1	0,590
	Krossen omf - Nodeland	0,181	j0,19	12	2	7,270
	Nodeland - Marnadal	0,181	j0,19	12	1	26,730
	Marnadal - Leivoll	0,181	j0,19	12	2	10,230
	Leivoll omf - Sira omf	0,181	j0,19	12	2	56,080
	Sira omf - Kielland omf	0,178	j0,214	8	1	52,470
	Kielland omf - Ognå	0,169	j0,206	8	1	20,040
	Ognå - Varhaug	0,169	j0,206	8	1	14,930
	Varhaug - Ganddal	0,169	j0,206	8	1/5	24,774
Ganddal - Stavanger	0,169	j0,206	8	1	18,116	
Arendalsbanen	Nelaug - Arendal	0,181	j0,19	M	2	36,220

Bane	Strekning	R	X	Kilde	Konf	Km
		[Ohm/km]	[Ohm/km]			
Vestfoldbanen	Drammen kbh - Kobbervik	0,218	j0,188	G	2	7,620
	Kobbervik - Sande trf	0,1875	j0,189	H	6	12,799
	Sande trf - Kobbervik	0,1875	j0,189	H	6	12,799
	Sande trf - Nykrike	0,1875	j0,189	H	6	4,069
	Nykrike - Sande trf	0,1875	j0,189	H	6	4,069
	Nykrike - Holmestrand	0,218	j0,188	G	2	8,742
	Holmestrand - Skoppum omf	0,219	j0,218	K	2	13,448
	Skoppum omf - Larvik omf	0,219	j0,218	4	2	57,512
	Larvik omf - Eidanger	0,219	j0,218	K	2	35,550
	Nordagutu omf - Eidanger	0,219	j0,218	K	2	48,400
Brevikbanen	Eidanger - Brevik	0,219	j0,218	K	2	9,800
Hortenlinjen	Skoppum - Horten	0,219	j0,218	K	2	6,980
Ofofbanen	Narvik - Rombak omf	0,165	j0,148	4	2	17,080
	Rombak - Bjørnfjell	0,124	j0,176	15	5	19,309
	Bjørnfjell - Riksgrensen	0,165	0,148	4	2	2,182
	Riksgrensen - Tornehamn omf (BV)	0,14	j0,16	14		

Kilder

- 1 - Tabell fra Region Øst
- 2 - Innstillinger Impedansevern Gardermobanen (Sluttdokumentasjon)
- 3 - Prøveprotokoll Adtranz
- 4 - Oversikt i gammel impedansperm
- 5 - Beregnet på bakgrunn av Notat "Måling av impedansen i kontaktledningen" fra Jonr
- 6 - Notat "Impedansmålinger Ski-Sarpsborg" fra VIM til Dobbelsporet Ski-Moss v/Løvæ
- 7 - Antatt ut fra 6
- 8 - Målt mai 2000. Hentet fra Releplan Krossen-Ganddal JD 546 vedlegg 5a
- 9 - Målt november 2000 av BE Dale-Trengereid. Usikker på måleomsetning
- 10 - Målt mai 2000 av BE Hønefoss-Nesbyen
- 11 - Målt august 2004 av BE Nordagutu-Neslandsvatn
- 12 - Måling april 2000 av BE Leivoll-Krossen
- 13 - Måling mars 2000 av BE Nordagutu-Gulskogen
- 14 - BV TKD 9M 95/02
- 15 - Måling BE 2003 Rombak-Horisontalen
- 16 - Måling ITSE 2004-10-31 Dombås-Oppdal
- 17 - Måling ITSE 2004-10-31 Oppdal-Lundamo
- 18 - Måling ITSE 2004-11-07 Lundamo-Trondheim

Antakelser for strekninger en ikke har målinger for gjort på møtet hos Flytoget 2003-11

- A - Antatt lik som Hokksund-Hønefoss
- B - Antatt lik som Hovedbanen Alnabru-Lillestrøm
- C - Antatt lik som Oslo-Holmlia (Gjennomsnitt av de to sporene)
- D - Antatt lik som Oslo-Asker
- E - Bruker impedans som finnes i modellen fra før
- F - Antatt lik som Bergensbanen Roa-Hønefoss
- G - Antatt lik som Drammenbanen Oslo-Asker
- H - Antatt lik som Østfoldbanen Oslo-Holmlia (Gjennomsnitt av de to sporene) (lik som

Andre antakelser

- I - Antatt lik som Oppdal-Stavne
- J - Antatt lik som Hønefoss-Nesbyen
- K - Antatt lik som Skoppum-Larvik
- L - Antatt lik som Egersund-Stavanger målt i [4]
- M - Antatt lik som Krossen-Leivoll
- N - Antatt lik som Mjølfjell-Voss
- O - Kunne kanskje brukt samme som Hokksund-Hønefoss

VEDLEGG 5 SIMULERINGSRESULTATER

Bergensbanen

Bergensbanen0

Periode	Matestasjoner			Tillegg Sum	Randsoner			Tog			Tog			Metode 5	
	Inn	Ut	Sum		Inn	Ut	Sum	Opptatt	Avlevert	Forbrukt	Antall	Tap	Tap%		
KI 00-01	17,54	-0,03	17,51	0,46	1,49	-0,35	1,15	16,83	-0,22	16,61	11	1,59	8,26		
KI 01-02	16,16	-0,03	16,13	0,46	0,25	-0,57	-0,32	14,28	-0,48	13,80	8	1,55	9,19		
KI 02-03	10,10	-0,17	9,93	0,46	0,96	-0,26	0,69	10,01	-0,78	9,23	7	0,94	7,96		
KI 03-04	9,07	-0,21	8,86	0,46	0,87	-0,31	0,56	8,58	-0,36	8,23	6	0,75	7,25		
KI 04-05	7,24	-0,26	6,98	0,46	0,40	-1,22	-0,82	5,65	-0,75	4,90	6	0,81	9,62		
KI 05-06	4,64	-0,50	4,13	0,46	0,35	-1,19	-0,83	2,93	-0,75	2,18	7	0,66	11,55		
KI 06-07	3,97	-0,34	3,63	0,18	0,66	-0,87	-0,20	3,10	-0,43	2,67	9	0,58	11,35		
KI 07-08	3,87	-0,22	3,64	0,18	0,69	-0,94	-0,24	3,02	-0,15	2,87	11	0,35	7,41		
KI 08-09	3,98	-0,35	3,62	0,18	0,89	-0,80	0,09	3,33	-0,22	3,11	14	0,42	8,33		
KI 09-10	7,45	-0,23	7,22	0,18	0,82	-0,66	0,16	6,84	-0,24	6,60	13	0,60	7,00		
KI 10-11	9,12	-0,13	8,99	0,18	0,34	-0,94	-0,60	8,39	-0,82	7,57	14	0,65	6,28		
KI 11-12	11,53	-0,22	11,32	0,18	0,87	-0,88	-0,02	11,00	-0,82	10,18	16	0,94	7,08		
KI 12-13	10,78	-0,21	10,57	0,18	0,64	-0,73	-0,08	10,13	-0,90	9,23	16	1,08	8,72		
KI 13-14	8,30	-0,44	7,85	0,18	0,80	-0,76	0,04	8,22	-1,70	6,51	15	1,19	11,06		
KI 14-15	11,18	-0,14	11,04	0,18	0,36	-0,57	-0,21	10,03	-0,75	9,28	18	1,37	11,13		
KI 15-16	10,53	-0,34	10,19	0,18	1,15	-1,01	0,14	9,70	-0,82	8,88	17	1,26	10,10		
KI 16-17	12,08	-0,16	11,92	0,18	0,40	-1,63	-1,24	10,50	-1,19	9,31	14	1,19	8,71		
KI 17-18	8,80	-0,34	8,46	0,18	1,15	-1,00	0,15	8,17	-0,63	7,54	18	0,89	8,41		
KI 18-19	7,89	-0,19	7,70	0,18	0,16	-1,40	-1,24	6,23	-0,67	5,56	17	0,72	8,26		
KI 19-20	9,73	-0,27	9,46	0,18	0,31	-1,49	-1,19	7,84	-0,73	7,12	18	0,98	9,07		
KI 20-21	12,97	-0,04	12,93	0,18	0,16	-1,48	-1,32	11,17	-0,63	10,53	14	0,90	6,53		
KI 21-22	9,62	-0,19	9,44	0,18	0,83	-0,84	-0,01	9,05	-0,74	8,31	13	0,94	8,36		
KI 22-23	14,46	-0,05	14,42	0,18	0,49	-1,15	-0,66	12,46	-0,18	12,28	14	1,29	8,52		
KI 23-24	14,64	-0,11	14,54	0,46	0,59	-1,41	-0,82	11,97	-0,30	11,67	13	1,59	10,25		
Sum	235,64	-5,14	230,50	6,29	15,64	-22,47	-6,83	209,43	-15,26	194,17	69	23,22	8,71		

Bergensbanen0-1

Periode	Matestasjoner			Tillegg Sum	Randsoner			Tog			Tog			Metode 5	
	Inn	Ut	Sum		Inn	Ut	Sum	Opptatt	Avlevert	Forbrukt	Antall	Tap	Tap%		
KI 00-01	18,63	-0,01	18,62	0,46	0,00	0,00	0,00	16,79	-0,23	16,56	3	1,60	8,50		
KI 01-02	15,81	-0,04	15,77	0,46	0,00	0,00	0,00	14,27	-0,48	13,79	2	1,53	9,37		
KI 02-03	10,67	-0,04	10,63	0,46	0,00	0,00	0,00	10,06	-0,78	9,28	2	0,89	7,78		
KI 03-04	9,54	-0,09	9,45	0,46	0,00	0,00	0,00	8,59	-0,36	8,23	6	0,76	7,67		
KI 04-05	6,41	-0,37	6,04	0,46	0,00	0,00	0,00	5,64	-0,75	4,88	6	0,70	9,80		
KI 05-06	3,58	-0,46	3,13	0,46	0,00	0,00	0,00	2,94	-0,75	2,19	7	0,48	11,14		
KI 06-07	3,70	-0,41	3,30	0,18	0,00	0,00	0,00	3,11	-0,43	2,67	9	0,44	10,65		
KI 07-08	3,54	-0,24	3,30	0,18	0,00	0,00	0,00	3,02	-0,15	2,87	11	0,25	6,66		
KI 08-09	3,84	-0,23	3,60	0,18	0,00	0,00	0,00	3,33	-0,22	3,11	14	0,32	7,79		
KI 09-10	7,47	-0,14	7,33	0,18	0,00	0,00	0,00	6,86	-0,25	6,60	13	0,54	7,01		
KI 10-11	8,49	-0,19	8,30	0,18	0,00	0,00	0,00	8,35	-0,81	7,53	14	0,58	6,26		
KI 11-12	11,22	-0,09	11,13	0,18	0,00	0,00	0,00	11,02	-0,84	10,18	16	0,76	6,34		
KI 12-13	10,57	-0,15	10,41	0,18	0,00	0,00	0,00	10,19	-0,91	9,28	16	0,95	8,30		
KI 13-14	8,01	-0,25	7,76	0,18	0,00	0,00	0,00	8,27	-1,71	6,57	15	1,01	10,38		
KI 14-15	10,94	-0,13	10,82	0,18	0,00	0,00	0,00	10,06	-0,75	9,31	16	1,32	11,31		
KI 15-16	10,13	-0,12	10,01	0,18	0,00	0,00	0,00	9,61	-0,82	8,79	13	1,04	9,52		
KI 16-17	10,49	-0,15	10,33	0,18	0,00	0,00	0,00	10,47	-1,18	9,28	11	0,87	7,46		
KI 17-18	8,61	-0,18	8,43	0,18	0,00	0,00	0,00	8,23	-0,64	7,59	9	0,66	7,10		
KI 18-19	6,54	-0,26	6,28	0,18	0,00	0,00	0,00	6,25	-0,67	5,58	7	0,52	7,23		
KI 19-20	8,27	-0,22	8,05	0,18	0,00	0,00	0,00	7,85	-0,73	7,13	9	0,74	8,23		
KI 20-21	11,51	-0,10	11,41	0,18	0,00	0,00	0,00	11,19	-0,63	10,56	7	0,67	5,51		
KI 21-22	9,54	-0,18	9,37	0,18	0,00	0,00	0,00	9,00	-0,73	8,27	6	0,92	8,94		
KI 22-23	13,59	-0,02	13,58	0,18	0,00	0,00	0,00	12,48	-0,18	12,30	6	1,10	7,97		
KI 23-24	13,51	-0,05	13,45	0,46	0,00	0,00	0,00	11,98	-0,30	11,68	3	1,32	9,54		
Sum	224,60	-4,12	220,48	6,29	0,00	0,00	0,00	209,52	-15,30	194,22	69	19,97	8,32		

Bergensbanen0-2

Periode	Matestasjoner			Tillegg Sum	Randsoner			Tog			Tog Antall	Metode 5	
	Inn	Ut	Sum		Inn	Ut	Sum	Opptatt	Avlevert	Forbrukt		Tap	Tap%
KI 00-01	17,42	-0,07	17,35	0,46	1,60	-0,37	1,23	16,72	-0,22	16,49	3	1,62	8,45
KI 01-02	16,30	-0,02	16,28	0,46	0,26	-0,60	-0,34	14,39	-0,49	13,90	2	1,59	9,34
KI 02-03	10,15	-0,17	9,98	0,46	1,01	-0,27	0,73	10,03	-0,78	9,25	2	1,01	8,48
KI 03-04	8,97	-0,17	8,80	0,46	0,87	-0,31	0,56	8,57	-0,36	8,22	6	0,69	6,77
KI 04-05	7,05	-0,16	6,89	0,46	0,40	-1,22	-0,82	5,65	-0,75	4,90	6	0,72	8,76
KI 05-06	4,33	-0,30	4,03	0,46	0,35	-1,19	-0,84	2,94	-0,75	2,19	7	0,54	9,99
KI 06-07	3,69	-0,18	3,51	0,18	0,66	-0,87	-0,21	3,10	-0,43	2,67	9	0,44	9,25
KI 07-08	3,69	-0,14	3,55	0,18	0,69	-0,94	-0,24	3,02	-0,15	2,87	11	0,26	5,70
KI 08-09	3,85	-0,26	3,59	0,18	0,93	-0,83	0,10	3,36	-0,22	3,14	14	0,36	7,18
KI 09-10	7,69	-0,30	7,39	0,18	0,88	-0,70	0,19	7,01	-0,24	6,77	13	0,63	7,12
KI 10-11	9,23	-0,11	9,12	0,18	0,36	-1,00	-0,63	8,45	-0,84	7,61	14	0,69	6,63
KI 11-12	11,78	-0,22	11,56	0,18	0,94	-0,95	-0,02	11,21	-0,83	10,38	16	0,98	7,26
KI 12-13	10,84	-0,20	10,64	0,18	0,69	-0,77	-0,09	10,14	-0,88	9,25	16	1,12	9,03
KI 13-14	8,44	-0,38	8,06	0,18	0,87	-0,83	0,04	8,45	-1,72	6,73	15	1,18	10,71
KI 14-15	11,36	-0,12	11,24	0,18	0,39	-0,61	-0,22	10,22	-0,73	9,49	16	1,35	10,79
KI 15-16	10,37	-0,31	10,06	0,18	1,21	-1,07	0,14	9,63	-0,82	8,81	13	1,20	9,69
KI 16-17	12,24	-0,13	12,11	0,18	0,43	-1,74	-1,32	10,62	-1,17	9,45	11	1,16	8,37
KI 17-18	8,73	-0,27	8,46	0,18	1,10	-1,08	0,03	8,24	-0,65	7,60	9	0,71	6,80
KI 18-19	7,98	-0,10	7,88	0,18	0,17	-1,49	-1,32	6,40	-0,67	5,73	7	0,65	7,36
KI 19-20	9,60	-0,21	9,39	0,18	0,32	-1,58	-1,26	7,83	-0,73	7,11	9	0,84	7,91
KI 20-21	13,11	-0,04	13,07	0,18	0,17	-1,57	-1,40	11,24	-0,63	10,61	7	0,89	6,41
KI 21-22	10,24	-0,18	10,05	0,18	0,90	-0,87	0,03	9,60	-0,72	8,88	6	1,02	8,60
KI 22-23	14,11	-0,04	14,07	0,18	0,51	-1,21	-0,70	12,15	-0,17	11,98	6	1,21	8,19
KI 23-24	14,78	-0,11	14,67	0,46	0,62	-1,49	-0,86	12,10	-0,30	11,81	3	1,54	9,81
Sum	235,92	-4,18	231,75	6,29	16,34	-23,57	-7,22	211,07	-15,25	195,82	69	22,42	8,38

Dovrebanen

Dovrebanen0

Periode	Matestasjoner			Tillegg Sum	Randsoner			Tog			Tog Antall	Metode 5	
	Inn	Ut	Sum		Inn	Ut	Sum	Opptatt	Avlevert	Forbrukt		Tap	Tap%
KI 00-01	17,81	-0,06	17,75	0,38	0,26	-0,50	-0,24	16,52	-0,40	16,11	11	1,02	5,53
KI 01-02	17,57	-0,12	17,45	0,38	0,35	-0,20	0,15	16,48	-0,62	15,86	11	1,37	7,38
KI 02-03	16,29	-0,09	16,21	0,38	0,27	-0,21	0,06	15,31	-0,46	14,86	11	1,03	6,06
KI 03-04	13,12	-0,08	13,04	0,38	0,95	-0,05	0,91	13,00	-0,27	12,73	10	0,84	5,87
KI 04-05	9,21	-0,14	9,07	0,38	1,24	-0,24	1,00	9,75	-0,69	9,06	10	0,63	5,68
KI 05-06	6,22	-0,34	5,88	0,38	0,61	-0,62	-0,01	5,71	-0,68	5,03	9	0,46	6,15
KI 06-07	6,89	-0,22	6,66	0,16	0,29	-0,87	-0,58	6,06	-0,64	5,41	5	0,51	6,54
KI 07-08	6,84	-0,07	6,77	0,16	0,09	-1,29	-1,20	5,20	-0,20	5,00	5	0,41	5,72
KI 08-09	10,35	-0,13	10,22	0,16	0,28	-1,01	-0,73	9,10	-0,53	8,57	8	0,77	6,89
KI 09-10	10,53	-0,16	10,37	0,16	0,34	-1,02	-0,68	9,62	-0,83	8,79	8	0,73	6,28
KI 10-11	12,01	-0,15	11,86	0,16	0,27	-1,21	-0,95	10,94	-1,01	9,93	9	0,82	6,20
KI 11-12	12,23	-0,20	12,03	0,16	0,85	-0,47	0,38	12,30	-0,84	11,46	12	0,78	5,61
KI 12-13	10,86	-0,11	10,75	0,16	0,72	-0,49	0,23	10,43	-0,61	9,83	9	0,99	8,13
KI 13-14	13,05	-0,09	12,97	0,16	0,61	-0,58	0,04	12,61	-0,88	11,73	12	1,11	7,64
KI 14-15	12,44	-0,17	12,27	0,16	0,99	-0,56	0,43	12,33	-0,80	11,53	12	1,01	7,11
KI 15-16	12,00	-0,15	11,85	0,16	1,22	-0,45	0,78	12,35	-0,68	11,66	10	0,81	5,80
KI 16-17	11,63	-0,14	11,48	0,16	0,66	-0,81	-0,15	11,24	-0,93	10,32	11	0,86	6,49
KI 17-18	9,24	-0,18	9,06	0,16	0,46	-0,61	-0,15	9,14	-1,07	8,07	11	0,68	6,29
KI 18-19	9,14	-0,16	8,98	0,16	0,26	-0,71	-0,46	8,69	-0,79	7,90	10	0,46	4,53
KI 19-20	6,63	-0,29	6,34	0,16	0,73	-0,60	0,13	6,95	-1,08	5,87	10	0,44	5,19
KI 20-21	7,30	-0,35	6,96	0,16	0,66	-0,58	0,08	7,11	-0,89	6,22	9	0,66	7,42
KI 21-22	9,74	-0,23	9,51	0,16	0,77	-0,61	0,16	9,34	-0,61	8,73	11	0,78	6,99
KI 22-23	16,58	-0,02	16,56	0,16	1,24	-0,37	0,87	16,46	-0,42	16,04	12	1,23	6,74
KI 23-24	22,13	-0,02	22,12	0,38	0,11	-0,62	-0,51	20,35	-0,32	20,03	11	1,20	5,32
Sum	279,83	-3,68	276,15	5,36	14,23	-14,68	-0,45	266,98	-16,25	250,73	69	19,61	6,32

Dovrebanen0-1

Periode	Matestasjoner			Tillegg Sum	Randsoner			Tog			Tog Antall	Metode 5	
	Inn	Ut	Sum		Inn	Ut	Sum	Opptatt	Avlevert	Forbrukt		Tap	Tap%
KI 00-01	17,54	-0,07	17,47	0,38	0,00	0,00	0,00	16,52	-0,40	16,11	11	0,98	5,47
KI 01-02	17,66	-0,09	17,57	0,38	0,00	0,00	0,00	16,48	-0,62	15,86	11	1,34	7,31
KI 02-03	16,30	-0,04	16,25	0,38	0,00	0,00	0,00	15,32	-0,46	14,86	11	1,02	6,06
KI 03-04	13,90	-0,04	13,86	0,38	0,00	0,00	0,00	12,99	-0,27	12,72	10	0,76	5,39
KI 04-05	10,24	-0,12	10,12	0,38	0,00	0,00	0,00	9,75	-0,69	9,06	10	0,69	6,34
KI 05-06	6,06	-0,26	5,80	0,38	0,00	0,00	0,00	5,71	-0,68	5,03	9	0,39	5,75
KI 06-07	6,25	-0,24	6,01	0,16	0,00	0,00	0,00	6,06	-0,64	5,42	5	0,43	6,18
KI 07-08	5,56	-0,15	5,41	0,16	0,00	0,00	0,00	5,20	-0,20	5,00	5	0,25	4,34
KI 08-09	9,49	-0,13	9,36	0,16	0,00	0,00	0,00	9,10	-0,53	8,56	8	0,63	6,31
KI 09-10	9,68	-0,15	9,53	0,16	0,00	0,00	0,00	9,63	-0,83	8,79	8	0,58	5,49
KI 10-11	10,91	-0,18	10,73	0,16	0,00	0,00	0,00	10,95	-1,01	9,93	9	0,63	5,32
KI 11-12	12,40	-0,08	12,32	0,16	0,00	0,00	0,00	12,31	-0,84	11,47	10	0,69	5,22
KI 12-13	10,94	-0,08	10,87	0,16	0,00	0,00	0,00	10,43	-0,61	9,83	9	0,88	7,61
KI 13-14	12,96	-0,07	12,89	0,16	0,00	0,00	0,00	12,63	-0,89	11,74	12	0,99	7,12
KI 14-15	12,68	-0,11	12,57	0,16	0,00	0,00	0,00	12,33	-0,81	11,53	12	0,88	6,54
KI 15-16	12,58	-0,06	12,52	0,16	0,00	0,00	0,00	12,35	-0,69	11,66	10	0,70	5,28
KI 16-17	11,22	-0,08	11,14	0,16	0,00	0,00	0,00	11,24	-0,95	10,29	11	0,69	5,63
KI 17-18	8,98	-0,17	8,81	0,16	0,00	0,00	0,00	9,14	-1,07	8,07	11	0,58	5,77
KI 18-19	8,58	-0,13	8,45	0,16	0,00	0,00	0,00	8,69	-0,79	7,90	10	0,39	4,18
KI 19-20	6,55	-0,22	6,32	0,16	0,00	0,00	0,00	6,91	-1,09	5,82	10	0,34	4,42
KI 20-21	7,17	-0,28	6,89	0,16	0,00	0,00	0,00	7,08	-0,89	6,19	9	0,54	6,73
KI 21-22	9,69	-0,14	9,54	0,16	0,00	0,00	0,00	9,33	-0,61	8,73	11	0,66	6,39
KI 22-23	17,36	-0,01	17,35	0,16	0,00	0,00	0,00	16,44	-0,42	16,02	12	1,17	6,60
KI 23-24	21,60	-0,02	21,58	0,38	0,00	0,00	0,00	20,35	-0,32	20,03	11	1,18	5,37
Sum	276,30	-2,93	273,37	5,36	0,00	0,00	0,00	266,93	-16,31	250,63	69	17,39	5,94

