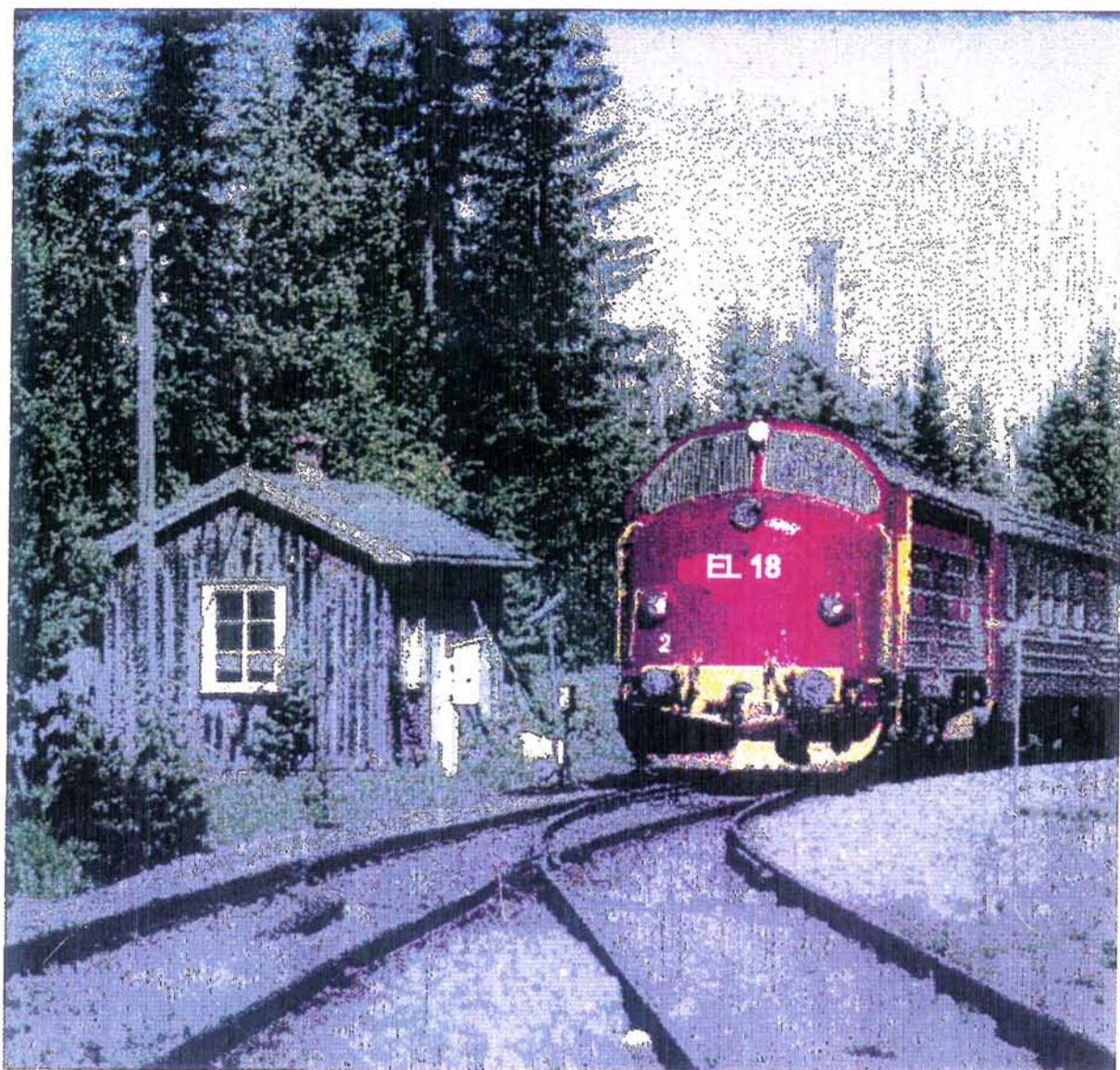


Sørlandsbanen
621.33

HOVEDPLAN FOR
STRØMFORSYNING PÅ
SØRLANDSBANEN



NSB BANE REGION SØR
TEKNISK KONTOR
STRØMFORSYNING
JANUAR 1995

INNHOLD

	Side
Forord	2
Konklusjon	3
2.0 Teknisk økonomiske nøkkeltall	4
2.1 Anbefalt tiltak.	4
2.2 Investeringskostnader	5
2.3 Supplerende forsterkningsalternativer	5
3.0 Bakgrunnsmatriale for beregninger	6
3.1 Beskrivelse av NSBs nett på sørlandet.	6
3.1.1 Tekniske krav til strømforsyningen.	6
3.1.2 Overkapasitet.	7
3.2 Svakheter ved dagens strømforsyning.	7
3.3 Returkretsens betydning	8
3.4 Forsterkningsledning	8
3.5 Forsterkning med omformerstasjoner	9
3.5.1 Oppsplitting av eksisterende stasjoner	9
3.5.2 Forsterkning med statiske omformere	12
3.5.3 Kombinert løsning	14
3.6 Forsterkning med høyspent mateledning	17
3.6.1 Høyspentlinje mellom Kristiansand og Stavanger	17
3.6.2 Bygging av delvis høyspentlinje	18
3.7 Forsterkning med 50Hz strømforsyning	19
3.8 Kapasitetsøking på matestrekingen	19
3.8.1 Simuleringsmetoder	19
3.8.2 Bruk av målinger i nettet	20
4.0 Nytte-kostnadsanalyse	21
4.1 Reduserte energitap	21
4.1.1 Reduserte omformertap	21
4.1.2 Reduserte kontaktledningstap	21
4.2 Redusert kjøretid	22
4.3 Bedret regularitet	23
4.3.1 Reduserte konsekvenser ved Kl-feil	23
4.3.2 Reduserte konsekvenser ved signalfeil	23
4.4 Økt potensial for godstransport	24
4.5 Sammendrag N/K analyse	25
4.6 Forutsetninger for nytte-/kost-vurderingen	27
5.0 Simuleringer	28
5.1 Konklusjon	28
5.2 Modellering	28
5.3 Matestasjoner	29
5.4 Trekkraftmatriell	29
5.5 Forutsetninger	29
5.6 Driftssituasjoner	30
5.7 Analyse av simuleringresultater	30
Vedleggsliste	33

FORORD

Dette er en revidert utgave av Hovedplan for forsterkning av strømforsyningen på sørlandsbanen.

Dette er en rapport som gir en anbefaling av hvilke tiltak som behøves på Sørlandsbanen de kommende år med hensyn på forsterkning av strømforsyningen.

Grunnlaget for konklusjonen baserer seg på en trafikkøking spesielt innen langtransport av gods (Stavanger - Oslo) i de mest belastede periodene på døgnet, hvilket pr. i dag er en av NSBs hovedstrategier.

Ringvirkningene av disse strategiske investeringene er at vi reduserer feilfrekvensen både inne strømforsyning og signal betydelig.

Rune Øverås.BrS/Tsf.

STRØMFORSYNINGSSITUASJONEN PÅ SØRLANDSBANEN

KONKLUSJON

Baneregion Sør har gjort vurderinger av hvilke forsterkninger av banestrømforsyningen som er nødvendige på banestrekningen mellom Kristiansand og Stavanger.

Konklusjonen på denne vurderingen med de kjente planene vi i dag har for Sørlandsbanen er at det er nødvendig med en forsterkning av strømforsyningen.

Vårt primære forslag i denne rapporten konkluderer med å bygge en midleridig roterende omformer på Leivoll og bygge en 2x6MVA statisk omformer i Egersund under forutsetning av at roterende aggregat på Leivoll reinvesteres innen 10år. Dette forutsetter at regionen blir tilført et overskytende omformeraggregat fra det øvrige NSB-nettet.

Vedlegg 1.1 viser denne konfigurasjonen. Kostnadsberegningen baserer seg på bygging av statisk omformer på Leivoll om 10 år.

N/K-verdien til denne utbyggingen er 1.11.

Videre tiltak som skal vurderes:

Oppgraderingen av sugetransformatorer og impedansspoler bør dessuten fremskyndes i størst mulig grad fordi disse øker spenningsfallet i nettet dramatisk.

Arbeidet med å bygge returledning bør fremskyndes p.g.a. at avledning mot jord er meget stor, spesielt på Jærbanan.

Impedansen i returkretsen til omformerstasjonene bør reduseres for å redusere spenningsfallet.

Vedleggsrapport 4 omhandler dette.

2.0 TEKNISK-ØKONOMISKE NØKKELTALL

2.1 Anbefalt tiltak

Statisk omformer Egersund

Den teknisk økonomisk mest gunstige forsterkningen av banestrømforsyningen vil være å bygge en statisk omformer i Egersund og bygge en midlertidig roterende omformerstasjon på Leivoll.

Dette vil gi en viss overkapasitet spesielt på Jærbanen og man vil eliminere regularitetsproblemene på strekningen Sira - Kristiansand p.g.a. lav spenning. Omformeren i Egersund vil få en kapasitet på minst $2 \times 6\text{MVA}$ og kan dessuten ta en relativt større del av lasten på Jærbanen p.g.a. den større fleksibiliteten som statiske omformere har. Denne kan dermed avlaste omformerstasjonen i Ganddal og Sira.

Roterende omformer Leivoll

Den roterende omformerstasjonen på Leivoll vil fungere utmerket ut fra forventet trafikkbilde. Simuleringen viser at med så kort avstand mellom matepunktene som det her legges opp til, vil det ikke bli spenningsproblemer i overskuelig framtid. Problemene med enkeltstående omformere kan være risikoen for at disse kjøres ut for overlast. Dette er imidlertid et teknisk problem som NSB kan løse dersom man satser på å ta i bruk dagens avanserte regulatorer og vern på de gamle omformerne. Dette er foreslått av BrS og NSB har i dag kapasitet til å løse disse oppgavene. Forbedring på regulerings-/styringssiden vil kunne føre til investeringsutsettelse i store deler av banestrømforsyningsnettet. Dette får ekstra aktualitet ved anskaffelse av ny avansert fjernkontroll.

2.2 Investeringskostnader

Kostnadene ved forsterkning av strømforsyningen på sørlandet vil bli:

1. Midlertidig roterende omformer på Leivoll og statisk omformer i Egersund.
Roterende omformer på Leivoll reinvesteres i statisk omformer i løpet av 10år.
Nåverdi: 80,6mill.NOK.
2. Statiske omformere Nåverdi 99,23mill.NOK
3. Roterende omformere som reinvesteres i statiske omformere om 10år:
Nåverdi: 76,54mill.NOK
4. Høyspent mateledning Nåverdi 147,0mill.NOK
5. Delvis høyspent mateledning Nåverdi 118,0 mill. NOK

Disse kostnadene skal dekkes av fortjenestepotensialet for økt trafikk samt bedrifts- og samfunnsøkonomiske innsparinger ved bedret regularitet. Ifølge NSBs satsningspolitikk innebærer det lokaltrafikken på Jærbanen (høyhastighet) og godstrafikk mellom sørvest og østlandsområdet. Spesielt den siste produktgruppen er krevende for den elektriske banedriften.

En nytte/kostnadsvurdering viser at investering i en statisk omformer i Egersund og en roterende omformer på Leivoll som reinvesteres med statisk omformer om 10år er den mest kostnadseffektive løsning som samtidig gir rom for trafikkøkning. Se for øvrig kapittel om simulering og N/K-analyse.

2.3 Supplerende øvrige forsterkningsalternativer

Nettet på sørlandet bør i tillegg modifiseres med bedre dimensjonerte sugetrafoer og impedansespoler. Dette er en utskifting som pågår kontinuerlig, men som med fordel kan forseres sett fra strømforsyningssiden.

Det samme gjelder investering i returledning på banestrekningen. Det skal imidlertid nevnes at behovet for returledning blir noe redusert når det etableres nye matepunkter fordi returstrømmen som nevnt i gjennomsnitt blir redusert til halvparten.(Se vedleggsrapport4).

3. BAKGRUNNSMATERIALE FOR BEREGNINGENE

3.1 Beskrivelse av NSBs nett på sørlandet:

I dag er NSBs nett på Sørlandsbanen forsynt gjennom tre omformerstasjoner. I hver av disse er det installert to aggregater. Omformerstasjonene er tilknyttet stamnettet og det er samkjøring mellom omformerstasjonene både på tre- og enfasesiden. Innbyrdes avstand mellom matestasjonene er 101 og 113 km. Ganddal omformer har 10 pluss 5.8MVA installert effekt mens Sira og Krossen har 2 x 5.8MVA installert effekt.

For å bedre spenningen på strekningen er det installert fire seriekondensatorbatterier. Disse er plassert på Varhaug, Heskestad, Storekvina og Høye. Hensikten med disse er å kompensere for den induktive delen av impedansen i kontaktledningen. Dette kan heve spenningen i kontaktledningen med 2kV. Man skal imidlertid være oppmerksom på at i noen driftssituasjoner senkes spenningen foran kondensatorbatteriet p.g.a. at spenningen ikke kan være ubegrenset høy mot neste matestasjon.

3.1.1 Tekniske krav til strømforsyningen

Det foreligger i dag ingen konkrete krav om kvaliteten på banestrømforsyningen i NSB. Det som betraktes som nøkkeltall i denne sammenheng er at

1. Kontaktledningsspenningen ikke på noe punkt på ledningen skal underskride 12.0kV i tunglast. 15kV (+10%/-20%).
2. Nettet skal ikke bryte sammen (p.g.a. utkjøring av omformere) ved utfall av en omformer.
3. Hvorvidt spenningskravene skal overholdes også ved feilsituasjon foreligger pr. i dag ingen krav om.

For BrS' vedkommende resulterer dette i at løsningen med roterende omformere på Leivoll og i Egersund, samt en enkeltstående omformer i Krossen holder for de to første kravene, men ikke for det siste p.g.a. at kontaktledningsspenningen vil bli for lav ved utfall av Krossen omformer.

De øvrige forsterkningsalternativene overholder alle disse kravene.

3.1.2. Overkapasitet

Den vurderingen som ikke kan bestemmes av absolutte krav er med hvilken overkapasitet vi skal dimensjonere både med hensyn til framtidig trafikk og nytt materiell i årene som kommer.

Vårt forslag med statisk omformer i Egersund baserer seg på å kunne håndtere både større trafikk og høyere hastigheter på Jærbanen i årene framover. For nærmere studier av kraftbehovet som funksjon av belastning vises til simuleringsdelen av rapporten.

3.2 Svakheter med dagens strømforsyning

Problemet knytter seg til at det i perioder med tett trafikk og stor belastning blir for lav spenning på strekningen. På grunn av den lange strekningen mellom innmatingspunktene vil impedansen i kontaktledningen resultere i store spenningsfall ved tung belastning. Trafikken kan ikke økes utover R94-nivå med dagens strømforsyningsanlegg uten at det får vesentlig innvirkning på regulariteten.

Impedansen i kontaktledningen er 0.3 ohm pr. km. Eksempelvis kan spenningsfallet være 6kV ved 500A strøm matet over 40 km. Vi har imidlertid målt spenninger på 8kV i perioder på nærmere ett minutt ved kryssinger på Sørlandsbanen. (Se vedlegg målinger).

Dersom en omformerstasjon skulle miste krafttilførselen fra 50Hz nettet, vil det ikke være mulig å opprettholde ordinær trafikk i tett trafikkerte perioder. Alternativet er dermed:

Nye omformerstasjoner i Egersund og Leivoll eller mateledning med matepunkter via trafo til disse stedene.

Overgang til 50Hz er utredet av Transmark, EFI og McKinsey. Prosjektet vurderes nå tungt av en tverrdivisjonal gruppe i NSB som skal presentere en innstilling innen 1/6-95.

3.3 Returkretsens betydning

Hva skjer ved økt impedans i returkretsen?
Konsokvens?

Som tidligere nevnt har returkretsen betydelig innvirkning på den totale strømforsyningssituasjonen. Underdimensjonerte sugetransformatorer og impedansspoler er i første omgang bidrag til økt impedans i returkretsen i tillegg til at de er kilde til feil i signalanlegget. Dette fremkommer spesielt ved bruk av El 16 som genererer mye overharmonisk støy i kombinasjon med høyt strømforbruk.

I BrS er det i dag et stort antall 150A og 250A sugetransformatorer og impedansspoler som med fordel kunne vært oppgradert. Dette er tiltak som er planlagt som vedlikeholdsprosjekter i de kommende år. Det er fordelaktig å gjennomføre dette snarest.

Bruk av returledning er en metode for å redusere belastningen på returkretsen. Returledningen reduserer dessuten den ekvivalente kontaktledningsimpedansen p.g.a. at belastningen på sugetransformatorene blir redusert og at den totale impedansen i returkretsen dermed blir redusert.

Returledning øker vindbelastningen på kontaktledningsmastene vesentlig og kan derfor ikke benyttes på hele banestrekningen.
Vedleggsrapport 4 omhandler returstrømsproblematikk.

3.4 Forsterkningsledning

En forsterkningsledning er aktuell forsterkningsmetode for å senke den ekvivalente kontaktledningsimpedansen. Man reduserer impedansen med ca. 30% dersom et kontaktledningsanlegg SYSTEM20 forsterkes med en 150mm Cu forsterkningsledning.

Utførelsen på forsterkningsledningen kan enten være at den koples til kontaktledningen med strømstiger med noen hundre meters mellomrom og elektrisk sett blir en del av denne. Forsterkningsledningen blir da seksjonert med de samme bryterne som kontaktledningen. Ulempen med denne løsningen er at man mister muligheten til å benytte forsterkningsledningen som forbigangsledning. ?

En annen utførelse er å ha nedføringer til kontaktledningen med Kl-brytere med noen kilometers mellomrom. Dette gir bedre seksjoneringsmuligheter og gir mulighet til å benytte forsterkningsledningen som forbigangsledning, men er noe dyrere og har noe dårligere elektriske egenskaper.

Forsterkningsledning er imidlertid i liten grad aktuell på strekningen mellom Kristiansand og Stavanger fordi dette vil resultere i stor vindbelastning på kontaktledningsmastene som anlegget i dag består av

3.5 Forsterkning med omformerstasjoner

3.5.1. Oppsplitting av eksisterende matestasjoner.

(Alternativ 3)

Dagens banestrømforsyning ble under elektrifiseringen av jernbanen bygd opp med 100% redundans i hver enkelt matestasjon. Dette innebar at hver matestasjon hadde et omformeraggregat i reserve dersom det skulle oppstå feil ved det aggregatet som var i drift.

Den gjennomsnitlige avstanden mellom matestasjonene er 80 km hvilket innebærer relativt store spennings- og effekttap i kontaktledningsnettet mellom omformer og lokomotiv.

Den totale installerte effekten på banestrekningen mellom Nelaug og Stavanger er på 50.4MVA. Dette er tilstrekkelig effekt for å håndtere en formidabel trafikkøring utover dagens nivå. Problemet er overføringen mellom matestasjon og lokomotiv. Dette kan utbedres ved å spre effekten utover i nettet i større grad og kan oppnås ved å splitte opp de eksisterende matestasjonene i flere små stasjoner med et aggregat pr. matestasjon. Dette gir like god redundans i nettet sett i kraftsystem-sammenheng p.g.a. den reduserte avstanden mellom matestasjonene. I tillegg halveres altså mateavstanden i gjennomsnitt og effekt- og spenningstapene reduseres til langt under halvparten av dagens verdier. Returstrømmene vil i gjennomsnitt bli redusert til halvparten av dagens verdier. Tiltaket vil få betydelig innvirkning på de signalfeilene som skyldes store returstrømmer.

Kostnadene ved denne typen matestasjoner er betraktelig mindre enn for nye statiske omformere, som i større grad er aktuell der vi har behov for økt installert effekt. P.g.a. at aggregatene har høy alder vil det være behov for omfattende revisjoner og/eller reinvesteringer i løpet av 10år.

Det skal i tillegg gjøres oppmerksom på at det vil bli et større antall ledige omformeraggregater på Dovrebanen dersom hovedplanen for denne, som innebærer bygging av fem nye statiske matestasjoner, blir vedtatt. Det kan ikke være nødvendig å opprettholde dagens kapasitet i de eksisterende matestasjonene på Dovrebanen dersom hovedplanen for Dovrebanen blir realisert. Det samme vil være tilfelle dersom man velger å forsterke strømforsyningen med utelukkende statiske omformere på Sørlandsbanen. Overskytende roterende omformer-aggregater kan da benyttes som forsterkning i andre belastede deler av nettet.

I Baneregion Sør vil vi kunne forsterke strømforsyningsnettet betraktelig dersom vi får tilført et 5.8MVA aggregat. Nettet vil få betraktelig bedre spenning, men vil ikke få vesentlig overkapasitet.

Verdien av investering i overkapasitet i strømforsyningsnettet er helt avhengig av utnyttelsen av denne overkapasiteten på et senere tidspunkt. Hvor stort potensialet spesielt for godstransport på Sørlandsbanen egentlig er virker i dag noe usikkert. Tendensen for persontrafikk synes å være hyppigere avganger med hurtigere og mindre tog som i sum ikke er vesentlig vanskeligere å håndtere strømforsyningmessig enn dagens tunge og til dels tilårskomne matriell.

Den foreslalte konfigurasjonen kan studeres skjematiske i Vedlegg alternativ 3.

Kostnader matestasjoner for roterende omformere.

Det første alternativet til forsterkning av strømforsyningen er å bygge omformerstasjoner for roterende omformere i Egersund ved Kjelland trafostasjon og på Leivoll stasjon.

Denne utbyggingen betinger at BrS kan disponere ytterligere et omformeraggregat.

I de økonomiske betraktingene forutsetter vi en restlevetid på 10år for de roterende aggregatene. D.v.s. en reinvestering i statiske omformere om 10år. Dersom restlevetiden i ettertid viser seg å være lengre vil kostnadene bli omtrent like høye i form av revisjonskostnader. *Hvorfor 10 år?*

EGERSUND ROTERENDE OMFORMER:

	LEIVOLL	INKL.15.6% INV.AVG
PROSJ.BYGGLEDELSE	500.000	578.000
PROSJEKTERING	200.000	231.200
TOMT/ADKOMST.	1.000.000	1.156.000
OLJEOPPSAMLING	300.000	346.800
BYGNING ALT INKL.	1.800.000	2.080.800
OPPSTILLINGSSPOR	1.000.000	1.156.000
ANL.BIDRAG E-VERK	2.500.000	2.890.000
FJERNKONTROLL	150.000	173.400
16kV TILKOBLING	300.000	346.800
PRØVING/IDRIFTS.	400.000	462.400
STASJONSVOGN	434.000	500.000
TOTALT	8.584.000	9.923.100 NOK

LEIVOLL ROTERENDE OMFORMER:

	LEIVOLL	INKL.15.6% INV.AVG
PROSJ.BYGGLEDELSE	500.000	578.000
PROSJEKTERING	200.000	231.200
TOMT/ADKOMST.	100.000	115.600
OLJEOPPSAMLING	300.000	346.800
BYGNING ALT INKL.	1.800.000	2.080.800
OPPSTILLINGSSPOR	1.000.000	1.156.000
ANL.BIDRAG E-VERK	10.100.000	11.675.600
FJERNKONTROLL	150.000	173.400
16kV TILKOBLING	300.000	346.800
PRØVING/IDRIFTS.	400.000	462.400
STASJONSVOGN	434.000	500.000
TOTALT	15.284.000	17.666.600 NOK

Engangsinvesteringen i 1995-1996 vil beløpe seg til 9.923 + 17.666mill.NOK = 27.589mill.NOK.

Behovet for reinvestering i statiske omfomere om 10år gir imidlertid totalinvesteringen en nåverdi på 76.540mill.NOK.

Det forutsettes da at investeringen i forhold til idag reduseres med 7% i 10år og at restverdien er 40% om 25år.(10år av 25år) og denne verdien reduseres med 7% i 25år.

3.5.2. Statiske omformere.

(Alternativ 2)

Den forsterkningsløsningen som gir den beste kvaliteten i strømforsyningsnettet er å bygge statiske omformere på Kjelland(Egersund) - og på Leivoll.

Dette gir en betydelig overkapasitet i nettet dersom det ikke må avgis omformeraggregater til de øvrige regioner.

Det er pr. i dag ikke satt noen kriterier for nødvendig overkapasitet i banestrømforsyningen i NSB.

Dersom dette tiltaket skal bli lønnsomt må det forutsettes en formidabel øking både i lokaltrafikken på Jærbansen og i godstrafikken mellom Oslo og Stavanger.