Dovrebanen0-2

Periode	Matestasjoner			Tillegg Sum	Randsoner			Tog			Tog Antall	Metode 5	
	Inn	Ut	Sum		Inn	Ut	Sum	Opptatt	Avlevert	Forbrukt		Tap	Tap%
KI 00-01	17,81	-0,06	17,75	0,38	0,26	-0,50	-0,24	16,53	-0,40	16,12	11	1,01	5,45
KI 01-02	17,54	-0,10	17,45	0,38	0,35	-0,20	0,15	16,47	-0,62	15,85	11	1,38	7,43
KI 02-03	16,26	-0,08	16,19	0,38	0,27	-0,21	0,06	15,31	-0,46	14,85	11	1,02	6,00
KI 03-04	13,10	-0,08	13,02	0,38	0,95	-0,05	0,91	12,99	-0,27	12,72	10	0,83	5,82
KI 04-05	9,19	-0,13	9,06	0,38	1,24	-0,24	1,00	9,75	-0,69	9,06	10	0,62	5,58
KI 05-06	6,18	-0,31	5,86	0,38	0,61	-0,62	-0,01	5,71	-0,68	5,03	9	0,45	5,97
KI 06-07	6,85	-0,20	6,65	0,16	0,29	-0,87	-0,58	6,06	-0,64	5,41	5	0,49	6,33
KI 07-08	6,79	-0,04	6,75	0,16	0,09	-1,29	-1,20	5,20	-0,20	5,00	5	0,39	5,53
KI 08-09	10,32	-0,12	10,20	0,16	0,28	-1,01	-0,73	9,09	-0,53	8,56	8	0,76	6,83
KI 09-10	10,53	-0,16	10,37	0,16	0,34	-1,02	-0,68	9,62	-0,83	8,79	8	0,74	6,30
KI 10-11	11,99	-0,14	11,85	0,16	0,27	-1,21	-0,95	10,93	-1,01	9,92	9	0,81	6,14
KI 11-12	12,22	-0,20	12,02	0,16	0,84	-0,47	0,37	12,30	-0,84	11,46	12	0,77	5,54
KI 12-13	10,95	-0,23	10,72	0,16	0,72	-0,49	0,23	10,43	-0,61	9,82	9	0,96	7,82
KI 13-14	13,16	-0,24	12,92	0,16	0,61	-0,58	0,03	12,61	-0,88	11,73	12	1,07	7,28
KI 14-15	12,48	-0,27	12,22	0,16	0,99	-0,56	0,43	12,32	-0,80	11,52	12	0,96	6,71
KI 15-16	11,99	-0,18	11,80	0,16	1,22	-0,45	0,78	12,34	-0,68	11,66	10	0,76	5,49
KI 16-17	11,66	-0,20	11,47	0,16	0,66	-0,81	-0,15	11,23	-0,92	10,31	11	0,85	6,39
KI 17-18	9,25	-0,21	9,04	0,16	0,46	-0,61	-0,15	9,13	-1,07	8,06	11	0,67	6,21
KI 18-19	9,19	-0,22	8,97	0,16	0,26	-0,72	-0,46	8,68	-0,79	7,89	10	0,46	4,45
KI 19-20	6,77	-0,43	6,33	0,16	0,73	-0,60	0,13	6,95	-1,08	5,86	10	0,44	5,09
KI 20-21	7,40	-0,45	6,95	0,16	0,66	-0,58	0,08	7,10	-0,89	6,21	9	0,66	7,36
KI 21-22	9,71	-0,22	9,49	0,16	0,77	-0,61	0,16	9,33	-0,61	8,72	11	0,77	6,93
KI 22-23	16,57	-0,02	16,55	0,16	1,23	-0,37	0,87	16,45	-0,42	16,03	12	1,23	6,73
KI 23-24	22,12	-0,01	22,10	0,38	0,11	-0,62	-0,51	20,33	-0,32	20,01	11	1,20	5,34
Sum	280,02	-4,30	275,73	5,36	14,22	-14,68	-0,46	266,86	-16,23	250,63	69	19,28	6,21

Dovrebanen0-4

Periode	Matestasjoner			Tillegg	Randsoner			Tog			Tog	Metode 5	
	Inn	Ut	Sum		Sum	Inn	Ut	Sum	Opptatt	Avlevert		Forbrukt	Antall
KI 00-01	17,85	-0,08	17,78	0,38	0,26	-0,50	-0,24	16,51	-0,41	16,11	11	1,05	5,70
KI 01-02	17,73	-0,16	17,57	0,38	0,35	-0,20	0,15	16,48	-0,62	15,86	11	1,49	7,96
KI 02-03	16,43	-0,14	16,29	0,38	0,27	-0,21	0,06	15,33	-0,46	14,87	11	1,10	6,41
KI 03-04	13,10	-0,08	13,02	0,38	0,95	-0,05	0,91	13,00	-0,27	12,73	10	0,82	5,75
KI 04-05	9,23	-0,17	9,06	0,38	1,24	-0,24	1,00	9,75	-0,69	9,06	10	0,62	5,59
KI 05-06	6,15	-0,30	5,85	0,38	0,60	-0,62	-0,02	5,71	-0,68	5,03	9	0,42	5,62
KI 06-07	6,90	-0,24	6,66	0,16	0,29	-0,87	-0,58	6,06	-0,64	5,42	5	0,50	6,36
KI 07-08	6,84	-0,08	6,76	0,16	0,09	-1,29	-1,20	5,20	-0,20	5,00	5	0,40	5,58
KI 08-09	10,34	-0,13	10,21	0,16	0,28	-1,01	-0,73	9,09	-0,53	8,56	8	0,76	6,79
KI 09-10	10,50	-0,16	10,34	0,16	0,34	-1,02	-0,68	9,63	-0,83	8,80	8	0,71	6,04
KI 10-11	11,99	-0,15	11,84	0,16	0,27	-1,21	-0,95	10,94	-1,01	9,93	9	0,81	6,10
KI 11-12	12,20	-0,20	12,00	0,16	0,85	-0,47	0,38	12,30	-0,84	11,47	12	0,75	5,40
KI 12-13	10,82	-0,13	10,68	0,16	0,72	-0,49	0,23	10,43	-0,61	9,83	9	0,92	7,60
KI 13-14	12,98	-0,10	12,88	0,16	0,61	-0,58	0,04	12,62	-0,88	11,73	12	1,02	7,05
KI 14-15	12,36	-0,18	12,18	0,16	0,99	-0,56	0,43	12,32	-0,80	11,52	12	0,92	6,51
KI 15-16	11,96	-0,15	11,80	0,16	1,23	-0,45	0,78	12,34	-0,68	11,66	10	0,76	5,47
KI 16-17	11,60	-0,15	11,45	0,16	0,66	-0,81	-0,15	11,24	-0,92	10,31	11	0,83	6,28
KI 17-18	9,23	-0,23	8,99	0,16	0,46	-0,61	-0,15	9,13	-1,07	8,06	11	0,62	5,78
KI 18-19	9,17	-0,20	8,97	0,16	0,26	-0,71	-0,46	8,68	-0,79	7,90	10	0,45	4,45
KI 19-20	6,71	-0,39	6,32	0,16	0,73	-0,60	0,13	6,95	-1,09	5,87	10	0,42	4,94
KI 20-21	7,36	-0,47	6,89	0,16	0,66	-0,58	0,08	7,11	-0,89	6,22	9	0,59	6,67
KI 21-22	9,83	-0,36	9,47	0,16	0,77	-0,61	0,16	9,34	-0,61	8,73	11	0,73	6,56
KI 22-23	16,57	-0,05	16,51	0,16	1,24	-0,37	0,87	16,47	-0,42	16,05	12	1,17	6,41
KI 23-24	22,16	-0,02	22,14	0,38	0,11	-0,62	-0,51	20,37	-0,32	20,05	11	1,20	5,33
Sum	279,98	-4,33	275,66	5,36	14,22	-14,68	-0,46	267,02	-16,26	250,76	69	19,07	6,14

Dovrebanen0-5

Periode	Matestasjoner			Tillegg	Randsoner			Tog			Tog	Metode 5	
	Inn	Ut	Sum		Sum	Inn	Ut	Sum	Opptatt	Avlevert		Forbrukt	Antall
KI 00-01	17,76	-0,05	17,71	0,38	0,26	-0,50	-0,24	16,51	-0,41	16,11	11	0,99	5,37
KI 01-02	17,56	-0,10	17,46	0,38	0,35	-0,20	0,15	16,48	-0,62	15,86	11	1,38	7,45
KI 02-03	16,26	-0,07	16,19	0,38	0,27	-0,21	0,06	15,33	-0,46	14,87	11	1,01	5,93
KI 03-04	13,12	-0,08	13,05	0,38	0,95	-0,05	0,91	13,00	-0,27	12,73	10	0,85	5,94
KI 04-05	9,18	-0,13	9,05	0,38	1,24	-0,24	1,00	9,75	-0,69	9,06	10	0,62	5,56
KI 05-06	6,11	-0,27	5,84	0,38	0,60	-0,62	-0,02	5,71	-0,68	5,03	9	0,42	5,66
KI 06-07	6,85	-0,19	6,66	0,16	0,29	-0,87	-0,58	6,07	-0,64	5,42	5	0,49	6,34
KI 07-08	6,78	-0,04	6,74	0,16	0,09	-1,29	-1,20	5,20	-0,20	5,00	5	0,38	5,43
KI 08-09	10,31	-0,12	10,20	0,16	0,28	-1,01	-0,73	9,10	-0,53	8,56	8	0,75	6,71
KI 09-10	10,51	-0,16	10,35	0,16	0,34	-1,02	-0,68	9,62	-0,83	8,80	8	0,72	6,13
KI 10-11	11,97	-0,13	11,84	0,16	0,27	-1,21	-0,95	10,94	-1,01	9,93	9	0,80	6,05
KI 11-12	12,21	-0,18	12,02	0,16	0,85	-0,47	0,38	12,31	-0,84	11,47	12	0,77	5,54
KI 12-13	10,83	-0,11	10,73	0,16	0,72	-0,49	0,23	10,43	-0,61	9,82	9	0,97	8,00
KI 13-14	13,06	-0,08	12,97	0,16	0,61	-0,58	0,04	12,62	-0,88	11,74	12	1,11	7,63
KI 14-15	12,43	-0,17	12,26	0,16	0,99	-0,56	0,43	12,32	-0,80	11,52	12	1,00	7,06
KI 15-16	11,98	-0,14	11,84	0,16	1,23	-0,45	0,78	12,34	-0,68	11,66	10	0,79	5,71
KI 16-17	11,60	-0,13	11,47	0,16	0,66	-0,81	-0,15	11,24	-0,92	10,32	11	0,84	6,39
KI 17-18	9,20	-0,17	9,03	0,16	0,46	-0,61	-0,15	9,13	-1,07	8,06	11	0,66	6,16
KI 18-19	9,10	-0,15	8,96	0,16	0,26	-0,72	-0,46	8,68	-0,79	7,89	10	0,45	4,40
KI 19-20	6,59	-0,27	6,32	0,16	0,73	-0,60	0,13	6,95	-1,09	5,87	10	0,42	5,02
KI 20-21	7,24	-0,31	6,93	0,16	0,66	-0,58	0,08	7,11	-0,89	6,22	9	0,63	7,15
KI 21-22	9,71	-0,20	9,51	0,16	0,77	-0,61	0,16	9,34	-0,61	8,73	11	0,77	6,99
KI 22-23	16,57	-0,02	16,56	0,16	1,24	-0,37	0,87	16,47	-0,42	16,05	12	1,21	6,64
KI 23-24	22,15	-0,02	22,14	0,38	0,11	-0,62	-0,51	20,37	-0,32	20,05	11	1,20	5,32
Sum	279,12	-3,29	275,83	5,36	14,22	-14,69	-0,46	267,00	-16,24	250,76	69	19,25	6,22

Dovrebanen0-6

Periode	Matestasjoner			Tillegg Sum	Randsoner			Tog			Tog Antall	Metode 5	
	Inn	Ut	Sum		Inn	Ut	Sum	Opptatt	Avgitt	Forbrukt		Tap	Tap%
KI 00-01	17,32	-0,22	17,10	0,38	0,00	0,00	0,00	16,51	-0,40	16,10	11	0,63	3,53
KI 01-02	17,13	-0,25	16,87	0,38	0,00	0,00	0,00	16,49	-0,62	15,87	11	0,63	3,56
KI 02-03	16,03	-0,18	15,84	0,38	0,00	0,00	0,00	15,33	-0,46	14,87	11	0,59	3,60
KI 03-04	13,70	-0,19	13,52	0,38	0,00	0,00	0,00	13,00	-0,27	12,73	10	0,41	2,95
KI 04-05	10,27	-0,49	9,77	0,38	0,00	0,00	0,00	9,74	-0,69	9,05	10	0,35	3,16
KI 05-06	6,07	-0,50	5,57	0,38	0,00	0,00	0,00	5,71	-0,68	5,03	9	0,16	2,34
KI 06-07	6,22	-0,43	5,80	0,16	0,00	0,00	0,00	6,07	-0,64	5,42	5	0,22	3,16
KI 07-08	5,41	-0,11	5,30	0,16	0,00	0,00	0,00	5,19	-0,20	4,99	5	0,14	2,51
KI 08-09	9,39	-0,26	9,14	0,16	0,00	0,00	0,00	9,09	-0,53	8,56	8	0,42	4,19
KI 09-10	9,71	-0,40	9,31	0,16	0,00	0,00	0,00	9,63	-0,83	8,80	8	0,35	3,36
KI 10-11	11,10	-0,64	10,46	0,16	0,00	0,00	0,00	10,95	-1,01	9,94	9	0,36	2,98
KI 11-12	12,43	-0,40	12,03	0,16	0,00	0,00	0,00	12,31	-0,84	11,48	10	0,39	2,92
KI 12-13	10,79	-0,33	10,46	0,16	0,00	0,00	0,00	10,43	-0,61	9,83	9	0,47	4,15
KI 13-14	12,60	-0,28	12,32	0,16	0,00	0,00	0,00	12,62	-0,88	11,74	12	0,42	3,10
KI 14-15	12,45	-0,31	12,14	0,16	0,00	0,00	0,00	12,34	-0,80	11,54	12	0,44	3,33
KI 15-16	12,43	-0,23	12,20	0,16	0,00	0,00	0,00	12,34	-0,68	11,66	10	0,38	2,91
KI 16-17	11,11	-0,28	10,83	0,16	0,00	0,00	0,00	11,24	-0,94	10,30	11	0,37	3,10
KI 17-18	9,09	-0,58	8,51	0,16	0,00	0,00	0,00	9,14	-1,07	8,07	11	0,28	2,77
KI 18-19	8,65	-0,41	8,24	0,16	0,00	0,00	0,00	8,68	-0,79	7,90	10	0,19	1,97
KI 19-20	6,76	-0,62	6,14	0,16	0,00	0,00	0,00	6,91	-1,08	5,83	10	0,14	1,85
KI 20-21	7,24	-0,64	6,61	0,16	0,00	0,00	0,00	7,08	-0,89	6,19	9	0,25	3,12
KI 21-22	9,38	-0,26	9,12	0,16	0,00	0,00	0,00	9,33	-0,61	8,73	11	0,24	2,38
KI 22-23	16,96	-0,07	16,88	0,16	0,00	0,00	0,00	16,46	-0,42	16,04	12	0,68	3,91
KI 23-24	21,30	-0,14	21,16	0,38	0,00	0,00	0,00	20,34	-0,32	20,02	11	0,76	3,53
Sum	273,55	-8,22	265,32	5,36	0,00	0,00	0,00	266,93	-16,25	250,68	69	9,28	3,20

Dovrebanen0-7

Periode	Matestasjoner			Tillegg Sum	Randsoner			Tog			Tog Antall	Metode 5	
	Inn	Ut	Sum		Inn	Ut	Sum	Opptatt	Avgitt	Forbrukt		Tap	Tap%
KI 00-01	17,66	-0,05	17,60	0,38	0,26	-0,50	-0,24	16,45	-0,41	16,04	11	0,95	5,16
KI 01-02	17,56	-0,10	17,46	0,38	0,35	-0,20	0,15	16,58	-0,62	15,96	11	1,28	6,90
KI 02-03	16,22	-0,09	16,12	0,38	0,27	-0,21	0,06	15,33	-0,45	14,87	11	0,93	5,51
KI 03-04	13,07	-0,07	13,00	0,38	0,95	-0,05	0,90	13,06	-0,27	12,78	10	0,74	5,20
KI 04-05	9,16	-0,14	9,02	0,38	1,24	-0,24	1,00	9,75	-0,69	9,06	10	0,59	5,28
KI 05-06	6,19	-0,33	5,85	0,38	0,61	-0,62	-0,02	5,72	-0,68	5,04	9	0,42	5,64
KI 06-07	6,89	-0,22	6,67	0,16	0,29	-0,87	-0,58	6,08	-0,65	5,43	5	0,49	6,30
KI 07-08	6,83	-0,07	6,76	0,16	0,09	-1,29	-1,20	5,21	-0,20	5,01	5	0,39	5,45
KI 08-09	10,35	-0,13	10,22	0,16	0,28	-1,01	-0,73	9,08	-0,53	8,55	8	0,78	6,96
KI 09-10	10,50	-0,16	10,34	0,16	0,34	-1,02	-0,68	9,63	-0,83	8,80	8	0,69	5,92
KI 10-11	11,94	-0,14	11,80	0,16	0,26	-1,22	-0,96	10,94	-1,01	9,93	9	0,76	5,72
KI 11-12	12,21	-0,18	12,03	0,16	0,84	-0,47	0,37	12,37	-0,84	11,53	10	0,70	5,07
KI 12-13	10,77	-0,11	10,66	0,16	0,72	-0,49	0,22	10,46	-0,61	9,84	9	0,88	7,28
KI 13-14	12,97	-0,08	12,89	0,16	0,61	-0,58	0,03	12,67	-0,89	11,79	12	0,98	6,75
KI 14-15	12,38	-0,19	12,19	0,16	0,99	-0,56	0,42	12,34	-0,81	11,53	12	0,92	6,50
KI 15-16	11,98	-0,14	11,84	0,16	1,22	-0,45	0,77	12,39	-0,69	11,71	10	0,75	5,39
KI 16-17	11,58	-0,14	11,44	0,16	0,66	-0,81	-0,15	11,27	-0,93	10,34	11	0,79	5,99
KI 17-18	9,19	-0,18	9,01	0,16	0,46	-0,61	-0,15	9,16	-1,07	8,08	11	0,62	5,77
KI 18-19	9,12	-0,15	8,97	0,16	0,26	-0,72	-0,46	8,71	-0,79	7,92	10	0,43	4,27
KI 19-20	6,61	-0,29	6,32	0,16	0,73	-0,60	0,12	6,96	-1,08	5,88	10	0,41	4,85
KI 20-21	7,29	-0,35	6,93	0,16	0,66	-0,58	0,08	7,14	-0,90	6,24	9	0,61	6,89
KI 21-22	9,69	-0,24	9,45	0,16	0,76	-0,61	0,15	9,36	-0,61	8,75	11	0,70	6,31
KI 22-23	16,50	-0,02	16,48	0,16	1,23	-0,37	0,86	16,48	-0,42	16,05	12	1,13	6,20
KI 23-24	22,05	-0,01	22,03	0,38	0,11	-0,62	-0,52	20,37	-0,32	20,05	11	1,09	4,87
Sum	278,68	-3,58	275,10	5,36	14,19	-14,74	-0,55	267,49	-16,32	251,17	69	18,02	5,83

Dovrebanen0-8

Periode	Matestasjoner			Tillegg	Randsoner			Tog			Tog	Metode 5	
	Inn	Ut	Sum	Sum	Inn	Ut	Sum	Opptatt	Avlevert	Forbrukt	Antall	Tap	Tap%
KI 00-01	18,25	-0,02	18,23	0,38	0,26	-0,50	-0,24	16,62	0,00	16,62	11	1,00	5,40
KI 01-02	18,32	-0,08	18,25	0,38	0,35	-0,20	0,15	16,62	0,00	16,62	11	1,40	7,49
KI 02-03	16,87	-0,09	16,78	0,38	0,27	-0,21	0,06	15,43	0,00	15,43	11	1,03	6,03
KI 03-04	13,39	-0,04	13,35	0,38	0,95	-0,05	0,91	13,05	0,00	13,05	10	0,83	5,77
KI 04-05	9,94	-0,04	9,90	0,38	1,24	-0,24	1,00	9,92	0,00	9,92	10	0,61	5,41
KI 05-06	6,83	-0,10	6,73	0,38	0,60	-0,62	-0,02	5,92	0,00	5,92	9	0,42	5,64
KI 06-07	7,55	-0,08	7,46	0,16	0,29	-0,87	-0,58	6,22	0,00	6,22	5	0,50	6,38
KI 07-08	7,06	-0,05	7,01	0,16	0,09	-1,29	-1,20	5,26	0,00	5,26	5	0,40	5,60
KI 08-09	10,89	-0,02	10,87	0,16	0,28	-1,01	-0,73	9,23	0,00	9,23	8	0,75	6,75
KI 09-10	11,37	-0,02	11,35	0,16	0,34	-1,02	-0,68	9,81	0,00	9,81	8	0,70	6,00
KI 10-11	13,02	-0,01	13,01	0,16	0,27	-1,21	-0,95	11,14	0,00	11,14	9	0,77	5,76
KI 11-12	13,10	-0,08	13,03	0,16	0,85	-0,47	0,38	12,50	0,00	12,50	10	0,74	5,33
KI 12-13	11,48	-0,04	11,44	0,16	0,72	-0,49	0,23	10,56	0,00	10,56	9	0,95	7,76
KI 13-14	14,11	0,00	14,11	0,16	0,61	-0,58	0,04	12,86	0,00	12,86	12	1,12	7,63
KI 14-15	13,26	-0,03	13,23	0,16	0,99	-0,56	0,43	12,52	0,00	12,52	12	0,98	6,86
KI 15-16	12,70	-0,04	12,66	0,16	1,22	-0,45	0,78	12,50	0,00	12,50	10	0,77	5,54
KI 16-17	12,65	-0,04	12,61	0,16	0,66	-0,81	-0,15	11,46	0,00	11,46	11	0,84	6,32
KI 17-18	10,35	-0,02	10,33	0,16	0,46	-0,61	-0,15	9,40	0,00	9,40	11	0,63	5,78
KI 18-19	9,94	-0,05	9,89	0,16	0,26	-0,71	-0,46	8,84	0,00	8,84	10	0,43	4,23
KI 19-20	7,71	-0,07	7,63	0,16	0,73	-0,60	0,13	7,21	0,00	7,21	10	0,40	4,71
KI 20-21	8,13	-0,12	8,01	0,16	0,66	-0,58	0,08	7,33	0,00	7,33	9	0,61	6,92
KI 21-22	10,38	-0,10	10,28	0,16	0,77	-0,61	0,16	9,52	0,00	9,52	11	0,76	6,81
KI 22-23	17,09	-0,01	17,08	0,16	1,24	-0,37	0,87	16,57	0,00	16,57	12	1,22	6,64
KI 23-24	22,52	0,00	22,52	0,38	0,11	-0,62	-0,51	20,44	0,00	20,44	11	1,19	5,25
Sum	296,93	-1,16	295,78	5,36	14,22	-14,66	-0,44	270,93	0,00	270,93	69	19,04	6,12

Dovrebanen1

Periode	Matestasjoner			Tillegg	Randsoner			Tog			Tog	Metode 5	
	Inn	Ut	Sum	Sum	Inn	Ut	Sum	Opptatt	Avgitt	Forbrukt	Antall	Tap	Tap%
KI 00-01	18,86	-0,06	18,80	0,38	0,26	-0,50	-0,24	17,49	-0,41	17,08	12	1,10	5,62
KI 01-02	18,64	-0,12	18,52	0,38	0,35	-0,20	0,15	17,57	-0,62	16,94	12	1,35	6,90
KI 02-03	16,30	-0,09	16,22	0,38	0,27	-0,21	0,06	15,33	-0,46	14,87	11	1,03	6,05
KI 03-04	13,12	-0,08	13,04	0,38	0,95	-0,05	0,91	13,00	-0,27	12,73	10	0,84	5,87
KI 04-05	9,21	-0,14	9,07	0,38	1,24	-0,24	1,00	9,75	-0,69	9,06	10	0,63	5,68
KI 05-06	6,22	-0,34	5,88	0,38	0,61	-0,62	-0,01	5,71	-0,68	5,03	9	0,46	6,14
KI 06-07	8,01	-0,21	7,80	0,16	0,29	-0,87	-0,58	7,13	-0,65	6,49	6	0,57	6,36
KI 07-08	10,03	-0,05	9,99	0,16	0,09	-1,29	-1,20	8,12	-0,20	7,92	6	0,71	6,84
KI 08-09	13,80	-0,10	13,70	0,16	0,28	-1,01	-0,73	12,32	-0,53	11,78	9	1,03	7,04
KI 09-10	10,79	-0,16	10,63	0,16	0,34	-1,02	-0,68	9,88	-0,83	9,05	9	0,75	6,25
KI 10-11	13,04	-0,11	12,92	0,16	0,27	-1,21	-0,95	11,97	-1,01	10,96	10	0,86	5,97
KI 11-12	13,99	-0,15	13,84	0,16	0,85	-0,47	0,38	14,02	-0,84	13,18	11	0,87	5,58
KI 12-13	12,36	-0,09	12,27	0,16	0,72	-0,49	0,23	11,81	-0,61	11,21	10	1,13	8,28
KI 13-14	14,74	-0,07	14,67	0,16	0,60	-0,57	0,03	14,10	-0,89	13,21	13	1,32	8,14
KI 14-15	12,44	-0,17	12,27	0,16	0,99	-0,56	0,43	12,33	-0,80	11,53	12	1,01	7,11
KI 15-16	12,00	-0,15	11,85	0,16	1,22	-0,45	0,78	12,35	-0,68	11,66	10	0,81	5,81
KI 16-17	11,63	-0,14	11,48	0,16	0,66	-0,81	-0,15	11,24	-0,93	10,32	11	0,86	6,49
KI 17-18	9,24	-0,18	9,06	0,16	0,46	-0,61	-0,15	9,14	-1,07	8,07	11	0,68	6,32
KI 18-19	10,78	-0,13	10,65	0,16	0,25	-0,70	-0,45	10,21	-0,79	9,42	11	0,62	5,27
KI 19-20	8,03	-0,23	7,80	0,16	0,73	-0,60	0,13	8,29	-1,08	7,20	11	0,57	5,75
KI 20-21	9,17	-0,26	8,91	0,16	0,66	-0,58	0,08	8,99	-0,89	8,10	10	0,73	6,80
KI 21-22	12,04	-0,16	11,88	0,16	0,77	-0,61	0,16	11,69	-0,61	11,08	12	0,80	5,93
KI 22-23	19,01	-0,01	18,99	0,16	1,24	-0,37	0,87	18,88	-0,42	18,46	13	1,24	6,00
KI 23-24	23,69	-0,01	23,67	0,38	0,11	-0,62	-0,51	21,77	-0,32	21,45	12	1,33	5,52
Sum	307,14	-3,24	303,90	5,36	14,21	-14,66	-0,45	293,07	-16,28	276,79	71	21,29	6,31