Ulempen er at man får relativt lav brukstid (utnyttelse) på den installerte effekten og at "overføringstariffen" pr. kWh blir relativt høy. (SE VEDLEGG ALTERNATIV 2)

Kostnader:

**LEIVOLL STATISK OMFORMER DERSOM DET IKKE BYGGES ROTERENDE
OMFORMER OG 110kV KOSTNADEN MÅ BELASTES DETTE PROSJEKTET.**

	LEIVOLL	INKL.15.6% INV.
OMFORMER	35.000.000	40.250.000
PROSJEKTERING	500.000	500.000
PROSJ.LEDELSE	1.000.000	1.000.000
PERS.KOSTNAD	1.000.000	1.000.000
TOMT.OPPARB.	500.000	578.000
ANL.BIDRAG. E-VERK	7.400.000	8.554.400
TOTALT	45.400.000	51.882.400

EGERSUND STATISK OMFORMER:

	EGERSUND	INKL.15.6% INV.AVG
OMFORMER	35.000.000	40.250.000
PROSJEKTERING	500.000	500.000
PROSJ.LEDELSE	1.000.000	1.000.000
PERS.KOSTNADER	1.000.000	1.000.000
TOMT.OPPARBEID.	1.500.000	1.725.000
ANL.BIDRAG	2.500.000	2.875.000
TOTALT	41.500.000	47.350.000 NOK

Totalkostnadene blir altså summen av Leivoll og Egersund =99.230 mill.NOK.

3.5.3. Kombinert statisk og midlertidig roterende omformer.(Alternativ1)

Det mest aktuelle omformeralternativet som foreligger pr. i dag er å forsterke nettet med en statisk omformer i Egersund og bygge en matestasjon med en roterende omformer på Leivoll. Dette synes å være det mest aktuelle alternativet med hensyn på pris og kvalitet på strømforsyningsanleggene.

Det optimale for BrS er å få tilført et overskytende omformeraggregat som ikke er i bruk fra de øvrige regioner. Vi vil da beholde den omformerkonfigurasjonen som vi har i dag med en 5.8MVA omformer på Leivoll og en 2x6MVA omformer i Egersund (Kjelland). (Se vedlegg alternativ 1)

Dersom BrS ikke kan disponere flere roterende aggregater, vil vi prioritere å flytte et 5.8MVA aggregat fra Ganddal til Leivoll og plassere dette i den nye omformerstasjonen. Dette vil innebære en mindre overkapasitet på strømforsyningen på Jærbanen men vil teknisk sett være en akseptabel løsning fordi den statiske omformeren kan styres på en slik måte at den tar en relativt større del av lasten i dette området. Dette kan bli spesielt aktuelt i forbindelse med den nye fjernkontrollen som nå blir prosjektert i BrS som kan konstrueres for å overvåke belastningssituasjoner.(Se vedlegg 1.2)

Kostnadene med denne løsningen vil være i størrelsesorden:

LEIVOLL ROTERENDE OMFOMRER:

	LEIVOLL	INKL.15.6% INV.AVG
PROSJ.BYGGLEDELSE	500.000	578.000
PROSJEKTERING	200.000	231.200
TOMT/ADKOMST.	100.000	115.600
OLJEOPPSAMLING	300.000	346.800
BYGNING ALT INKL.	1.800.000	2.080.800
OPPSTILLINGSSPOR	1.000.000	1.156.000
ANL.BIDRAG E-VERK	10.100.000	11.675.600
FJERNKONTROLL	150.000	173.400
16kV TILKOBLING	300.000	346.800
PRØVING/IDRIFTS.	400.000	462.400
STASJONSVOGN	434.000	500.000
TOTALT	15.284.000	17.666.600 NOK

EGERSUND STATISK OMFORMER:

	EGERSUND	INKL.15.6% INV.AVG
OMFORMER	35.000.000	40.250.000
PROSJEKTERING	500.000	500.000
PROSJ.LEDELSE	1.000.000	1.000.000
PERS.KOSTNADER	1.000.000	1.000.000
TOMT.OPPARBEID.	1.500.000	1.725.000
ANL.BIDRAG	2.500.000	2.875.000
TOTALT	41.500.000	47.350.000 NOK

LEIVOLL STATISK OMFORMER DERSOM ROTERENDE OMFORMER BYGGES FØRST, OG DET ER FRAMFØRT 110kV TIL BYGGETOMT.

	LEIVOLL	INKL 15,6% AVG.
OMFORMER	35.000.000	40.460.000
PROSJEKTERING	500.000	500.000
PROSJ.LEDELSE	600.000	500.000
PERS.KOSTNAD	600.000	600.000
TOMT.OPPARB.	200.000	231.000
ANL.BIDRAG E.VERK.	INKL.	
TOTALT	36.900.000	42.391.200

Totalt gir dette alternativet et investerings- og reinvesteringsbehov på **80.573 mill.NOK.** (Leivoll statisk omformer er da redusert investering med 7% i 10år og har en restverdi på 40% av investeringssum om 25år.(10 av 25år levetid er løpt)).

3.6 Forsterkning med høyspent mateledning (Alternativ 5)

3.6.1 Høyspentlinje mellom Kristiansand og Stavanger. (Se vedlegg alternativ 5)

Alternativer med høyspent mateledning går ut på at man bygger en høyspent linje som tangerer/krysser jernbanen i de ideelle matepunktene som er midt mellom Krossen og Sira (Audnedal) og Sira og Ganddal (Egersund).

Funksjonen til høyspentlinjen er at den tilkoples enfasesiden på omformerne via en enfase-transformator (16/130kV). Man kopler så tilsvarende transformatorer til kontaktledningen i de punktene man ønsker ytterligere mating.

Fordelen med denne løsningen er at man i prinsippet investerer i overføringsevne. Totalt sett har man tilstrekkelig stor installert effekt i denne delen av nettet dersom man kan få den overført til de punktene med dårligst spenning.

Engangsinvesteringen med høyspentlinje kan synes noe høy, men man må ta i betraktning at man behøver å investere i mindre effekt i fremtiden ved eventuell øking i trafikken p.g.a. at den effekten man investerer i kan forbrukes på en større del av banestrekningen.

Investeringer:

Høyspentlinje:

Trasé Krossen-Audnedal	30,9 km	11,9 mill. kr
Trasé Audnedal-Sira	54,1 km	26,5 mill. kr
Trase Sira-Egersund	40,6 km	15,8 mill. kr
Trase Egersund-Ganddal	<u>52,4 km</u>	<u>17,8 mill. kr</u>
Totalt	177,6 km	72,0 mill. kr

5 trafost. m/kopl anlegg á 15 mill. kr	<u>75,0 mill. kr</u>
--	----------------------

Totalt for løsning m.mateledning	<u>147.0 mill. kr</u>
----------------------------------	-----------------------

**3.6.2. Bygging av høyspent mateledning på deler av banestrekningen
(Vedlegg 3.3)
(Alternativ 6)**

En alternativ løsning til å bygge mateledning på hele strekningen er å bygge en ca. 95 km lang ledning som mater fra Sira og i begge retninger, d.v.s. til Egersund og til Audnedal.

Det er noe usikkert hvorvidt man behøver å utvide omformer-kapasiteten i Sira ved denne utbyggingen. Det kan synes innlysende at belastningen på Sira omformer vil øke med en delvis mateledning p.g.a. at matestrekningen til denne omformeren vil øke med ca. 50 km. Samtidig blir imidlertid nettapene redusert p.g.a. at effekten blir overført på høyere spenningsnivå enn tidligere.

Vi vurderer det imidlertid som sannsynlig at omformer-kapasiteten må økes.
(Se vedlegg alternativ 5.)

Kostnader:

Trasé Audnedal-Sira	54,1 km	26,5 mill. kr
Trase Sira-Egersund	40,6 km	15,8 mill. kr
3 trafostasjoner m/kobl.anl. á 10 mill.	<u>30,0 mill. kr</u>	
Totalt		72,3 mill. kr
Omformer 2x6MVA(2x8MVA)		<u>40,0 mill. kr</u>
Totalt m/2X6MVA omformer		112,3 mill. kr
Omformer 2x14MVA		<u>70,0 mill. kr</u>
Totalt m/2x14MVA omformer		142,3 mill. kr

*Samtlige utbyggingsalternativer baserer seg på bygging av
matestasjoner/trafostasjoner i NVS's klasse 2.*

3.7 Forsterkning med 50Hz strømforsyning.

En mulig forsterkning/ombygging av strømforsyningen vil være å legge om banestrømforsyningen til 25kV-50Hz strømforsyning.

Dette vil redusere investeringene ved bygging av nye matepunkter p.g.a. at man ved overgang til 50Hz unngår omformer-stasjoner.

Det som kan nevnes er at de matepunktene som det er forutsatt benyttet i denne hovedplanen er identiske med det minimum av matepunkter man vil behøve med 50Hz strømforsyning. Ved en eventuell framtidig overgang til 50Hz vil dermed den høyspente framføringen til omformerstasjonene i Egersund og på Leivoll kunne benyttes direkte. Disse investeringer utgjør 15 mill. kr av totalinvesteringene.

3.8 Kapasitetsøkning på banestrekningen

Forsterkningen som blir valgt må vurderes etter følgende kriterier: Forventet trafikkøking(rimelig overkapasitet) , krav til spenningskvalitet og rimelig belastningsgrad for omformerstasjonene.

Litt bakgrunn omkring beregningene.

3.8.1 Simuleringsmetoder.

Simuleringene som er utført er basert på å beregne spenningsforholdene i nettet ved gitte lastuttak. Vi har bygd opp simuleringsmodell i simuleringsprogrammet ACCAN. Som basis er effektuttaket satt til 80% av maks. effekt på alle tog på banestrekningen. En analyse av målingen i kombinasjon med simuleringene gir at 68% pådrag på lokomotivene er den dimensjonerende gjennomsnitts-verdien.(For Sørlandsbanen). Simuleringene viser så hvordan spenningforholdene er i nettet samt hvordan hver enkelt omformer er belastet i dag. Vi har valgt tre tidspunkter for simulering. Den plasseringen togene har kl 1845, 1930 og 2100.

Det essensielle i disse resultatene er i prinsippet den spenningsøkingen man får ved de enkelte tiltak i nettet ved en bestemt driftssituasjon.

3.8.2 Bruk av målinger i nettet.

Den mest fornuftige bruk av simuleringer videre er å foreta målinger i nettet og sammenligne med simulering-resultatene.

Dersom man på en gitt banestrekning har en kontaktlednings-spenning på 11.5kV, og på den samme banestrekningen simulerer en spenning på 13.5kV. Da er en god tilnærmelse at differansen mellom de reelle forhold i nettet og de simulerte forhold er ca. 2kV. Når det gjelder effektflyt beregnes det at simuleringene er korrekte +/-10% for effekt, noe større usikkerhet for reaktiv effekt.

Videre simulerer man tilsvarende nett med forsterkning og får en spenning på 15.5kV i samme punktet, trekker fra differansen på 2.0kV og står med en antatt nettspenning på 13.5kV. Med de belastningsdata og simuleringssverktøy som BrS pr. idag rår over er dette den beste tilnærmelsen. Erfaringene ved simuleringene viste at et pådrag på 68% av maks. pådrag ga en tilsvarende lastesituasjonen som den målte topplasten.

Målingene som er utført er gjort på et El 17 lokomotiv.

4.0 NYTTE-/KOSTANALYSE AV FORSTERKNING AV STRØMFORSYNINGEN PÅ SØRLANDSBANEN

Det anbefalte tiltaket på Sørlandsbanen med en statisk omformer i Egersund med ytelse inntil 2x8MVA og en roterende omformer på 5.8MVA på Leivoll stasjon som reinvesteres med en 2x8MVA omformer om 10år. Restverdien settes til 40%(10 av 25år total levetid) av nåverdien ved en investering om 10 år.

Vurderingen av nytten av dette tiltaket ligger på den bedriftsøkonomiske siden spesielt på infrastrukturens kapasitetsøking m.h.p. godstransport, reduserte energitap i kontaktledningsanlegget p.g.a. kortere mateavstander mellom matestasjon og lokomotiv.

På den samfunnsøkonomiske siden ligger besparelsen i kortere kjøretid med framtidige ruteopplegg, bedre regularitet p.g.a. større redundans (overkapasitet m.h.p. utfall) i nettet. Dette gjelder spesielt i områder der det er eller forventes stor trafikkettethet. Antall signalfeil som skyldes stor returstrøm vil også bli drastisk redusert mellom Sira og Ganddal spesielt.

4.1 Reduserte energitap.

I dagens nett har vi som nevnt lange mateavstander (113 km mellom Ganddal og Sira og 101 km mellom Sira og Krossen).

4.1.1 Reduserte omformertap.

Totalt innkjøpt energi til disse tre omformerne var i oktober 1993 3.526.000kWh. Ifølge nøkkel tall for tapsfaktor i roterende omformer er 15%(500.000kWh) av dette tap i roterende omformer. Vi kan anslagsvis regne med at halvparten av energien som er levert fra Ganddal og Sira (2.3GWh) vil bli overført til omformeren i Egersund. Tapene i en statisk omformer er gjennomsnittlig 4%. D.v.s. vi får en reduksjon i tapene på $(2.3\text{GWh}/2)*(15\%-4\%) = 126.000\text{kWh/måned}$.

4.1.2 Reduserte kontaktledningstap.

Som nevnt vil den gjennomsnittlige matestrekningen mellom matestasjonen og lokomotivet bli halvert dersom det bygges nye matestasjoner .

Ifølge ovenforstående utregninger ble det i oktober 1993 forbrukt 3GWh ut fra matestasjonene. (Ganddal, Sira og Krossen). De utførte beregningene baserer seg på at lokomotivene har samme forbruksmønster uavhengig av posisjon i forhold til matestasjonene.

Sørlandsbanen mellom Krossen og Ganddal er meget kupert med lange stigninger noe som får store konsekvenser spesielt m.h.p. godstog. Disse representerer også definitivt de største tapene p.g.a. at tapene avhengig av mateavstanden øker i ca. 3. potens med strømforbruket.

Regneeksemplet baserer seg på et tog med uttak på 400A på 30% av strekningen. 250A på 30% av strekningen og 100A på de øvrige 40% av strekningen. Kontaktledningsimpedansen settes til 0.3ohm/km.

Som regne eksemplet viser er besparelsen $210.000 + 126.000 \text{ kWh/måned} = 4.000.000 \text{ kWh/år}$.

Det må imidlertid nevnes at dette er å betrakte som en gjennomsnittsverdi der omrent samtlige parametre umotsigelig kan variere. Med en frentidig gjennomsnittlig strømpris på 50øre/kWh (levert omformer) er besparelsen 2 000 000 kr/år.

4.2 Redusert kjøretid.

Problematikken omkring vurdering av mulig redusert kjøretid som funksjon av forsterket strømforsyning er at det må gjøres vurderinger av konkrete ruteplaner.

Det som kan sies generelt er at det i dag er umulig å øke godstogtettheten i de pressede periodene. Det er utelukket at godstogene i dag kan øke kjørehastigheten i stigningene.

Dette gir svært liten fleksibilitet m.h.t. endring til nye ruteplaner. Gevinsten med forsterkning av strømforsyningen vil altså i dårligste fall resultere i større fleksibilitet til å kjøre tog når kundene ønsker dette.

Som en gjennomsnittsverdi forutsetter vi en gjennomsnittlig tidsgevinst på 5 min. på personotogene mellom Stavanger og Kristiansand p.g.a. bedret trekraft og større fleksibilitet for krysningsmuligheter.

Verdien av dette vil med utgangspunkt i at de 336.000 passasjerene som passerer Sira årlig får 5 min. kortere reisetid og en gjennomsnittlig timeverdi (regnet ut fra reisehensiktsfordeling) på 45,- kr/time gi en årlig innsparing på 1 260 000 kr/år.

Innsparte lønnsutgifter for lokfører (300,- kr/time) og konduktør (250,- kr/time) er 550,- kr/time pr. tog. Med utgangspunkt i 12 person tog daglig, 360 dager i året og fem minutter innspart kjøretid gir dette reduserte lønnsutgifter på 198 000,- kr/år.

4.3 Bedret regularitet.

Ifølge feilstatistikken for 1993 var det i løpet av året rapportert 30 feil/uregelmessigheter p.g.a lav eller fraværende kontaktledningsspenning som ikke er forårsaket av kontaktledningsproblemer med konsekvenser for trafikken. Dette må vurderes som relativt mye p.g.a. at et fåtall av slike uregelmessigheter blir registrert dersom de ikke har svært store konsekvenser for trafikken eller de blir registrert som annen type feil.

4.3.1 Reduserte konsekvenser ved KI-strømforsyningsfeil:

P.g.a. en forbedret mulighet for å mate fra flere punkter vil konsekvensene av KI-feil bli betraktelig mindre. Vi regner med at forsinkelsene kan reduseres med 75%.

30 feil t.o.m. oktober 1993 på en gjennomsnittlig varighet på 30 minutter som berører fem tog. D.v.s. 390 personer * 900 minutter * 90,- kr/time = 6000,- kr/år.

4.3.2 Reduserte konsekvenser ved signalfeil:

Signalfeilene kan deles inn i forskjellige kategorier. De signalfeilene som blir forårsaket at store returstrømmer er feil som med stor sannsynlighet vil reduseres dersom det innføres flere matepunkter. Returstrømmen vil i gjennomsnitt halveres ved en innføring av to nye matepunkter. Dette vil føre til at de feilene som skyldes belastningsbelegg vil reduseres med minst 50%.

Omfangen av disse feilene er meget stort. Tallmatrialet som beskriver feilene er ikke nyansert nok til at det kan leses ut hvilke feil som ikke ville oppstått dersom returstrømmen hadde blitt halvert. Disse anslås i denne omgang til 1 mill. kr pr .år, men anses for å være langt høyere reelt sett.

4.4 Økt potensial for godstransport.

Det er som nevnt i dag ikke mulig å øke transportkapasiteten på Sørlandsbanen utover dagens kapasitet i de mest trafikkerte periodene.

Det er et satsningsområde i NSB i dag å øke markedsandelen på transport av gods over lengre strekninger. Det er imidlertid ikke mulig å finne nøkkeltall for verdien av det økte godstransportpotensialet NSB vil få ved forsterket banestrømforsyning. Fordelen med forsterket banestrømforsyning er en større fleksibilitet m.h.p. når på døgnet gods kan fraktes, d.v.s. man øker kvaliteten på transporten. Det er i denne omgang spesielt interessant å fokusere på transporten fra Stavanger mot Oslo der banestrømforsyningen er spesielt belastet mellom kl. 1730 og kl. 2030. Dette representerer imidlertid den klart mest attraktive delen av døgnet for transport mot Oslo. Uansett hvilke øvrige tiltak NSB iverksetter for å øke kapasiteten på godstransporten vil denne være begrenset av strømforsyningen for de mest pressede periodene.

Det er i N/K-beregningene på de påfølgende sidene regnet med en økning i godstrafikken på mellom 1 og 5 mill. NOK pr. år.

4.5 Sammendrag av N/K-betraktning for BrS.

alt		alt1	alt2	alt3	alt4	alt5
kostnad						
total invest. nåverdi		80.573	99.232	76.540	147.000'	118.000
årlig annuitet		6.913	8.515	6.568	12.614	10.126
vedlike hold		100		400		
TOTAL KOSTN.		7.013	8.515	6.968	12.614	10.126
nytte						
energi						
-omf.tap		972	1.296			
-kl.tap		1.300	1.300	1.300	1.300	1.300
kjøretid						
-pass		1.260	1.260	1.260	1.260	1.260
-pers		200	200	200	200	200
feilfrek.						
-strømf		50	50	50	50	50
-signal		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
økt pot. godstr.		3.000	3.000	2.500	3.000	3.000
TOTAL NYTTE		7.782	8.106	6.310	6.810	6.810
N/K-brøk		1.11	0.95	0.91	0.53	0.67

FØLSOMHETSANALYSE AV N/K-BEREGNING

Vi ønsker å anskueliggjøre hvilke utslag endringer i forutsetninger i N/K-beregningen har for sluttbrøken:

- EKS1: Strømprisen økes til 75 øre/kWh og energibesparelsen gir ytterligere 50% uttelling.
- EKS2: Strømprisen økes til 100 øre/kWh. (Europeisk nivå).
- EKS3: Potensial for godstransport settes til 4 mill.NOK/år for alternativ1, 3mill.NOK for alternativ2 og 5mill.NOK for alternativ 3, 4 og 5.
- EKS4: Samme som eks3 men strømprisen settes til 50 øre/kWh.

kostn	alt1	alt2	alt3	alt4	alt5
Eks1	N=8.918'	N=9.404'	N=6.960'	N=7.460'	N=10.126'
	K=7.013'	K=8.515'	K=6.968'	K=12.614'	K=7.460'
	N/K=1.27	N/K=1.10	N/K=0.99	N/K=0.59	N/K=0.74
Eks2	N=10.054'	N=10.701'	N=7.610'	N=8.110'	N=8.110
	K=7.013'	K=8.515'	K=6.968'	K=12.614'	K=10.126'
	N/K=1.43	N/K=1.26	N/K=1.09	N/K=0.64	N/K=0.8
Eks3	N=11.054'	N=12.702'	N=8.110'	N=10.110'	N=10.110'
	K=7.013'	K=8.515'	K=7.013'	K=12.614'	K=10.126'
	N/K=1.57	N/K=1.49	N/K=1.16	N/K=0.80	N/K=0.99
Eks4	N=11.054'	N=10.126'	N=8.110'	N=8.710'	N=8.710'
	K=7.013'	K=8.515'	K=6.968'	K=12.614'	K=10.126'
	N/K=1.25	N/K=1.19	N/K=0.98	N/K=0.69	N/K=0.86

Som tabellen viser blir alternativ 2(statiske omformere) lønnsom i større og større grad dersom overskuddskapasiteten i nettet utnyttes.

4.6. Forutsetninger for nytte-/kostnadsvurderingen:

Reisehensiktfordeling Kristiansand - Stavanger.

	Innspart kjøretid	Reduserte forsinkelser
I jobb:	15,5%	á kr 179,90
Til/fra jobb	12,0%	á kr 50,70
Fritidsreiser	72,5%	á kr 42,10
Totalt		kr. 45,00/time
		<u>84,20</u>
		90,00 kr/time

Gjennomsnittlig forsinkelse ved signalfeil = 15 min. * 2 tog.

Gjennomsnittlig forsinkelse ved Kl-feil = 100 min. * 5 tog.

Antall passasjerer pr. tog =

(Totalt 1992(336.000)/360 dager)/12 tog = 78 passasjerer.

(336.000 passasjerer passerte Sira i 1992).

P.g.a sviktende tallmateriale, spesielt m.h.p. de strategiske satsingsområdene til NSB som går på langtransport av gods (Stavanger - Oslo og Kristiansand - Oslo). Det har i skrivende stund ikke vært mulig å få svar på henvendelse til Godsdivisjonen for å få vurdert verdien av økt transportkapasitet og -kvalitet. (Transport i rett tid på døgnet) på strekningen Kristiansand - Stavanger. Tallmaterialet vi disponerer m.h.p. signalfeil er pr. i dag ikke nyansert nok til at vi kan gjøre eksakte beregninger på returstrømmens økonomiske konsekvenser, men det er hevet over tvil at vi berører store årlige samfunnsøkonomiske kostnader her.

Ingeniørtjenesten vil omgående bli engasjert for å verifisere rapportens resultater.

5. SIMULERINGER

5.1 Konklusjon:

Konklusjonen på dette må bli at forsterkningene i nettet gir en betraktelig bedre spenningskvalitet på strekningen mellom Stavanger og Kristiansand uten at det medfører vesentlig overbelastning på noen omformerstasjoner.

Det synes som retningsgivende å simulere med 68% pådrag på togene for å gi et mest mulig realistisk bilde av last-situasjonen på Sørlandsbanen i dag.

Verktøy:

Simuleringene som er gjort i BrSs nett er utført med nettberegningsverktøyet ACCAN utviklet av O.W.Andersen ved NTH. Programmet kan kjøres på IBM-kompatible PC-er og gir løsninger for opptil 225 sinusvariable spenninger og strømmer. Resultatene av spenninger, strømmer, fasevinkler og effekter kan presenteres på et kretsskjema.

ACCAN brukes ved at tilstanden i nettet beregnes ved et gitt tidspunkt, altså en statisk analyse. Ved å bruke en grafisk togrute kan man finne når det er størst togtetthet og hvor de enkelte togene befinner seg ved et gitt tidspunkt. Etter at togenes plassering er funnet kan kontaktledningsimpedanser mellom togene og omformerstasjonene/kondensatorbatteriene beregnes. Disse brukes til å lage en modell av nettet som forsyner togenes lastuttak. Lastuttaket er angitt med aktiv og reaktiv effekt.

5.2 Modellering av NSBs jernbanenett:

Jernbanenettet består av kontaktledningsanlegg, serie-kondensatorbatterier, transformatorer, forsterkningsledning, matestasjoner og eventuelt mateledninger. Disse komponentene er det nødvendig å modellere.

Forutsetninger i modelleringen.

Alle anleggene (omformere, transformatorer og kondensatorbatterier) er forutsatt å fungere på beste måte. Kontaktledningen er forutsatt samkjørt langs strekningen og kontakttråden er antatt slitasjefri. Det er heller ingen ekstratog eller forsinkelser som gir økt togtetthet.

5.3 Matestasjoner

I ACCAN er en omformerstasjon representert som en strømkilde. Spesifisert spenning U i knutepunkt X er spenningen på 16 kV samleskinne i omformerstasjonene. $U=U_0 + \text{coeff} * \text{ABS}(I)$, hvor I er absoluttverdien til strømmen. Parametrene som skal oppgis er minste spenning U_0 , maksimal spenning U_{\max} og coeff. Disse er valgt slik at spenningen U stiger fra 16.2 til 16.5kV fra tomgang til merkelast. Modellen inneholder også omformeraggregatenes fasevinkelendring som funksjon av strøm og effektfaktor.

I hver omformerstasjon på strekningen i dagens anlegg er det installert to aggregat. Simuleringsverktøyet betrakter matestasjonen som om den består av ett aggregat.

Kontaktledningsannlegget blir modellert som en konsentrert linjeimpedans angitt i ohm/km $R=X=0.21\text{ohm}/\text{km}$, d.v.s $Z=0.3\text{ohm}/\text{km}$.

5.4 Trekkraftmateriell

Fastsettelse av togenes pådrag er det største problemet ved modelleringen av systemet. Togenes pådrag avhenger av kurvatur, effektuttak, effektfaktor pluss en del vanskelig forutsigbare parametere som den enkelte lokførers kjørestil, føreforhold o.s.v.

5.5 Forutsetninger for øvrig

Modelleringen og simuleringene vil være en grov representasjon av det som virkelig skjer i det fysiske systemet. Det er antatt en ideell driftssituasjon d.v.s.:

- Ingen forsinkelser i trafikken.
- Ingen ekstratog.
- Samtlige aggregat i omformerne er i drift.
- Det er ikke tatt hensyn til vern og releer.
- Kontaktledningen er ikke oppseksjonert d.v.s. samkjøring.
- Effektfaktoren er konstant.
- Effektuttaket er satt til min. 68% og maks.100%.

5.6 Modelleringenes driftssituasjoner:

Tidspunkt kl 1845, 1930 og 2100. Dette er typiske tunglast-situasjoner med tidspunkt kl 1930 som den mest krevende. 68% effektuttak regnes som et rimelig gjennomsnitt i tunglast. - R 93

Utfallsanalyse:

Tilstanden i nettet ved utfall av omformeraggregat i Krossen og Ganddal med forsterket nett.

5.7 Analyse av simuleringsresultater.

Driftssituasjon kl 1845.

Vedlegg 1 viser effektflyten og spenningene kl 1845 ved 80% pådrag. Laveste spenning er da 14.79kV, d.v.s. akseptabel spenning. Ganddal omformer er da mest belastet med en belastning på 76.5%.

Vedlegg 4 viser tilsvarende situasjon med forsterket nett. Laveste spenning er nå hele 15.18kV. Størst belastning er på Ganddal omformer med en belastningsgrad på 78.5%. Spenningen regnes ikke som noe problem i den forsterkede driftssituasjonen. Belastningen kan dermed økes med $((100/78.5)*100\% - 100\% = 27\%$ uten at omformerbelastningen overstiger 100%. (En omformer kan imidlertid overbelastes inntil 50% i 6min.)

Driftssituasjonen kl 1845 synes relativt uproblematisk.

Driftssituasjon kl 1930.

Vedlegg 2 viser tilsvarende situasjon kl 1930. Laveste spenning er da 12.82kV som er 1.18kV under minstekravet på 14kV. Dette er en spenning som er altfor lav og nettet må forsterkes. Sira er den hardeste belastede omformerstasjonen i denne driftssituasjonen med en belastning på 94%. Dette stemmer godt overens med driftserfaringen i BrS.

Vedlegg 5 viser driftssituasjonen kl 1930 når nettet er forsterket med to nye matestasjoner. Laveste spenning er da 15 kV på et EI 16 lokomotiv. D.v.s. at man har et potensiale på 1.5 kV før grensen for laveste spenning nås. Som vedlegget viser er imidlertid Egersund omformer overbelastet i denne driftssituasjonen.

Vedlegg 10 viser tilsvarende driftssituasjon med stiv spenning på 16.5kV i alle matepunkter. Belastningen på Egersund omformer reduseres da til 133%.

Vedlegg 19 viser videre belastningsgraden ved 16.5kV stiv spenning i alle matepunkter unntatt Egersund som har 16.0kV. Belastningen i Egersund reduseres nå ytterligere til 117% ved 80% pådrag på lokomotivene.

Simuleringer i relasjon til utførte målinger kl 1930.

Dagens belastning på Sira omformer er 94% med de forutsetninger vi har gjort ved våre simuleringer med 80% belastning på samtlige lokomotiver.

Målingene i målerapporten viser at de strømbelastningene som har synlig brukstid på utskriftene ikke overstiger 80% av maks installert effekt. Nedskaleres belastningen fra de målte verdiene over på den simulerte kan vi redusere den med 15%. D.v.s. at belastningeni Egersund i det forsterkede nettet ikke vil overstige 100% i nominell last.

Vedlegg 7 viser belastningen ved 100% belastning kl 1930. Laveste spenning er da 14.71kV og fremdeles innenfor spenningsgrensen på 14kV.

Nå er imidlertid Egersund omformer hele 174% belastet og har en meget stor reaktiv produksjon.

For å bøte på dette kan omformernes spenningskarakteristikk endres slik at Egersund får en lavere spenning enn det øvrige nettet tilsvarende simuleringene med 80% belastning.

Driftssituasjon kl 2100.

Vedlegg 3 viser driftssituasjonen kl 2100. Som vi ser er Krossen omformer hardest belastet med en belastningsgrad på 94% i dagens driftssituasjon. Laveste spenning i denne driftssituasjonen er 13.51kV, d.v.s like innenfor minstespenningen på 13.5kV.

Belastningen i Laudal er 123%. Vedlegg 20 viser imidlertid driftssituasjonen ved stiv spenning på 16.0kV i Laudal og 16.5kV i det øvrige nettet. Laudal omformerstasjon har nå en belastning på 93%.

Simuleringene sett i relasjon til utførte målinger:

Som målerapporten viser er belastningene som har målbar brukstid i Krossen ikke over 80%. D.v.s. at vi kan nedskalere belastningene til $((80/94)*100\%)=85\%$ tilsvarende det vi gjorde ved tidspunkt kl.19.30. Belastningen i Laudal blir da $93\%*0.85= 79\%$.

Utfallssituasjoner:

De mest kritiske utfallene vi kan få i nettet er dersom en omformer i Ganddal faller ut eller at Krossen omformer faller ut.

Vedlegg 4 viser driftssituasjonen ved utfall av Ganddal omformer med 80% pådrag. Den operative omformeren i Ganddal vil da overbelastes med 57%. Som den øvrige sammenstillingen viser kan denne overbelastningen begrenses med ca. 25 - 30% ved å senke spenningen i omformeren i Ganddal og eventuelt heve spenningen i det øvrige nettet dersom feilsituasjonen er av lengre varighet. Som tidligere nevnt er den mest realistiske pådragsverdien ca. 68%. Kombinasjonen av disse tiltakene vil begrense overbelastningen til under 10%.

Vedlegg 21 viser utfall av Krossen omformer med 80% pådrag.

Overbelastningen på Laudal omformer er da hele 97%. Ved å redusere pådraget til 68% og senke spenningen til 15kV i Laudal ble overbelastningen redusert til 20% i denne driftssituasjonen.

VEDLEGG:

De fem første vedleggene viser forsterkningskonfigurasjonene som er drøftet. Det er henvist til disse i rapporten undre kapittel 3.5.

Vedlegg alternativ 1	Kombinert løsning med reinvestering i statisk omf.
Vedlegg alternativ 2	Statiske omformere
Vedlegg alternativ 3	Roterende omformere med reinvest i statiske omf.
Vedlegg alternativ 4	Høyspent mateledning
Vedlegg alternativ 5	Delvis mateledning

Skisse over tapsberegningene på kontaktledningsnettet i:

Vedlegg N/K

De viktigste lastflytanlysene som er utført følger som vedlegg til denne simuleringsrapporten.

Kommentarer til vedleggene:

De seks første vedleggene er beregninger av standard belastning med og uten forsterket nett.

Vedlegg 1:	Dagens situasjon kl 1845, 80% pådrag.
Vedlegg 2:	Dagens situasjon kl 1930, 80% pådrag.
Vedlegg 3:	Dagens situasjon kl 2100, 80% pådrag.
Vedlegg 4:	Forsterket nett, kl 1845, 80% pådrag, utfall av et aggregat i Ganddal.
Vedlegg 5:	Forsterket nett, kl 1930, 80% pådrag.
Vedlegg 6:	Forsterket nett, kl 2100, 80% pådrag.
Vedlegg 7:	Forsterket nett, kl 1930, 100% pådrag.
Vedlegg 8:	Forsterket nett, kl 2100, 100% pådrag.
Vedlegg 9:	Forsterket nett, kl 1930, 100% pådrag og endret regulatorkarakteristikk i Egersund.
Vedlegg10:	Forsterket nett, kl 1930, 80% pådrag og stiv spenning i alle matepunkter.
Vedlegg11:	Forsterket nett, kl 1930, 100% pådrag og 16.5kV stiv spenning i alle matepunkter utenom Egersund som har 16.0kV.
Vedlegg12:	Forsterket nett, kl 1930, 100% pådrag og 8 kondensatorbatterier.
Vedlegg13:	Forsterket nett, kl 1845, 80% pådrag og 8 kondensatorbatterier.
Vedlegg14:	Forsterket nett, kl 1845, 90% pådrag og 8 kondensatorbatterier.

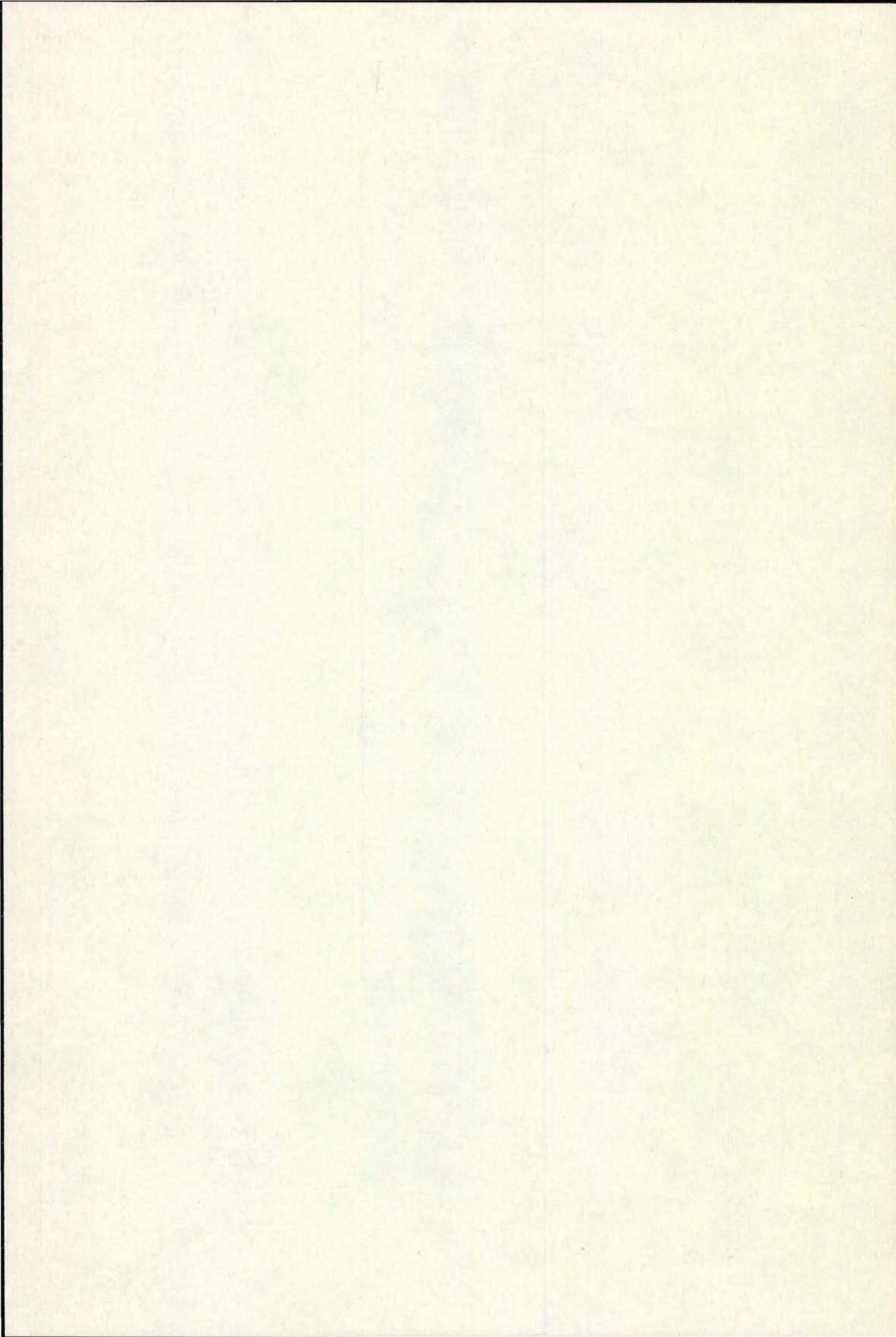
- Vedlegg15:** Forsterket nett, kl 1845, 100% pådrag og 8 kondensatorbatterier.
- Vedlegg16:** Forsterket nett, kl 1845, 100% pådrag, 8 kondensatorbatterier og 16.5kV stiv spenning.
- Vedlegg17:** Forsterket nett, kl 2100, 90% pådrag, 8 kondensatorbatterier.
- Vedlegg18:** Forsterket nett, kl 2100, 100% pådrag, 8 kondensatorbatterier.
- Vedlegg19:** Forsterket nett, kl 1930, 80% pådrag, 16kV i Egersund, 16.5kV i øvrige matepunkter.
- Vedlegg20:** Forsterket nett, kl 2100, 80% pådrag, 16kV i Laudal, 16.5kV i øvrige matepunkter.
- Vedlegg21:** Forsterket nett, kl 2100, 80% pådrag, utfall av Krossen omformer.
- Vedlegg22:** Forsterket nett, kl 2100, 80% pådrag, utfall av Krossen omformer, 16.5kV stiv spenning unntatt Laudal som har 16.0kV.
- Vedlegg23:** Forsterket nett, kl 2100, 68% pådrag, utfall av Krossen omformer, 16.5kV stiv spenning unntatt Laudal som har 15.0kV.

Vedleggsrapport 1: Målinger i nettet

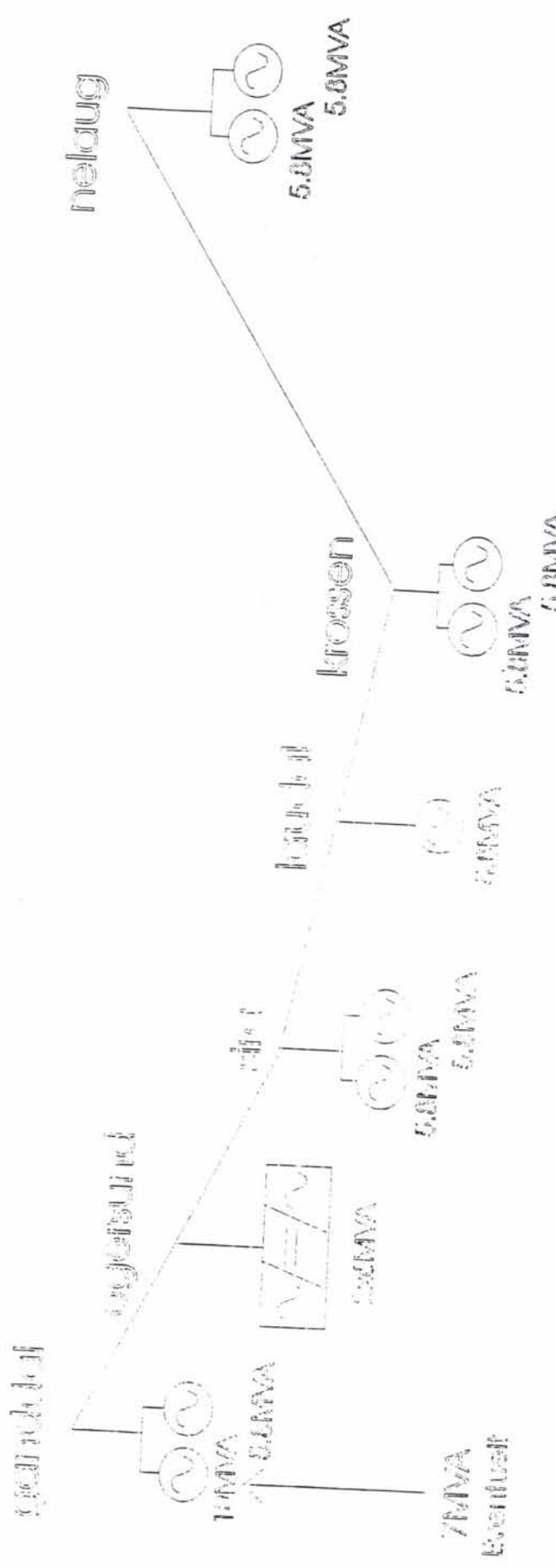
Vedleggsrapport 2: Oppdragrapport Tron Horn

Vedleggsrapport 3: Beregninger av strømforsyningen v/C.E.Hillesund.

Vedleggsrapport 4: Vurdering av returstrømkretsen.Rune Øverås.

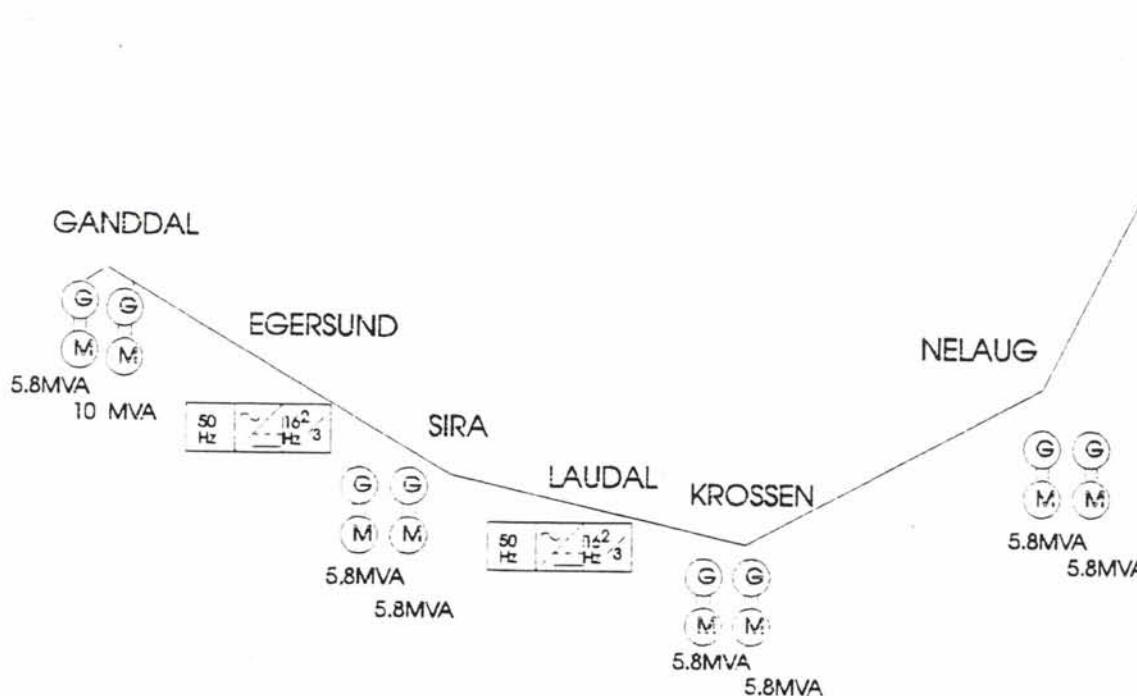


VEDLEGG
ALTERNATIV 1



BYGGING AV STATISK OMFORMER
I EGERSUND OG ROTERENDE OMFORMER
PA LEVOLL, KOSTNAD 80.6 MILL. KR.

NYE STATISKE OMFORMERE I LAUDAL OG EGERSUND



DETTE SKJEMAET VISER PRINSIPPIELT
HVORDAN NETTET BLIR SEENDE UT MED TO NYE STATISKE
OMFORMERSTASJONER I EGERSUND OG I LAUDAL.

KOSTNADER FORBUNDET MED
STATISKE OMFORMERE

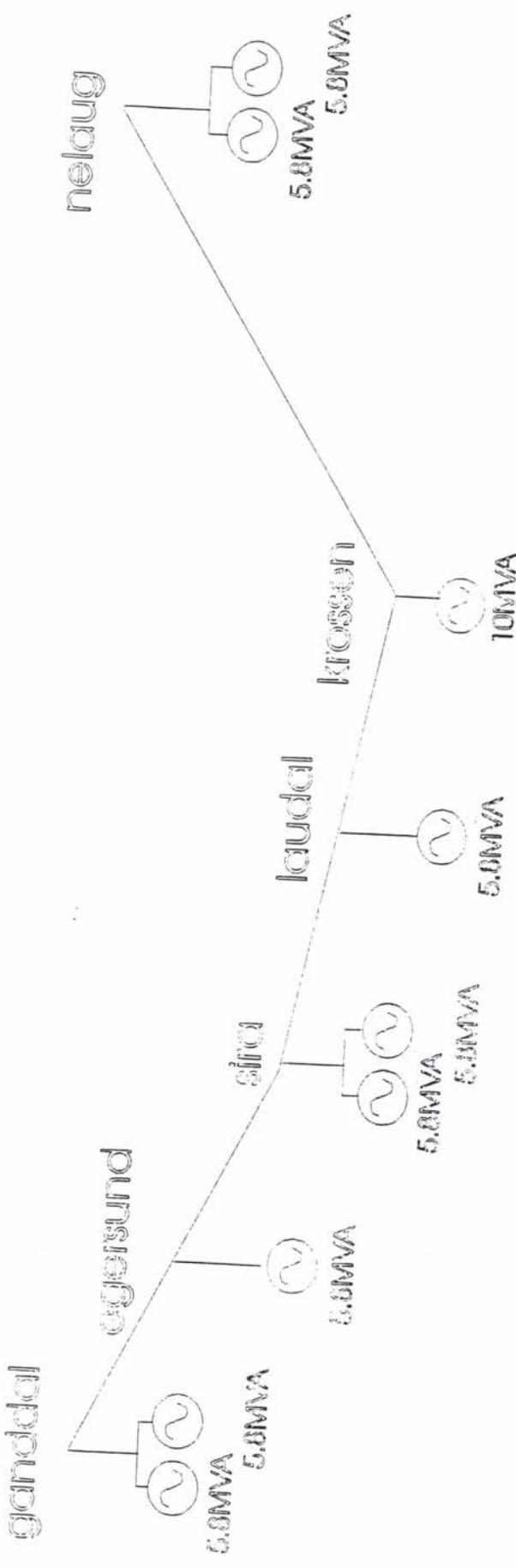
EGERUND MILL.KR.

LAUDAL MILL.KR.

TOTALT **99,2** MILL.KR.

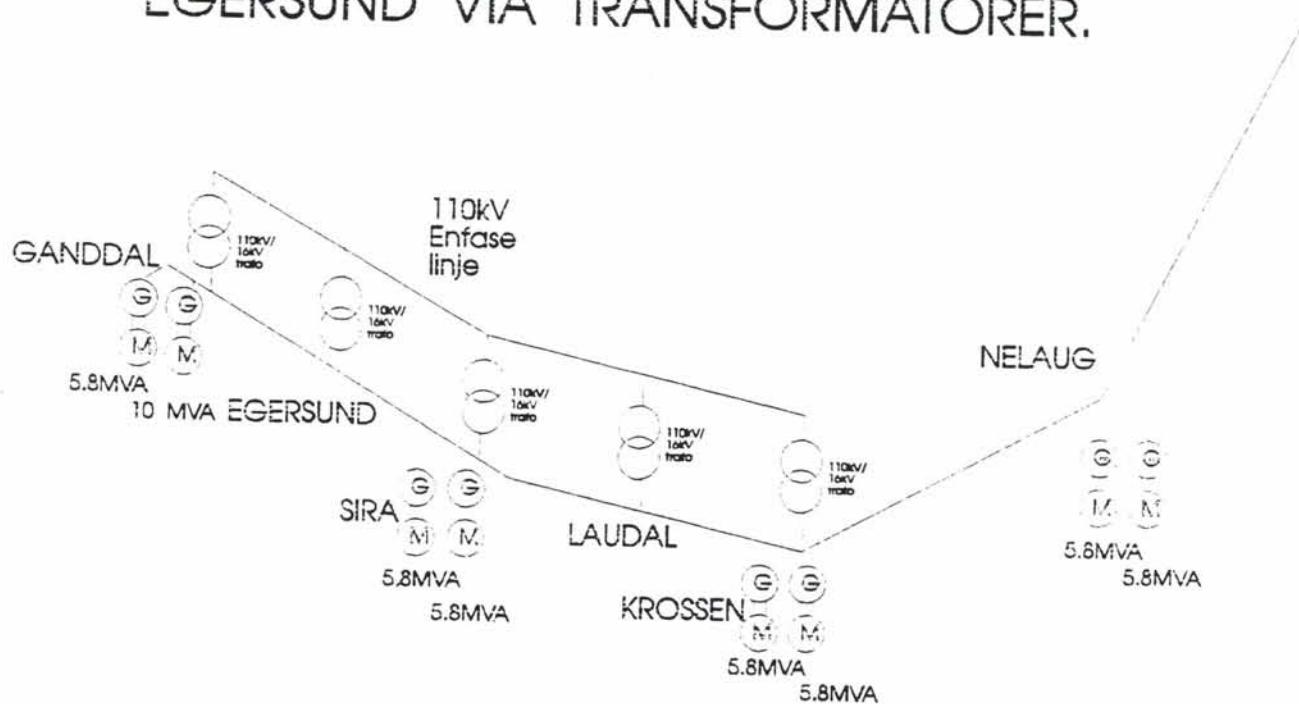
PRISENE INKLUDERER
TREFASE STRØMTILFØRSEL
LEVERT 60KV NIVÅ.