Dovrebanen2

Periode	Matestasjoner			Tillegg Sum	Randsoner			Tog			Tog Antall	Metode 5	
	Inn	Ut	Sum		Inn	Ut	Sum	Opptatt	Avlevert	Forbrukt		Tap	Tap%
KI 00-01	19,05	-0,05	19,00	0,38	0,26	-0,50	-0,24	17,67	-0,41	17,27	11	1,12	5,68
KI 01-02	17,67	-0,15	17,52	0,38	0,35	-0,20	0,15	16,46	-0,62	15,84	11	1,46	7,84
KI 02-03	16,76	-0,13	16,64	0,38	0,27	-0,21	0,06	15,70	-0,46	15,24	11	1,08	6,16
KI 03-04	13,30	-0,07	13,23	0,38	0,96	-0,05	0,91	13,24	-0,27	12,97	10	0,79	5,42
KI 04-05	9,63	-0,15	9,48	0,38	1,25	-0,24	1,01	10,15	-0,69	9,46	10	0,66	5,68
KI 05-06	6,45	-0,27	6,19	0,38	0,60	-0,62	-0,02	6,03	-0,68	5,35	9	0,44	5,69
KI 06-07	6,71	-0,22	6,49	0,16	0,29	-0,87	-0,58	5,91	-0,64	5,26	5	0,49	6,36
KI 07-08	7,13	-0,07	7,06	0,16	0,09	-1,29	-1,20	5,50	-0,20	5,30	5	0,40	5,41
KI 08-09	9,99	-0,12	9,86	0,16	0,28	-1,01	-0,73	8,81	-0,53	8,27	8	0,70	6,50
KI 09-10	10,92	-0,15	10,77	0,16	0,34	-1,02	-0,68	10,04	-0,83	9,21	8	0,72	5,99
KI 10-11	11,78	-0,15	11,63	0,16	0,27	-1,21	-0,95	10,77	-1,01	9,76	9	0,76	5,85
KI 11-12	12,58	-0,16	12,42	0,16	0,85	-0,47	0,38	12,70	-0,84	11,86	10	0,77	5,40
KI 12-13	11,44	-0,12	11,32	0,16	0,72	-0,50	0,23	11,00	-0,61	10,40	9	0,99	7,75
KI 13-14	13,09	-0,08	13,01	0,16	0,62	-0,58	0,03	12,72	-0,89	11,84	12	1,05	7,19
KI 14-15	12,77	-0,12	12,65	0,16	0,99	-0,57	0,43	12,72	-0,80	11,91	12	1,00	6,89
KI 15-16	11,89	-0,13	11,76	0,16	1,23	-0,45	0,78	12,29	-0,68	11,61	10	0,77	5,58
KI 16-17	11,96	-0,14	11,82	0,16	0,66	-0,81	-0,15	11,60	-0,93	10,68	11	0,84	6,20
KI 17-18	9,45	-0,22	9,24	0,16	0,47	-0,61	-0,15	9,36	-1,07	8,28	11	0,65	5,88
KI 18-19	9,18	-0,18	9,00	0,16	0,26	-0,71	-0,46	8,72	-0,79	7,93	10	0,45	4,40
KI 19-20	6,67	-0,33	6,34	0,16	0,73	-0,60	0,13	6,98	-1,09	5,89	10	0,42	4,92
KI 20-21	7,39	-0,39	7,00	0,16	0,66	-0,58	0,08	7,19	-0,89	6,30	9	0,62	6,89
KI 21-22	9,72	-0,28	9,44	0,16	0,77	-0,61	0,16	9,33	-0,61	8,72	11	0,72	6,45
KI 22-23	16,51	-0,04	16,47	0,16	1,24	-0,37	0,87	16,49	-0,42	16,07	12	1,11	6,12
KI 23-24	22,86	-0,01	22,85	0,38	0,11	-0,62	-0,51	21,06	-0,32	20,74	11	1,23	5,26
Sum	284,91	-3,72	281,20	5,36	14,26	-14,70	-0,45	272,43	-16,27	256,16	69	19,23	6,10

Dovrebanen3

Periode	Matestasjoner			Tillegg Sum	Randsoner			Tog			Tog Antall	Metode 5	
	Inn	Ut	Sum		Inn	Ut	Sum	Opptatt	Avlevert	Forbrukt		Tap	Tap%
KI 00-01	16,83	-0,19	16,64	0,38	0,26	-0,50	-0,24	17,55	-2,76	14,79	11	1,24	6,24
KI 01-02	16,85	-0,28	16,57	0,38	0,35	-0,20	0,15	17,89	-3,39	14,49	11	1,85	9,00
KI 02-03	15,90	-0,67	15,23	0,38	0,27	-0,22	0,06	17,03	-3,64	13,39	11	1,52	7,69
KI 03-04	12,37	-0,56	11,81	0,38	0,96	-0,05	0,91	14,57	-3,42	11,15	10	1,19	7,09
KI 04-05	9,11	-0,64	8,46	0,38	1,34	-0,25	1,09	10,78	-2,47	8,32	10	0,86	6,67
KI 05-06	5,69	-0,59	5,10	0,38	0,61	-0,62	-0,01	5,51	-1,27	4,24	9	0,48	6,29
KI 06-07	7,16	-0,35	6,81	0,16	0,29	-0,87	-0,58	6,43	-0,90	5,52	5	0,55	6,59
KI 07-08	7,06	-0,23	6,82	0,16	0,09	-1,29	-1,20	5,61	-0,62	4,99	5	0,47	6,10
KI 08-09	10,25	-0,28	9,98	0,16	0,28	-1,01	-0,73	9,58	-1,38	8,20	8	0,89	7,49
KI 09-10	10,44	-0,28	10,15	0,16	0,34	-1,02	-0,68	10,08	-1,60	8,49	8	0,83	6,70
KI 10-11	11,82	-0,41	11,41	0,16	0,27	-1,22	-0,95	11,56	-2,24	9,31	9	0,99	6,89
KI 11-12	12,72	-0,33	12,39	0,16	0,85	-0,47	0,38	13,28	-1,61	11,67	10	0,94	6,17
KI 12-13	10,23	-0,57	9,66	0,16	0,72	-0,50	0,23	10,83	-2,26	8,57	9	1,15	8,73
KI 13-14	12,67	-0,36	12,31	0,16	0,62	-0,59	0,03	13,32	-2,46	10,86	12	1,32	8,35
KI 14-15	12,70	-0,36	12,34	0,16	1,00	-0,57	0,43	13,32	-1,89	11,43	12	1,18	7,60
KI 15-16	12,34	-0,26	12,08	0,16	1,22	-0,45	0,78	13,21	-1,47	11,75	10	0,95	6,33
KI 16-17	11,31	-0,31	11,00	0,16	0,67	-0,81	-0,15	11,64	-1,94	9,70	11	0,99	7,13
KI 17-18	8,53	-0,55	7,98	0,16	0,47	-0,62	-0,15	9,36	-2,45	6,91	11	0,75	6,59
KI 18-19	8,66	-0,44	8,21	0,16	0,26	-0,72	-0,46	8,86	-1,83	7,03	10	0,56	5,22
KI 19-20	6,70	-0,52	6,18	0,16	0,73	-0,60	0,13	7,07	-1,40	5,67	10	0,48	5,39
KI 20-21	7,63	-0,50	7,12	0,16	0,66	-0,58	0,08	7,51	-1,20	6,31	9	0,73	7,68
KI 21-22	9,88	-0,49	9,39	0,16	0,77	-0,61	0,16	10,21	-1,74	8,47	11	0,92	7,42
KI 22-23	17,60	-0,22	17,37	0,16	1,25	-0,37	0,88	18,70	-2,08	16,62	12	1,48	7,05
KI 23-24	23,56	-0,12	23,44	0,38	0,11	-0,62	-0,51	22,98	-2,01	20,97	11	1,58	6,13
Sum	278,00	-9,52	268,48	5,36	14,40	-14,76	-0,37	286,87	-48,02	238,85	69	23,90	7,02

Dovrebanen3-1

Periode	Matestasjoner			Tillegg Sum	Randsoner			Tog			Tog Antall	Metode 5	
	Inn	Ut	Sum		Inn	Ut	Sum	Opptatt	Avlevert	Forbrukt		Tap	Tap%
KI 00-01	19,68	-0,01	19,68	0,38	0,26	-0,50	-0,24	17,87	0,00	17,87	11	1,20	5,99
KI 01-02	20,33	-0,04	20,29	0,38	0,35	-0,20	0,15	18,21	0,00	18,21	11	1,85	8,96
KI 02-03	19,04	-0,06	18,97	0,38	0,27	-0,21	0,06	17,34	0,00	17,34	11	1,32	6,82
KI 03-04	15,40	-0,03	15,37	0,38	0,95	-0,05	0,91	14,86	0,00	14,86	10	1,04	6,37
KI 04-05	11,00	-0,03	10,97	0,38	1,34	-0,25	1,09	10,89	0,00	10,89	10	0,80	6,46
KI 05-06	6,81	-0,08	6,73	0,38	0,61	-0,62	-0,01	5,90	0,00	5,90	9	0,44	5,91
KI 06-07	7,95	-0,06	7,89	0,16	0,29	-0,87	-0,58	6,60	0,00	6,60	5	0,55	6,70
KI 07-08	7,56	-0,05	7,51	0,16	0,09	-1,29	-1,20	5,69	0,00	5,69	5	0,46	5,97
KI 08-09	11,50	-0,02	11,48	0,16	0,28	-1,01	-0,73	9,76	0,00	9,76	8	0,83	7,08
KI 09-10	11,92	-0,01	11,91	0,16	0,34	-1,02	-0,68	10,32	0,00	10,32	8	0,75	6,15
KI 10-11	13,78	-0,01	13,77	0,16	0,27	-1,21	-0,95	11,81	0,00	11,81	9	0,85	6,06
KI 11-12	14,17	-0,07	14,10	0,16	0,85	-0,47	0,38	13,47	0,00	13,47	10	0,85	5,65
KI 12-13	12,15	-0,04	12,11	0,16	0,72	-0,49	0,23	11,11	0,00	11,11	9	1,07	8,30
KI 13-14	15,07	-0,01	15,06	0,16	0,61	-0,58	0,03	13,64	0,00	13,64	12	1,29	8,25
KI 14-15	14,44	-0,02	14,42	0,16	0,99	-0,56	0,43	13,56	0,00	13,56	12	1,13	7,32
KI 15-16	13,72	-0,04	13,68	0,16	1,22	-0,45	0,77	13,43	0,00	13,43	10	0,86	5,78
KI 16-17	13,22	-0,04	13,18	0,16	0,66	-0,81	-0,15	11,94	0,00	11,94	11	0,93	6,69
KI 17-18	10,70	-0,02	10,68	0,16	0,46	-0,62	-0,15	9,71	0,00	9,71	11	0,66	5,92
KI 18-19	10,21	-0,05	10,17	0,16	0,26	-0,71	-0,46	9,09	0,00	9,09	10	0,46	4,42
KI 19-20	7,87	-0,08	7,79	0,16	0,73	-0,60	0,13	7,34	0,00	7,34	10	0,42	4,92
KI 20-21	8,63	-0,11	8,52	0,16	0,66	-0,58	0,08	7,73	0,00	7,73	9	0,71	7,66
KI 21-22	11,50	-0,09	11,41	0,16	0,77	-0,61	0,16	10,47	0,00	10,47	11	0,94	7,69
KI 22-23	19,69	-0,02	19,68	0,16	1,25	-0,37	0,88	18,87	0,00	18,87	12	1,52	7,25
KI 23-24	25,50	0,00	25,50	0,38	0,11	-0,62	-0,51	23,11	0,00	23,11	11	1,50	5,84
Sum	321,83	-0,97	320,86	5,36	14,34	-14,69	-0,35	292,71	0,00	292,71	69	22,44	6,67

Sørlands- og Vestfoldbanen

Sørlandsbanen0

Periode	Matestasjoner			Tillegg Sum	Randsoner			Tog			Tog Antall	Metode 5	
	Inn	Ut	Sum		Inn	Ut	Sum	Opptatt	Avlevert	Forbrukt		Tap	Tap%
KI 00-01	21,01	-1,98	19,03	1,79	1,26	-0,54	0,72	17,55	-1,04	16,52	25	1,44	6,18
KI 01-02	15,82	-1,29	14,53	1,79	1,13	-0,03	1,10	13,39	-0,65	12,74	13	1,09	6,19
KI 02-03	16,13	-0,95	15,17	1,79	1,48	-0,34	1,14	13,84	-0,43	13,41	12	1,11	6,15
KI 03-04	9,68	-1,51	8,17	1,79	1,32	-0,06	1,26	7,36	-0,50	6,86	9	0,77	6,74
KI 04-05	10,57	-0,96	9,61	1,79	1,61	-0,23	1,38	9,09	-0,60	8,49	14	0,70	5,52
KI 05-06	12,32	-0,66	11,66	1,79	1,42	-0,23	1,19	11,94	-1,67	10,27	20	0,78	5,09
KI 06-07	13,68	-1,53	12,15	0,25	2,35	-0,23	2,12	14,91	-2,29	12,62	29	1,40	7,62
KI 07-08	12,35	-1,43	10,92	0,25	2,33	-0,22	2,11	13,74	-2,14	11,60	30	1,19	7,05
KI 08-09	11,80	-1,43	10,37	0,25	2,49	-0,12	2,36	13,38	-1,98	11,41	30	1,09	6,68
KI 09-10	11,80	-0,60	11,20	0,25	1,50	-0,46	1,04	12,67	-1,62	11,05	30	0,95	6,36
KI 10-11	11,13	-0,78	10,35	0,25	1,58	-0,10	1,48	12,20	-1,48	10,72	29	0,87	6,11
KI 11-12	10,86	-0,97	9,89	0,25	2,24	-0,43	1,82	11,80	-1,33	10,47	30	0,99	6,85
KI 12-13	9,51	-0,89	8,62	0,25	1,74	-0,15	1,59	10,74	-1,58	9,16	29	0,81	6,28
KI 13-14	10,85	-0,81	10,05	0,25	1,74	-0,27	1,47	11,90	-1,62	10,29	28	0,98	6,92
KI 14-15	13,85	-0,98	12,88	0,25	1,94	-0,04	1,91	14,83	-1,51	13,32	34	1,22	7,05
KI 15-16	16,09	-0,97	15,12	0,25	2,53	-0,10	2,42	17,58	-1,76	15,82	31	1,48	7,26
KI 16-17	18,26	-1,45	16,81	0,25	3,45	-0,21	3,24	20,25	-2,18	18,07	37	1,73	7,23
KI 17-18	18,12	-1,11	17,02	0,25	2,19	-0,15	2,04	19,62	-2,33	17,29	37	1,53	6,74
KI 18-19	17,59	-0,84	16,75	0,25	2,05	-0,12	1,94	18,87	-2,15	16,73	35	1,71	7,85
KI 19-20	16,04	-0,85	15,18	0,25	1,59	-0,12	1,47	17,14	-1,90	15,24	32	1,17	5,99
KI 20-21	18,24	-0,88	17,36	0,25	2,56	-0,07	2,49	20,11	-1,84	18,27	33	1,33	5,90
KI 21-22	16,58	-0,67	15,91	0,25	2,59	-0,43	2,17	18,06	-1,43	16,63	29	1,20	5,81
KI 22-23	16,62	-0,83	15,80	0,25	2,23	-0,11	2,12	17,50	-1,00	16,51	26	1,17	5,89
KI 23-24	19,74	-1,65	18,09	1,79	2,38	-0,11	2,27	18,08	-0,75	17,33	22	1,24	5,40
Sum	348,64	-26,04	322,60	16,72	47,71	-4,85	42,85	356,57	-35,77	320,79	277	27,94	6,47

Ofofbanen

Ofofbanen0

Periode	Matestasjoner			Tillegg	Randsoner			Tog			Tog	Metode 5	
	Inn	Ut	Sum		Sum	Inn	Ut	Sum	Opptatt	Avlevert		Forbrukt	Antall
KI 00-01	1,59	-0,15	1,44	0,73	0,53	-0,52	0,01	1,95	-1,36	0,59	4	0,12	3,59
KI 01-02	5,63	0,00	5,63	0,73	1,13	-0,82	0,31	5,74	-0,66	5,08	4	0,12	1,66
KI 02-03	1,71	-0,14	1,57	0,73	0,29	-1,53	-1,24	0,67	-1,42	-0,75	5	0,35	10,19
KI 03-04	3,91	0,00	3,91	0,73	1,64	-0,07	1,57	4,52	0,00	4,52	3	0,24	4,31
KI 04-05	2,05	0,00	2,05	0,73	0,37	-0,52	-0,16	1,10	0,00	1,10	1	0,06	2,60
KI 05-06	2,98	0,00	2,98	0,73	0,99	-0,78	0,21	2,30	0,00	2,30	2	0,15	3,82
KI 06-07	2,81	0,00	2,81	0,73	0,97	-0,42	0,55	2,49	0,00	2,49	3	0,14	3,70
KI 07-08	2,33	0,00	2,33	0,73	0,84	-0,76	0,08	1,60	0,00	1,60	2	0,08	2,48
KI 08-09	1,63	0,00	1,63	0,73	0,16	-0,74	-0,58	0,28	0,00	0,28	1	0,04	2,22
KI 09-10	3,59	0,00	3,59	0,73	0,44	-0,76	-0,31	2,40	0,00	2,40	4	0,14	3,40
KI 10-11	2,47	0,00	2,47	0,73	0,61	-1,10	-0,49	1,16	0,00	1,16	2	0,09	2,80
KI 11-12	2,75	0,00	2,75	0,73	0,90	-0,36	0,54	2,34	0,00	2,34	3	0,22	6,04
KI 12-13	3,75	0,00	3,75	0,73	1,45	-0,52	0,93	3,75	0,00	3,75	4	0,20	3,78
KI 13-14	1,76	-0,27	1,50	0,73	0,48	-0,91	-0,43	2,14	-2,01	0,14	3	0,19	4,58
KI 14-15	3,18	0,00	3,18	0,73	0,43	-0,76	-0,33	1,99	0,00	1,99	3	0,13	3,61
KI 15-16	2,92	-0,02	2,90	0,73	1,03	-0,57	0,47	2,60	-0,05	2,55	2	0,09	2,24
KI 16-17	3,44	-0,01	3,43	0,73	0,89	-0,81	0,08	2,57	-0,01	2,56	4	0,22	5,13
KI 17-18	2,40	-0,37	2,04	0,73	1,12	-0,59	0,53	3,70	-2,05	1,64	3	0,19	3,44
KI 18-19	1,93	-0,01	1,92	0,73	0,49	-0,69	-0,20	0,89	0,00	0,89	3	0,10	3,94
KI 19-20	3,35	-0,04	3,31	0,73	1,17	-0,94	0,23	2,76	-0,10	2,66	3	0,14	3,06
KI 20-21	1,45	-0,42	1,03	0,73	0,43	-1,10	-0,67	1,46	-1,97	-0,52	2	0,14	3,76
KI 21-22	2,88	-0,15	2,73	0,73	0,78	-1,35	-0,57	1,89	-0,59	1,30	3	0,12	2,92
KI 22-23	1,15	-0,34	0,81	0,73	0,09	-1,28	-1,19	0,22	-1,45	-1,23	2	0,12	4,28
KI 23-24	2,83	-0,05	2,79	0,73	0,41	-1,26	-0,85	1,73	-0,71	1,02	5	0,18	4,55
Sum	64,48	-1,97	62,52	17,57	17,64	-19,14	-1,50	52,25	-12,38	39,87	41	3,58	3,79

Ofofbanen1

Periode	Matestasjoner			Tillegg	Randsoner			Tog			Tog	Metode 5	
	Inn	Ut	Sum		Sum	Inn	Ut	Sum	Opptatt	Avlevert		Forbrukt	Antall
KI 00-01	1,43	-0,17	1,25	0,73	0,65	-0,45	0,19	1,95	-1,36	0,59	4	0,12	3,52
KI 01-02	5,44	0,00	5,44	0,73	1,25	-0,75	0,49	5,74	-0,66	5,08	4	0,12	1,67
KI 02-03	1,56	-0,18	1,38	0,73	0,35	-1,40	-1,05	0,67	-1,42	-0,75	5	0,34	10,26
KI 03-04	3,73	0,00	3,73	0,73	1,81	-0,05	1,76	4,52	0,00	4,52	3	0,25	4,48
KI 04-05	1,87	0,00	1,87	0,73	0,48	-0,45	0,03	1,10	0,00	1,10	1	0,06	2,55
KI 05-06	2,79	0,00	2,79	0,73	1,12	-0,73	0,39	2,30	0,00	2,30	2	0,15	3,93
KI 06-07	2,63	0,00	2,63	0,73	1,09	-0,35	0,74	2,49	0,00	2,49	3	0,14	3,80
KI 07-08	2,13	0,00	2,13	0,73	0,95	-0,67	0,28	1,60	0,00	1,60	2	0,08	2,54
KI 08-09	1,44	0,00	1,44	0,73	0,24	0,00	0,24	0,28	0,00	0,28	1	0,67	39,93
KI 09-10	3,40	0,00	3,40	0,73	0,52	-0,66	-0,13	2,40	0,00	2,40	4	0,14	3,47
KI 10-11	2,28	0,00	2,28	0,73	0,69	-1,00	-0,31	1,16	0,00	1,16	2	0,08	2,74
KI 11-12	2,57	0,00	2,57	0,73	1,04	-0,31	0,73	2,34	0,00	2,34	3	0,22	6,21
KI 12-13	3,55	0,00	3,55	0,73	1,61	-0,47	1,13	3,75	0,00	3,75	4	0,20	3,87
KI 13-14	1,64	-0,34	1,30	0,73	0,55	-0,79	-0,24	2,14	-2,01	0,14	3	0,19	4,63
KI 14-15	2,99	0,00	2,99	0,73	0,52	-0,66	-0,15	1,99	0,00	1,99	3	0,13	3,61
KI 15-16	2,74	-0,02	2,72	0,73	1,14	-0,49	0,65	2,60	-0,05	2,55	2	0,09	2,26
KI 16-17	3,26	-0,01	3,25	0,73	1,02	-0,75	0,26	2,57	-0,01	2,56	4	0,22	5,21
KI 17-18	2,30	-0,45	1,85	0,73	1,22	-0,50	0,72	3,70	-2,05	1,64	3	0,19	3,47
KI 18-19	1,76	-0,03	1,73	0,73	0,60	-0,61	-0,01	0,89	0,00	0,89	3	0,09	3,97
KI 19-20	3,18	-0,05	3,12	0,73	1,29	-0,88	0,41	2,76	-0,10	2,66	3	0,14	3,10
KI 20-21	1,35	-0,51	0,83	0,73	0,49	-0,96	-0,48	1,46	-1,97	-0,52	2	0,14	3,73
KI 21-22	2,73	-0,18	2,55	0,73	0,86	-1,25	-0,39	1,89	-0,59	1,30	3	0,12	2,87
KI 22-23	1,03	-0,41	0,61	0,73	0,13	-1,13	-1,00	0,22	-1,45	-1,23	2	0,11	4,10
KI 23-24	2,66	-0,05	2,60	0,73	0,49	-1,16	-0,67	1,73	-0,71	1,02	5	0,18	4,63
Sum	60,45	-2,44	58,02	17,57	20,09	-16,48	3,61	52,25	-12,38	39,87	41	4,19	4,51