VEDLEGG
ALTERNATIV 3



FORSTERKNING MED ROTERENDE OMFORMERE
KOSTNAD CA. 76,5 MILL.KR.

BYGGING AV MATELEDNING MELLOM
KROSSEN OG GANDDAL SOM SKAL
BEDRE SAMKJØRINGEN MELLOM
OMFORMERNE OG SOM SKAL MATE
KONTAKTLEDNINGEN I LAUDAL OG
EGERSUND VIA TRANSFORMATORER.



LINJEKOSTNADER 72 MILL.KR

TRAFOSTASJONER 5 *15 =75 MILL.KR.

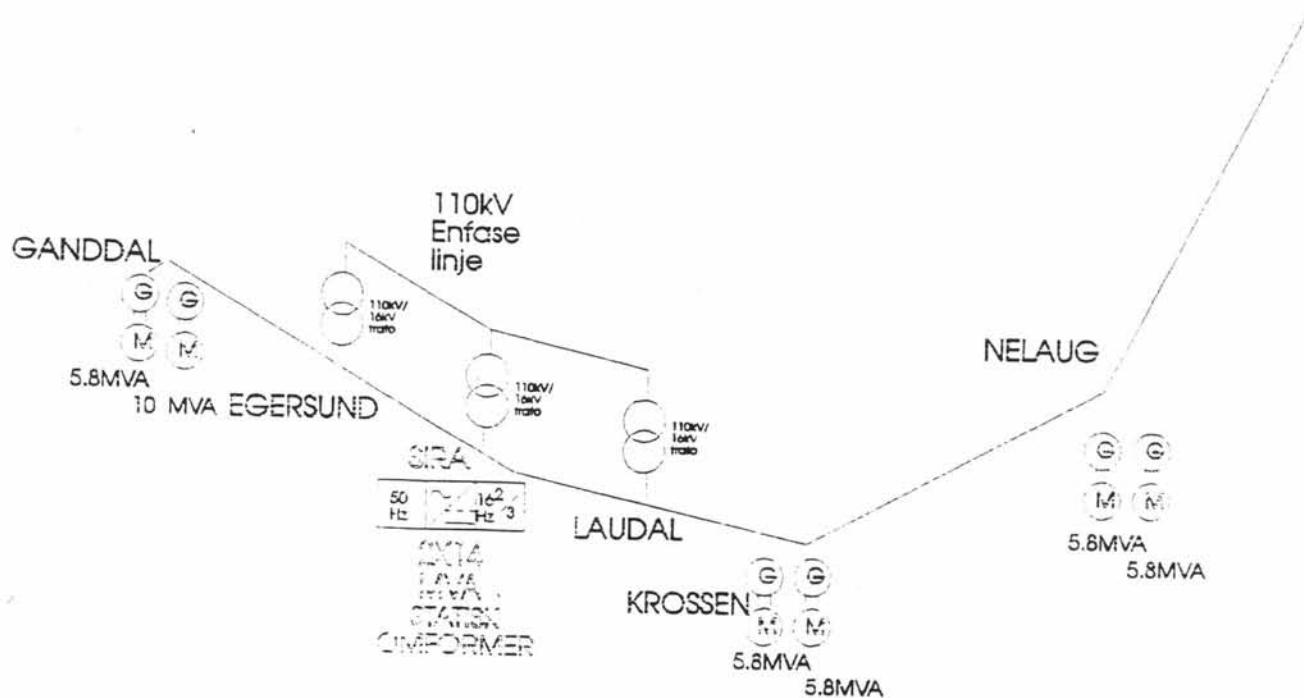
TOTALT 147 MILL.KR

EN EVENTUELL UΤBYGGING MED 55kV
SPENNINGSNIVÅ VIL BLI NOE RIMELIGERE.

DENNE LØSNINGEN VIL GI SMÅ TAP
OG REDUSERE INVESTERINGSKOSTNADENE
VED UTSKIFTNING AV OMFORMERPARKEN.

DETTE ER EN DELUTBYGGING
TIL FULL MATELEDNING. DETTE GÅR
UT PÅ Å BYGGE MATELEDNING MELLOM
EGERSUND OG LAUDAL OG VIDERE
ØKE ØMFORMERKAPASITETEN I SIRA
FOR Å KOMPENSERE FOR DEN ØKTE
BELASTNINGEN.

VEDLEGG
ALTERNATIV 5



KOSTNADER MED DELVIS MATELEDNING:

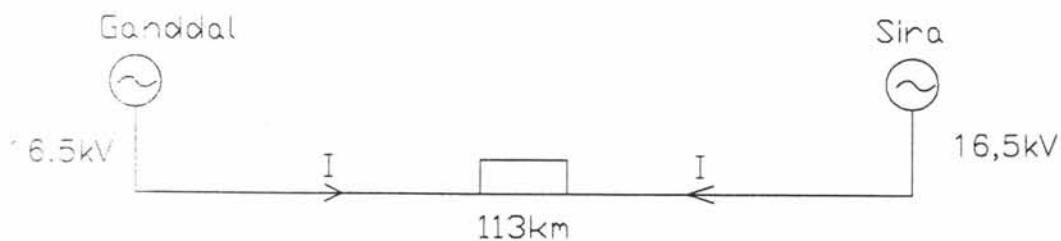
LINJEKOSTNADER: 43 MILL.KR.
3X TRAFOSTASJ. 45 MILL.KR.

OMFORMER: 30 TIL 60 MILL.KR
AVHENGIG AV STØRRELSE.

TOTALT 118 TIL 148 MILL.KR.

ET ALTERNATIV KAN VÆRE Å PASSERE
10MVA AGGREGAT PÅ SIRA.

EN EVENTUELL UΤBYGGING MED 55KV
SPENNINGSNIVÅ VIL BLI NOE RIMELIGERE.

EKSEMPEL ENERGITAP:400A:

$$\Delta U = Z \cdot i = \frac{113}{2} \text{ km} \cdot 0.3 \Omega/\text{km} \cdot 200 \text{ A} = 3,39 \text{ kV} \Rightarrow U_{lok} = 16,5 - 3,39 \text{ kV} = 13,11 \text{ kV}$$

$$P_{tap} = \frac{113}{2} \text{ km} \cdot 0.3 \Omega/\text{km} \cdot 2 \cdot 200 \text{ A}^2 = 33,9 \cdot 200^2 = 1,36 \text{ MW}$$

$$P_{tap} = U \cdot I = 13,11 \cdot 400 = 5,24 \text{ MW}$$

$$\%_{tap} = \frac{1,36}{5,24} \cdot 100\% = 26\%$$

250A:

$$\Delta U = \frac{113}{2} \text{ km} \cdot 0.3 \Omega/\text{km} \cdot 125 \text{ A} = 2,12 \text{ kV} \Rightarrow U_{lok} = 16,5 - 2,12 = 14,38 \text{ kV}$$

$$P_{tap} = \frac{113}{2} \text{ km} \cdot 0.3 \Omega/\text{km} \cdot 2 \cdot 125 \text{ A}^2 = 33,9 \cdot 125^2 = 531 \text{ kW}$$

$$P_{tap} = U \cdot I = 14,38 \text{ kV} \cdot 250 \text{ A} = 3,59 \text{ MW}$$

$$\%_{tap} = \frac{0,531 \text{ MW}}{3,59 \text{ MW}} \cdot 100\% = 14,8\%$$

100A:

$$\Delta U = \frac{113}{2} \text{ km} \cdot 0.3 \Omega/\text{km} \cdot 50 \text{ A} = 0,85 \text{ kV} \Rightarrow U_{lok} = 16,5 - 0,85 = 15,65 \text{ kV}$$

$$P_{tap} = \frac{113}{2} \text{ km} \cdot 0.3 \Omega/\text{km} \cdot 2 \cdot 50 \text{ A}^2 = 33,9 \cdot 50^2 = 85 \text{ kW}$$

$$P_{tap} = U \cdot I = 15,65 \text{ kV} \cdot 100 \text{ A} = 1,565 \text{ MW}$$

$$\%_{tap} = \frac{85 \text{ kW}}{1565 \text{ kW}} \cdot 100\% = 5,4\%$$

Ved et effektuttak på 400A • 30% + 250A • 30% + 100A • 40%

Gir gjennomsnittlig tap: $(26\% \cdot 0,3) + (14,8\% \cdot 0,3) + (5,4\% \cdot 0,4) = 14,4\%$

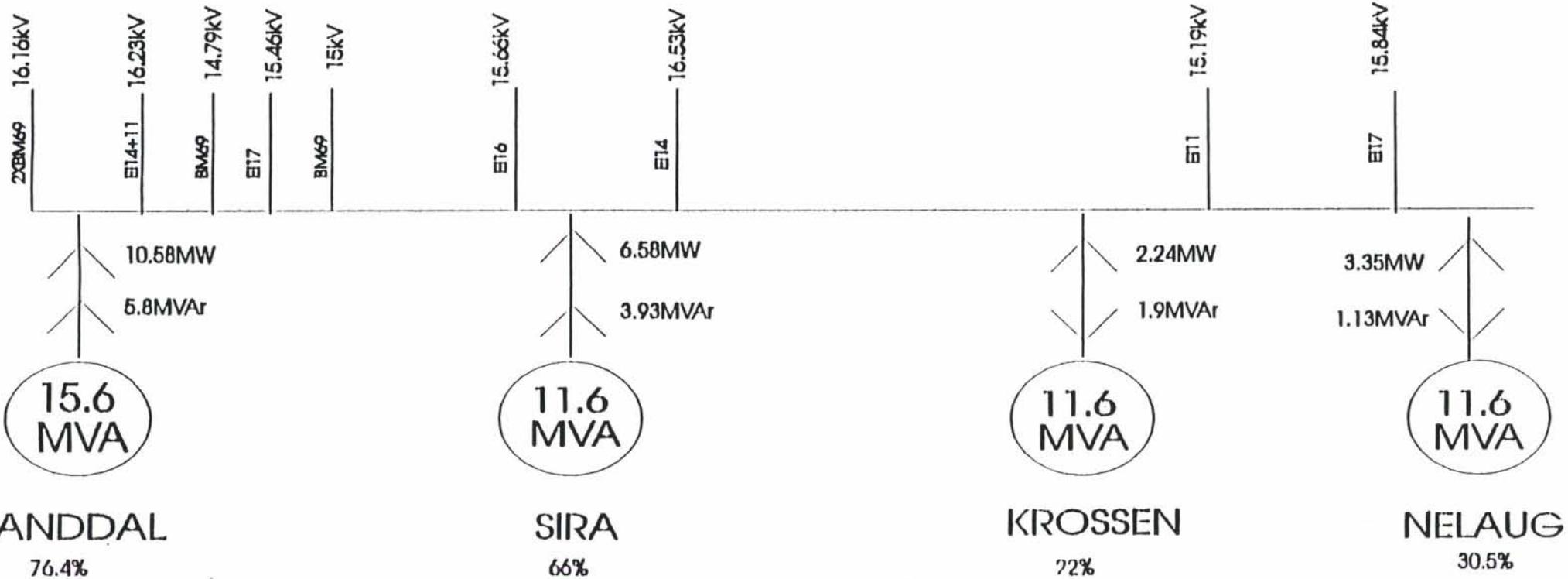
Av total utmatet effekt blir dette: $3 \text{ MW} \cdot 14,4\% = 432.000 \text{ kWh/måned}$

Ved å plassere en matestasjon mellom de eksisterende vil tapene i gjennomsnitt halveres og bli 210.000 kWh/måned.

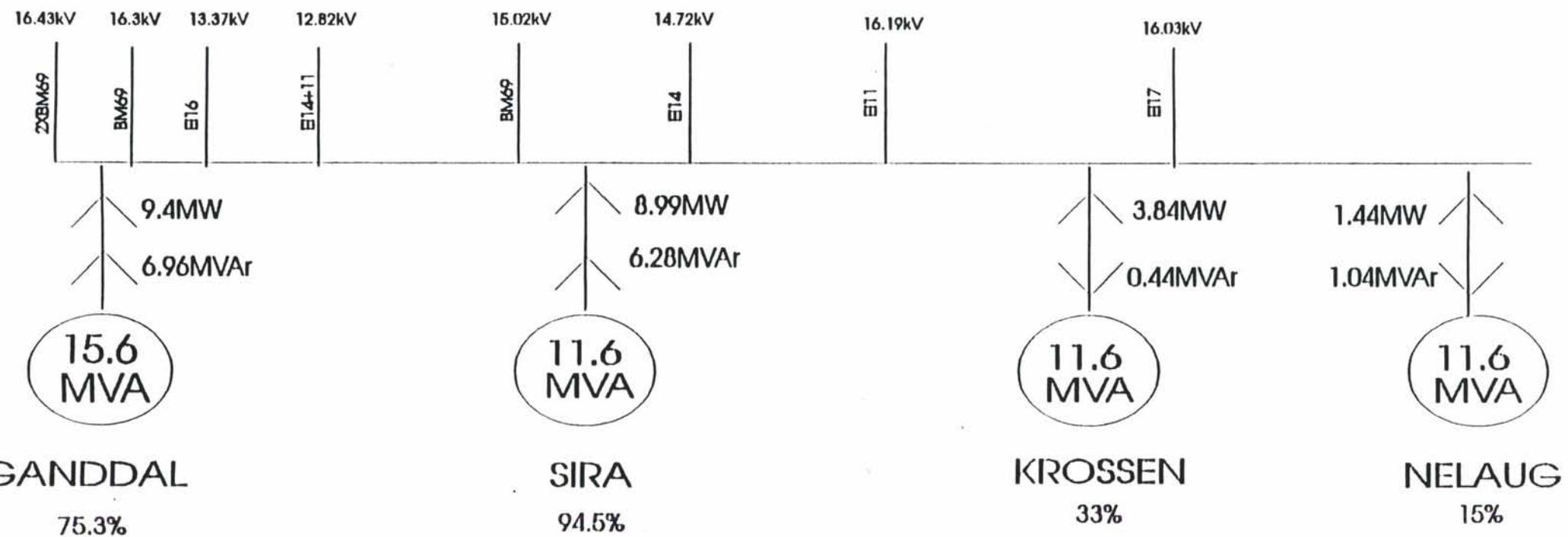
BELASTNINGSSITUASJON MED 80%
PÅDRAG PÅ ALLE TOG OG DAGENS
FORSYNINGSSITUASJON.

kl 1845

YCTLT66 /

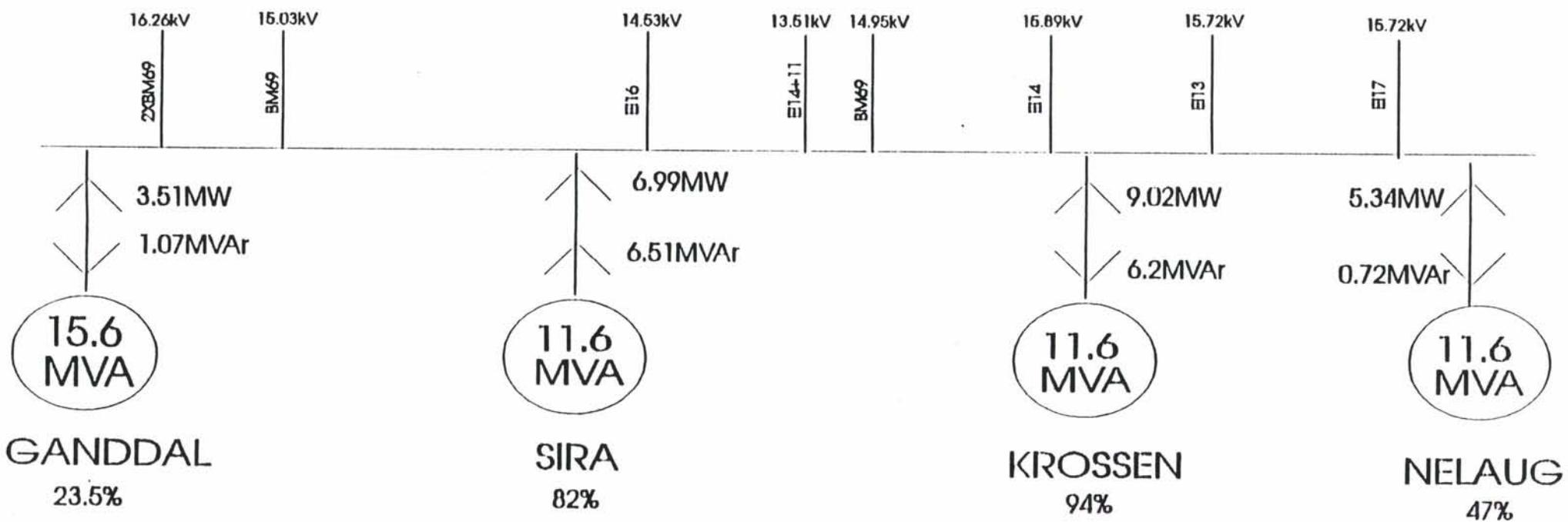


BELASTNINGSSITUASJON KL. 1930
MED AGENS NETT OG 80% PÅDRAG
PÅ ALLE TOG



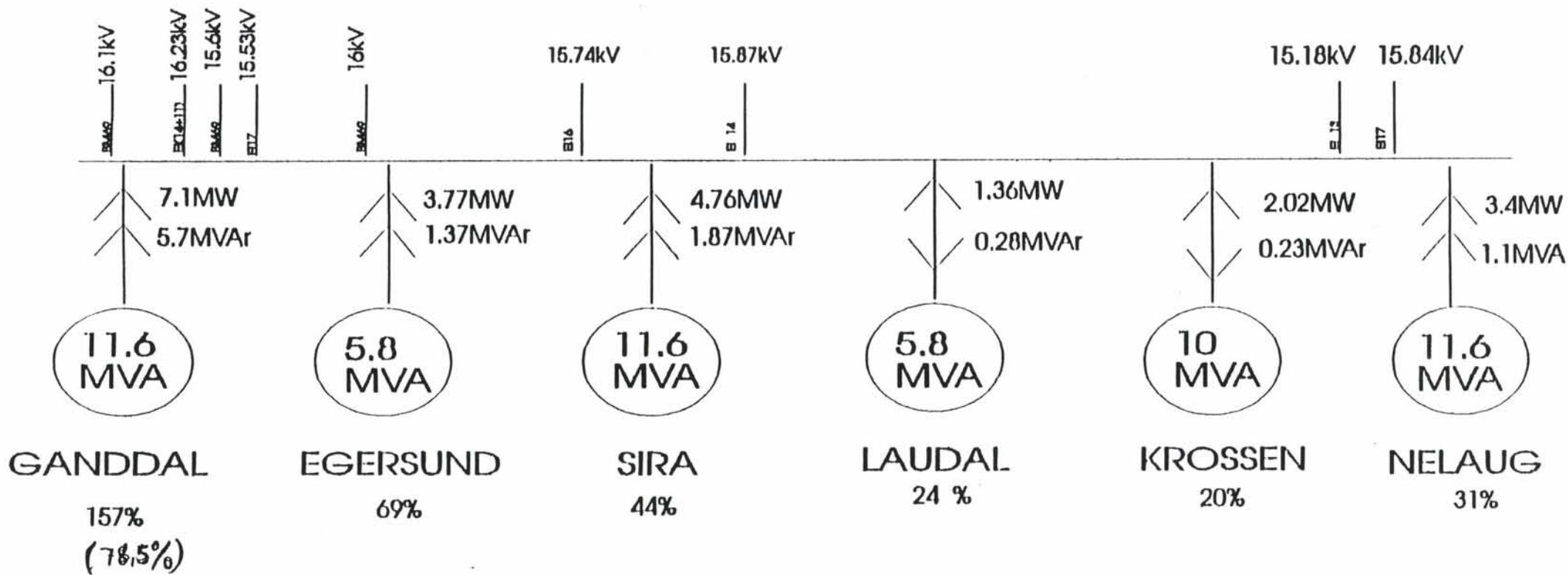
BELASTNINGSSITUASJON MED 80%
PÅDRAG PÅ ALLE 10G OG DAGENS
FORSYNINGSSITUASJON.

KI 2100



SIMULERING MED TO NYE OMFORMERSTASJONER
I EGERSUND OG PÅ LEIVOLL. 80% PÅDRAG PÅ
LOKOMOTIV OG MOTORVOGNER

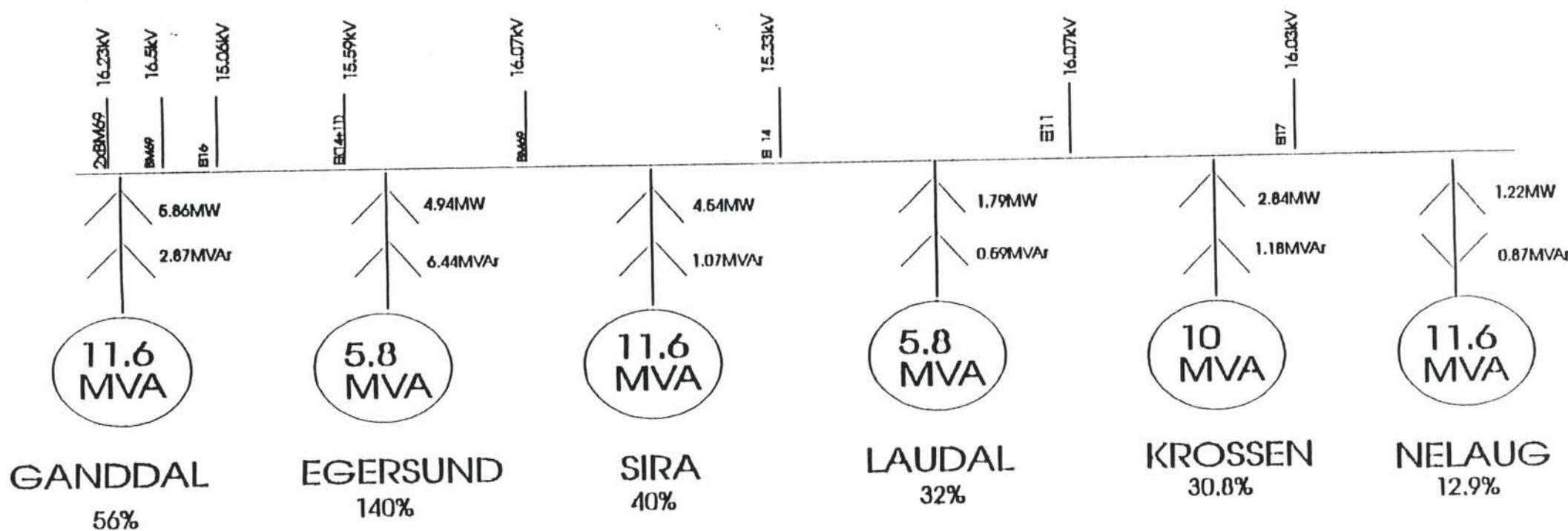
KI 18.45 ET AV OMFORMERAGGREGATENE I
GANDDAL ER UTE AV DRIFT.