Oslo-området

Oslo0

Periode	Matestasjoner			Tillegg	Randsoner			Tog			Tog	Metode 5	
	Inn	Ut	Sum		Sum	Inn	Ut	Sum	Opptatt	Avlevert		Forbrukt	Antall
KI 00-01	24,29	-0,56	23,73	2,00	0,00	-1,50	-1,50	20,68	-1,19	19,49	51	0,74	2,91
KI 01-02	15,00	-0,70	14,30	2,00	0,00	-1,50	-1,50	10,77	-0,54	10,23	29	0,57	3,67
KI 02-03	11,96	-0,79	11,17	2,00	0,00	-1,50	-1,50	7,13	-0,06	7,07	15	0,60	4,97
KI 03-04	17,30	-0,68	16,62	2,00	0,00	-1,50	-1,50	12,44	-0,06	12,38	17	0,74	4,25
KI 04-05	28,14	-0,72	27,42	2,00	0,00	-1,50	-1,50	23,28	-0,75	22,53	41	1,39	4,82
KI 05-06	35,55	-0,56	34,99	2,00	0,00	-1,50	-1,50	32,07	-2,02	30,05	79	1,44	3,83
KI 06-07	50,11	-1,40	48,71	2,00	0,00	-1,50	-1,50	46,94	-3,77	43,17	101	2,04	3,79
KI 07-08	54,40	-1,13	53,27	2,00	0,00	-1,50	-1,50	51,26	-3,54	47,71	117	2,06	3,55
KI 08-09	50,57	-1,16	49,41	2,00	0,00	-1,50	-1,50	46,89	-2,78	44,11	110	1,80	3,37
KI 09-10	47,68	-0,64	47,04	2,00	0,00	-1,50	-1,50	44,31	-2,78	41,53	96	2,01	3,98
KI 10-11	42,97	-0,68	42,29	2,00	0,00	-1,50	-1,50	39,77	-2,63	37,14	92	1,65	3,61
KI 11-12	41,59	-0,88	40,71	2,00	0,00	-1,50	-1,50	38,11	-2,73	35,38	88	1,83	4,12
KI 12-13	38,21	-0,82	37,39	2,00	0,00	-1,50	-1,50	34,70	-2,11	32,59	86	1,30	3,23
KI 13-14	46,88	-0,81	46,07	2,00	0,00	-1,50	-1,50	43,21	-2,55	40,66	92	1,91	3,86
KI 14-15	48,12	-0,90	47,22	2,00	0,00	-1,50	-1,50	44,66	-2,69	41,97	99	1,75	3,44
KI 15-16	55,00	-1,01	54,00	2,00	0,00	-1,50	-1,50	51,62	-3,42	48,20	110	2,30	3,93
KI 16-17	63,92	-1,60	62,32	2,00	0,00	-1,50	-1,50	60,11	-4,16	55,95	120	2,87	4,21
KI 17-18	57,23	-1,13	56,09	2,00	0,00	-1,50	-1,50	54,02	-3,64	50,38	115	2,22	3,64
KI 18-19	45,88	-0,80	45,07	2,00	0,00	-1,50	-1,50	42,22	-2,41	39,81	103	1,76	3,65
KI 19-20	41,81	-0,58	41,23	2,00	0,00	-1,50	-1,50	37,78	-1,70	36,08	89	1,65	3,79
KI 20-21	39,58	-0,81	38,78	2,00	0,00	-1,50	-1,50	35,86	-2,10	33,76	86	1,52	3,64
KI 21-22	45,07	-1,26	43,81	2,00	0,00	-1,50	-1,50	40,41	-2,05	38,36	87	1,95	4,13
KI 22-23	42,03	-1,07	40,96	2,00	0,00	-1,50	-1,50	37,13	-1,29	35,84	80	1,62	3,75
KI 23-24	33,43	-0,99	32,44	2,00	0,00	-1,50	-1,50	28,82	-1,20	27,63	68	1,31	3,80
Sum	976,71	-21,66	955,04	48,00	0,00	-36,00	-36,00	884,20	-52,17	832,02	933	39,02	3,79

KI 03-07	131,09	-3,35	127,74	8,00	0,00	-6,00	-6,00	114,73	-6,60	108,13	-	5,61	4,08
KI 03-08	185,50	-4,48	181,01	10,00	0,00	-7,50	-7,50	165,99	-10,14	155,84	-	7,67	3,92

Oslo1

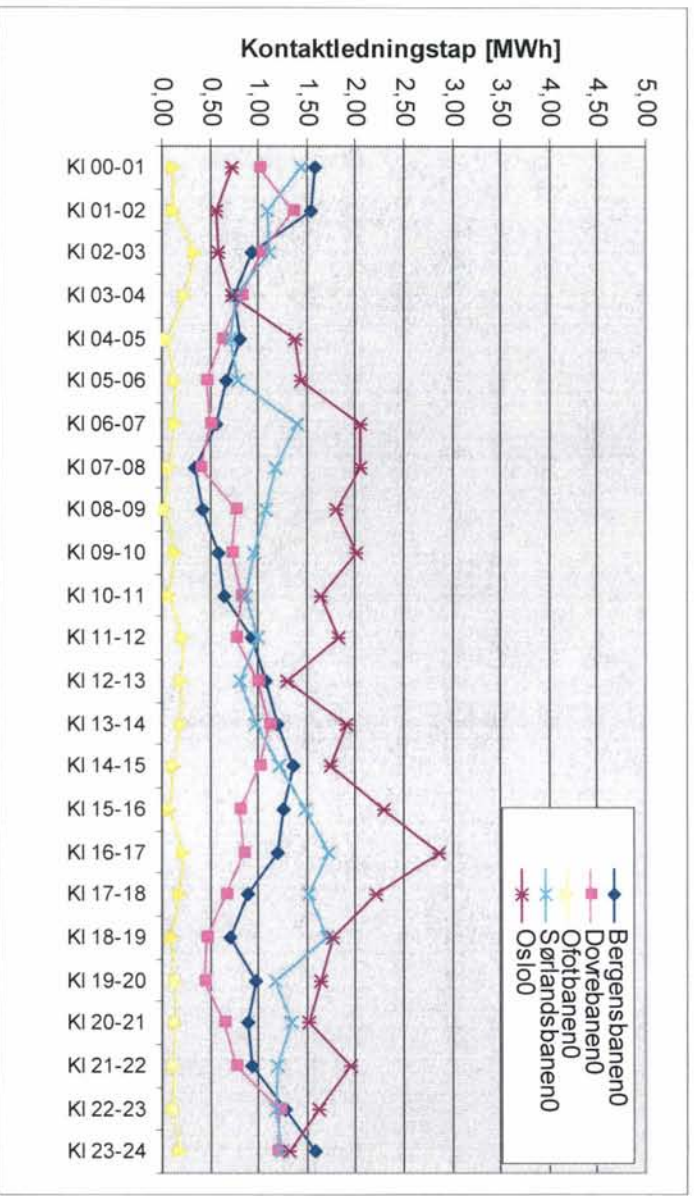
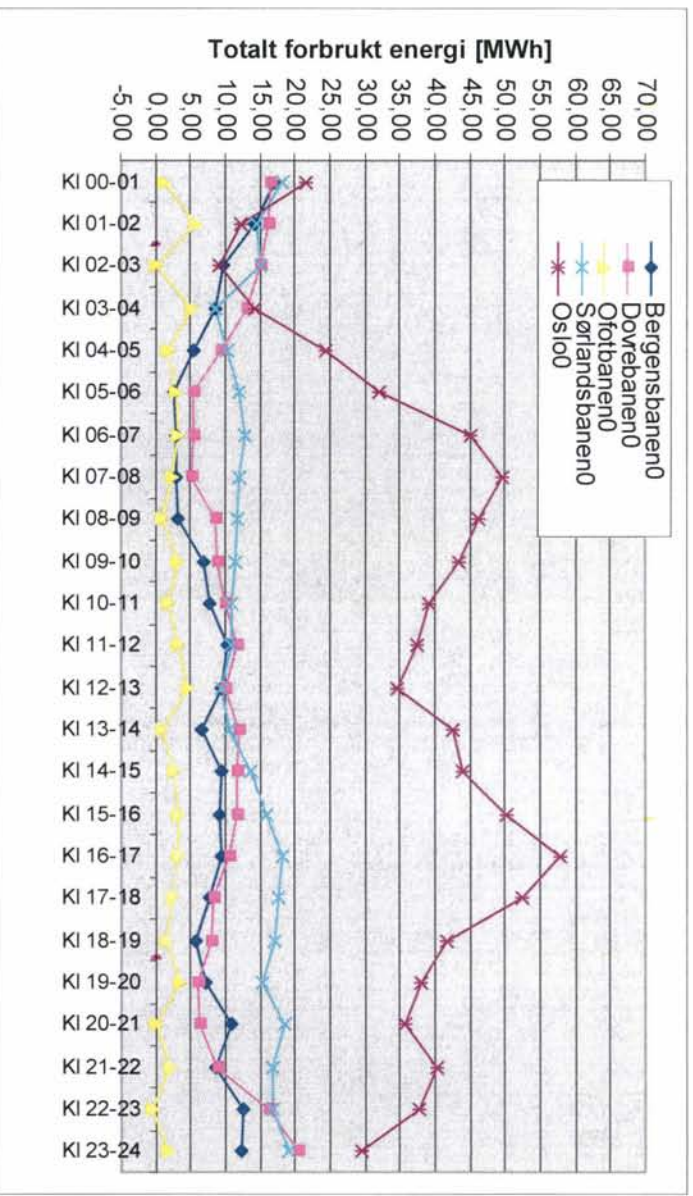
Periode	Matestasjoner			Tillegg	Randsoner			Tog			Tog	Metode 5	
	Ut	Inn	Sum		Sum	Ut	Inn	Sum	Opptatt	Avgitt		Forbrukt	Antall
KI 03-04	17,33	-0,68	16,65	2,00	0,00	-1,50	-1,50	12,44	-0,06	12,38	17	0,77	4,40
KI 04-05	28,14	-0,72	27,42	2,00	0,00	-1,50	-1,50	23,30	-0,82	22,48	41	1,44	4,96
KI 05-06	38,48	-0,58	37,89	2,00	0,00	-1,50	-1,50	35,33	-2,72	32,61	79	1,78	4,33
KI 06-07	56,96	-1,49	55,47	2,00	0,00	-1,50	-1,50	55,07	-5,83	49,24	101	2,73	4,36
KI 07-08	63,56	-1,21	62,35	2,00	0,00	-1,50	-1,50	62,17	-6,35	55,83	117	3,02	4,32
Sum	204,47	-4,68	199,78	10,00	0,00	-7,50	-7,50	188,33	-15,78	172,54	-	9,74	4,42

KI 03-07	140,91	-3,47	137,43	8,00	0,00	-6,00	-6,00	126,15	-9,44	116,71	-	6,72	4,47
----------	--------	-------	--------	------	------	-------	-------	--------	-------	--------	---	------	------

Oslo1-1

Periode	Matestasjoner			Tillegg	Randsoner			Tog			Tog	Metode 5	
	Ut	Inn	Sum		Sum	Ut	Inn	Sum	Opptatt	Avgitt		Forbrukt	Antall
KI 03-04	17,38	-0,67	16,71	2,00	0,00	-1,50	-1,50	12,46	0,00	12,46	17	0,74	4,27
KI 04-05	29,11	-0,70	28,41	2,00	0,00	-1,50	-1,50	23,55	0,00	23,55	41	1,36	4,68
KI 05-06	41,78	-0,64	41,14	2,00	0,00	-1,50	-1,50	35,98	-0,03	35,95	79	1,68	4,03
KI 06-07	64,03	-1,55	62,48	2,00	0,00	-1,50	-1,50	56,47	-0,23	56,24	101	2,74	4,26
Sum	152,30	-3,57	148,73	8,00	0,00	-6,00	-6,00	128,47	-0,26	128,21	-	6,52	4,27

VEDLEGG 6 KURVER FOR ENERGI GJENNOM DRIFTSDØGNET



STILISERT SIMULERING AV KONTAKTLEDNINGSTAP


Underutredning til prosjektet "Utredning av kontaktledningstap"

Det er i denne underutredningen utført et utvalg enkle stiliserte simuleringer i SIMPOW/SIMTRAC med ulike typer togtrafikk på en modell av en reell banestrekning for å få mer kunnskaper om hvordan kontaktledningstapene varierer med hensyn på trekkraftmateriell, fremføringshastighet og togtetthet.

Simuleringsresultatene viser at kontaktledningstapene i prosent av energi matet inn i kontaktledningsnettøker øker ved økt togvekt, økt fremføringshastighet, økt frekvens/togtetthet, økt forbruk av reaktiv effekt og økt stoppfrekvens. I de fleste tilfellene (fremføringshastighet, frekvens/togtetthet, stoppfrekvens og reaktivt effektforbruk) er endringene små, mens ved togvekt er endringene godt synlige.

Simuleringene viser også at det er forskjell på tapsprosenten avhengig av hva slags trekkraft som benyttes. Forskjellene er ikke entydige, men varierer ut i fra faktorer som antall likeretterbroer og hvilken hastighet disse styres ut ved, hastighet, motorkraft i forhold til togvekt, bruk av telefilterkondensatorer, karakteristikk angitt i asynkronmateriellets programvare og mulighet for og bruk av nettbremse (tilbakemating).

Resultatene og tendensene funnet her er antatt å være generelle, men det viser seg at tapsprosentens størrelse er relativt følsom for små endringer i trafikken. Spesielt gjelder dette ved effektutveksling mellom tog med tilbakemating. Endringenes størrelse er det imidlertid vanskeligere å si noe klart om ettersom ett togs bidrag til totalen er avhengig av trafikken for øvrig.

000	Utgitt	29.04.05	SD	FM	TJA	
Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Utarb. av	Kontr. av	Godkj. av	
Stilisert simulering av kontaktledningstap		Ant. sider	Emneord	SIMTRAC		
		26	Emneord	Energiavregning		
			Emneord	Rullende materiell		
			Produsent	Utbygging prosjektjenester		
		Prod. dok. nr.	Prosjekt 760253			
		Erstatning for				
Prosjektet "Utredning av kontaktledningstap"		Erstattet av				
		Rapport				
 Jernbaneverket		Dokument nr.			Rev.	
					000	

1	INNLEDNING	3
1.1	BAKGRUNN	3
1.2	METODIKK	3
1.3	MÅLSETTING	3
1.4	AVGRENSNINGER OG FORUTSETNINGER	3
2	OM MODELLENE	4
2.1	FELLES FOR MODELLENE	4
2.1.1	Modellering av banestrekninger	4
2.1.2	Modellering av matestasjoner	4
2.1.3	Energimålere	4
2.1.4	Trafikk	4
2.1.5	Stoppmønster	4
2.1.6	Rullende materiell	4
2.2	MODELL MED SVAKT NETT	5
2.3	MODELL MED STERKT NETT	6
3	VIRKNINGSGRADKURVE FOR KONTAKTLEDNINGEN	7
3.1	MODELL MED SVAKT NETT	7
3.2	MODELL MED STERKT NETT	8
4	STILISERTE SIMULERINGER	10
4.1	OVERSIKT OVER SIMULERINGSTILFELLER	10
4.2	SIMULERINGRESULTATER FOR HVERT ENKELT TILFELLE	11
4.3	VARIASJON I TAPENE VED ENDRET STOPPMØNSTER	12
4.3.1	Lokaltog sterkt nett	12
4.3.2	Lokaltog svakt nett	13
4.4	VARIASJON I TAPENE VED SVAKT/STERKT NETT	13
4.4.1	Lokaltog	13
4.5	VARIASJON I TAPENE VED ENDRET TRAKSJONSUTRUSTNING/MATERIELL	14
4.5.1	Godstog	14
4.5.2	Lokaltog	14
4.6	VARIASJON I TAPENE VED ENDRET TOGVEKT	15
4.6.1	Godstog	15
4.6.2	Flytog	16
4.6.3	Fjertog	16
4.6.4	Lokaltog	17
4.7	VARIASJON I TAPENE VED ENDRET FREKVENS/TOGTETTHET	17
4.7.1	Flytog	17
4.7.2	Lokaltog	18
4.8	VARIASJON I TAPENE VED ENDRET HASTIGHET	18
4.8.1	Godstog	18
4.8.2	Flytog	19
4.8.3	Fjertog	19
4.9	TYPISK FASEVINKEL FOR ULIKE TYPER MATERIELL OG TRAFIKK	20
4.9.1	Godstog	20
4.9.2	Lokaltog	21
4.9.3	Andre tog	21
5	DISKUSJON OG KONKLUSJON	22
5.1	DISKUSJON	22
5.1.1	Valg av modeller og simuleringstilfeller	22
5.1.2	Resultatenes gyldighet	22
5.1.3	Resultater med tapsprosent	22
5.1.4	Fasevinkel	24
5.2	KONKLUSJON	24
6	KILDER OG REFERANSEDOKUMENTER	26

1 INNLEDNING

1.1 Bakgrunn

Jernbaneverket har ansvaret for en korrekt fordeling av kostnadene til energi som kjøpes inn og leveres til kontaktledningsnett. De største forbrukerne er togselskapene gjennom togframføring og oppvarming av hensatt rullende materiell. Nytt regime for fordeling av energikostnadene er under utarbeidelse, og i den forbindelse ønsker Jernbaneverket og togselskapene mer kunnskap om energitapene i kontaktledningen og hvordan disse varierer.

1.2 Metodikk

For å få mer kunnskap om hvordan kontaktledningstapene varierer med hensyn på trafikk, det vil si både trekkraftmateriell, togvekter/togsammensetninger, fremføringshastighet og togtetthet, er det valgt å gjøre noen enkle prinsipp-simuleringer i dataprogramverktøyene SIMPOW/SIMTRAC. Resultatene er gitt med timesoppløsning.

For mer informasjon om SIMPOW/SIMTRAC, se hovedrapportens vedlegg 6.

1.3 Målsetting

Målet med denne rapporten er å få mer kunnskap om hvordan kontaktledningstapene varierer med tanke på trekkraftmateriell, togvekter/togsammensetninger, fremføringshastigheter og togtetthet.

1.4 Avgrensninger og forutsetninger

Det er benyttet metode 5 i hovedrapportens vedlegg 2 "Metode for beregning av kontaktledningstap" for beregning av kontaktledningstapenes størrelse og prosent.

Det er valgt ut et utvalg av situasjoner og tilfeller som simuleres og studeres.

2 OM MODELLENE

2.1 Felles for modellene

2.1.1 Modellering av banestrekninger

Begge modellene tar utgangspunkt i strekningen Drammen/Asker-Oslo S - Lillestrøm/Eidsvoll og er modellert med den vertikalkurvatur, hastighetsskilting og tunneler som forekommer på respektive banestrekninger.

Alle persontog kjører i pluss hastighet dersom annet ikke er spesielt oppgitt. For Drammenbanen og Hovedbanen finnes det per i dag ikke noe krengetogshastighetsprofil. En har derfor laget en antatt hastighetsprofil der hastigheten er økt med 5 km/t for pluss hastigheter f.o.m. 60 t.o.m. 75 km/t og med 10 km/t for pluss hastigheter større eller lik 80 km/t.

2.1.2 Modellering av matestasjoner

Matestasjonene er modellert som stive spenningskilder med 16,5 kV flatt og ingen vinkelforskjell.

2.1.3 Energimålere

Alle tog er utstyrt med energimålere som registrerer både opptatt og avgitt aktiv og reaktiv energi. Alle matestasjoner er også utstyrt med energimålere som registrerer både levert og tilbakelevert aktiv og reaktiv energi.

2.1.4 Trafikk

For hver simulering studeres en time med trafikk. I alle simuleringene starter samme type tog samtidig i hver ende av modellen eller strekning for toget. Ved flere enn ett togpar i simuleringen deles timen opp i like store deler for jevn togfølgetid. Togene krysser uten hensyn til kryssingspor på enkelspor. Alle tog står i 30 sekunder på stasjonene de stopper på.

2.1.5 Stoppmønster

Følgende stoppmønster er lagt til grunn for de ulike typene tog:

- Flytog stopper Asker, Sandvika, Lysaker, Skøyen, Nationalteateret, Oslo S, Lillestrøm og Gardermoen og kjører Gardermobanen
- Innerlokaltog stopper Asker, Høn, Vakås, Hvalstad, Billingstad, Slependsen, Sandvika, Blommenholm, Høvik, Stabekk, Lysaker, Skøyen, Nationalteateret, Oslo S, Bryn, Alna, Nyland, Grorud, Haugenstua, Høybråten, Hanaborg, Lørenskog, Fjellhamar, Strømmen, Sagdalen og Lillestrøm.
- Hurtiglokaltog stopper Asker, Sandvika, Lysaker, Skøyen, Nationalteateret, Oslo S, Bryn, Strømmen og Lillestrøm, det vil si kjører Hovedbanen Oslo-Lillestrøm.
- Fjerntog stopper Drammen, Oslo S og Eidsvoll og kjører Hovedbanen
- Godstog stopper Drammen, Oslo S og Eidsvoll og kjører Hovedbanen

2.1.6 Rullende materiell

I modellene er det benyttet rullende materiell som er listet opp og beskrevet i tabell 2-1. Energiuttaket for det enkelte tog består både av energi til togframføring og tilleggsuttak.

Alle motorvognsettstypene kan multipelkjøres internt i typen og også gjort det i simuleringene når dette er angitt.

For godstogslokomotivene er det variert lastvekten etter behov (600, 900 eller 1200 tonn). For EI16 trengs det 2 lokomotiver for å trekke 1200 tonn.

Persontogslokomotivet EI18 er gitt enten en standard ekspressstogstamme eller en nattogsstamme for Dovrebanen.

Materiell med asynkronmotorer styrt med strømrettere har mulighet for tilbakemating av energi ved regenerativ bremsing.

Det mangler egne modelltyper for såkalte trinnkoplerlokomotiver som EI14 i SIMTRAC. I stedet er det benyttet modelltypen for asynkronlokomotiver hvor lokomotivet er gitt karakteristikk som EI14.

Tabell 2-1: Oversikt og forklaring på rullende materiell benyttet i simuleringene.

Materiell	Beskrivelse	Tilleggsuttak [kW]	Type traksjonsutrusning
EI14	Lokomotiv brukt i godstog	40	Likestrømsmotorer med spenningsregulering ved hjelp av trinnkopling på hovedtransformator
EI16	Lokomotiv brukt i godstog	40	Likestrømsmotorer med tyristorregulering (2 likeretterbroer) og telefilterkondensatorer på 0,6 MVar
EG3100	Lokomotiv brukt i godstog	100	Asynkronmotorer styrt av strømrettere
Rc4	Lokomotiv brukt i godstog	40	Likestrømsmotorer med tyristorregulering (2 likeretterbroer)
EI18	Lokomotiv brukt i persontog	60	Asynkronmotorer styrt av strømrettere
Tp69a	Motorvognsett lokaltog (2 vogner)	70	Likestrømsmotorer med tyristorregulering (2 likeretterbroer)
Tp69d	Motorvognsett lokaltog (3 vogner)	90	Likestrømsmotorer med tyristorregulering (4 likeretterbroer)
Tp71	Motorvognsett flytog (3 vogner)	140	Asynkronmotorer styrt av strømrettere
Tp72	Motorvognsett lokaltog (4 vogner)	170	Asynkronmotorer styrt av strømrettere
Tp73	Motorvognsett fjerntog (4 vogner)	170	Asynkronmotorer styrt av strømrettere

2.2 Modell med svakt nett

Denne modellen har til hensikt å etterligne en vanlig norsk matestrekning mellom to matestasjoner med ca 80 km avstand. Modellen består av kun enkelspor, og med kurvatur, hastighetsskilting og tunneler som på Drammenbanen og Hovedbanen. Trafikkert med lokaltog er det meningen at modellen også skal kunne gi ett inntrykk av tapene på strekninger med slik trafikk, slik som Jærbanen, Vossabanen og Arendalsbanen samt på perifere strekninger i Oslo-området.

Matestasjonene er plassert i Asker og på Dal, dvs. en avstand på 81 km. Det er valgt kontaktledningsimpedans som målt på Dovrebanens nordre del i oktober 2004 ($100 \text{ mm}^2 \text{Cu}$ kontakttråd, $50 \text{ mm}^2 \text{BzII}$ og sugetransformator uten returledning eller forsterkningsledning), det vil si $0,157 + j0,198$ [Ohm/km].