SIMULERING MED TO NYE OMFORMERSTASJONER
I EGERSUND OG PÅ LEIVOLL, 80% PADRAG PÅ
LOKOMOTIV OG MOTORVOGNER

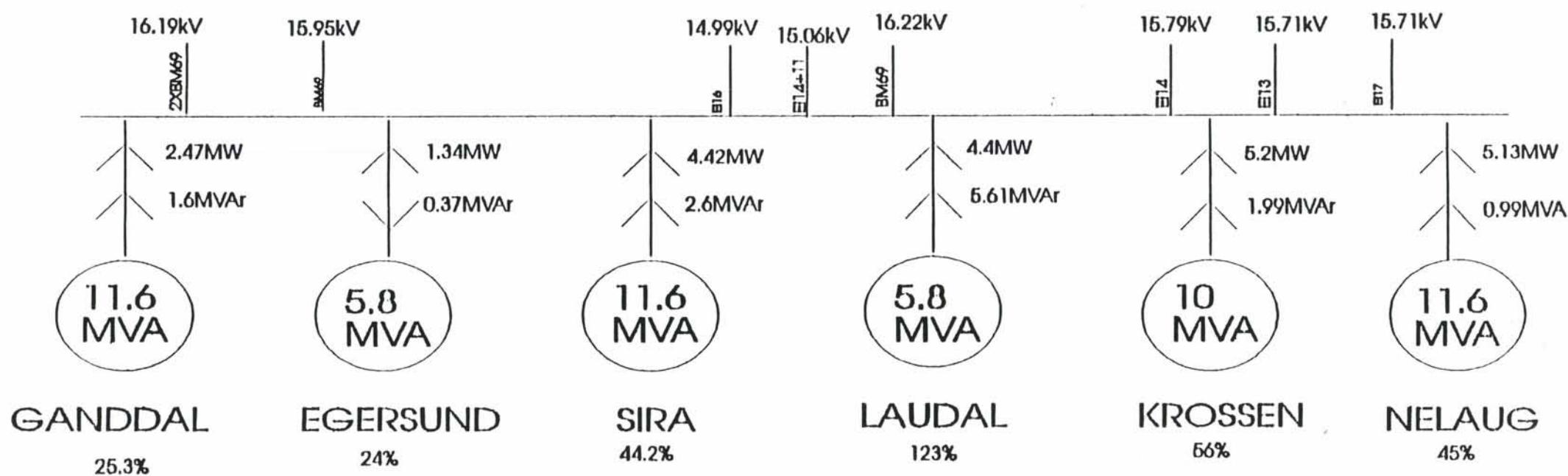
kl.1930

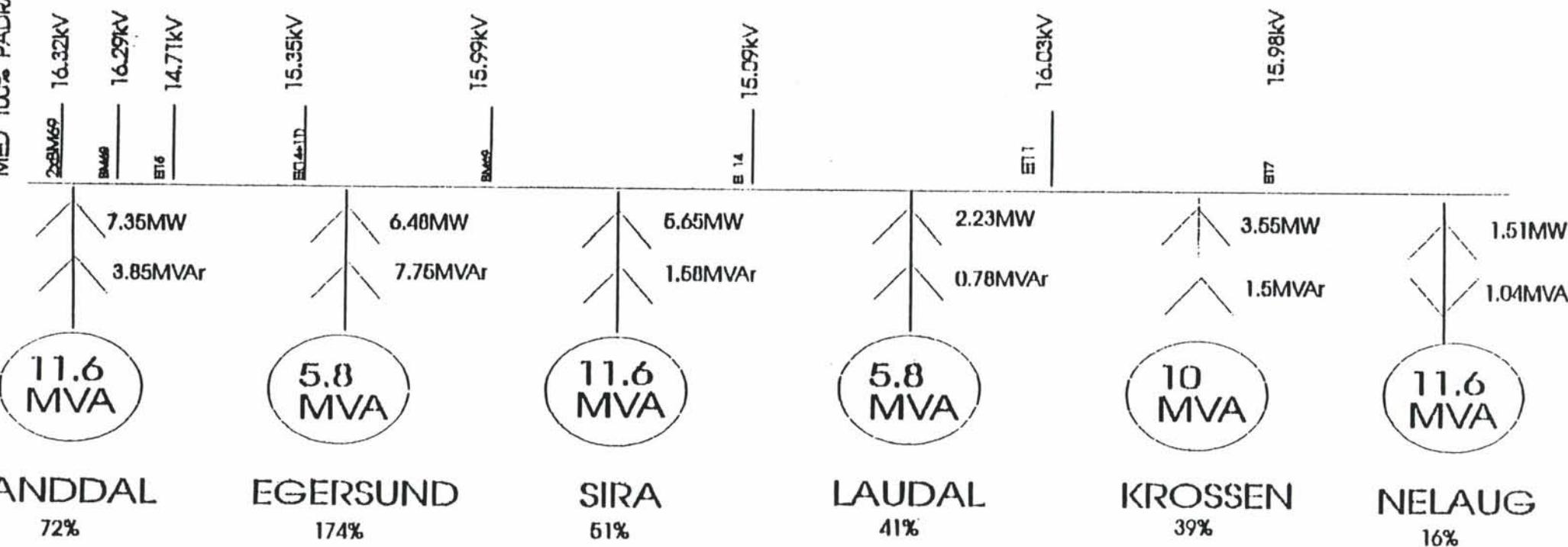
VEDLEGG 6

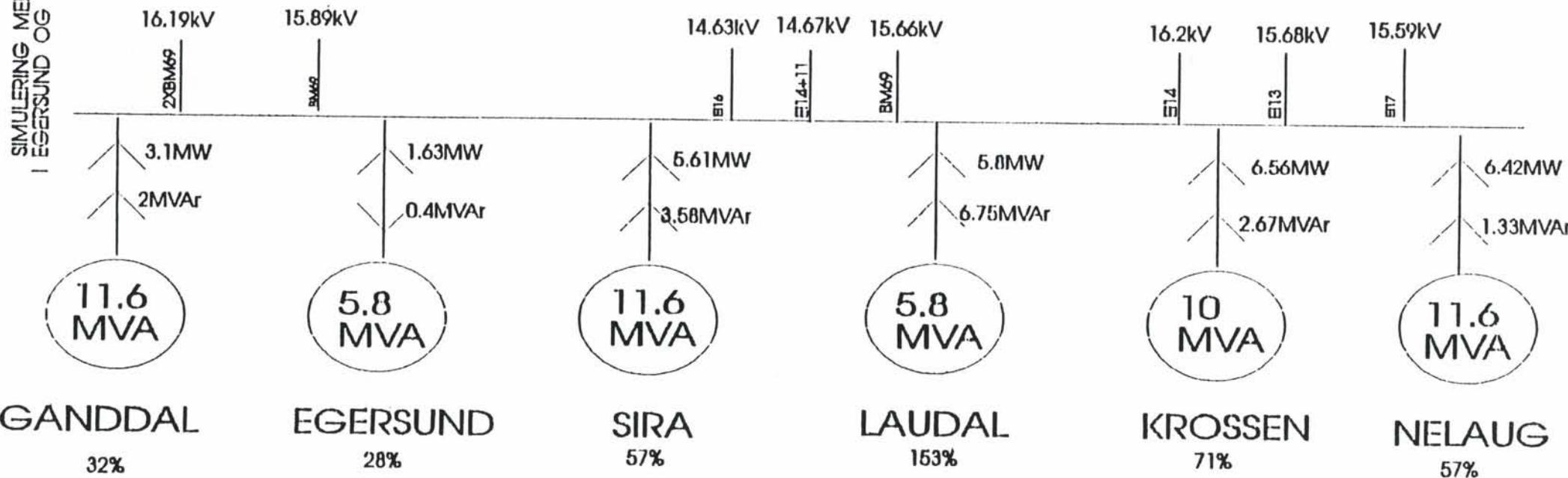


SIMULERING MED TO NYE OMFORMERSTASJONER
I EGERSUND OG PÅ LEIVOLL. 80% PÅDRAG PÅ
LOKOMOTIV OG MOTORVOGNER

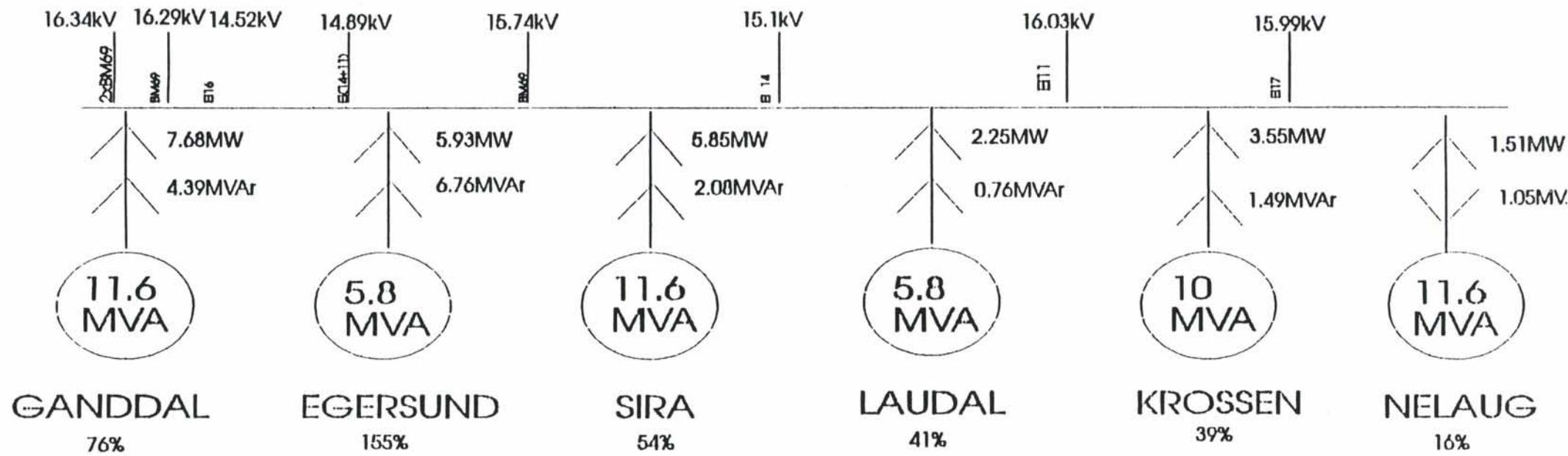
KI 2100





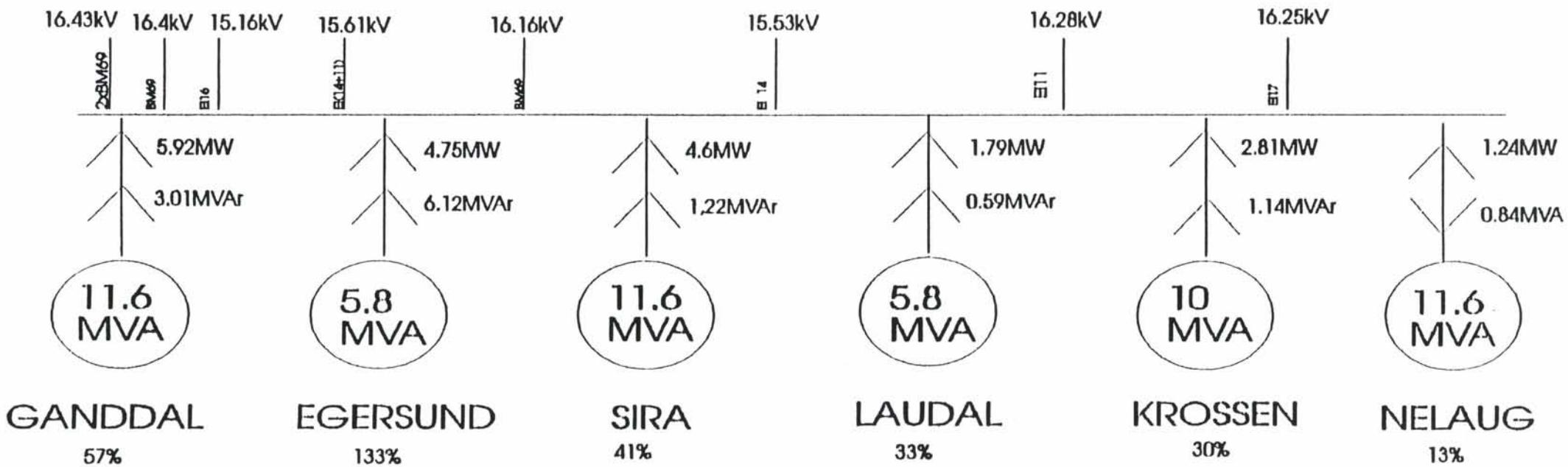


SIMULERING MED TO NYE MATESTASJONER, 100% PÅDRAG, 16KV FLAT SPENNING
I EGERSUND (VANLIG KARAKTERISTIKK FORØVRIG) KL 1930.

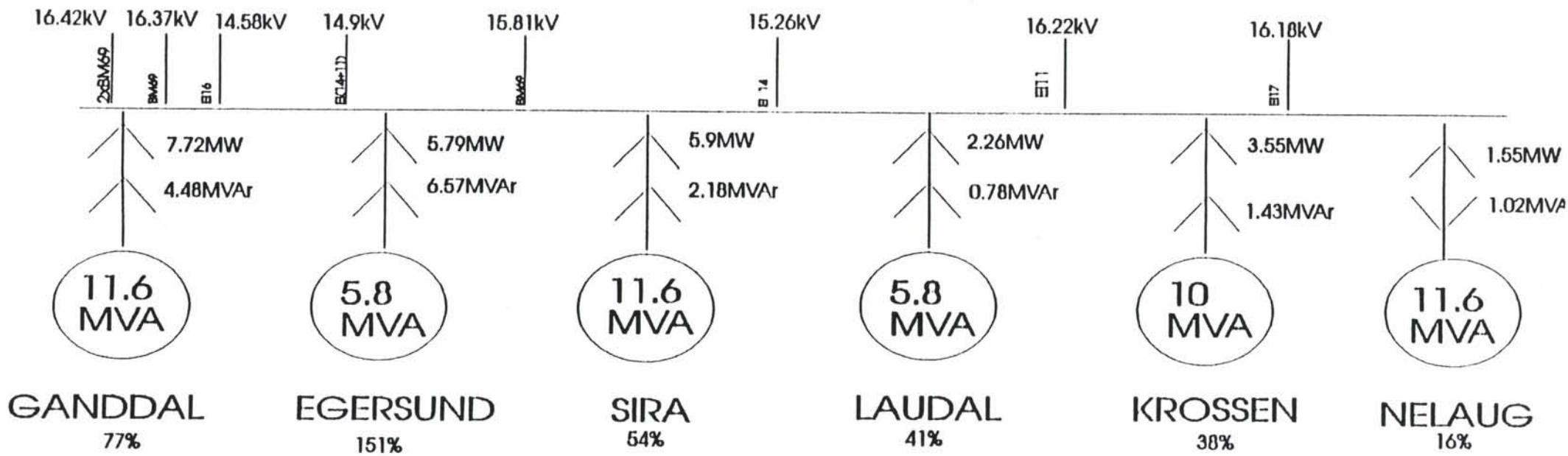


SIMULERING MED TO NYE MATESTASJONER
16.5kV STIV SPENNING I ALLE MATEPUNKTER.

KL. 1930

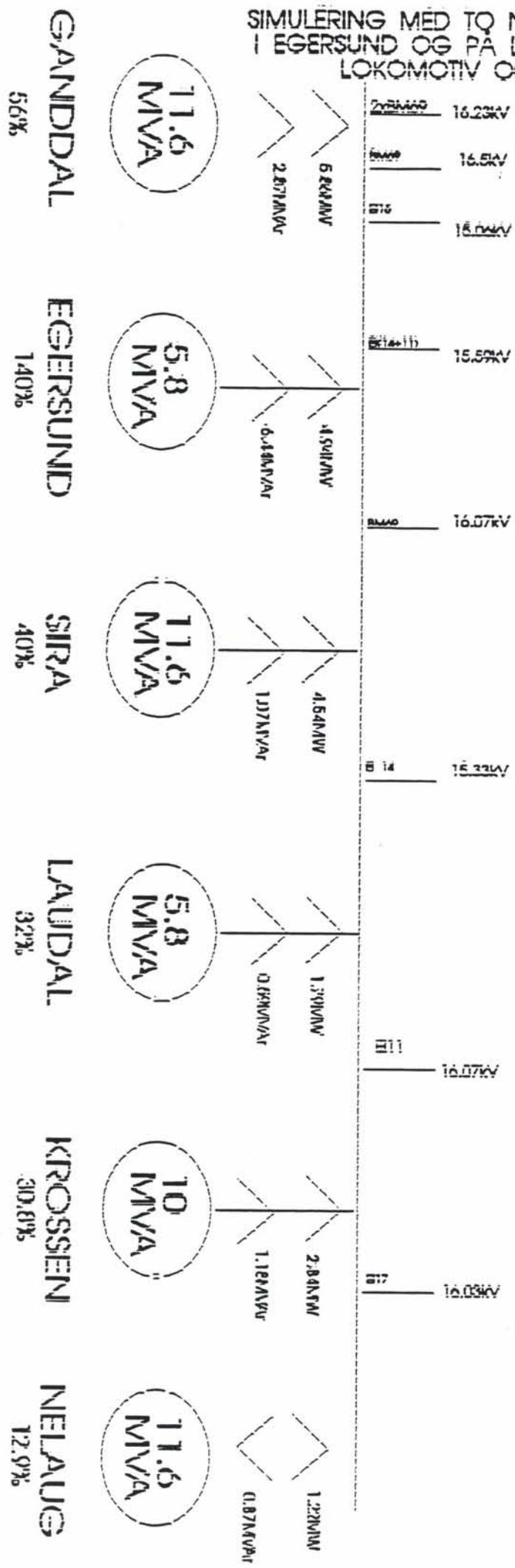


SIMULERING MED TO NYE OMFORMERSTASJONER, 100% PÅDRAG
16.0 KV SPENNING I EGERSUND, 16.5KV I DE ØVRIGE MATEPUNKTER.
KL. 1930



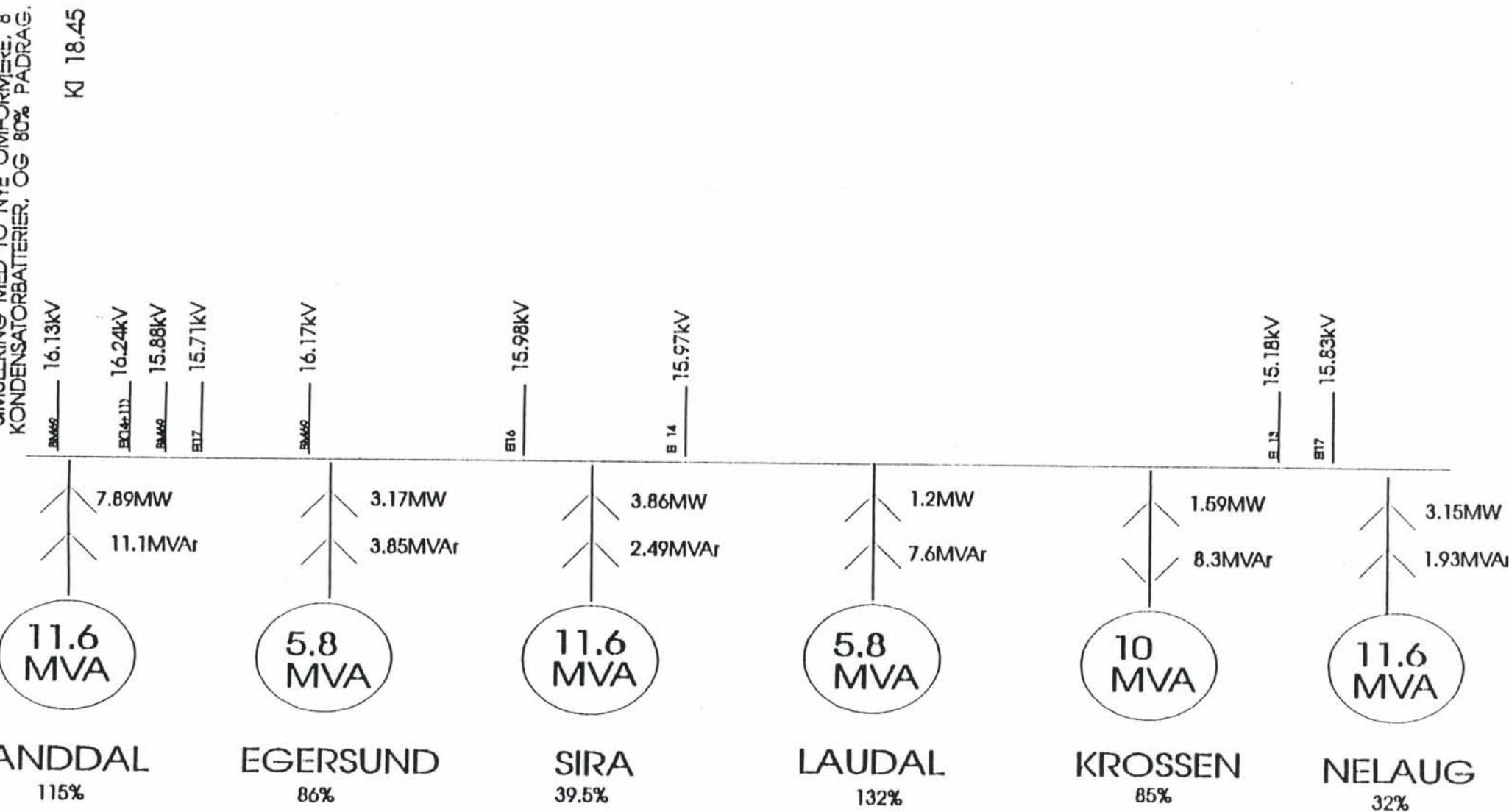
SIMULERING MED TO NYE OMFORMERSTASJONER
I EGRSUND OG PA LEIVOLL 80% PADRAG PA
LOKOMOTIV OG MOTORVOGNER

KL. 1930

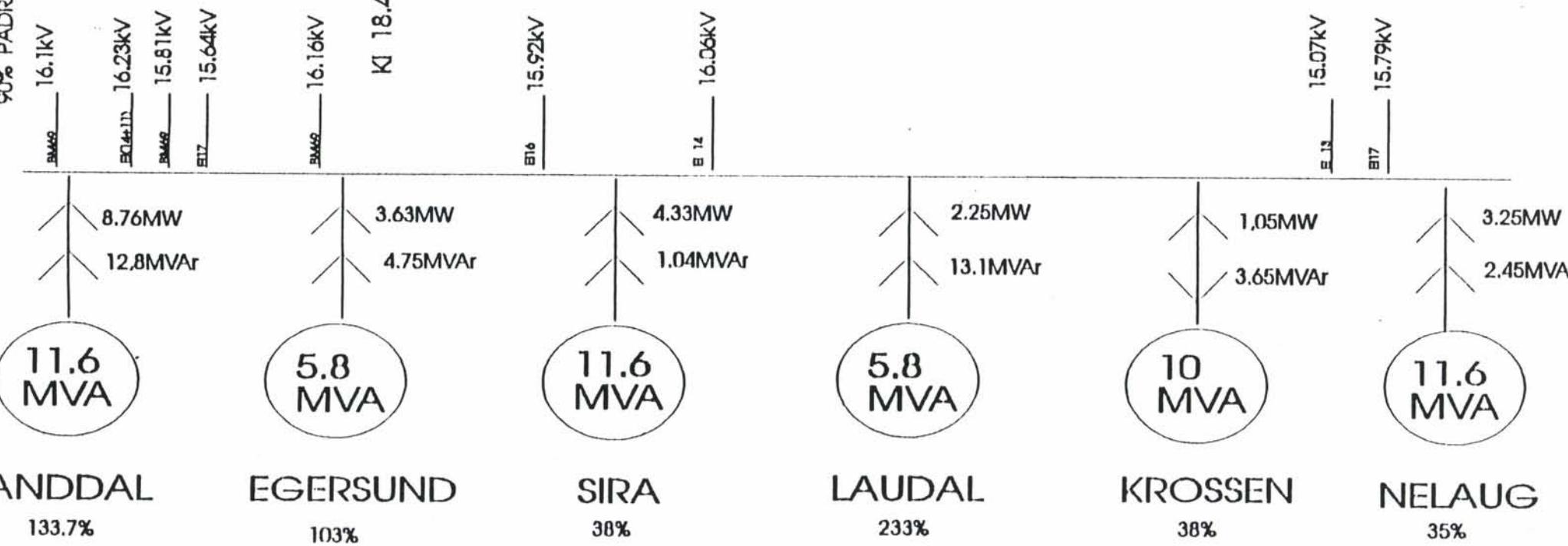


VEDLEGG 13

SIMULERING MED TO NYE OMFORMERE, OG 80% PADRAG.
KONDENSATORBAITER, OG 80% PADRAG.