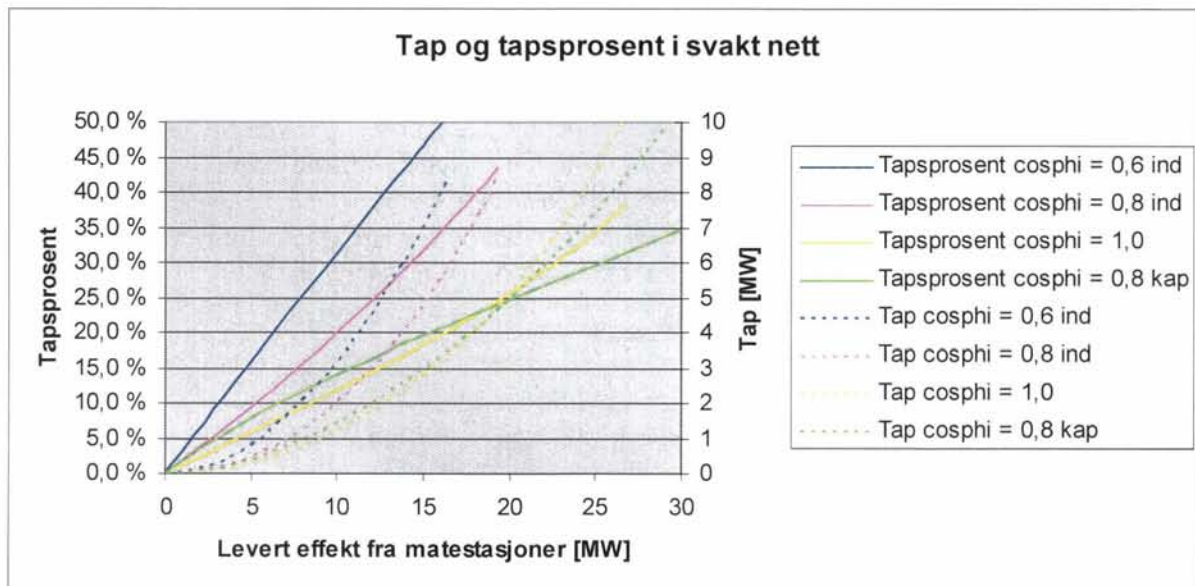
3 VIRKNINGSGRADKURVE FOR KONTAKTLEDNINGEN

Det er i [2] vist figurer for tap og virkningsgrad for roterende og statiske omformeraggregater som funksjon av belastningen ved ulike fasevinkler. I dette kapitlet presenteres nesten tilsvarende kurver for kontaktledningstapene i de to modellene.

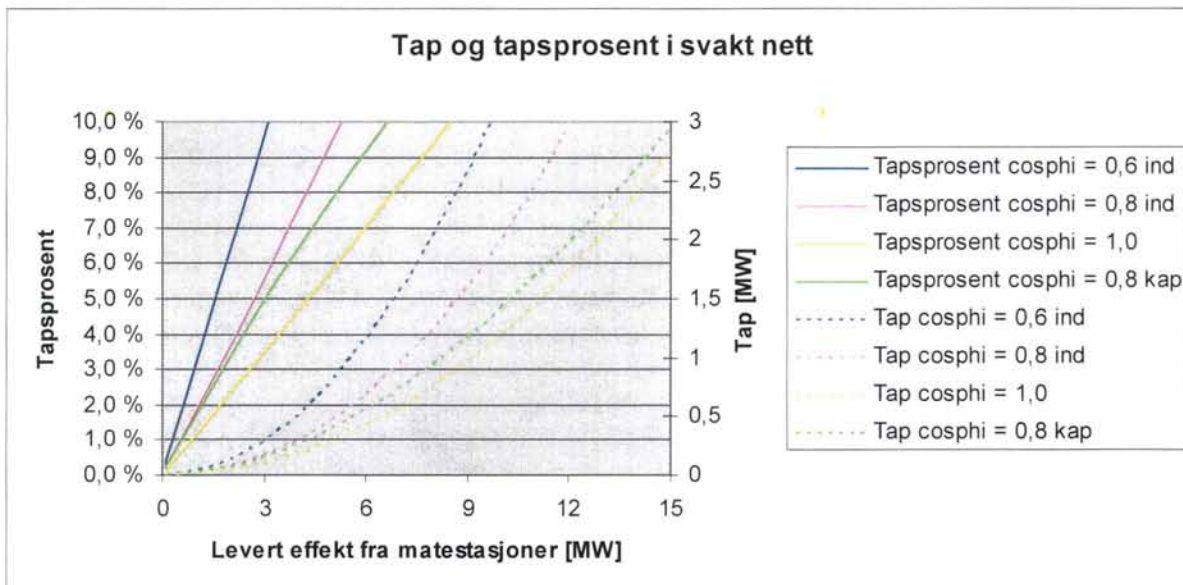
Kurvene er laget ved hjelp av en stilisert simulering i SIMPOW hvor lasten (lokalisert på Lillestrøm ved svakt nett og Oslo S ved sterkt nett) økes fra 0 MW til systemet kollapser. Lastens reaktive innhold varieres, og det er valgt tilfellene for $\cos\phi$ 1.0, 0.8 induktiv, 0.6 induktiv og 0.8 kapasitiv.

3.1 Modell med svakt nett

For modellen med svakt nett er lasten plassert på Lillestrøm som et punkt nær midt mellom de to matestasjonene. Tap og tapsprosent som funksjon av totalt levert effekt fra matestasjonene er vist i figur 3-1 og i større skala i figur 3-2.



Figur 3-1: Tap og tapsprosent for modell med svakt nett.

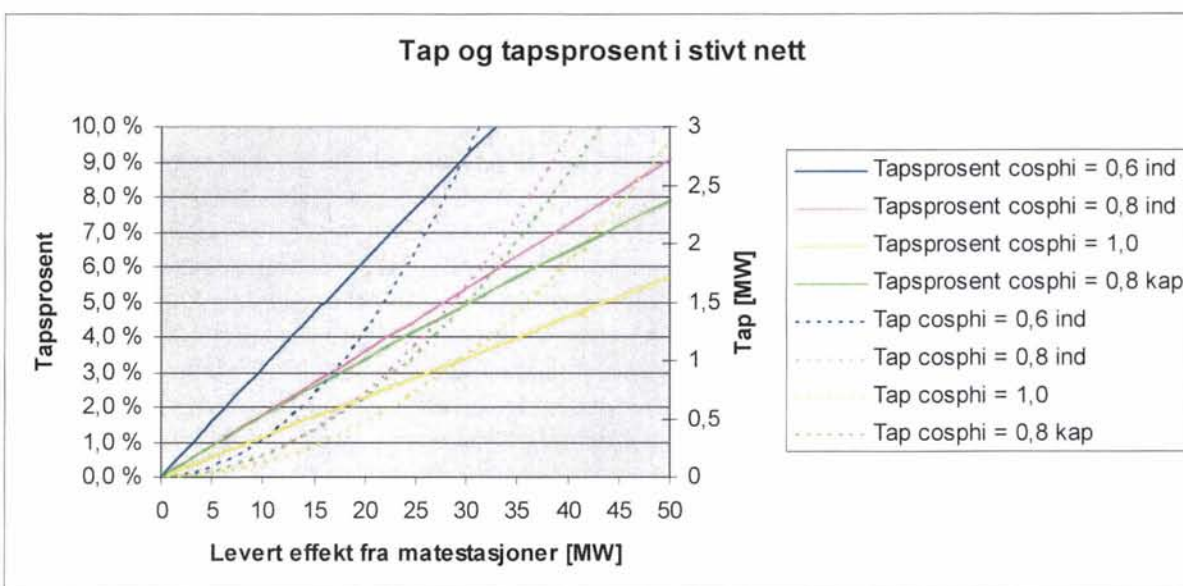


Figur 3-2: Tap og tapsprosent for modell med svakt nett i større skala.

Figurene viser at ved økt behov for reaktiv effekt i lasten øker tapene og tapsprosenten. Når lasten selv produserer reaktiv effekt vil også tapene og tapsprosenten ved lav belastning være tilnærmet som om lasten forbruker reaktiv effekt. Ved økende belastning vil tapene ved kapasitiv last bevege seg fra å være lik induktiv last nærmere rent ohmsk last. Utenfor det lastområdet som i denne sammenhengen er interessant og nærmere systemets kollaps vil tapene ved kapasitiv last være mindre enn ved rent ohmsk last som figur 3-1 viser. Betragtningene her forutsetter at det ikke er andre laster i nettet enn den ene som betraktes.

3.2 Modell med sterkt nett

For modellen med sterkt nett er lasten plassert på Oslo S som et punkt sentralt i nettet/systemet. Tap og tapsprosent som funksjon av totalt levert effekt fra matestasjonene er vist i figur 3-3



Figur 3-3: Tap og tapsprosent for modell med sterkt nett.

En ser de samme prinsipielle resultatene i sterkt nett som for svakt nett, bare i en annen målestokk.

4 STILISERTE SIMULERINGER

4.1 Oversikt over simuleringstilfeller

En oversikt over de ulike stiliserte simuleringstilfellene er gitt i tabell 4-1.

Tabell 4-1: Oversikt over simuleringstilfeller med beskrivelse.

Simulerings-ID	Beskrivelse
EI16_600-90	Godstog med EI16, ett togpar, svakt nett, 600t, 90 km/t
EI16_900-90	Som over, men 900t
EI16-2_1200-90	Som over, men 1200t og multipel
EI16_900-80	Som EI16_900-90, men 80 km/t
EI16_900_XT-90	Som EI16_900-90, men uten telefilter
EG3100_600-90	Godstog med EG 3100, ett togpar, svakt nett, 600t, 90 km/t
EG3100_900-90	Som over, men 900t
EG3100_1200-90	Som over, men 1200t
EG3100_900-80	Som EG3100_900-90, men 80 km/t
EG3100_900_SU-90	Som EG3100_900-90, men uten tilbakemating
EI14_900	Som EI16_900-90, men EI14
Rc4_900	Som EI16_900-90, men Rc4
Tp73_1-pluss	Fjerntog med tp 73, ett togpar, svakt nett, pluss hastighet, enkelsett
Tp73_1-kreng	Som over, men krengehastighet
Tp73_2-kreng	Som over, men dobbelsett
Tp71_1-160-1	Flytog med tp71, ett togpar, sterkt nett, 160 km/t, enkelsett
Tp71_1-210-1	Som over, men 210 km/t
Tp71_1-210-3	Som over, men tre togpar
Tp71_1-210-6	Som over, men seks togpar
Tp71_2-210-1	Som Tp71_1-210-1, men dobbelsett
EI18_8B7	Fjerntog med EI18 og tp 7-vogner, ett togpar, svakt nett, pluss hastighet
EI18_NDB	Fjerntog med EI 18 og nattogstamme, ett togpar, svakt nett, normalhastighet max 100 km/t
Tp69_2vg-ei-1	Lokaltog med tp 69 a (tovogns), ett togpar, svakt nett, pluss hastighet, innerlokal
Tp69_3vg-ei-1	Som over, men tp 69 d (tre vogns)
Tp69_3_3vg-ei-1	Som over, men dobbelsett
Tp69_2vg-eh-1	Lokaltog med tp 69 a (tovogns), ett togpar, svakt nett, pluss hastighet, hurtiglokal
Tp69_3vg-eh-1	Som over, men tp 69 c (tre vogns)
Tp69_3_3vg-eh-1	Som over, men dobbelsett
Tp69_2vg-di-1	Lokaltog med tp 69 a (tovogns), ett togpar, sterkt nett, pluss hastighet, innerlokal
Tp69_3vg-di-1	Som over, men tp 69 d (tre vogns)
Tp69_3vg-di-2	Som over, men to togpar
Tp69_3vg-di-4	Som over, men fire togpar
Tp69_3_3vg-di	Som Tp69_3vg-di-1, men dobbelsett
Tp69_2vg-dh-1	Lokaltog med tp 69 a (tovogns), ett togpar, sterkt nett, pluss hastighet, hurtiglokal
Tp69_3vg-dh-1	Som over, men tp 69 d (tre vogns)
Tp69_3vg-dh-2	Som over, men to togpar
Tp69_3vg-dh-4	Som over, men fire togpar

Simulerings-ID	Beskrivelse
Tp69_3_3vg-dh-1	Som Tp69_3vg-dh-1, men dobbelsett
Tp72_1-ei-1	Lokaltog med tp 72, ett togpar, svakt nett, enkelsett, innerlokal
Tp72_2-ei-1	Som over, men dobbelsett
Tp72_1-eh-1	Lokaltog med tp 72, ett togpar, svakt nett, enkelsett, hurtiglokal
Tp72_2-eh-1	Som over, men dobbelsett
Tp72_1-di-1	Lokaltog med tp 72, ett togpar, sterkt nett, enkelsett, innerlokal
Tp72_1-di-2	Som over, men to togpar
Tp72_1-di-4	Som over, men fire togpar
Tp72_2-di-1	Som Tp72_1-di-1, men dobbelsett
Tp72_1-dh-1	Lokaltog med tp 72, ett togpar, sterkt nett, enkelsett, hurtiglokal
Tp72_1-dh-2	Som over, men to togpar
Tp72_1-dh-4	Som over, men fire togpar
Tp72_2-dh-1	Som Tp72_1-dh-1, men dobbelsett

4.2 Simuleringsresultater for hvert enkelt tilfelle

I tabell 4-2 under er det gitt en oversikt over simuleringsresultatene for hvert enkelt simuleringstilfelle. Tabellen inneholder både energi matet inn i og ut fra systemet gjennom matestasjonene og energi opptatt og eventuelt avlevert fra tog samt utregnet tap og tapsprosent.

Tabell 4-2: Oversikt simuleringsresultater for hvert enkelt simuleringstilfelle. Alle tall i MWh om ikke annet er oppgitt

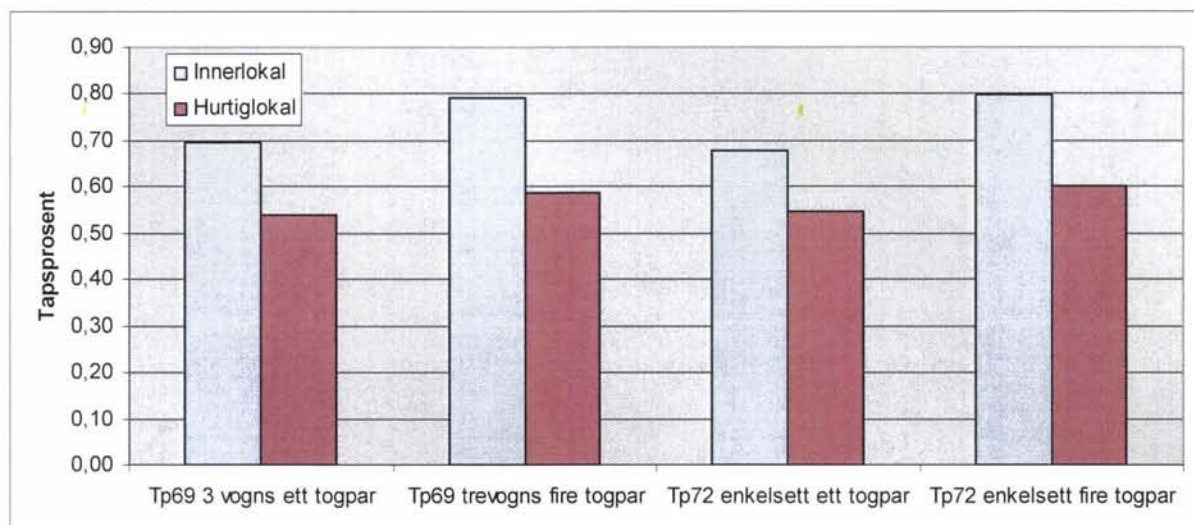
Simulerings-ID	Matestasjoner			Tog			Tog	Metode 5	
	Inn	Ut	Sum	Opptatt	Avlevert	Forbrukt	Antall	Tap	Tap%
EI16_600-90	5,30	0,00	5,30	5,09	0,00	5,09	2	0,2167	4,09
EI16_900-90	6,13	0,00	6,13	5,84	0,00	5,84	2	0,2958	4,82
EI16-2_1200-90	7,90	0,00	7,90	7,31	0,00	7,31	2	0,5915	7,49
EI16_900-80	5,49	0,00	5,49	5,25	0,00	5,25	2	0,2432	4,43
EI16_900-XT-90	6,19	0,00	6,19	5,84	0,00	5,84	2	0,3521	5,69
EG3100_600-90	5,30	-0,31	4,99	5,25	-0,48	4,78	2	0,2105	3,64
EG3100_900-90	6,11	-0,55	5,56	6,00	-0,76	5,25	2	0,3093	4,50
EG3100_1200-90	6,99	-0,86	6,13	6,83	-1,10	5,73	2	0,4020	4,97
EG3100_900-80	5,44	-0,54	4,90	5,41	-0,75	4,66	2	0,2361	3,81
EG3100_900_SU-90	6,37	0,00	6,37	6,07	0,00	6,07	2	0,3036	4,76
Rc4_900-90	6,13	0,00	6,13	5,79	0,00	5,79	2	0,3415	5,57
EI14_900-90	5,91	0,00	5,91	5,62	0,00	5,62	2	0,2969	5,02
Tp73_1-pluss	1,68	-0,21	1,48	1,72	-0,28	1,44	2	0,0361	1,84
Tp73_1-krenge	1,85	-0,21	1,64	1,89	-0,29	1,60	2	0,0415	1,94
Tp73_2-krenge	3,56	-0,36	3,20	3,65	-0,58	3,07	2	0,1281	3,10
Tp71_1-160-1	1,13	-0,17	0,96	1,16	-0,21	0,95	2	0,0071	0,53
Tp71_1-210-1	1,39	-0,18	1,21	1,44	-0,24	1,20	2	0,0104	0,64
Tp71_1-210-3	3,96	-0,34	3,63	4,31	-0,71	3,60	10	0,0310	0,66
Tp71_1-210-6	7,69	-0,43	7,26	8,62	-1,43	7,19	20	0,0663	0,73
Tp71_2-210-1	2,64	-0,36	2,28	2,72	-0,48	2,24	2	0,0386	1,24

Simulerings-ID	Matestasjoner			Tog			Tog	Metode 5	
	Inn	Ut	Sum	Opptatt	Avlevert	Forbrukt	Antall	Tap	Tap%
EI18_8B7	3,72	-0,40	3,32	3,71	-0,56	3,15	2	0,1668	3,89
EI18_NDB	3,23	-0,41	2,82	3,24	-0,53	2,71	2	0,1132	3,01
Tp69_2vg-ei-1	0,97	0,00	0,97	0,94	0,00	0,94	2	0,0266	2,75
Tp69_3vg-ei-1	1,36	0,00	1,36	1,33	0,00	1,33	2	0,0366	2,69
Tp69_3_3vg-ei-1	2,76	0,00	2,76	2,61	0,00	2,61	2	0,1504	5,46
Tp69_2vg-eh-1	0,62	0,00	0,62	0,61	0,00	0,61	2	0,0142	2,28
Tp69_3vg-eh-1	0,89	0,00	0,89	0,87	0,00	0,87	2	0,0230	2,59
Tp69_3_3vg-eh-1	1,78	0,00	1,78	1,68	0,00	1,68	2	0,0963	5,42
Tp69_2vg-di-1	0,95	0,00	0,95	0,94	0,00	0,94	2	0,0067	0,71
Tp69_3vg-di-1	1,34	0,00	1,34	1,33	0,00	1,33	2	0,0093	0,70
Tp69_3vg-di-2	2,67	0,00	2,67	2,66	0,00	2,66	6	0,0187	0,70
Tp69_3vg-di-4	5,36	0,00	5,36	5,32	0,00	5,32	14	0,0424	0,79
Tp69_3_3vg-di-1	2,65	0,00	2,65	2,61	0,00	2,61	2	0,0373	1,41
Tp69_2vg-dh-1	0,61	0,00	0,61	0,61	0,00	0,61	2	0,0029	0,47
Tp69_3vg-dh-1	0,87	0,00	0,87	0,87	0,00	0,87	2	0,0047	0,54
Tp69_3vg-dh-2	1,74	0,00	1,74	1,73	0,00	1,73	6	0,0094	0,54
Tp69_3vg-dh-4	3,49	0,00	3,49	3,47	0,00	3,47	12	0,0205	0,59
Tp69_3_3vg-dh-1	1,70	0,00	1,70	1,69	0,00	1,69	2	0,0191	1,12
Tp72_1-ei-1	1,54	-0,28	1,26	1,67	-0,45	1,21	2	0,0520	2,61
Tp72_2-ei-1	3,11	-0,55	2,56	3,25	-0,91	2,34	2	0,2195	5,45
Tp72_1-eh-1	1,01	-0,13	0,88	1,06	-0,22	0,85	2	0,0308	2,51
Tp72_2-eh-1	2,00	-0,28	1,73	2,03	-0,44	1,59	2	0,1331	5,45
Tp72_1-di-1	1,59	-0,36	1,22	1,67	-0,45	1,21	2	0,0138	0,68
Tp72_1-di-2	2,99	-0,53	2,46	3,33	-0,91	2,43	6	0,0280	0,72
Tp72_1-di-4	5,55	-0,61	4,94	6,69	-1,81	4,88	14	0,0586	0,80
Tp72_2-di-1	3,13	-0,73	2,40	3,26	-0,92	2,34	2	0,0558	1,38
Tp72_1-dh-1	1,01	-0,16	0,85	1,06	-0,22	0,85	2	0,0067	0,54
Tp72_1-dh-2	1,99	-0,28	1,71	2,13	-0,43	1,70	6	0,0134	0,55
Tp72_1-dh-4	3,77	-0,34	3,43	4,26	-0,86	3,40	12	0,0278	0,60
Tp72_2-dh-1	1,96	-0,34	1,62	2,04	-0,44	1,60	2	0,0272	1,13

4.3 Variasjon i tapene ved endret stoppmønster

4.3.1 Lokaltog sterkt nett

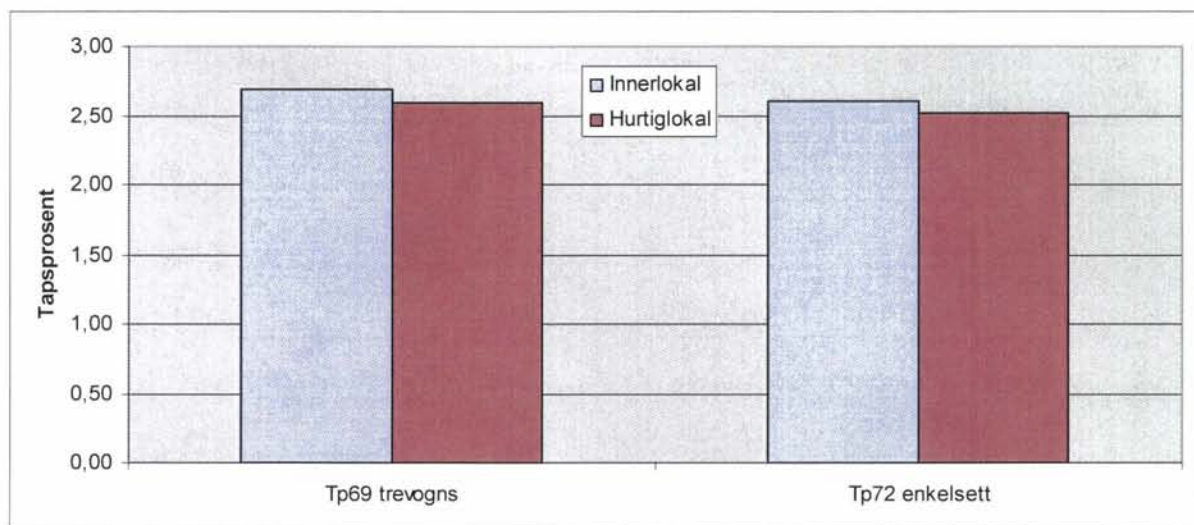
Figur 4-1 under viser variasjoner i tapsprosenten ved endring i stoppmønster. En ser at tapsprosenten i disse tilfellene reduseres når antall stopp reduseres.



Figur 4-1: Variasjon i tapsprosenten ved endret stoppmønster for lokaltog i sterkt nett. Fra venstre simulerings-id: Tp69_3vg-di-1, Tp69_3vg-dh-1, Tp69_3vg-di-4, Tp69_3vg-dh-4, Tp72_1-di-1, Tp72_1-dh-1, Tp72_1-di-4 og Tp72_1-dh-4.

4.3.2 Lokaltog svakt nett

Figur 4-2 under viser variasjoner i tapsprosenten ved endret stoppmønster i svakt nett. En ser at tapsprosenten i disse tilfellene reduseres når en reduserer antall stopp fra innerlokal til hurtiglokal.

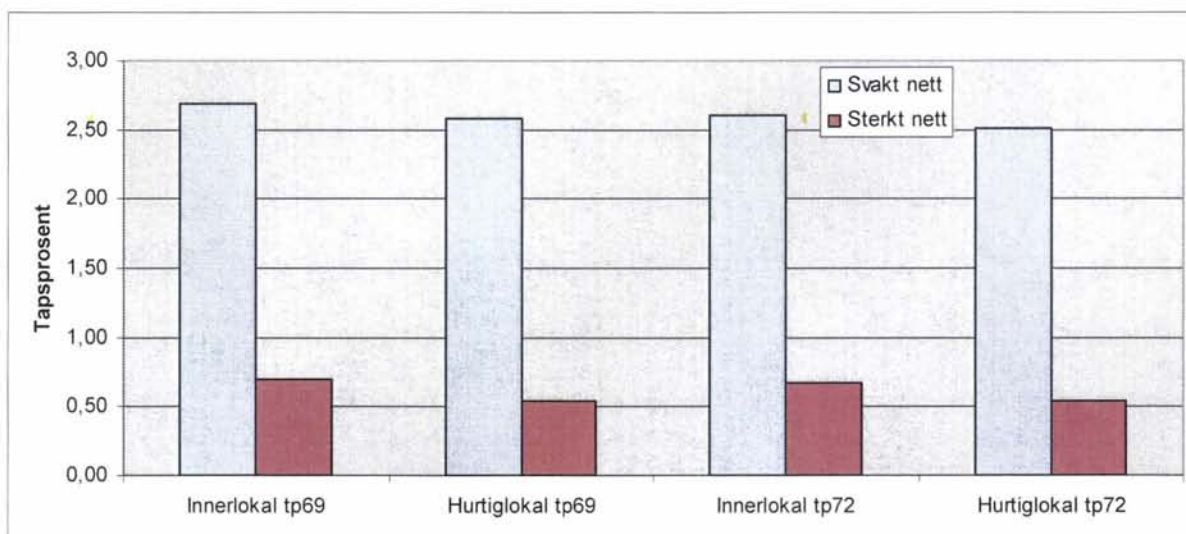


Figur 4-2: Variasjon i tapsprosenten ved endret stoppmønster for lokaltog i svakt nett. Fra venstre simulerings-id: Tp69_3vg-ei-1, Tp69_3vg-eh-1, Tp72_1-ei-1 og Tp72_1-eh-1.