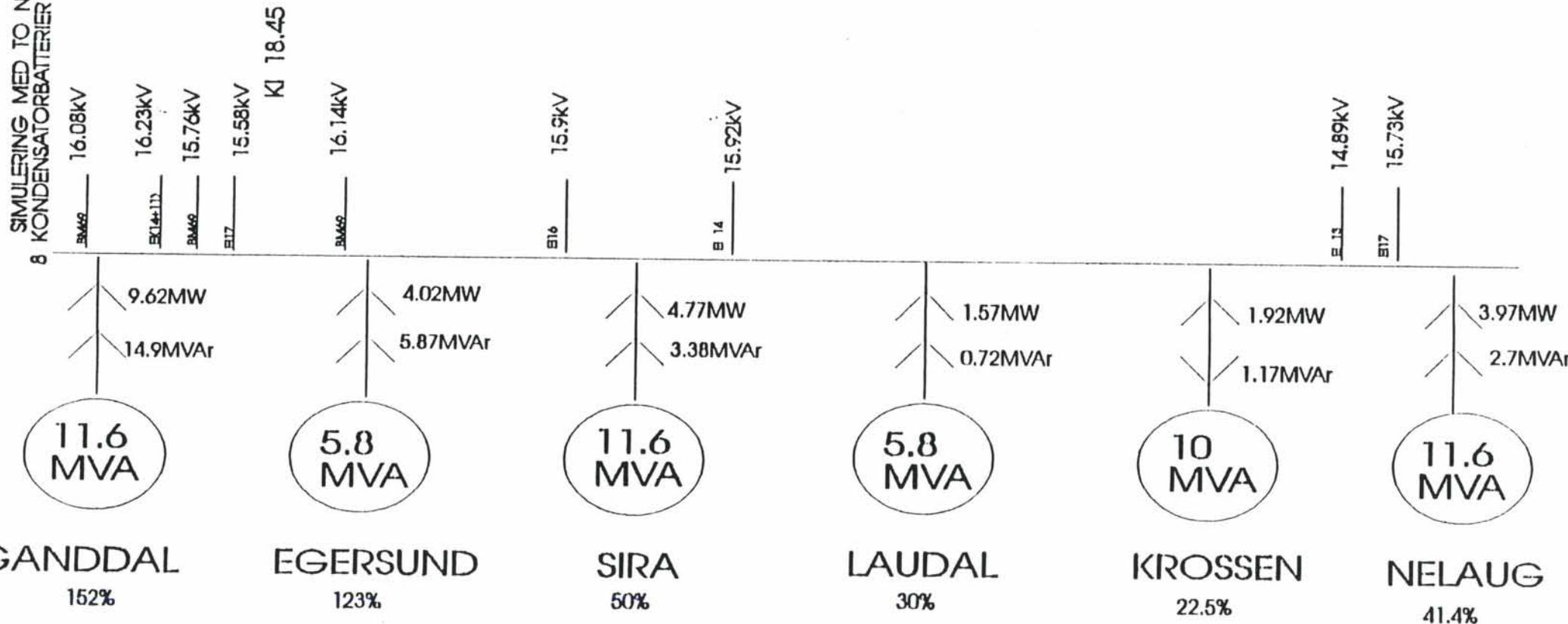


SIMULERING MED TO OMFORMERE OG KONDENSATORBATTERIER,
90% PADRAG.

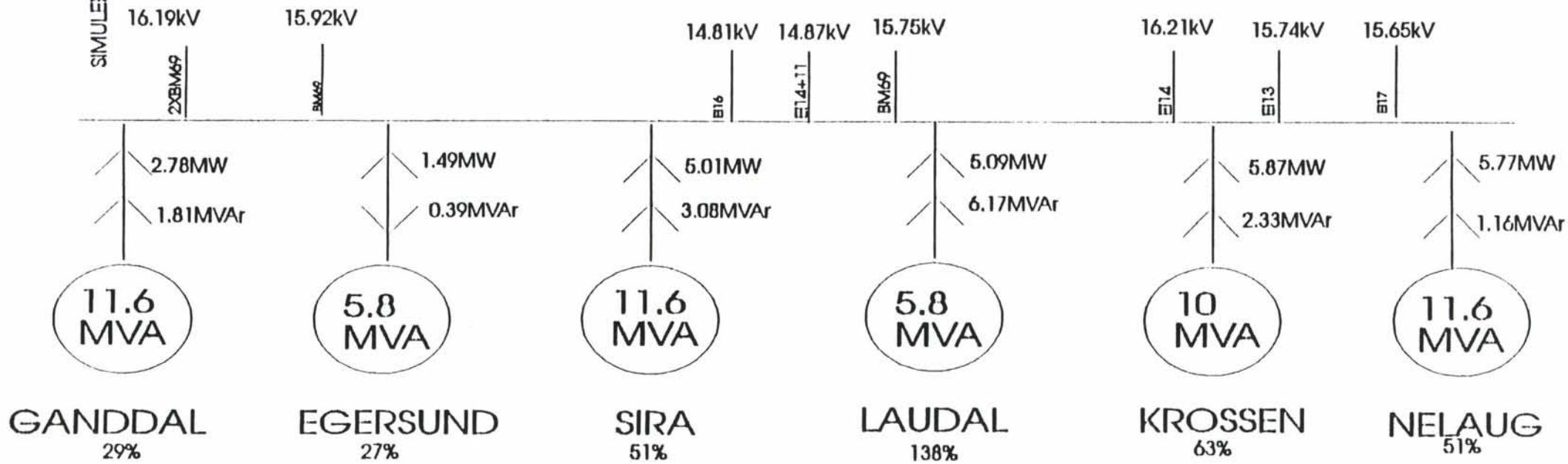


VEDLEGG 15

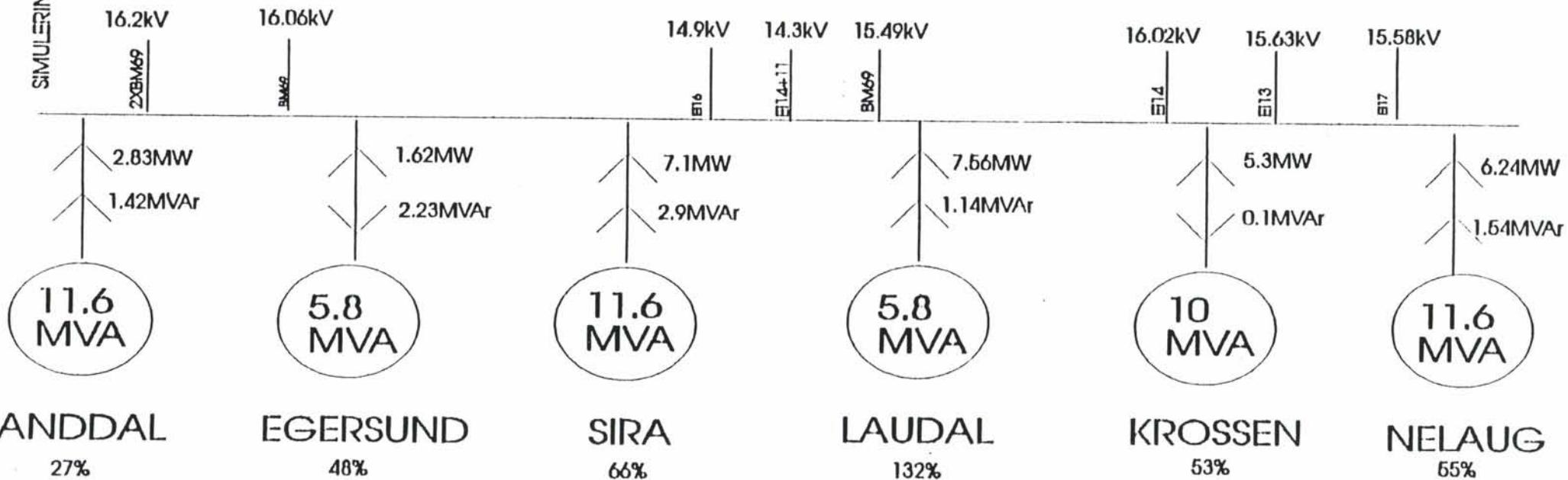
SIMULERING MED TO NYE OMFORMERE,
KONDENSATORBATTERIER OG 100% PADRAG



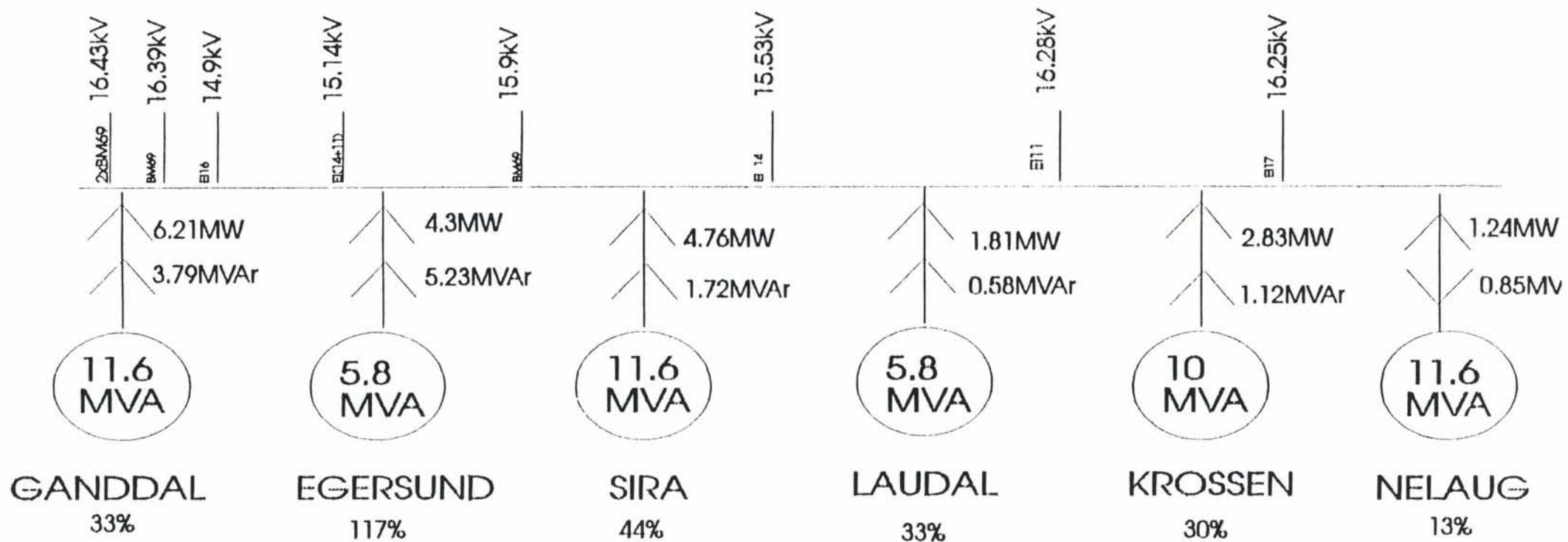
SIMULERING MED NYE MÅTESTASJONER
OG 90% PADRAG KL2100



SIMULERING MED TO NYE MATESTASJONER
100% PÅDRAG KL 2100.
8 KONDENSATORBATTERIER



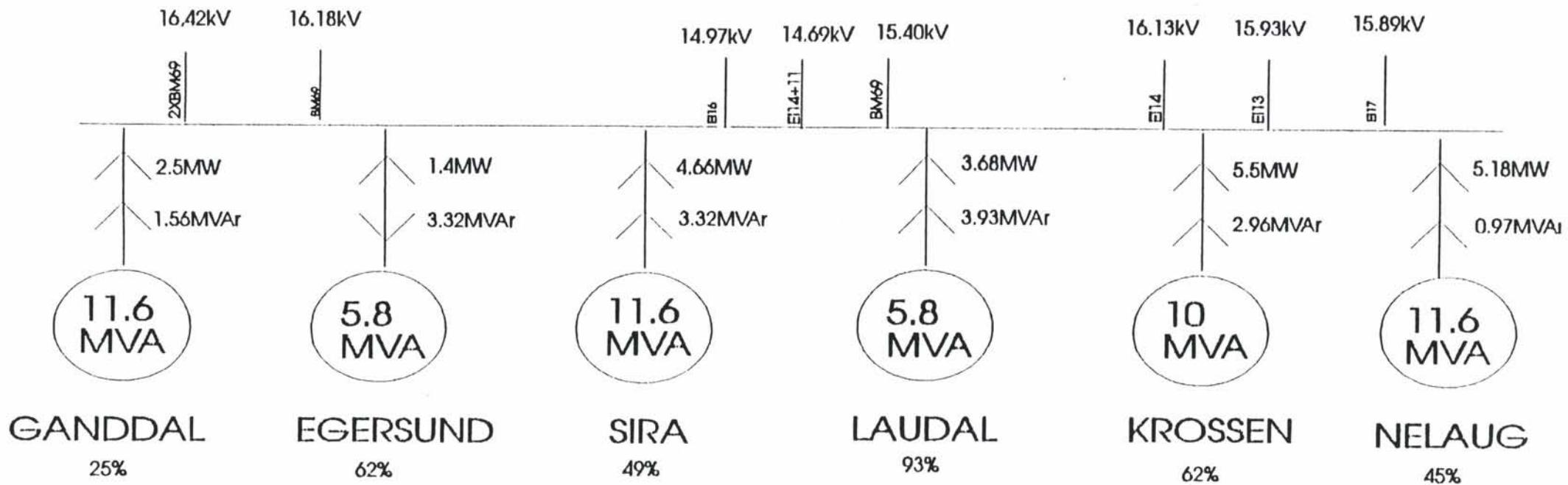
SIMULERING MED 80% BELASTNING OG TO NYE OMFORMERSTASJONER,
 KL.19.30 16.5kV STIV SPENNING I ALLE MATEPUNKTER UNNTATT
 EGERSUND SOM HAR 16.0kV.



VEDLEGG 20

80% BELASTNING, 16kV I LAUDAL,
16,5kV I DET ØVRIGE NETTET

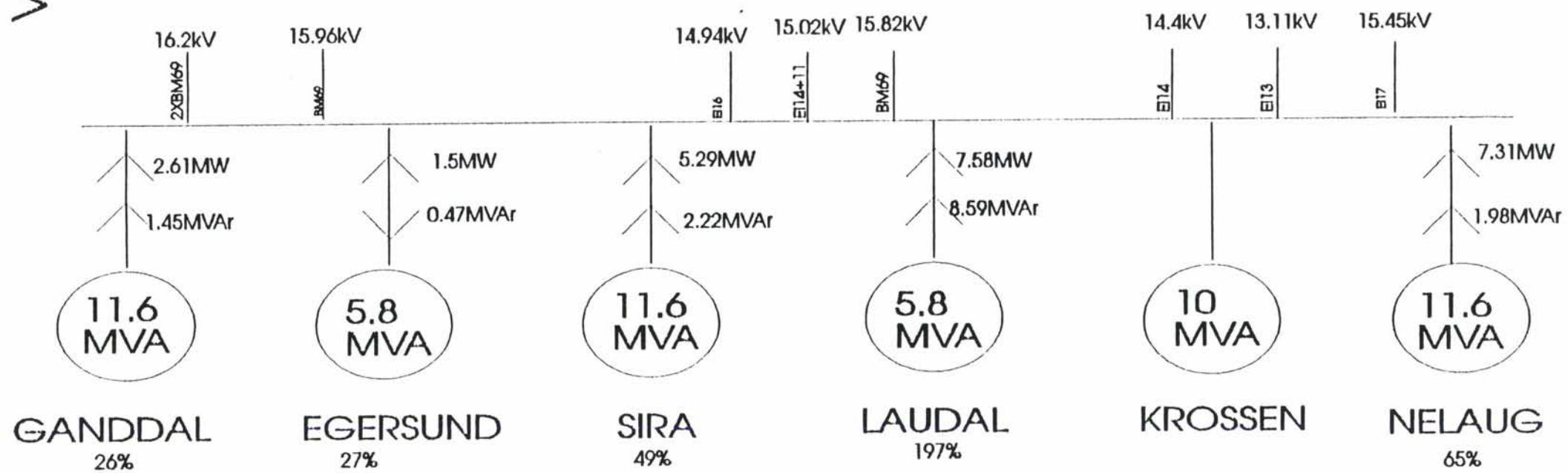
KI 2100



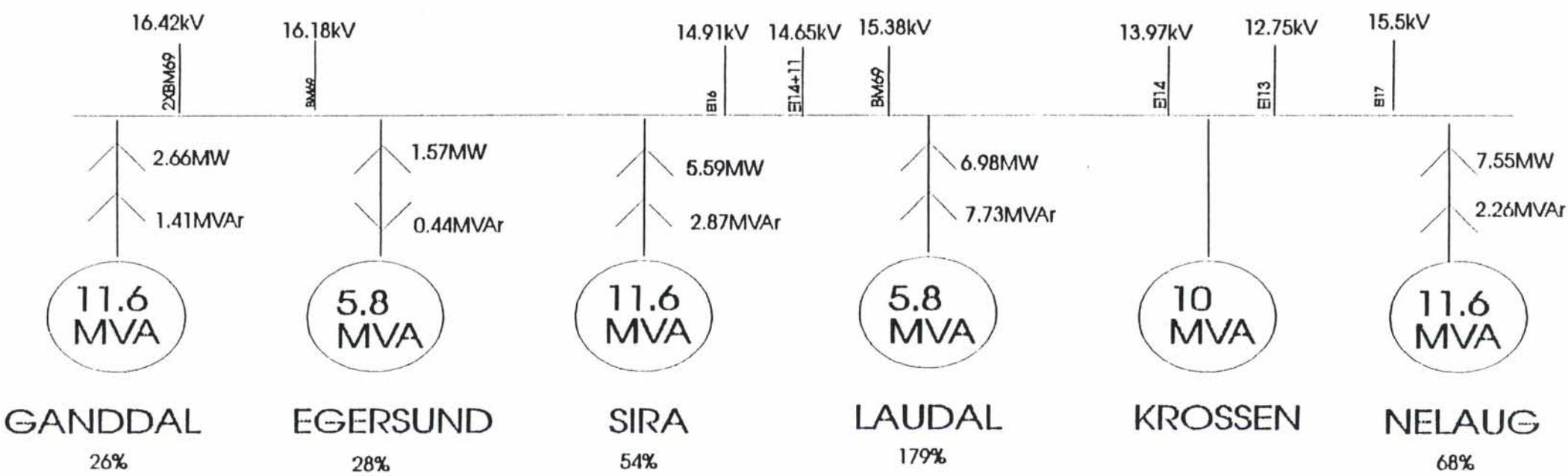
VEDLEGG 21

80% BELASTNING, UTFALL
AV KROSSEN OMFORMER.

KI 2100

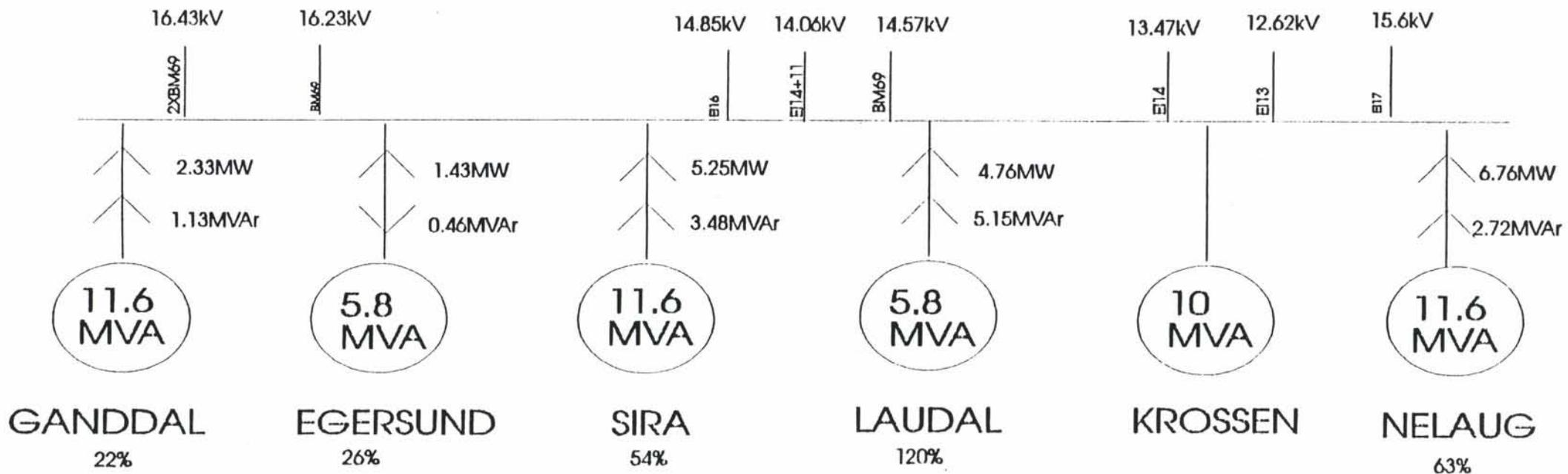


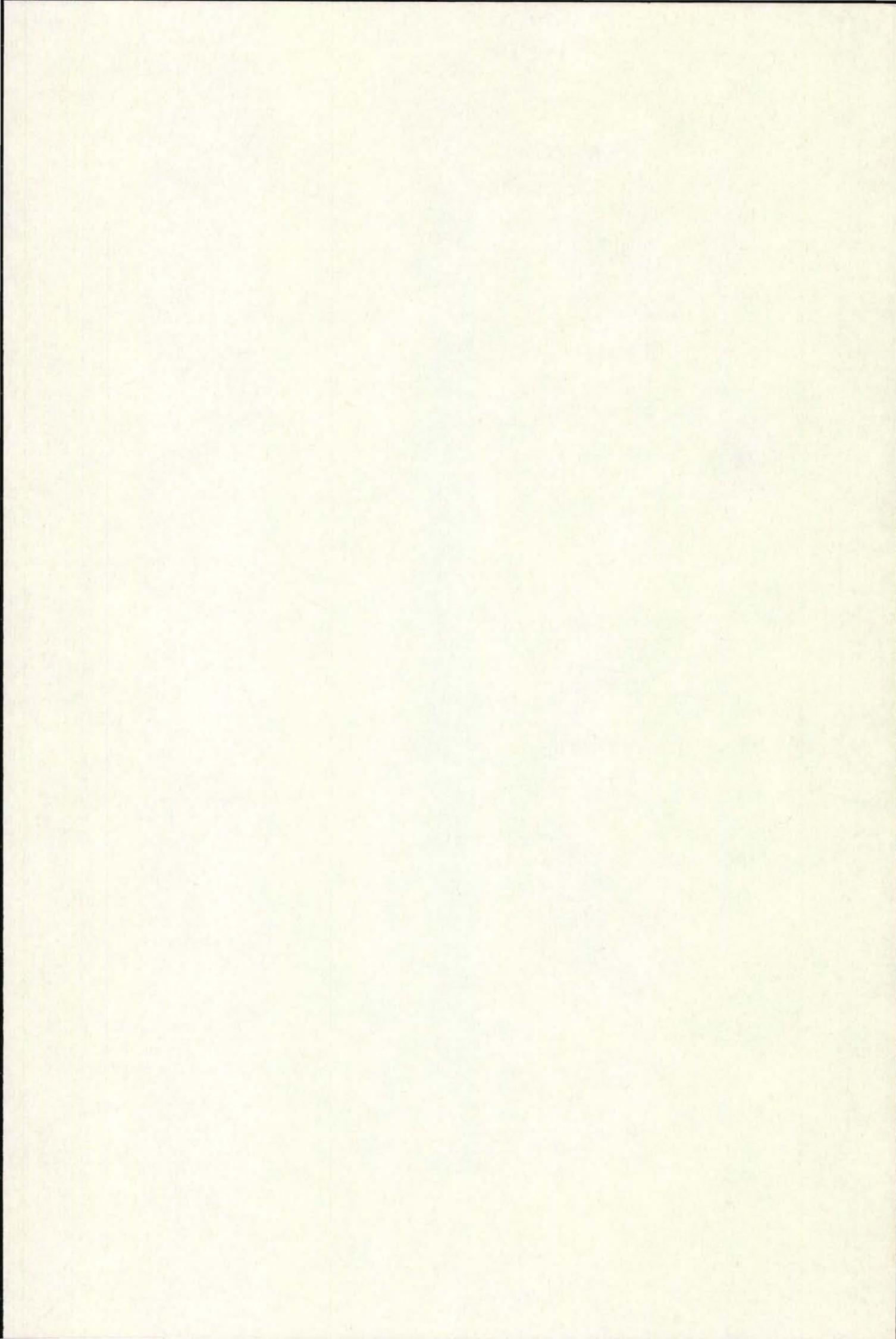
80% BELASTNING, UTFALL AV KROSSEN OMFORMER
KL.21.00. 16.5KV STIV SPENNING UNNTATT LAUDAL
SOM HAR 16.0KV.



VEDLEGG 23

68% BELASTNING. UTFALL AV KROSSEN OMFORMER.
KL.21.00. 16.5KV STIV SPENNING UNNTATT LAUDAL SOM HAR 15KV.





MÅLINGER:

De påfølgende sidene inneholder målinger av de hardest belastede periodene i henholdsvis:

Side 2: Spennin på El17 persontog i tunglast.

Side 3-4: Strømuttak i Krossen omformer.