4.4 Variasjon i tapene ved svakt/sterkt nett

4.4.1 Lokaltog

Figur 4-3 under viser variasjoner i tapsprosenten avhengig av nettets stivhet for lokaltog. En ser at sterkere nett i disse tilfellene gir mye lavere tapsprosent med samme trafikk.

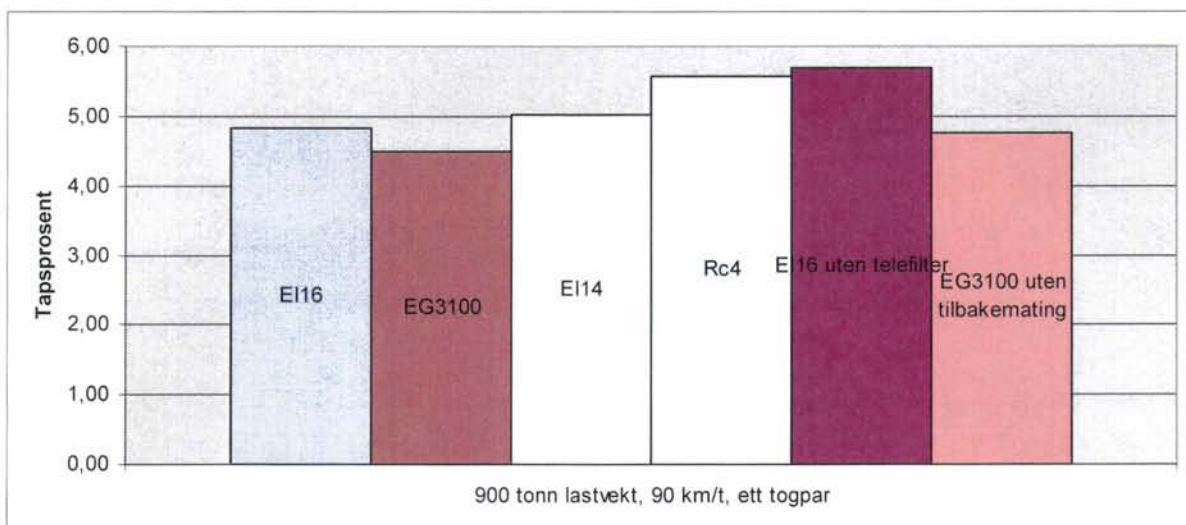


Figur 4-3: Variasjon i tapsprosenten på avhengig av nettets stivhet for lokaltog. Fra venstre simulerings-id: Tp69_3vg-ei-1, Tp69_3vg-di-1, Tp69_3vg-eh-1, Tp69_3vg-dh-1, Tp72_1-ei-1, Tp72_1-di-1, Tp72_1-eh-1 og Tp72_1-dh-1.

4.5 Variasjon i tapene ved endret traksjonsutrustning/materiell

4.5.1 Godstog

Figur 4-4 under viser variasjoner i tapsprosenten ved endret traksjonsutrustning for godstog. Se tabell 2-1 side 5 for informasjon om traksjonsutrustningen for ulike typer lokomotiver. Tyngden på togene varierer kun med tyngden på lokomotivene, lastvekten er fast (900 tonn). En ser at både telefilter for tyristormateriell og tilbakemating for asynkronmaterieill reduserer tapene i disse tilfellene.

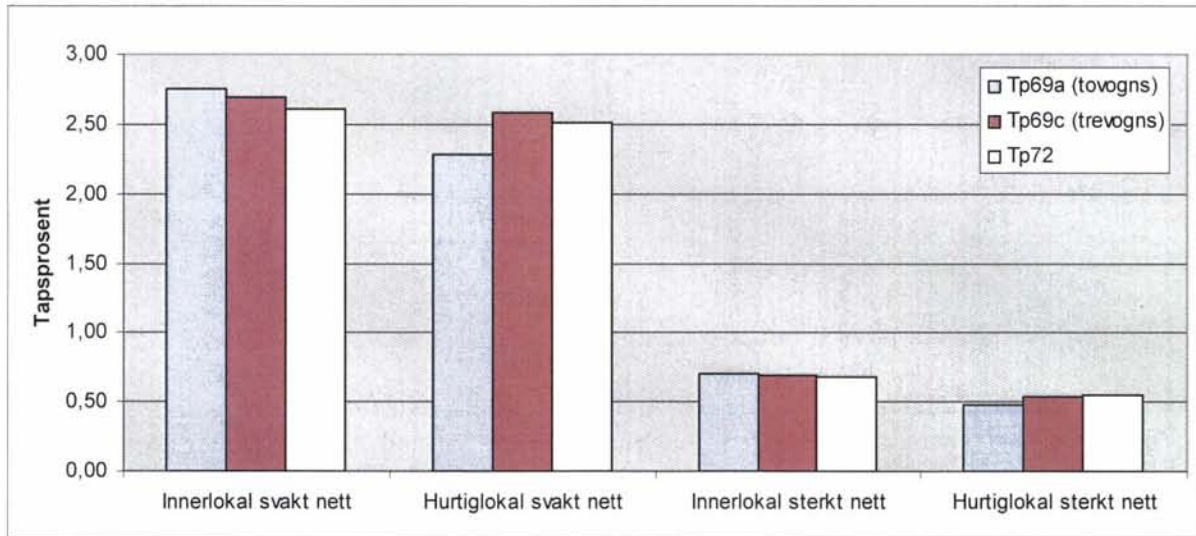


Figur 4-4: Variasjon i tapsprosenten ved endret traksjonsutrustning for godstog. Fra venstre simulerings-id: E116_900-90, EG3100_900-90, E114_900-90, Rc4_900-90, E116_900_XT-90 og EG3100_900_SU-90.

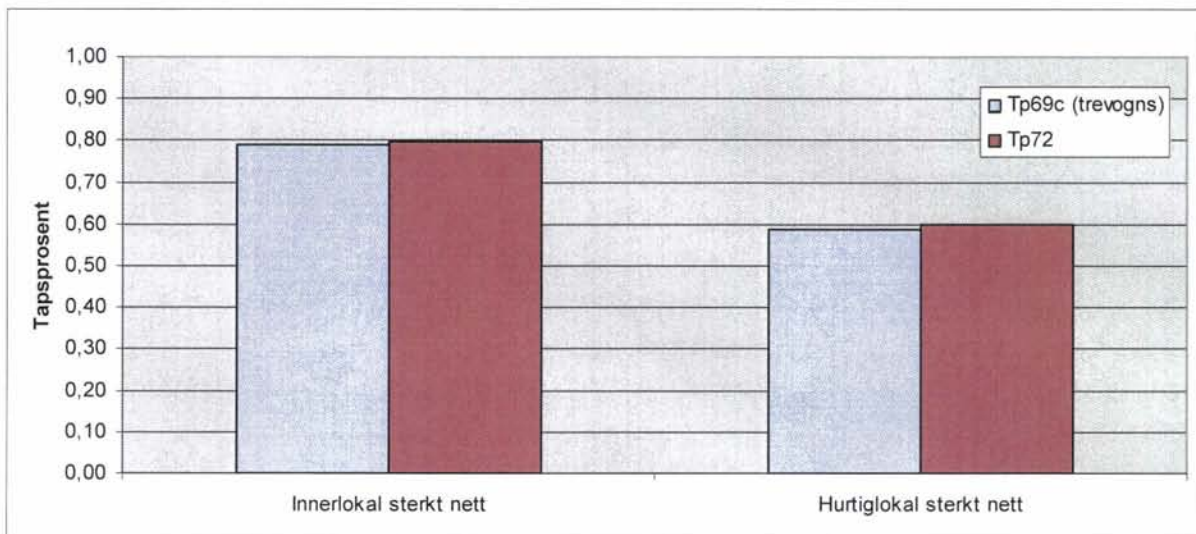
4.5.2 Lokaltog

Figur 4-5 og figur 4-6 under viser variasjoner i tapsprosenten ved endret materiell benyttet i lokaltog. Forskjellene mellom de ulike materielltypene ser i disse tilfellene ikke ut til å være konsekvent. I svakt nett har tp 69a høyest tapsprosent ved innerlokal og lavest ved

hurtiglokal. I stivt nett er ikke forskjellene på materiellet så tydelig, verken ved ett togpar eller ved 4. Tp69a har ikke samme setekapastiet som de to andre motorvognsettene.



Figur 4-5: Variasjon i tapsprosenten ved endret materiell for lokaltog (ett togpar) i svakt og sterkt nett. Fra venstre simulerings-id: Tp69_2vg-ei-1, Tp69_3vg-ei-1, Tp72_1-ei-1, Tp69_2vg-eh-1, Tp69_3vg-eh-1, Tp72_1-eh-1, Tp69_2vg-di-1, Tp69_3vg-di-1, Tp72_1-di-1, Tp69_2vg-dh-1, Tp69_3vg-dh-1 og Tp72_1-dh-1.

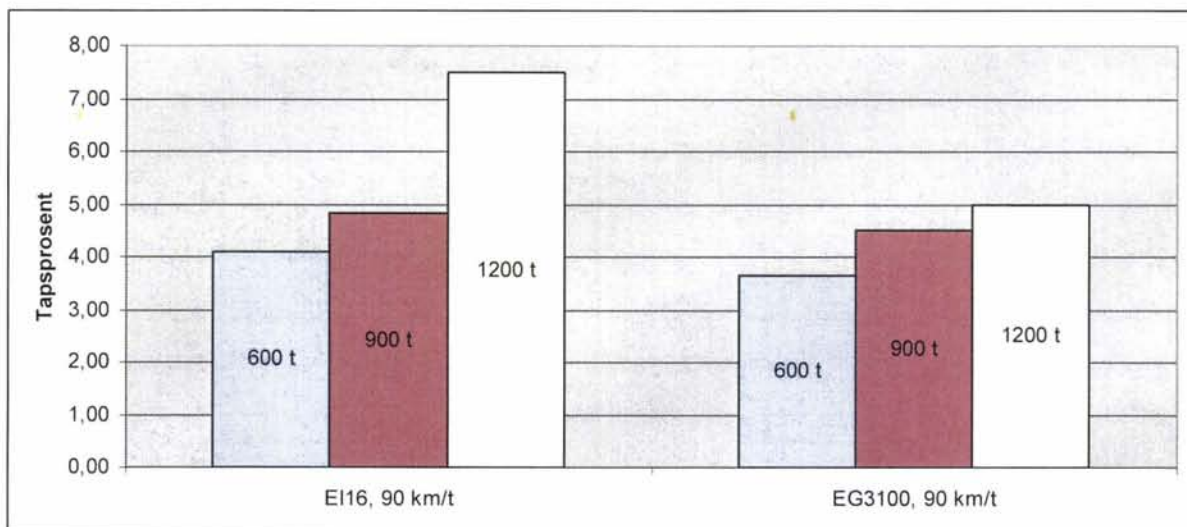


Figur 4-6: Variasjon i tapsprosenten ved endret materiell for lokaltog (4 togpar) i sterkt nett. Fra venstre simulerings-id: Tp69_3vg-di-4, Tp72_1-di-4, Tp69_3vg-dh-4 og Tp72_1-dh-4.

4.6 Variasjon i tapene ved endret togvekt

4.6.1 Godstog

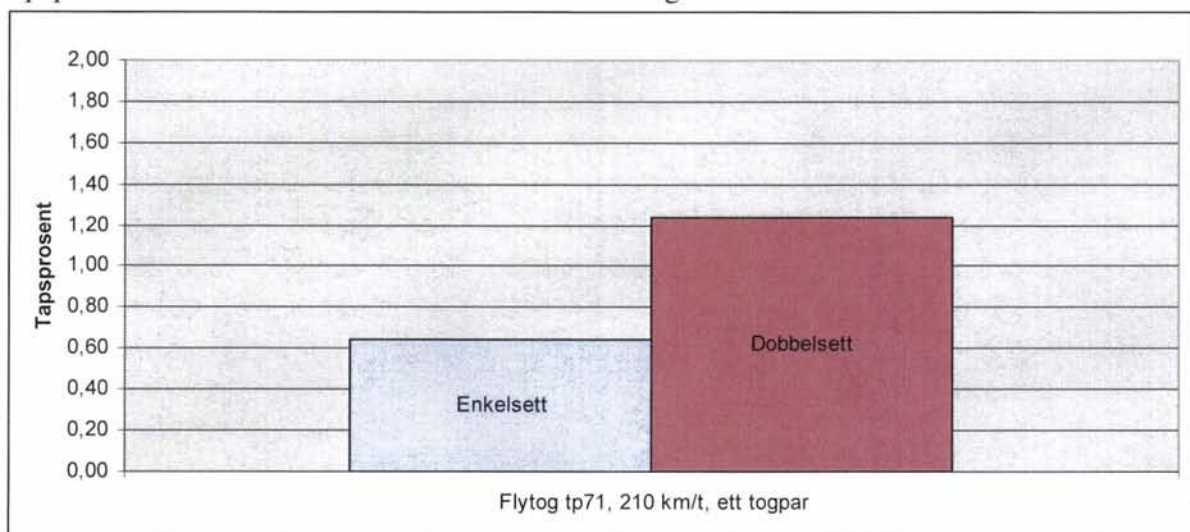
Figur 4-7 under viser variasjoner i tapsprosenten ved endret lastvekt for godstog. En ser at tapsprosenten i disse tilfellene øker når lastvekten øker. For å trekke 1200 tonn med E116 er det nødvendig med to lokomotiver.



Figur 4-7: Variasjon i tapsprosenten ved endret lastvekt for godstog. Fra venstre simulerings-id: EI16_600-90, EI16_900-90, EI16-2_1200-90, EG3100_600-90, EG3100_900-90, og EG3100_1200-90.

4.6.2 Flytog

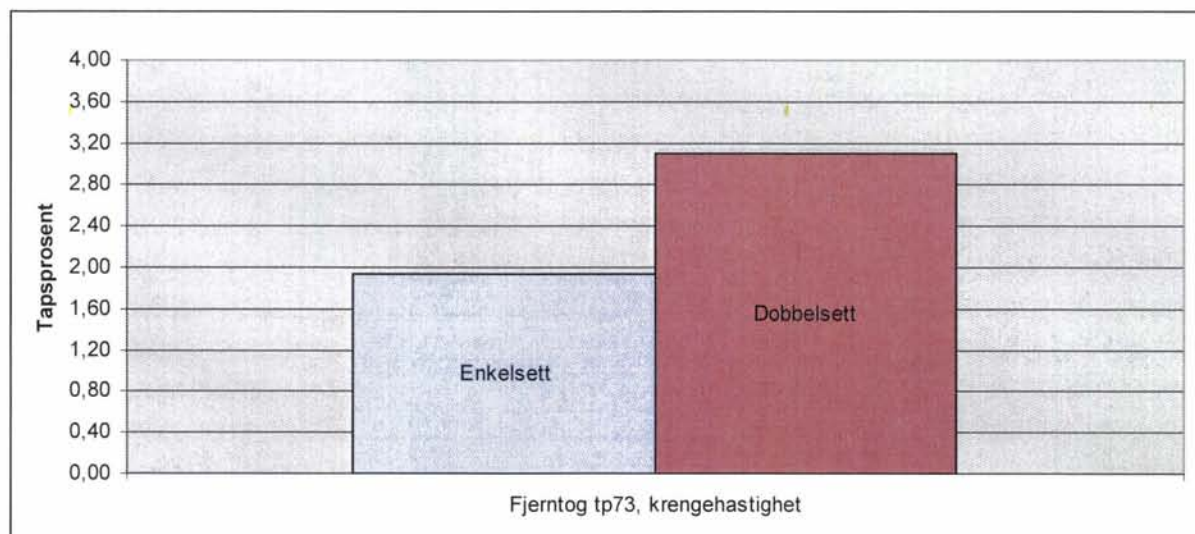
Figur 4-8 under viser variasjoner i tapsprosenten ved endret togvekt for flytogene. En ser at tapsprosenten i disse tilfellene nesten dobles når en går fra enkelsett til dobbelsett.



Figur 4-8: Variasjon i tapsprosenten ved endret togvekt for flytog tp71. Fra venstre simulerings-id: Tp71_1-210-1 og Tp71_2-210-1.

4.6.3 Fjerntog

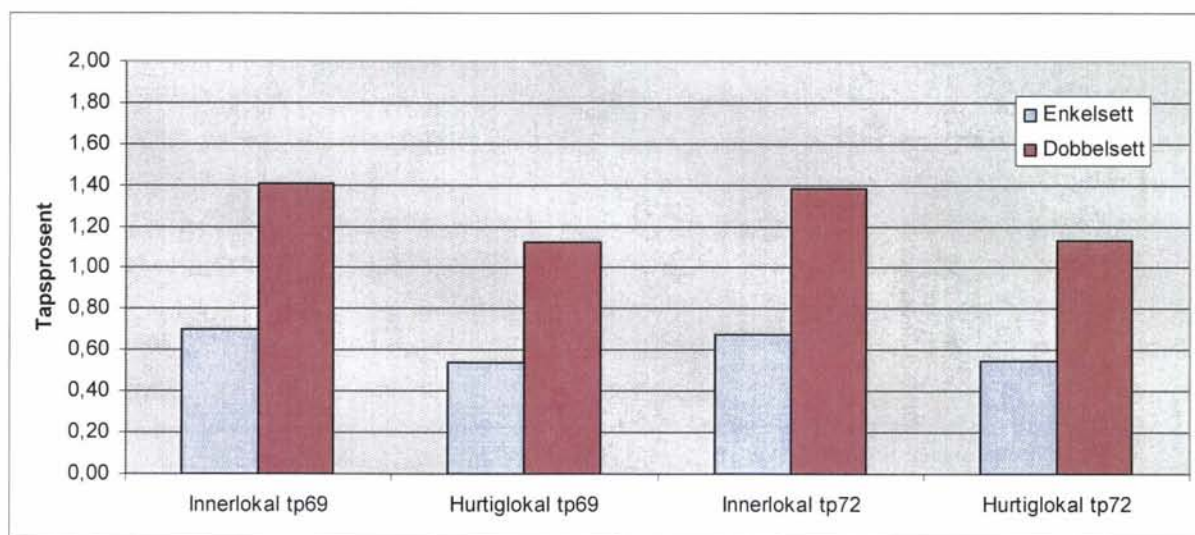
Figur 4-9 under viser variasjoner i tapsprosenten ved endret togvekt for fjerntog tp73. En ser at tapsprosenten i disse tilfellene nesten dobles når en går fra enkelsett til dobbelsett.



Figur 4-9: Variasjon i tapsprosenten ved endret togvekt for fjerntog tp73. Fra venstre simulerings-id: Tp73_1-krenge og Tp73_2-krenge.

4.6.4 Lokaltog

Figur 4-10 under viser variasjoner i tapsprosenten ved endret togvekt for lokaltog i sterkt nett. En ser at tapsprosenten i disse tilfellene omtrent dobles ved dobling av togvekten. For tp69 er tapene beregnet for trevogns serie c.

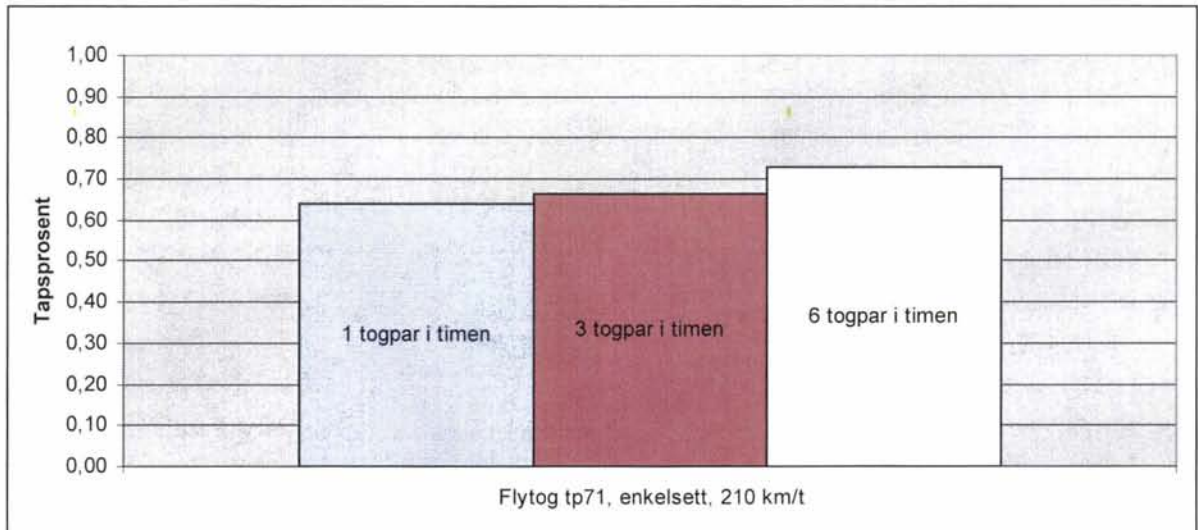


Figur 4-10: Variasjon i tapsprosenten ved endret togvekt for lokaltog sterkt nett. Fra venstre simulerings-id: Tp69_3vg-di-1, Tp69_3_3vg-di-1, Tp69_3vg-dh-1, Tp69_3_3vg-dh-1, Tp72_1-di-1, Tp72_2_di-1, Tp72_1-dh-1 og Tp72_2-dh-1.

4.7 Variasjon i tapene ved endret frekvens/togtetthet

4.7.1 Flytog

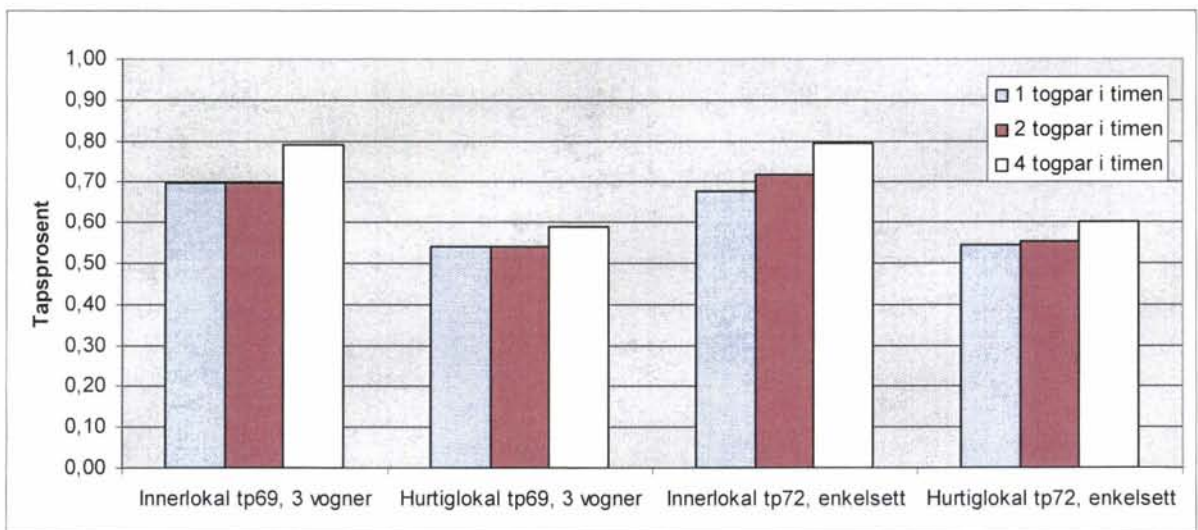
Figur 4-11 under viser variasjoner i tapsprosenten ved endret frekvens/togfølgetid for flytogene. En ser at tapsprosenten i disse tilfellene øker når frekvensen øker.



Figur 4-11: Variasjon i tapsprosenten ved endret frekvens (antall tog per time) for flytogene. Fra venstre simulerings-id: Tp71_1-210-1, Tp71_1-210-3 og Tp71_1-210-6.

4.7.2 Lokaltog

Figur 4-12 under viser variasjonene i tapsprosenten ved endret frekvens/togfølgetid for lokaltog ved sterkt nett. En ser at tapsprosenten i disse tilfellene øker når frekvensen øker.