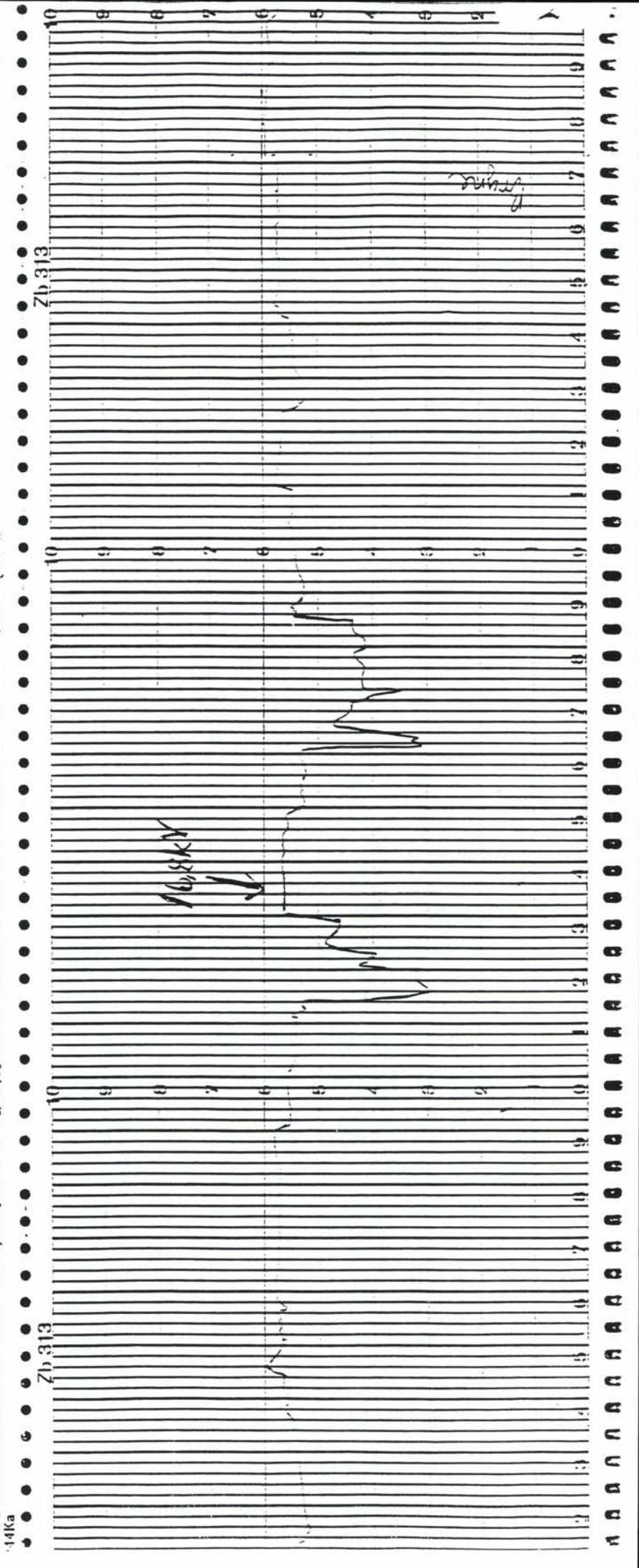
Side 5-11: Strømuttak i Sira omformer.

Side 12-18: Strømuttak i Ganddal omformer.

Spurvejprofil ved El 17 mellem El 16 og El 18 ved Bryn, Spurvejprofil ved Bryn ca. 10 sek

ca. 10 sek i min

Afdelingsdok; 2,84V/cm, 20 sek/cm.



3

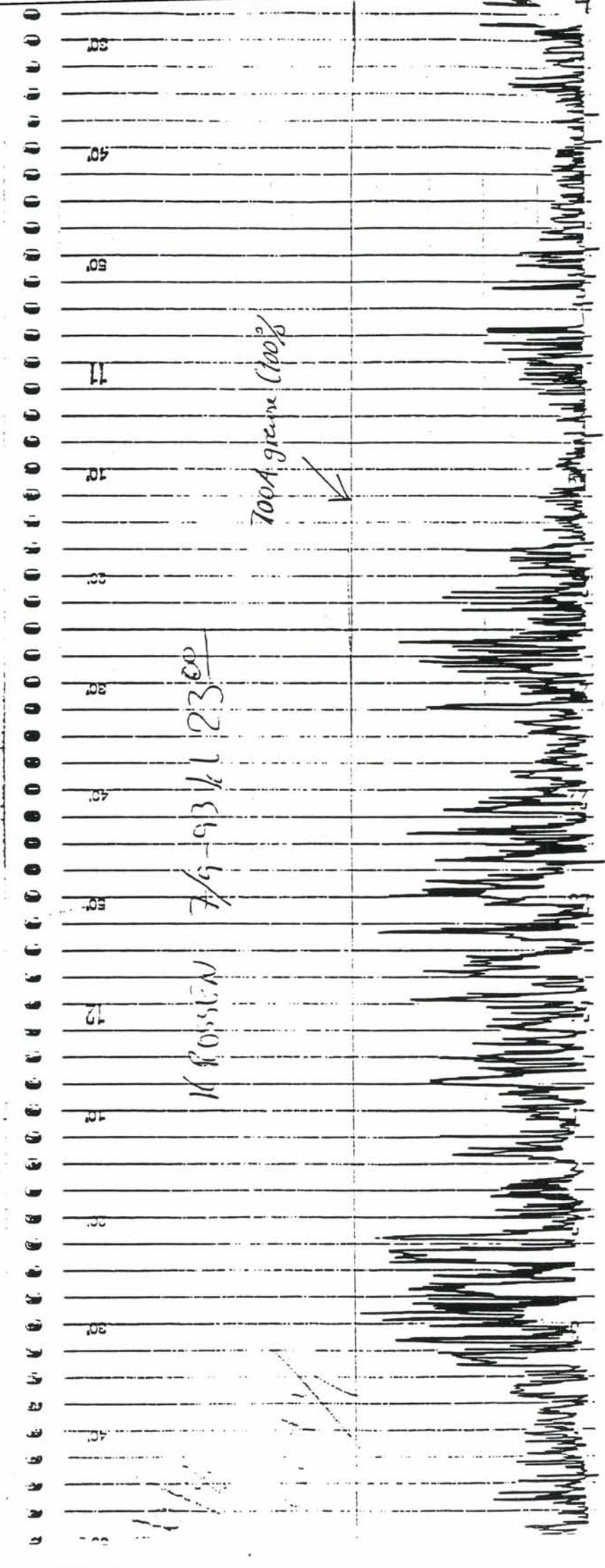
Post grime (100% blasting)

23⁰⁰

Krossen

619-1311

40
38
36
34
32
30
28
26
24
22
20
18
16
14
12
10



7001-*grax* (100%)

112106

SRA

8/1-93

20

10

20

30

50

4

30

20

10

2

50

40

30

20

SIRN 7/9/93 2100

(%)

100

90

80

70

60

50

40

30

20

10

0

70% green (approx)

6/19-93 2100

S112A

20

30

40

50

60

70

80

90

100

110

120

130

140

150

7007 green

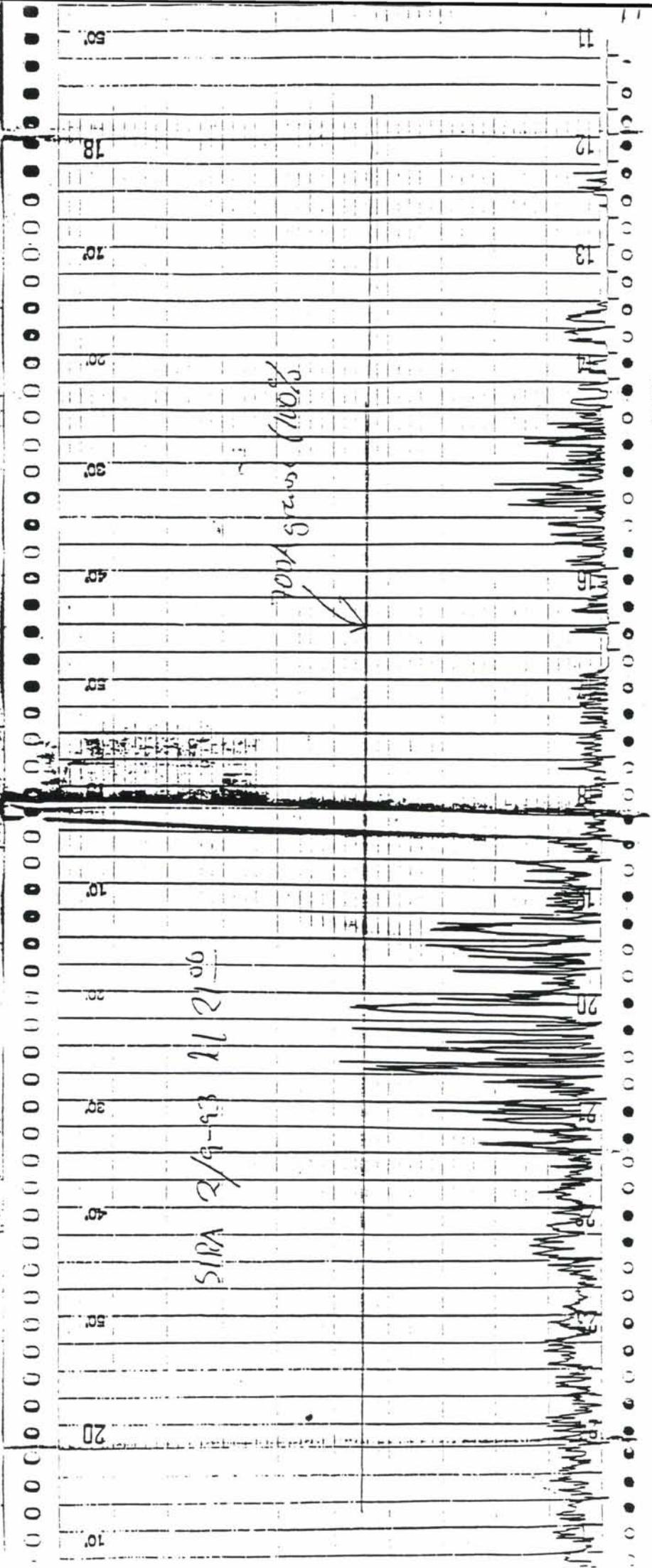
21/0

5/4 - 13
SIRA
(overdue)

7/12/93

\$1.84 4/9-93 k/1 2.00

28	
29	
30	
31	
32	
33	(100%)
34	Final Ver.
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	3/1-93 1/2) 00
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
59	
60	
61	
62	
63	
64	
65	
66	
67	
68	
69	
70	
71	
72	
73	
74	
75	
76	
77	
78	
79	
80	
81	
82	
83	
84	
85	
86	
87	
88	
89	
90	
91	
92	
93	
94	
95	
96	
97	
98	
99	
100	



960A green (10%)

19.00

CANDAL

7/1-93

h1

24

23

22

21

20

19

18

17

16

15

14

13

12

11

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

0

ASOA greense (w/w%)

Li 14.00

Li 14.93

CANONIC

20

10

150A grano (100g)

9pc

11

✓n-93

GANDAG

12

13

20

21

10/16)

15/14

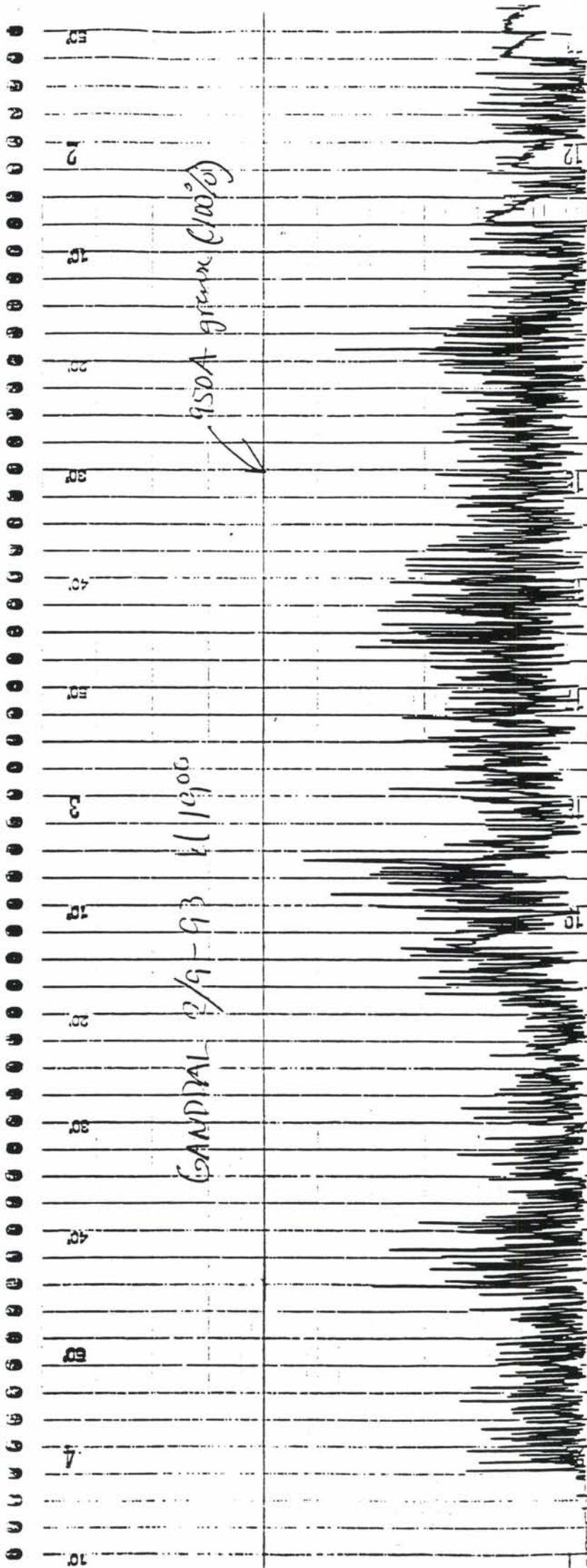
10/00

13/13

Grand

156 Vana (1960)

2/9-93 (1960)



Canyon

1-93 11/100

Aggregation (100%)



22

20

18

16

14

12

10

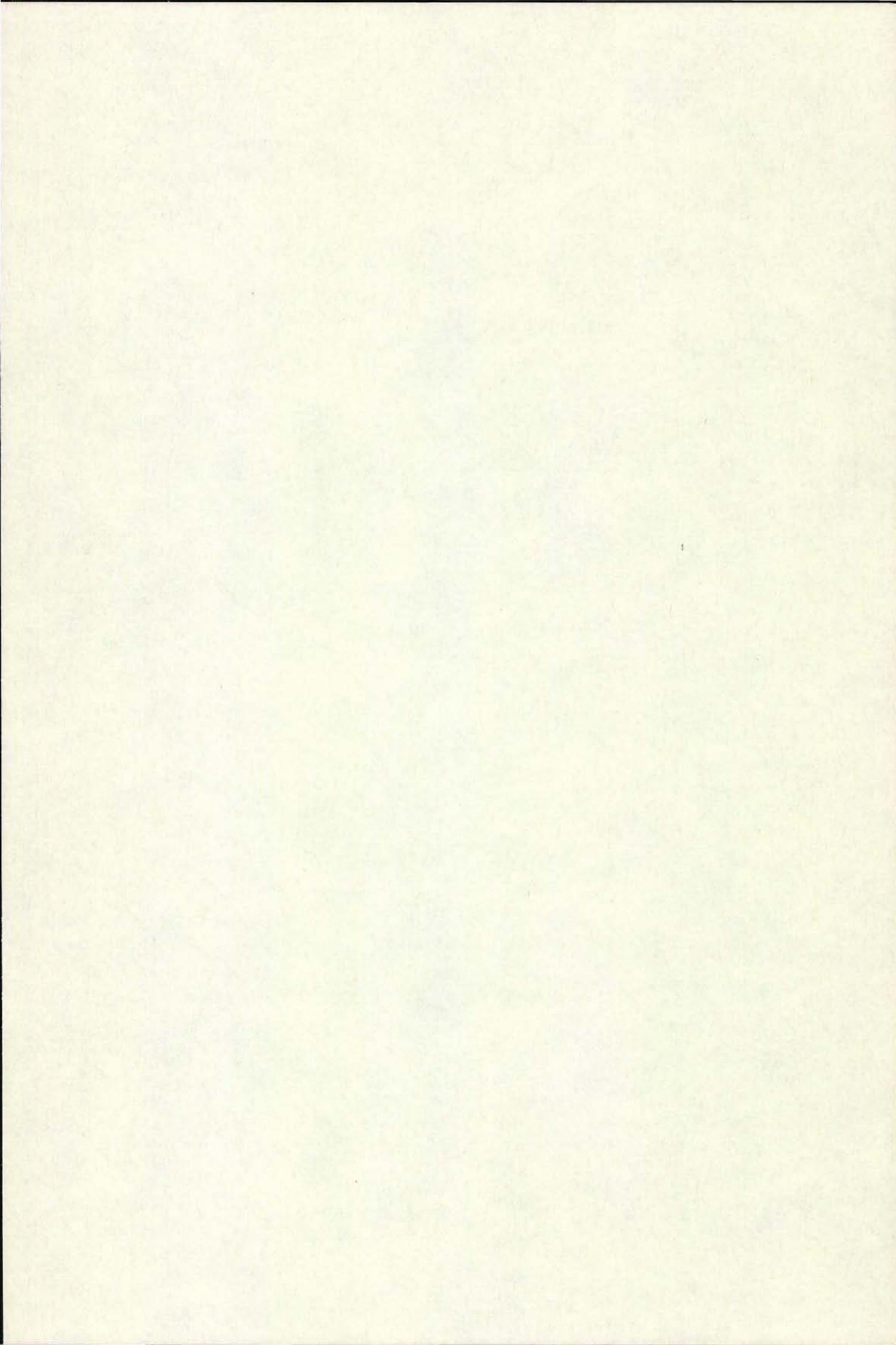
8

6

4

2

0



Rapport

OPPDRAKSRAPPORT

NSB

110 KV MATELEDNING SØRLANDSBANEN



TRON HORN
Rådgivende ingeniører

INNHOLDSFORTEGNELSE:

	Side:
Oppdragsbeskrivelse	1
Oppdragsresultater	1
Ledningstrace	1
Kostnadsanalyse	1
Hva prisene omfatter	1
Hva prisene ikke omfatter	2
Prosjektunderlag for kostnadsanalyse	2
Trace	2
Master	2
Design og konstruksjon	3
Bygging og Utførelse	3
Kort trace beskrivelse	4
Seksjonen Krossen - Saudal	4
Seksjonen Saudal - Sira	4
Seksjonen Egersund - Ganddal	4
Vedlegg	
Master.	Tegn.nr. 2042-10A.-10B
Tracekart.	Tegn.nr. 2042-1A.-1B

OPPDRAKSRAPPORT
NSB. 110 KV MATELEDNING SØRLANDSBANEN

Oppdragsbeskrivelse

- * Utarbeide kostnadsoverslag for en ny parallelførende 110 kV enfase kraftledning.
Strømførende fase skal være FeAl nr. 150-26/7. Ledningen bygges uten gjennomgående topline. Det monteres innføringsvern ved stasjoner. Linjen deles i fire seksjoner og det gies separate priser for hver enkelt del. Seksjonene er:
 - A. Krossen - Laudal
 - B. Laudal - Sira
 - C. Sira - Egersund
 - D. Egersund - Ganddal
- * Kostnadsanalysen skal utføres som en grov-studie.

Oppdragsresultater

- * Ledningstraceen er vist på tegningene 2042-1A og 1B.
Mastekonfigurasjoner for bæremaster er vist på tegningene 2042-10A og 10B.
- * Kostnadsanalysen gir følgende priser:

A. Krossen	-	Laudal.	31 km =	kr 12,- mill.	390.000 kr
B. Laudal	-	Sira.	54 km =	kr 27,- mill.	500.000 kr
C. Sira	-	Egersund.	42 km =	kr 16,- mill.	380.000 kr
D. Egersund	-	Ganddal.	52 km =	kr 18,- mill.	370.000 kr

- Prisene omfatter:
 - . Alt nødvendig materiell.
 - . Transport av materiell fra produsent til leveringssted ved anlegget.
 - . Terrengtransport til de enkelte masteplasser.
 - . Alle bygge- og montasjearbeider.
 - . Stikningsarbeider/landmåling.
 - . Konsulenthonorarer.

- Grunnerstatninger.
- Skogrydding i traceen.

Det vil si at prisene pr. km gjelder for ferdig bygget, komplett kraftledning.

- Prisene omfatter ikke:

- Merverdiavgift.

Grunnen er at merverdiavgift refunderes av det offentlige. All merverdiavgift legges på sluttproduktet og belastes reelt sett bare brukerne.

- Investeringsavgift.

I denne kostnadsanalysen er alle kostnader regnet ekskl. investeringsavgifter. Investeringsavgiften er for tiden på 7 %.

- Renter i byggetiden.

Da byggetiden vil variere mye fra prosjekt til prosjekt, og rentesansen også, er renter i byggetiden holdt utenfor i kostnadstallene. Dette kostnadselement kan i prosjekter ha en betydelig størrelse.

- Byggherrens egne kostnader innen administrasjon, planlegging o.l. i forbindelse med prosjekter er ikke inkludert i totalkostnadene.
- Tele-erstatninger og andre skade-erstatninger.
Disse kostnader kan på dette forstudie-stadium i et prosjekt ikke anslås eller stipuleres.
(Grunnerstatning og skogrydding er medtatt i kostnadene med kr 10.000,- pr. km).

Prosjektunderlag for kostnadsanalyse

* Trace. tegninger 2042-1A og 1B.

- Traceen er fremkommet som resultat av en ren kartstudie.
- Det er ikke foretatt in-situ befaringer.
- Det er ikke vært kontakt mot indirekte eller direkte parter når det gjelder traceens fremføring i terreng.

* Master. tegninger 2042-10A og 10B.

- Master forutsettes utført i limtre.

- Bæremaster : Enkeltstolper
- Vinkelmaster : Bardunerte stolper
- Avspenningsmaster: : Bardunerte H-master
- Endemaster : Bardunerte H-master, i linjeretning og tvers linjeretning.
- Spesialmaster : Ikke bardunerte master nyttes hvor snedybde >2m eller hvor snøsig forventes.

* Design og konstruksjon.

- . Norske Normer for Mekanisk Dimensjonering og Utførelse av Luftledning av 1965 er lagt til grunn for grov-prosjekteringen.
- . Ledningsklasse I er valgt for ledningers viktighet og pålitelighet.
- . Sone C og D er generelt nytta for bestemmelse av dimensjonerende laster. Unntatt herifra er tracestrekningen over Kvinneshøia.

* Bygging og Utførelse.

- . Seksjonen A, Krossen - Saudal og Seksjonen C, Sira - Egersund er klassifisert under bygningsklasse: Normale forhold
 - . Seksjon B, Saudal - Sira er klassifisert under bygningsklasse: Vanskelige forhold
 - . Seksjonen D, Egersund - Ganddal er klassifisert under bygningsklasse: Lette forhold
- . Definisjoner: Lette, Normale og Vanskelige forhold.

- Med lette forhold menes:

Traceen går i lavlandsterregng.

Traceen er forholdsvis lett tilgjengelig, dvs. små avstander fra veier/traktorveier.

Lett terregng, dvs. ingen fjelloverganger eller store høydeforskjeller i traceen.

- Med normale forhold menes:

Kraftledningen går i "vanlig" terregng uten spesielle vanskeligheter med transport

eller belastninger.

- Med vanskelige forhold menes:

Traceen går i høyfjellsterreg eller terreng med større is- og vindlaster.

Vansklig tilgjengelig trace, med helikoptertransport og lange avstander.

Kortere byggesesong pga. lang vinter.

Kort trace beskrivelse

* Seksjonen Krossen - Saudal 31 km

Traceen går i slakt fjellterreg mellom 200 og 400 m.o.h.
Traceen er lagt parallell en bestående 110 kV ledning.

* Seksjonen Saudal - Sira 54 km

Traceen ligger i kupert lende med høyeste punkt 500 m.o.h.
Strekningen over Kvinneshøia er 6 km lang og må betraktes som snaut høyfjell. Traceen ligger beskyttet med høyere terreg i nord og syd.

* Seksjonen Sira - Egersund 41 km

Traceen ligger i småkupert lende med største høyde 350 m.o.h.
Strekningen er bra beskyttet mot vind.