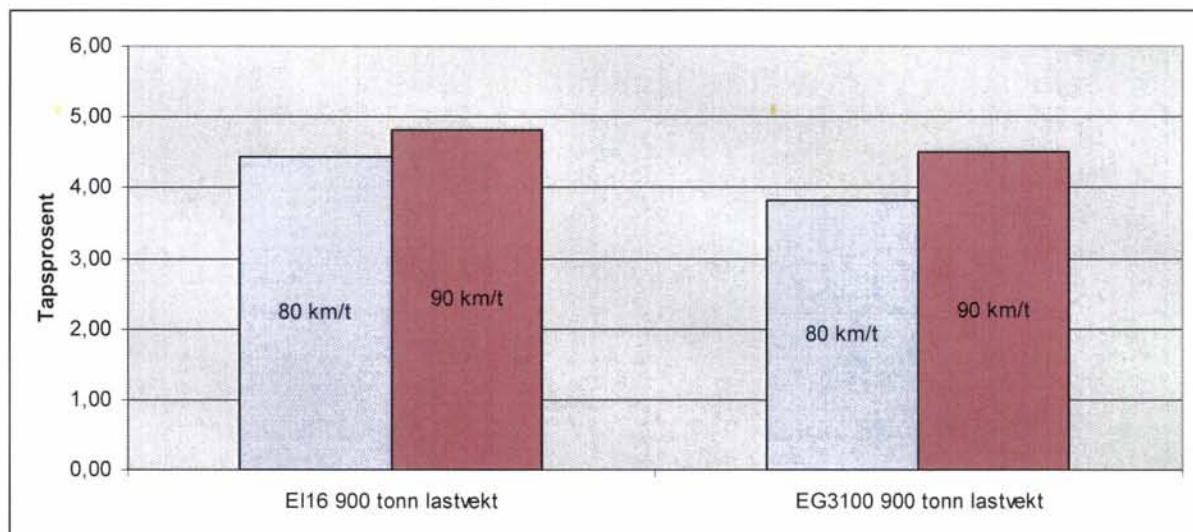


Figur 4-12: Variasjon i tapsprosenten ved endret frekvens (antall tog per time) for lokaltog med sterkt nett. Fra venstre simulerings-id: Tp69_3vg-di-1, Tp69_3vg-di-2, Tp69_3vg-di-4, Tp69_3vg-dh-1, Tp69_3vg-dh-2, Tp69_3vg-dh-4, Tp72_1-di-1, Tp72_1-di-2, Tp72_1-di-4, Tp72_1-dh-1, Tp72_1-dh-2 og Tp72_1-dh-4.

4.8 Variasjon i tapene ved endret hastighet

4.8.1 Godstog

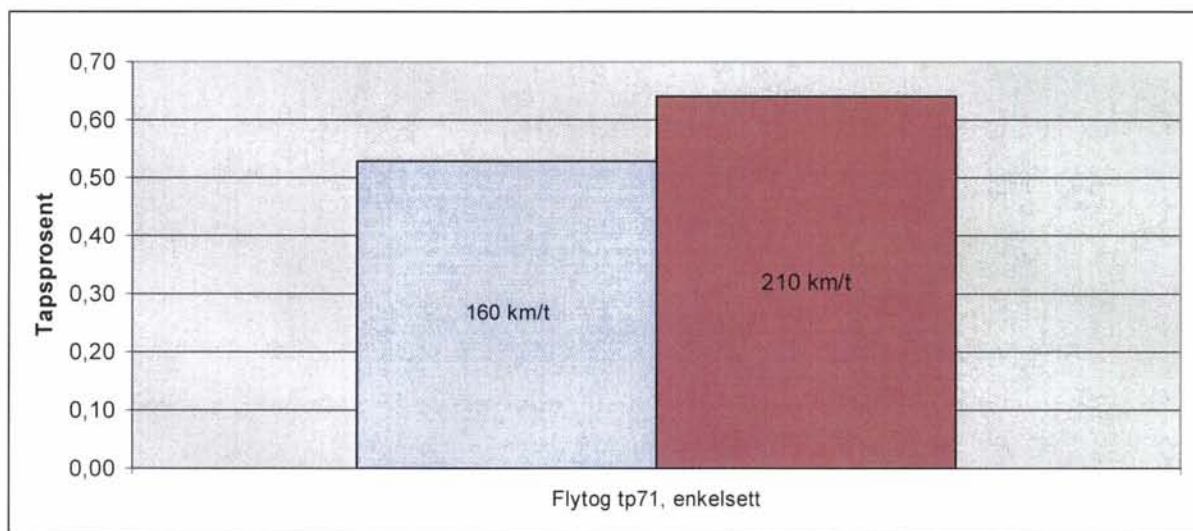
Figur 4-13 under viser variasjoner i tapsprosenten ved endret topphastighet for godstog. En ser at tapsprosenten i disse tilfellene øker når topphastigheten øker fra 80 til 90 km/t.



Figur 4-13: Variasjon i tapsprosenten ved endret topphastighet for godstog. Fra venstre simulerings-id: EI16_900-80, EI16_900-90, EG3100_900-80 og EG3100_900-90.

4.8.2 Flytog

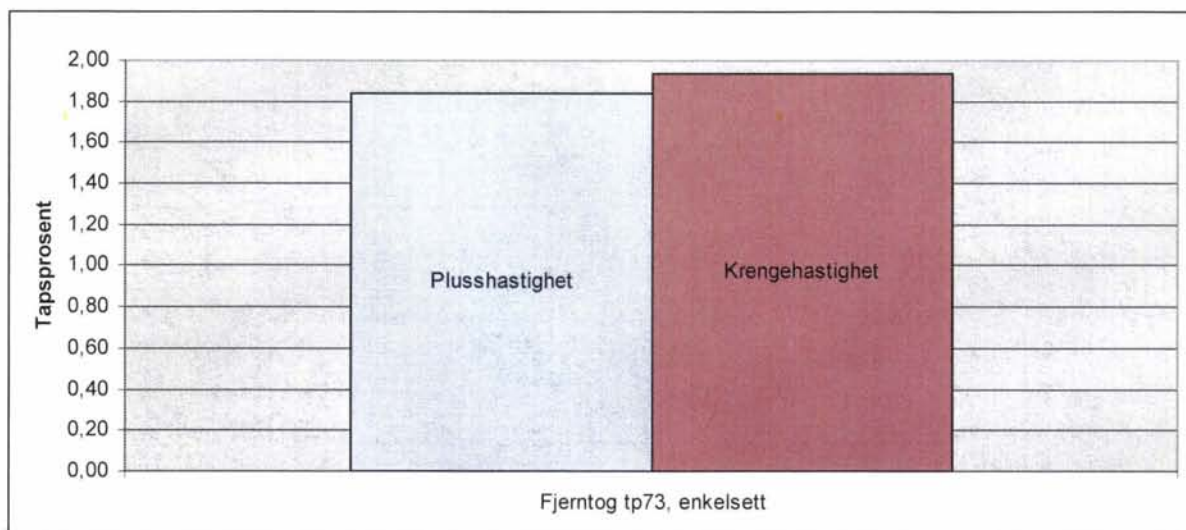
Figur 4-14 under viser variasjoner i tapsprosenten ved endret topphastighet for flytogene. En ser at tapsprosenten i disse tilfellene øker når topphastigheten øker fra 160 til 210 km/t.



Figur 4-14: Variasjon i tapsprosenten ved endret topphastighet for flytogene. Fra venstre simulerings-id: Tp71_1-160-1 og Tp71_1-210-1.

4.8.3 Fjerntog

Figur 4-15 under viser variasjoner i tapsprosenten ved endret hastighetsprofil for fjerntog tp73. En ser at tapsprosenten i disse tilfellene øker når fremføringshastigheten øker fra pluss-hastighet til krengehastighet. For informasjon om hastigheter, se kapittel 2.1.1.



Figur 4-15: Variasjon i tapsprosenten ved endret hastighetsprofil for fjerntog fremført med tp73. Fra venstre simulerings-id: Tp73-1_pluss og Tp73-1_kreng.

4.9 Typisk fasevinkel for ulike typer materiell og trafikk

På bakgrunn av simuleringene kan en også sette opp gjennomsnittlig λ , $\cos \phi$ til fasevinkelen mellom strøm og spenning, for ulike typer materiell og trafikk. Denne faktoren må ikke forveksles med effekt faktoren til materialet som også inkluderer overharmoniske strømmer.

λ er beregnet i henhold til [3] avsnitt 6.2 vist i formel 4-1 hvor W_Q er reaktiv energi (MVarh) og W_P er aktiv energi (MWh) for en hel togreise fra togets utgangsstasjon til endestasjon.

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{W_Q}{W_P}\right)^2}} \quad 4-1$$

Se tabell 2-1 for informasjon om de ulike lokomotivtypene. Alle utregningene her er gjort på bakgrunn av simuleringene med ett togpar.

4.9.1 Godstog

Tabell 4-3 viser en oversikt over λ for de ulike typene trekkraft i godstog i de ulike simuleringstilfellene. En ser at Rc4 har lavest λ på 0,83. El16 som er nærmest identisk med Rc4 har 0,95 i samme tilfelle på grunn av telefilterkondensatorene. Det ser ut som om λ varierer noe avhengig av lastvekt, hastighet og antall lokomotiver. Asynkronlokomotivet EG3100 har λ på 1,00.

For El16 er det i tabell 4-3 beregnet λ med tre forskjellige tolkninger av W_Q :

- (Umerket) – netto reaktiv effekt (Opptatt reaktiv effekt – Avlevert reaktiv effekt = induktiv - kapasitiv) som er brukt for alle de andre utregningene
- * – absoluttverdi av reaktiv effekt (|Opptatt reaktiv effekt| + |Avlevert reaktiv effekt| = |induktiv| + |kapasitiv|)
- ** – kun opptatt reaktiv effekt = induktiv

En ser at det er forskjell på de ulike tolkningene når en har telefilterkondensatorer som produserer reaktiv effekt.

Tabell 4-3: λ for de ulike typene trekkraft i godstog i de ulike simuleringstilfellene.

Lastvekt	600 tonn	900 tonn	900 tonn	1200 tonn
Hastighet	90 km/t	80 km/t	90 km/t	90 km/t
EI16	0,96	0,95	0,95	0,99
EI16*	0,92	0,88	0,90	0,89
EI16**	0,94	0,92	0,93	0,95
EI16 XT	-	-	0,84	-
EG3100	1,00	1,00	1,00	1,00
EG3100 SU	-	-	1,00	-
EI14	-	-	0,90	-
Rc4	-	-	0,83	-

4.9.2 Lokaltog

Tabell 4-4 viser en oversikt over λ for de ulike typene materiell benyttet i lokaltog i de ulike simuleringstilfellene. En ser at det er forskjell på materialet og stoppmønsteret hvorav λ er høyest for hurtiglokaltoget, men ikke om en kjører på svakt eller stivt nett.

Tabell 4-4: λ for de ulike typene trekkraft i lokaltog i de ulike simuleringstilfellene.

Type	Innerlokal	Hurtiglokal	Innerlokal	Hurtiglokal
Nett	Svakt	Svakt	Sterkt	Sterkt
Tp69a	0,76	0,79	0,76	0,79
Tp69c	0,80	0,81	0,80	0,82
Tp72	0,94	0,96	0,94	0,96

4.9.3 Andre tog

Tp71, tp73 og EI18 har alle en λ på 1,00 som ser ut til å være uavhengig av hastighet.

5 DISKUSJON OG KONKLUSJON

5.1 Diskusjon

5.1.1 Valg av modeller og simuleringstilfeller

Simuleringene og studiene i denne underrapporten er gjort for å få mer kunnskap om kontaktledningstapenes variasjoner med tanke på trekraftmateriell, togvekter/togsammensetninger, fremføringshastigheter og togtetthet. For å få dette til er det tatt utgangspunkt i en reell banestrekning med reell trafikk. Banestrekningens hastighet og vertikalkurvatur er vurdert til å representativ for både Oslo-området og hovedstrekningene ellers i landet.

Å ta utgangspunkt i noe reelt er vurdert å være bedre enn å bygge opp en stilisert modell fra bunnen av. En kan risikere at noen av resultatene er mer spesielle enn generelle på grunn av valg av konkrete modeller og simuleringstilfeller, men det problemet ville en hatt om en hadde lagd en egen modell også. For eksempel vil virkningen av tilbakemating være avhengig av hvor og når togene trekker og tilbakemater effekt i forhold til hverandre, og fasevinkelen for tyristormateriell vil være avhengig av strekningshastigheten i forhold styringen av likeretterbroene. Kontaktledningsspenningen kan også ha noe å si for fasevinkelen for både asynkronmateriell og tyristormateriell.

I valg av hvor mange og hvilke simuleringstilfeller som skal studeres er det gjort en avveining mellom ønske om detaljert kunnskap, kompleksitet og arbeidsmengde.

5.1.2 Resultatenes gyldighet

Det er imidlertid vanskelig å si noe klart om størrelsen på tapsprosentens endring ved endret trafikk siden hvert enkelt togs bidrag er avhengig av trafikken for øvrig. Det vil si at en her har simulert med enkelte togpar og studert variasjonene isolert, men er har ikke sett på endringene i den store sammenhengen med trafikk slik som i virkeligheten. En finner for eksempel her en dobling av tapsprosenten ved en dobling av togvekten, men det er ikke sikkert at en tilsvarende endring vil gi samme bidrag til tapsprosenten ved mye trafikk. Det er derfor usikkert om en kan legge resultatene som fremkommer her direkte til grunn ved betraktninger rundt marginaltap.

5.1.3 Resultater med tapsprosent

Det vil føre for langt å diskutere alle simuleringresultatene og sammenligningene gitt tidligere i rapporten. De fleste resultatene og sammenligningene viser de tendensene som en på forhånd kunne antatt og forventet; det en regner som økt belastning, det vil si effektbehov gjennom tyngre eller raskere tog, flere stopp eller flere tog, gir høyere tap.

Men tendensene vist i figur 4-5 i avsnitt 4.5.2 kan synes inkonsekvente. Tp69a har høyest tapsprosent i innerlokal i forhold til tp69c og tp72 ved, men lavest i hurtiglokal. Uten å være sikker antar en at dette skyldes λ som bedres fra 0,76 til 0,79 for tp69a fra innerlokal til hurtiglokal. Fasevinkelen er avhengig av hastigheten toget kjører i og hvilken hastighet de ulike likeretterbroene styres ut ved.

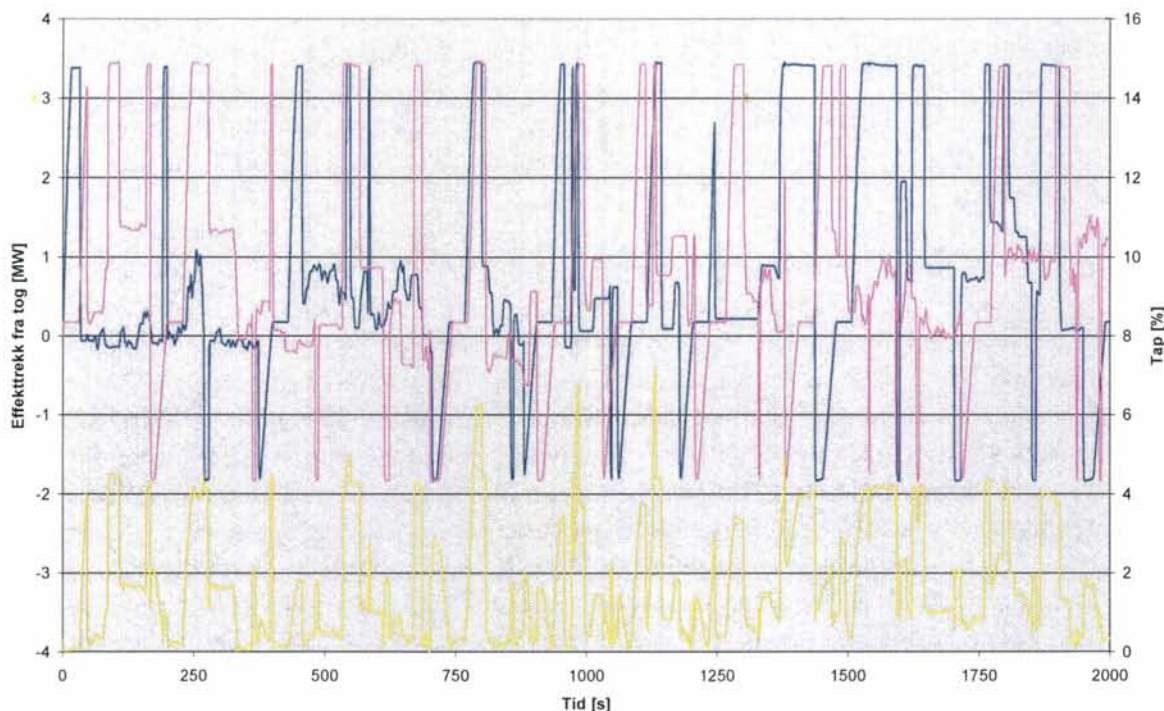
Det er naturlig å tro at tapene ikke bare varierer med type traksjonsutrustning, men også i forhold til motorkraft i forhold til togvekt. Ved høyere motorkraft kan en øke akselerasjonen der motorkraften utgjorde en begrensning, hvilket gir høyere tap på grunn av høyere

effektrekk til tross for kortere akselerasjonstid. Dette kan være med på å forklare hvorfor tapsprosenten med E116 øker mer enn en skulle tro fra 900 tonn til 1200 tonn lastvekt.

Det er også naturlig å tro at kontaktledningstapene øker ved lavere kontaktledningsspenningsettersom strømmen da må økes for å dekke samme effektbehov. Dette er ikke undersøkt i denne rapporten.

Det ser ut som om prosenttallene som en har kommet frem til ved hjelp av simuleringene er relativt følsomme. Bare små endringer ser ut til å gi utslag i resultatene og som gir andre tendenser i søylediagrammene vist i kapittel 4. For eksempel fører en forsinkelse på 30 sekunder fra utgangsstasjon for toget som starter på Lillestrøm i simulering Tp72_1-eh-1 til at tapsprosenten for denne trafikken øker fra 2,51 til 2,65 (nesten 6 % økning). Dette skyldes sannsynligvis effektflyten i kontaktledningsnettet på grunn av lastens intermitterende karakter. For tog med tilbakemating er nok denne følsomheten størst ettersom de ikke bare sammenlagrer effekttrekket, men også kan utveksle effekt med andre tog. Hvor "tilfeldig" effekttrekk og tilbakemating og sammenfall av dette for flere tog er i tid er vist som en illustrasjon i figur 5-1 under. Effektbehov og tilbakemating er avhengig av mange faktorer som hastighetsendringer og vertikalkurvatur. Det er også vist hvordan dette påvirker tapsprosenten. Minst energitap i kontaktledningen får en dersom det er tog i nærheten som kan ta opp effekten som andre tog mater tilbake.

Med andre ord kan enkelte resultater presentert her være mer spesielle enn generelle slik som beskrevet i avsnitt 5.1.1 over, iallfall hva gjelder tilbakemating i svakt nett. Det virker ikke urimelig at det fleste resultatene en får og tendensene en ser kan generaliseres, mens noen er spesielle og gjelder ikke generelt. Slik vil det gjerne være i virkeligheten, en del tilfeller stemmer med det en generelt kan forvente, og noen tilfeller er spesielle.



Figur 5-1: Effekttrekk for de to togene (blå og rosa kurve og venstre høydeakse) i simulering Tp72_1-eh-1 sammen med momentan tapsprosent (gul kurve og høyre høydeakse). Togene krysser litt til høyre for midten på figuren.

5.1.4 Fasevinkel

Metoden for beregning av λ er hentet fra europanormen prEN 50388:2004. Det fremgår imidlertid ikke tydelig av teksten hvilke verdier som skal inn i formelen, om det er nettoverdier for hele togreisen eller filtrerte verdier av noe slag. Ut i fra den rene teksten kan det virke som om det er nettoverdier av aktiv og reaktiv energi, men ut fra sammenhengen og de andre kravene i normen er det naturlig å tro at energiutvekslingen ved regenerativ brems skal holdes utenfor.

Samtidig vet en at europanormen muligens har en annen vinkling på og behov for nettopp denne fasevinkelen ettersom den ser på ytelsen til kraftsystemet. I denne utredningen er fokuset på energitapene i kontaktledningen. Disse to vinklingene oppfatter ikke nødvendigvis samme formel som optimal. Når en ser på ytelsen til systemet (for eksempel gjennom nesekurver) er det positivt med produksjon av reaktiv effekt i tog (kapasitivt) ettersom det hever spenningen. Simuleringene i kapittel 3 viser at kapasitiv last fører til mer tap enn rent ohmsk last opp til over det en i norsk jernbanesammenheng kan kalle moderat belastning. Når en ser på energitap er det gjerne mer riktig å studere gjennomsnittsbetlastning over lengre tid framfor å se på korte perioder med mye belastning.

For asynkronmateriell er det vanlig at fasevinkelen kan bestemmes uavhengig av andre parametere via programvare slik at tp72 på ingen måte trenger å være representativ for annet nytt lokaltogsmateriell med asynkronmotorer, ei heller tp73 og E118 i fjerntog.

5.2 Konklusjon

Det er i denne underutredningen utført et utvalg enkle stiliserte simuleringer i SIMPOW/SIMTRAC med ulike typer togtrafikk på en modell av en reell banestrekning for å

få mer kunnskaper om hvordan kontaktledningstapene varierer med hensyn på trekkraftmaterieell, fremføringshastighet og togtetthet.

Simuleringsresultatene viser at kontaktledningstapene i prosent av energi matet inn i kontaktledningsnettet øker ved

- økt togvekt,
- økt fremføringshastighet,
- økt frekvens/togtetthet,
- økt forbruk av reaktiv effekt og
- økt stoppfrekvens.

I de fleste tilfellene (fremføringshastighet, frekvens/togtetthet, stoppfrekvens og reaktivt effektforbruk) er endringene små, mens ved togvekt er endringene godt synlige.

Simuleringene viser også at det er forskjell på tapsprosenten avhengig av hva slags trekkraft som benyttes. Forskjellene er ikke entydige, men varierer ut i fra faktorer som antall likeretterbroer og hvilken hastighet disse styres ut ved, hastighet, motorkraft i forhold til togvekt, bruk av telefilterkondensatorer, karakteristikk angitt i asynkronmateriellets programvare og mulighet for og bruk av nettbremse (tilbakemating).


Resultatene og tendensene funnet her er antatt å være generelle, men det viser seg at tapsprosentens størrelse er relativt følsom for små endringer i trafikken. Spesielt gjelder dette ved effektutveksling mellom tog med tilbakemating. Endringenes størrelse er det imidlertid vanskeligere å si noe klart om ettersom ett togs bidrag til totalen er avhengig av trafikken for øvrig.

6 KILDER OG REFERANSEDOKUMENTER

- [1] Jernbaneverket Utbygging Prosjekttjenester på oppdrag fra Jernbaneverket Infrastruktur, *Simulering av kontaktledningstap i Oslo-området*, utgitt 2004-01-16, prosjektnummer 292454, saksnummer 04/234 SJU 145
- [2] Jernbaneverket Utbygging Prosjekttjenester på oppdrag fra Jernbaneverket Infrastruktur Premiss og utvikling Elkraft, *Utredning av virkningsgrad for matestasjoner og fjernledning – anbefaling av tapsprosent til bruk i energiavregning*, utgitt 2004-03-02, prosjektnummer 760036, saksnummer 04/367 SJU 762
- [3] CENELEC, *European Standard prEN 50388:2004 Railway applications – Power supply and rolling stock – Technical criteria for coordination between power supply (substation) and rolling stock to achieve interoperability*, Final draft July 2004

OM SIMPOW OG SIMTRAC

Kort informasjon om programverktøyene

000	Utgitt	29.04.05	SD	FM	TJA	
Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Utarb. av	Kontr. av	Godkj. av	
Om SIMPOW og SIMTRAC Prosjektet "Utredning av kontaktledningstap" Rapport		Ant. sider	Emneord	Kraftsystem		
		12	Emneord	Verifisering		
			Emneord	Simuleringsverktøy		
			Produsent	Utbygging prosjektjenester		
		Prod. dok. nr.	Prosjekt 760253			
		Erstatning for				
Erstattet av						
 Jernbaneverket		Dokument nr.			Rev.	
					000	

1	INNLEDNING	3
2	OM SIMPOW	4
3	OM SIMTRAC	5
4	BEREGNINGSMETODIKK	6
4.1	GENERELT	6
4.2	REGENERATIV BREMS.....	6
4.3	BEREGNING AV TAP.....	6
4.4	BEHANDLING AV TILLEGGSUTTAK OG TOGVARME	6
4.5	ENERGIMÅLERE.....	7
5	VERIFISERING AV SIMULERINGSRESULTATER	8
5.1	"VERIFISERING AV SIMULERINGSPROGRAMMET SIMTRAC (1.1 REV 001)"	8
5.2	TEST AV SIMTRAC 1997	8
5.3	VERIFISERING AV SIMTRAC 1999	9
5.4	SIMTRAC, CASE STUDY MALAYSIA	9
5.5	MÅLING FOR KONTROLL AV SIMULERTE NØKKELTALL.....	10
6	KILDER OG REFERANSEDOKUMENTER	12

1 INNLEDNING

Jernbaneverket gikk i 1997 til anskaffelse av programverktøyene SIMPOW og SIMTRAC for simulering av banestrømforsyningen. Begge dataprogrammene har blitt brukt mye til ulike utredninger som blant annet:

- Dimensjonering av banestrømforsyningens komponenter (matestasjoner)
- Undersøkelse av spenning på togs strømvaktaker
- Beregning av kortslutningsstrømmer
- Beregning av energiforbruk for tog
- Beregning av tap i matestasjoner, kontaktledning og fjernledning.

Denne rapporten gir en kort orientering om SIMPOW og SIMTRAC og hvordan de er bygd opp og hvordan de interessante størrelsene med tanke på kontaktledningstap beregnes. Det gis også en kort oversikt over arbeid som er utført for å verifisere og validere resultatene fra simuleringene.

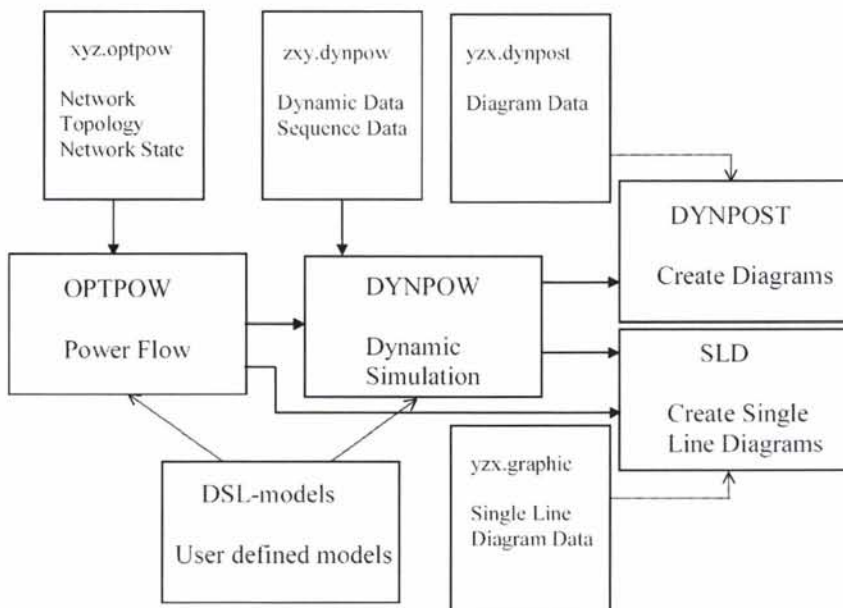
Denne rapporten er i stor grad et utdrag fra [1].

2 OM SIMPOW

Programsystemet SIMPOW, SIMulation of POWersystems, ble utviklet av ASEA på slutten av 70-tallet da de så et behov for å simulere dynamiske AC/DC-systemer. De første versjonene forelå på UNIX, men utvikles nå bare for Windows NT-plattform av STRI AB¹ i Ludvika, Sverige.

SIMPOW består av flere moduler og figur 2-1 viser en oversikt over hvordan de ulike modulene i SIMPOW virker sammen i en dynamisk simulering.

- Stasjonær lastflyt (Optpow)
- Dynamisk analyse (Dynpow)
- Statisk kortslutningsanalyse (Stapow)
- Egenverdi- og frekvensresponsanalyse (FFT)
- Grafisk presentasjon av nettoppbygningen (Sedit / SLD)
- Grafisk presentasjon av simuleringresultater (Dynpost)
- Brukerdefinerte modeller gjennom programmeringsspråket DSL (HiDraw)



Figur 2-1: Oversikt over sammensetningen av noen av de ulike modulene i SIMPOW. (SIMPOW-manualen ([2])).

SIMPOW's modellbibliotek omfatter blant annet detaljerte modeller for jernbanens roterende og statiske omformere.

¹ Swedish Transimission Research Institute

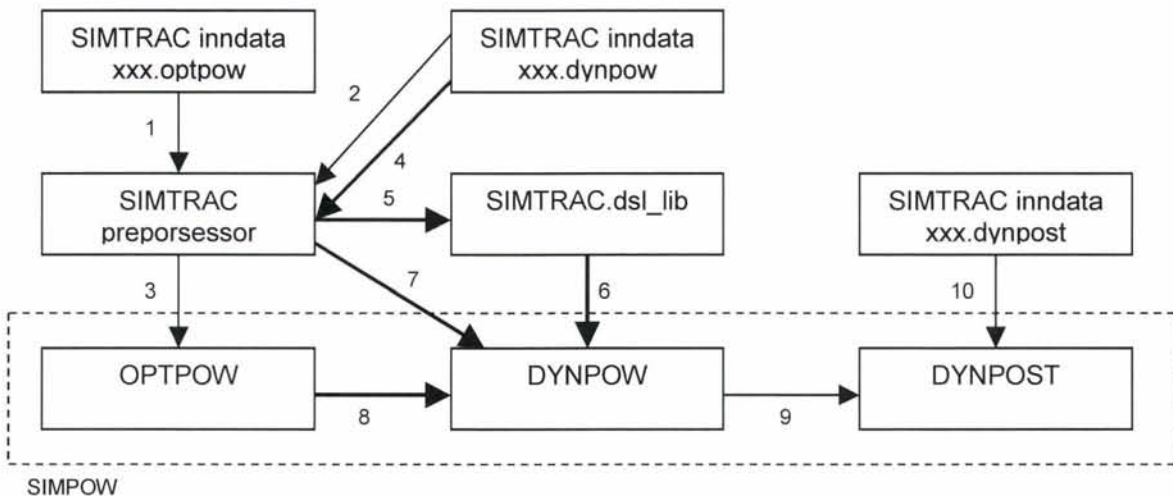
3 OM SIMTRAC

Til SIMPOW er det utviklet en tilleggsmodul som gjør det mulig å simulere togtrafikk, SIMTRAC (dynamic SIMulation of TRAction systems). Opprinnelig utviklet av den tidligere delen av ABB, ADtranz, på oppdrag fra svenske Banverket. Men nå overtatt av, eventuelt overdratt til, britiske Balfour Beatty Rail.

Sammen med SIMPOW sine modeller for elektriske kraftnett inkluderer SIMTRAC:

- Modellering av rullende materiell gjennom tyngde, lengde, luftmotstand, dragkraft, bremskraft, rullemotstand, virkningsgrad, akselerasjon og retardasjon. De elektriske egenskapene ivaretas gjennom modeller for traksjons- og nettutrustningen hvor en angir type, ytelse og regulator karakteristikk. (TRAIN)
- Modellering av skinnegangen gjennom angivelse av kontaktledningsimpedans, hastighetsprofil, horisontal- og vertikalkurvatur, tunneler, adhesjon og stasjoner (TRACK)
- Angivelse av togveier (DRIVE PATH)
- Togtrafikk gjennom angivelse av ruteplaner (TIMETABLE)

SIMTRAC virker som en preprosessor for SIMPOW og benytter seg av modulene Optpow, Dynpow, Dynpost og DSL. Simuleringen er tidsstyrt og gjennomføres ved hjelp av hendelsehåndtering. Samspillet mellom SIMPOW og SIMTRAC er vist i figur 3-1.



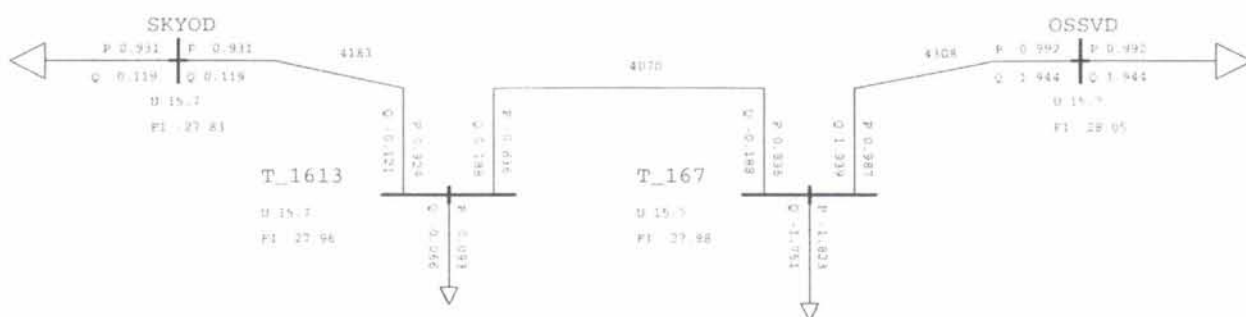
Figur 3-1: Samspill mellom SIMTRAC og SIMPOW. (SIMTRAC-manualen ([3]))

4 BEREGNINGSMETODIKK

4.1 Generelt

SIMTRAC fungerer som en preprocessor for SIMPOW hvor inndata om rullende materiell, infrastruktur og ruteplan konverteres til inndata for SIMPOW. Hvert tog blir modellert som ei elektrisk node (knutepunkt) i kraftsystemet. Til hver node er det knyttet en last som gir effektuttaket til respektive tog. Effektuttaket til et tog er avhengig av blant annet hastighet, akselerasjon, gangmotstand, stigning, adhesjon og tilleggsuttak. De elektriske nodene forflyttes i kraftsystemet avhengig av angitt kjørevei, ruteplan og hastighet på bakgrunn av effektuttaket.

Figur 4-1 viser prinsippskisse for kontaktledning og to tog, 1613 og 167, i Oslotunnelen mellom Skøyen og Oslo S.



Figur 4-1: Enlinje prinsippskisse for kontaktledning og to tog, 1613 og 167, i Oslotunnelen mellom Skøyen og Oslo S.

4.2 Regenerativ brems

Ved bruk av elektrisk nettbrems vil den elektriske lasten endre fortegn. Størrelsen på aktiv og reaktiv effekt er avhengig av på forhånd angitte karakteristikk for det rullende materiellet, tilgjengelig bremskraft på bakgrunn av retardasjon, adhesjon og vekt samt spenningen på togets strømavtaker i øyeblikket.

4.3 Beregning av tap

Mellom togenes elektriske noder benyttes linjemodeller i SIMPOW for kontaktledningen. Linjene tilordnes en på forhånd angitt impedans. Tap i kontaktledningen behandles således på samme måte som tap i vanlige linjer i SIMPOW.

4.4 Behandling av tilleggsuttak og togvarme

For de ulike typer rullende materiell har en mulighet til å angi tilleggsforbruk og tomgangstap i tillegg til karakteristikkene for effektuttaket til togframføring. Tilleggsforbruket kan være togvarme (inkl. airconditioning), lys, elektrisk tilbehør og lignende. Effektfaktoren kan spesifiseres. For tyristormateriell kan tilleggsuttaket tas ut på transformator- eller motorsiden av likeretterbroen(e). Togets totale effektuttak blir således summen av effektbehov til togframføring justert for virkningsgrad, tomgangstap og tilleggsuttak.

4.5 Energimålere

Energimåling for energiforbruk i tog ivaretas av en egen funksjon for hvert tog i SIMTRAC. Energimåleren oppgir opptatt energi og avgitt energi for et gitt tidsrom (for eksempel 1 time).

Alle matestasjoner i simuleringsmodellen er utstyrt med energimålere som måler både levert energi fra matestasjonen til kontaktledningsanlegget og tilbakelevert energi fra kontaktledningsanlegget til matestasjonen.

Energimålerne oppgir reaktiv energiflyt på samme måte.

5 VERIFISERING AV SIMULERINGSRESULTATER

5.1 "Verifisering av simuleringsprogrammet SIMTRAC (1.1 rev 001)"

I forbindelse med utviklingen av SIMTRAC ble det av ABB Traction utarbeidet en rapport "Verifisering av simuleringsprogrammet SIMTRAC (1.1 rev 001)" ([4]) for å verifisere at den utviklede programvaren var i henhold til kravsspesifikasjonen og at SIMTRAC oppfatter inndata korrekt.

Det ble verifisert at SIMTRAC kunne håndtere følgende:

- Fri plassering av stasjoner der tog har stopp av ulik varighet eller ikke stopp i det hele tatt
- Stigninger og kurver
- Trekkraftmateriellets reaksjon på høye og lave spenninger
- Et stort antall tog av ulik type materiell i ulike ruter
- Ruteplan
- Spenningsbortfall
- Ulike hastighetsprofiler for ulike banestrekninger eller kjøreretninger
- Ulik sth (størst tillatt hastighet) for ulike materielltyper
- Utdata for alle variable som finnes i modellen

Verifiseringen er utført med banestrømforsyning 16 2/3 Hz og stive spenningskilder, men ellers med flere ulike parametersett infrastruktur og rullende materiell. "Snapshot" fra trafikksimuleringer er sammenliknet med rene lastflytsimuleringer i SIMPOW (OPTPOW) for å se at det elektriske håndteres riktig.

5.2 Test av SIMTRAC 1997

Jernbaneverket Ingeniørtjenesten utførte i forbindelse med anskaffelsen av SIMTRAC som verktøy, på oppdrag fra Bane Energi, en test av SIMTRAC ([5]) med sammenligning mellom målinger og simuleringer. To tog (E118 med type 7-vogner) ble studert på strekningen Losna-Otta på Dovrebanen.

Programpakken SIMPOW/SIMTRAC skulle kunne oppfylle følgende krav:

- Være et togsimuleringsprogram til dimensjonering av energiforsyningen
- Være et program for analyse av detaljer innen energiforsyningen
- Kunne brukes i et større energiavregningssystem for Jernbaneverket

Rapporten konkluderer med:

- Stor overensstemmelse mellom målte og simulerte høyeste og laveste spenning på omformerstasjonens samleskinner
- Stor overensstemmelse mellom målte og simulerte høyeste og laveste belastning på omformerstasjonene
- Simulerte times- og 6-minuttsverdier av omformerstasjonene er ikke realistiske og er dermed ikke 100 % brukbare for dimensjonering av energiforsyningen
- Til beregning av energiforbruk for det enkelte tog er programpakken enda ikke tilstrekkelig
- Til detaljerte analyser for øvrig antas programpakken som tilstrekkelig nøyaktig

Og rapporten mener programpakken bør forbedres på følgende områder før den kan brukes til alle tiltenkte formål:

- Simuleringens lokfører – Lokføreren i simuleringen har et kjøremønster som antas mer energikrevende enn en virkelig lokfører. Blant annet aksepteres bare et avvik på 0,2 % av strekningshastighet før simuleringens lokfører gir fullt pådrag eller bruker elektrisk brems avhengig av om hastigheten er for lav eller for høy.
- Simuleringens vertikalkurvatur – Simuleringsprogrammet modellerer ikke vertikale overgangskurver

5.3 Verifisering av SIMTRAC 1999

I forbindelse med Jernbaneverkets innkjøp av programpakken SIMPOW/SIMTRAC fikk Jernbaneverket Ingeniørtjenesten i oppdrag å administrere og opprettholde kompetansen på programvaren. Testrapporten fra 1997 ([5]) etterlot enkelte ubesvarte spørsmål som en ønsket å undersøke sammen med at en i etterkant også fikk nye modeller av togene. Nye og tilsvarende målinger og simuleringer ble utført. Arbeidet er beskrevet i en ikke utgitt rapport ([6]).

På grunn av feil på lokomotivene, feil på målinger fra Fron mot Losna og regnvær som begrenset effektuttaket ble den sammenlignbare måleperioden svært kort. Rapporten tar derfor forbehold for at det er et meget begrenset statistisk grunnlag som ligger bak vurderingene i etterkant.

Rapporten konkluderer med:

- Sammenligning av simulert effektuttak og målt effektuttak i omformerstasjonene viser at lokomotivene (E118) som er studert normalt sett har en bedre adhesjon en Curtius og Knifflers formel tilsier
- Simulert maksimalt effektuttak og fordelingen av belastning mellom de to stasjonene stemmer meget godt overens med målingene og dette tyder på at modellenes elektriske parametre er gode
- Simulert og målt gjennomsnittsbetlastning (tilsynelatende effekt) stemmer godt overens
- Sammenligning av simulert og målt energiforbruk i toget viser et stort avvik både i opptatt og avlevert energi, simuleringen er større enn målingen. Det er antatt at angitt rullemotstand i simuleringen er for høy i forhold til virkeligheten.
- Forsøk på å endre banens vertikalkurvatur for etterligning av vertikale overgangskurver medførte bare en marginal reduksjon av energiforbruket

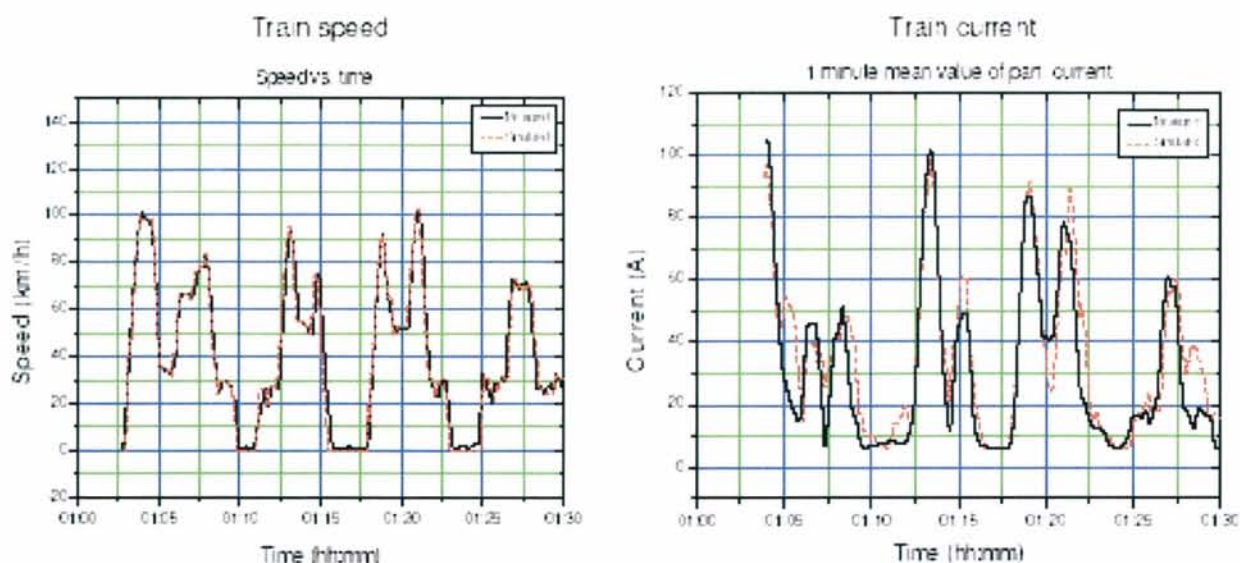
Rapporten anbefaler videre:

- Studier av typisk rullemotstand for norsk togmateriell

5.4 SIMTRAC, Case study Malaysia

Som en del av et oppdrag for en kunde i Malaysia har Balfour Beatty Rail Power Systems sammenliknet utførte simuleringer med målinger på tog i tilsvarende trafikk. Figur 5-1 viser en sammenligning mellom simuleringen og målingen.

Erfaringen fra den utførte testen var at simuleringsresultatene er sterkt avhengig av at inndataene er korrekte.



Figur 5-1: Sammenligning av simulert og målt hastighet og strøm.

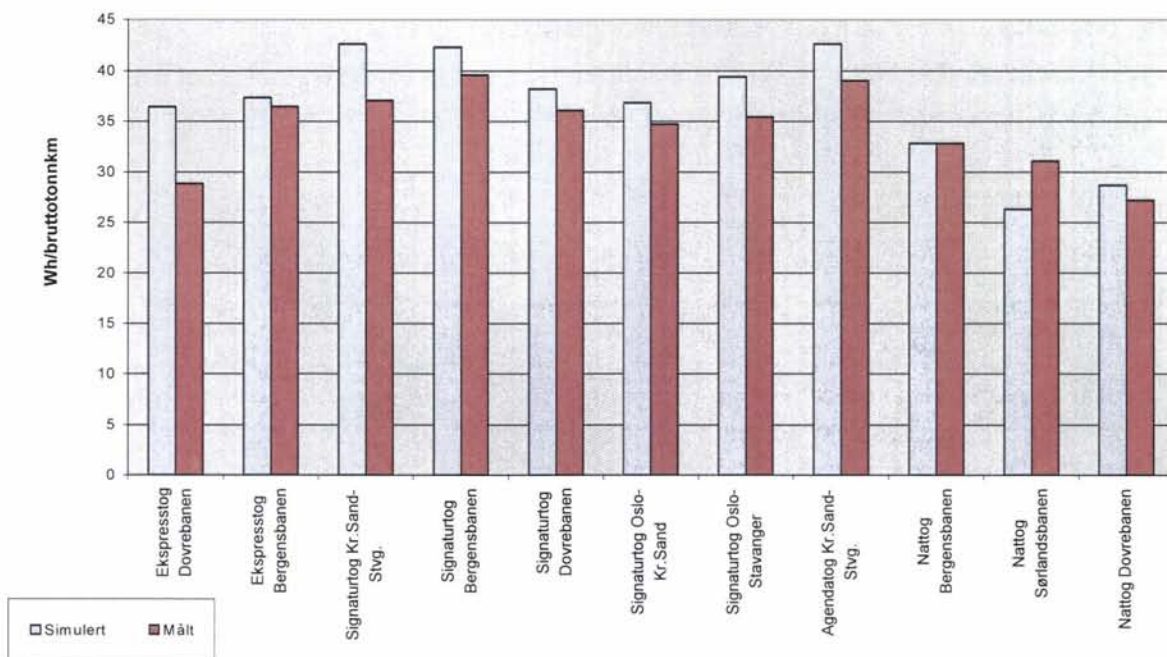
5.5 Måling for kontroll av simulerte nøkkeltall

Som en midlertidig ordning avregnes energiforbruk til togframføring i Norge på bakgrunn av innrapporterte kjørte bruttotonnkilometer fra de ulike trafikkutøverne og beregnede nøkkeltall for energiforbruk per bruttotonnkilometer for ulike togtyper på ulike banestrekninger. Nøkkeltallene er beregnet med bakgrunn i simuleringer i SIMPOW/SIMTRAC.

I "Måling for kontroll av simulerte nøkkeltall for energiforbruk per bruttotonnkilometer" ([7]) er energiforbruket for rullende materiell av type 73 og E118 målt og logget ved hjelp av materiellets henholdsvis egne energimålere og diagnosesystem. På bakgrunn av energiloggingen på til sammen 866 turer er det beregnet energiforbruk per bruttotonnkilometer. Energiloggingen viste at det er store variasjoner i energiforbruket fra togtur til togtur.

Figur 5-2 viser en sammenligning mellom simulert og målt energiforbruk per bruttotonnkilometer for de togtypene og banestrekningene energiloggingen ble utført på. Alle togtypene som er omfattet av energiloggingen har foregått på trafikkerer fjernstrekningene. Energimåling på type 69 i lokaltrafikk og E116 er tenkt utført som annen del av prosjektet.

Det ble funnet at det målte energiforbruket per bruttotonnkilometer i gjennomsnitt er 5 % lavere enn det simulerte. For E118 og type 73 er målingene henholdsvis 2 og 8 % lavere enn simuleringene. Den gjennomsnittlige absoluttverdien av avviket for alle togtypene var på 8 %. At målingen ga lavere energiforbruk enn simuleringene var ikke uventet siden den simulerte lokføreren i SIMTRAC gjerne har et mer energikrevende kjøremønster enn lokalkjente lokførere.



Figur 5-2: Sammenligning av simulerte og målte nøkkeltall for energiforbruk for E118 og type 73.

6 KILDER OG REFERANSEDOKUMENTER

- [1] Jernbaneverket Utbygging Prosjekttjenester på oppdrag fra Jernbaneverket Infrastruktur, *Simulering av kontaktledningstap i Oslo-området*, utgitt 2004-01-16, prosjektnummer 292454, saksnummer 04/234 SJU 145
- [2] ABB Power System Analysis Department, *SIMPOW – User Manual*, rev 10.1
- [3] ADtranz, *SIMTRAC USER'S MANUAL – Swedish Edition*, 97-11-24 1.2
- [4] ABB Traction, *Verifisering av simuleringsprogrammet SIMTRAC (1.1 rev 001)*, Meddelande BT614EFS-003 1996-04-17
- [5] Jernbaneverket Ingeniørtjenesten på oppdrag fra BaneEnergi, *Test av SIMTRAC*, Desember 1997. Prosjekt nummer 197098
- [6] Jernbaneverket Ingeniørtjenesten på oppdrag fra Jernbaneverket (JDTMK, JE, JØ, JS, JV, JN), *Verifisering av Simtrac 1999*, 1999. Prosjekt nummer 198102 (Rapporten er ikke utgitt)
- [7] BanePartner på oppdrag fra Jernbaneverket Hovedkontoret Banesystem Elkraft, *Energiavregning i tog – Måling for kontroll av simulerte nøkkeltall for energiforbruk per bruttotonnkilometer*, Delrapport mars 2003. Prosjektnummer 292192. (Rapporten er enda ikke offisielt utgitt)

MIKROMARC
BIBLIOTEKSYSTEM



71592832