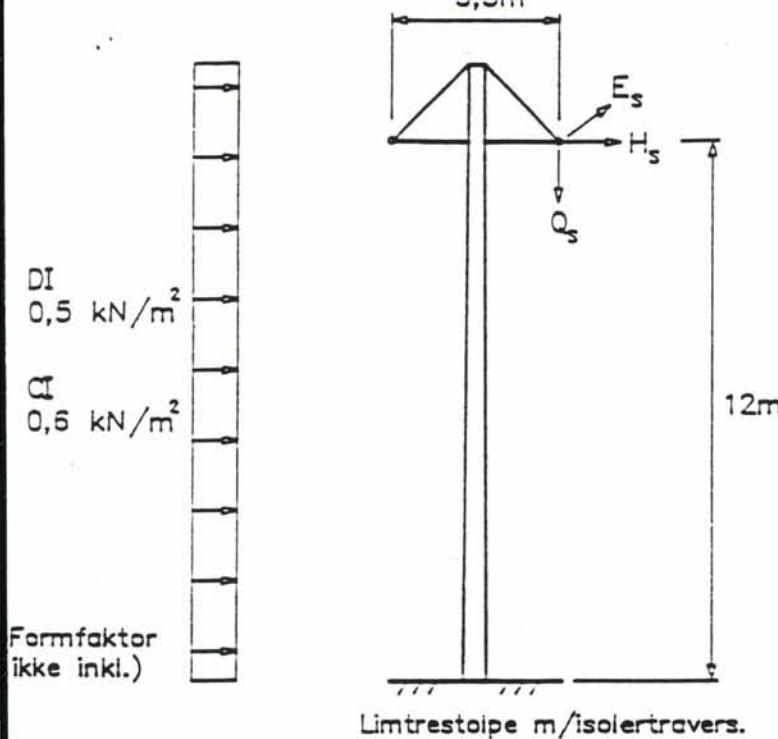
* Seksjonen Egersund - Ganddal 52 km

- Strekningen Egersund - Bryne.
Det er flatt terreg og ingen vegetasjon.
Traceen ligger med "breidsiden" mot vest, og går parallelt en eksisterende 66 kV ledning.
Terrenget varierer mellom 0 og 150 m.o.h.
- Strekningen Bryne - Ganddal.
Det er flatt terreg og høyde over havet varierer mellom 30 og 60 m.o.h.
Traceen er lagt parallelt en bestående 132 kV ledning.
Ingen vegetasjon.

Oslo, 30/8-1993

Tore Skotner

Indeks : S Strømførende line = $2 \times \text{FeAl } 150 \ 26/7$
 T Toppline = ingen



Belastningstilfelle 1					
Q _s	E _s	H _s	Q _T	E _T	H _T

Belastningstilfelle 2					
Q _s	E _s	H _s	Q _T	E _T	H _T

Laster i bruksgrensetilstand.

Belastningstilfelle 1. Isicst uten vind (0°C).

- Følgende belastninger regnes å opptre samtidig:
- Vertikal belastning fra liner med 50% av isicst.
 - 60% av eventuelt vinkeilstrek fra linene ved full isicst.
 - Ensidig strekk i en line fremkommet ved skjed isicst på denne line i ett av mastens to tilhørende spenn.

Ved dimensjonering av de enkelte mastedeler regnes med den ugunstigste kombinasjon av ytre krefter idet en reduksjon av enkelte belastninger kan føre til høyere påkjenninger. Ensidig strekk forutsettes å opptre i den for hver mastedel ugunstigste line.

Det tas ikke hensyn til avstøgende virkning fra øvrige liner. Det kan tas hensyn til eventuell reduksjon i påkjenningen på masten ved utsving av hengekjeder og ved elastisk utsving av masten.

Også ved fleridere forutsettes ensidig strekk å opptre bare i en line.

De enkelte deler av masten må hver for seg (som eget belastningstilfelle) tåle en vertikal enkellast på 100 kp (vekt av mann med verktøy) plassert på det for mastens ugunstigste sted.

Belastningstilfelle 2. Vindicst.

Følgende belastninger regnes å opptre samtidig:

- Vertikal belastning fra liner.
- Vindicst på liner og mast med tilbehør.
- Eventuelt vinkeilstrek fra linene.

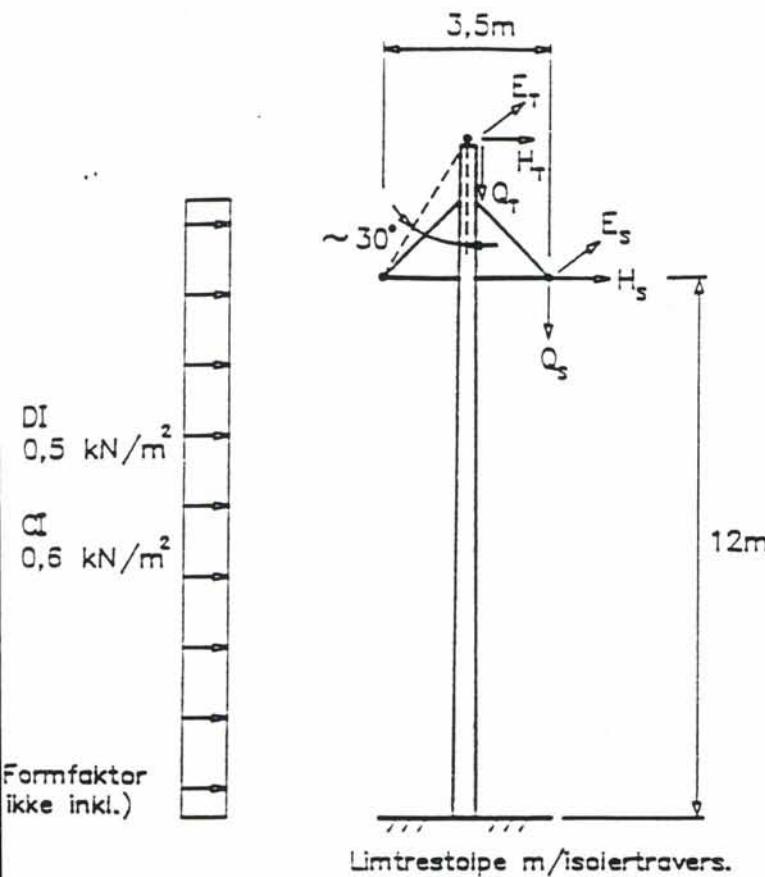
Strekket i linene regnes ut fra 0°C .

Ref. Norske Normer for Mekanisk Dimensjonering og Utførelse av Luftledinger av 1965.

Fase – Fase :
Isolasjonsavstand = 110kV

Fase – Jord :
Isolasjonsavstand = 66kV

Indeks : S Strømførende line = $2 \times \text{FeAl } 150 \ 26/7$
 T Toppline = $\text{Fe } 50\text{mm}^2$



Belastningstilfelle 1					
Q_s	E_s	H_s	Q_T	E_T	H_T

Belastningstilfelle 2					
Q_s	E_s	H_s	Q_T	E_T	H_T

Laster i bruksgrensetilstand.

Belastningstilfelle 1. Islast uten vind (0°C).

- Følgende belastninger regnes å opptre samtidig:
- Vertikal belastning fra liner med 50% av islast.
 - 60% av eventuelt vinkeilstrek fra linene ved full islast.
 - Ensidig strekk i en line fremkommet ved skjev islast på denne line i ett av mastens to tilhørende spenn.

Ved dimensjonering av de enkelte mastedeler regnes med den ugunstigste kombinasjon av ytre krefter icet en reduksjon av enkelte belastninger kan føre til nøyere påkjenninger. Ensidig strekk forutsettes å oppstre i den for hver mastedel ugunstigste line.

Det tas ikke hensyn til avstagnende virkning fra øvrige liner. Det kan tas hensyn til eventuell reduksjon i påkjenningen på masten ved utsving av hengekjeder og ved elastisk utsving av masten.

Også ved fieriedere forutsettes ensidig strekk å oppstre bare i en line.

De enkelte deler av masten må hver for seg (som eget belastningstilfelle) tåle en vertikal enkellast på 100 kp (vekt av mann med verktøy) plassert på det for mastens ugunstigste sted.

Belastningstilfelle 2. Vindlast.

Følgende belastninger regnes å opptre samtidig:

- Vertikal belastning fra liner.
- Vindlast på liner og mast med tilbehør.
- Eventuelt vinkeilstrek fra linene.
Strekket i linene regnes ut fra 0°C .

Ref. Norske Normer for Mekanisk Dimensjonering og Utførelse av Luftledninger av 1965.

Fase - Fase :
Isolasjonsavstand = 110kV

Fase - Jord :
Isolasjonsavstand = 66kV

Innføringsvern =
min. 800m for stasjoner.



TRON HORN
Rådgivende Ingenierar

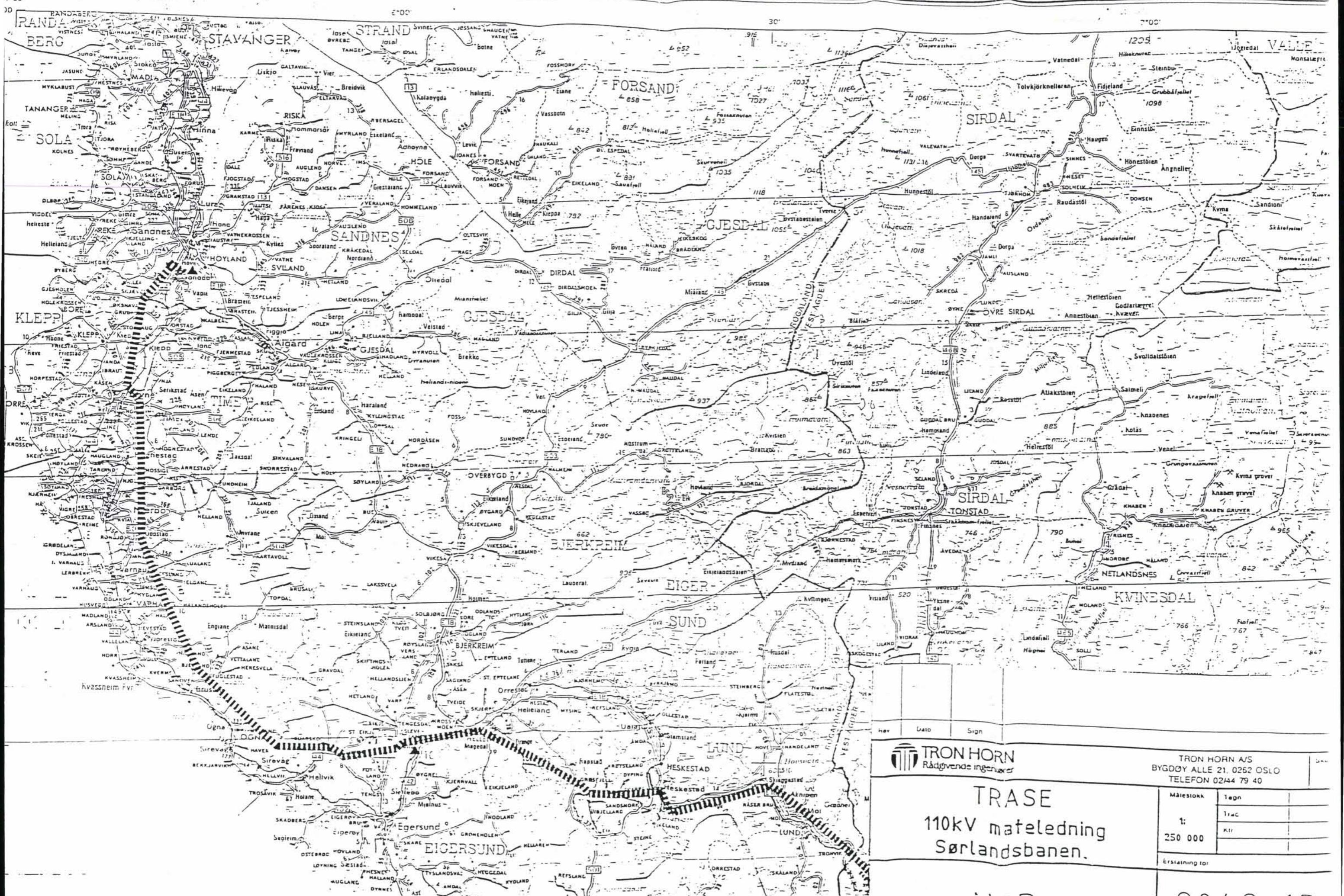
Adresse : Bygdøy Alle 21, 0262 Oslo
Telefon : 22 44 79 40 Telefax : 22 55 67 83

SKUFF NR.

TEGN.	
KPR	
ERST.FOR:	ERST.AV:
2042-10B	

ISB

10kV Mateledning Sørlandsbanen
M m/innføringsvern Kostnadsanalyse



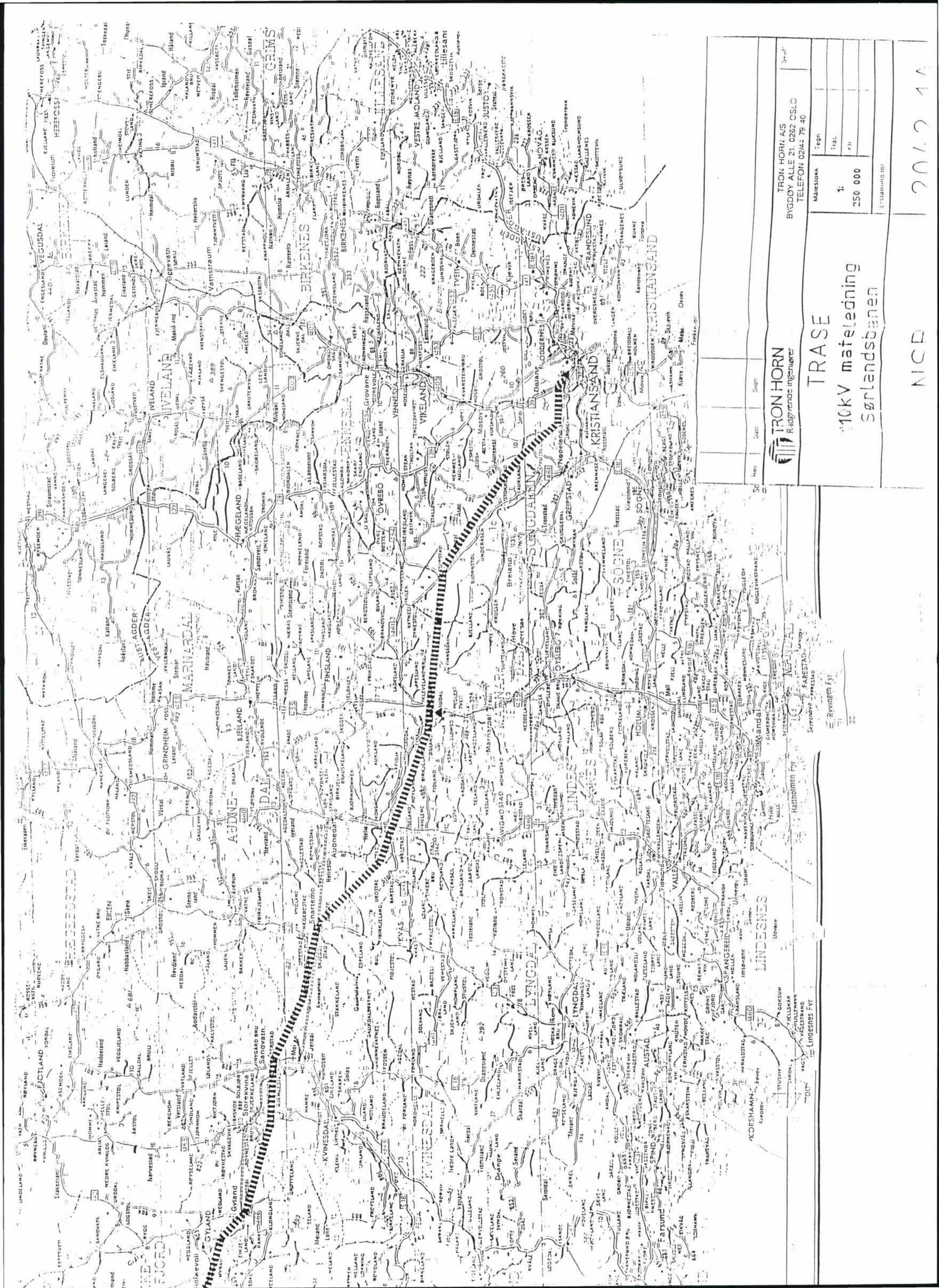

TRON HORN
 Rådgivende ingeniører

TRASE
 110kV masteledning
 Sørlandsbanen.

TRON HORN A/S
 BYGDØY ALLE 21, 0262 OSLO
 TELEFON 02/44 79 40

Målestokk	Legn
1:	
250 000	
Trac	
KII	

Erskriftning for





TEKNISK RAPPORT

Rapportens tittel:

JÆRBANEPROSJEKTE

DELPROSJEKT NR.7: STRØMFORSYNINGSKAPASITET

Rapportnummer : BrS-E-91/001

Saksbehandlere:

Carl Erik Hillesund

Dato: 18.09.1991

Gradering: Åpen

Antall sider: 22

Sammendrag:

Rapporten tar for seg strømforsyningskapasiteten for strekningen Stavanger til Sira. Dataprogrammet ACCAN er brukt for å simulere spenninger og strømmer i kontaktledningssystemet.

Ved normal drift av begge aggregater i omformerstasjonene i Sira og i Ganddal og ved togdrift etter ruteplan, vil strømforsyningskapasiteten være tilstrekkelig. Men ved utfall av ett av aggregatene i en av omformerstasjonene på en sterkt belastet tid, er ikke kapasiteten stor nok. Det er altså ingen reserve i systemet. Et kortsiktig tiltak for å bedre strømforsyningskapasiteten, er et større aggregat i Ganddal og et større aggregat i Sira.

Kondensatorbatterier på strekningen løfter spenningen ca. 1.4 kV mens forsterkningsledningen mellom Ganddal og Varhaug løfter spenningen ca. 0.4 kV.

0	Endelig rapport	Carl Erik Hillesund	O.D. Olsrum	P.J. Skjeg
Revisjon	Handlingsplan	Forfatter	Kontroll	Approb.

INNHOLDSFORTEGNELSE:

Seksjon	Side
1.0 Innledning	1
2.0 Teori	1
2.1 Lastflyprogrammet ACCAN	1
2.2 Accan brukt på NSB's jernbanenett	1
2.2.1 Matestasjoner (Omformerstasjoner)	2
2.2.2 Kontaktledningsanlegg	2
2.2.3 Forsterkningsledning	2
2.2.4 Serie-kondensatorbatterier	3
2.2.5 Lokomotiv	3
2.3 Trafikkemønster	3
2.3.1 Togtrafikk for simulering kl. 07.05	3
2.3.2 Togtrafikk for simulering kl. 18.45	3
2.4 Kapasiteter i nettet	4
3.0 Resultater fra beregningene	4
3.1 Simuleringer for tidspunkt kl. 07.05	4
3.1.1 Beregninger med sannsynlige pådrag alle tog, u/Fsl.	5
3.1.2 Beregninger med sannsynlige pådrag alle tog, u/Fsl. Brudd på samkjøring ved sonegrensebryter Slettebø.	5
3.1.3 Beregninger med fulle pådrag alle tog, u/Fsl. Brudd på samkjøring ved sonegrensebryter Slettebø.	5
3.2 Simuleringer for tidspunkt kl 18.45	5
3.2.1 Beregninger med halvt pådrag alle tog, u/Fsl.	6
3.2.2 Beregninger med halvt pådrag alle tog, m/Fsl.	6
3.2.3 Beregninger med sannsynlige pådrag alle tog, u/Fsl.	6
3.2.4 Beregninger med sannsynlige pådrag alle tog, m/Fsl.	6
3.2.5 Beregninger med sannsynlige pådrag alle tog, m/Fsl. Brudd på samkjøring ved sonegrensebryter Slettebø.	6
3.2.6 Beregninger med sannsynlige pådrag alle tog, m/Fsl. Alle kondensatorbatterier utkoblet.	6
3.2.7 Beregninger med store pådrag alle godtog, m/Fsl.	6
4.0 Diskusjon og konklusjon	7
5.0 Referanseliste	8
6.0 Vedlegg	
6.1 Grafisk rute	9
6.2 Tabell parametre for luftledning	12
6.3 Resultater presentert på koblingsskjemaer	13

1.0 INNLEDNING

Fra og med 01.01.92 vil trafikken på Jærbane øke. Dette gjelder spesielt lokaltrafikken mellom Stavanger og Egersund. De gamle motorvognsettene BM68 vil bli byttet ut med 4 nyere BM69.

Rapporten "Nytt lokaltogtilbud på Jæren, Konsekvensene for strømforsyningen" utgitt mars 1990 av NSB Engineering tar utgangspunkt i et trafikkmonster pr. februar 1990. Rapporten konkluderer med at de nye BM69 settene samt ruteendring ikke vil skape problemer for strømforsyningen eller spenningen på kontaktledningsnettet.

Siden den gangen er imidlertid det planlagte trafikkmonsteret endret en del. Det er også planlagt å kjøre doble BM69 sett i noen avganger. Det har derfor vært ønskelig å se litt nærmere på konsekvensene for strømforsyning med de nye forutsetningene lagt til grunn.

Engineerings rapport i fra mars 1990 tar for seg de høyeste belastningene som er registrert de siste 4 årene og konkluderer med at det er en viss reserve. Videre sier de at kondensatorbatterier på Varhaug og Heskestad samt forsterkningsledning mellom Gandal og Varhaug vil redusere spenningsfallet. Ved ensidig mating i fra Gandal kan man i Stavanger belaste kontaktledningen med 675 A og i Egersund med 320 A før spenningen kommer ned i 12.5 kV. En samtidig akselerasjon vil gi en belastning på under 900 A.

Denne rapporten ser på strømforsyningsskapasiteten fra en litt annen vinkel. Lastflytprogrammet ACCAN utviklet av O.W.Andersen ved NTH er brukt for å simulere forskjellige lastsituationer på strekningen Stavanger til Gyland.

2.0 TEORI

2.1 LASTFLYTPROGRAMMET ACCAN.

Dataprogrammet ACCAN (AC Circuit Analysis) er et analyseprogram for vekslestrømskreiser utviklet av O.W.Andersen ved NTH i Trondheim. Programmet går på IBM kompatible PC'er og gir løsninger for opp til 225 sinusvariable spenninger og strømmer. Resultatene av spenninger, strømmer, fasevinkler og effekter kan presenteres skrevet inn på et koblingsskjema.

Programmet bruker Gauss-eliminasjonsmetoden for å løse ligningsettene.

2.2 ACCAN BRUKT PÅ NSB'S JERNBANENETT.

Komponenter som det er ønskelig å simulere i jernbanenettet er matestasjoner, kontaktledningsanlegg, serie-kondensatorbatterier, tog og forsterkningsledning.

Mange av inngangsverdiene for simuleringene er basert på antagelser fordi det kan være vanskelig og i noen tilfeller umulig å finne helt eksakte verdier.

2.2.1 MATESTASJONER (OMFORMERSTASJONER)

En omformerstasjon er representert med en strømkilde som vist på figur 1.



Figur 1.

Spesifisert U i knutepunkt x er gitt av $U = U_0 + \text{coeff.} * \text{ABS}(I)$

Oppgitte verdier er: konstant spenning U_0 , øvre grense for spenningen U_{lim} og coeff. Koeffisienten coeff. settes lik 0.5 på grunnlag av erfaring. U_0 settes lik 16200 V og U_{lim} settes lik 16500 V.

Alle matestasjoner på strekningen består av to omformeraggregater. Simuleringsprogrammet betrakter matestasjonen som om den består av ett aggregat. Programmet beregner strømmen ut fra matestasjonen. Størrelsen på strømmen viser om grenseverdien for ett eller to aggregater er nådd. Se kapittel 2.4 for kapasiteter i nettet.

2.2.2 KONTAKTLEDNINGSANLEGG

Kontaktledningen og returveien for strømmen er representert med en konsentrert resistans og reaktans. På den aktuelle strekningen er $Z = 0.326 \text{ ohm/km}$ eller $R = 0.231 \text{ ohm/km}$ og $X = 0.231 \text{ ohm/km}$.

$R = 0.11 \text{ ohm/km}$ for returstrømmen i sporet og det gir
 $R = 0.12 \text{ ohm/km}$ på kontaktledningen.

2.2.3 FORSTERKNINGSLEDNING

Forsterkningsledningen i fra Gandal til Varhaug er $95 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$.

I følge tabell i vedlegg 6.2 er $R = 0.19 \text{ ohm/km}$. Antar $X = R = 0.19 \text{ ohm/km}$.

Forsterkningsledningen er presentert som en konsentrert R og en konsentrert X i parallel med kontaktledningen og knyttet til kontaktledningen i alle knutepunkter.

Resulterende impedans for kontaktledning og forsterkningsledning kan regnes ut som en parallelkobling av disse to impedansene.

$$R_{\text{res}} = \frac{1}{\frac{1}{R_{k1}} + \frac{1}{R_{Fsl}}} + R_{\text{spor}} = \frac{1}{\frac{1}{0.12} + \frac{1}{0.19}} + 0.11 = 0.18 \Omega/\text{km}$$

2.2.4 SERIE-KONDENSATORBATTERIER

Serie-kondensatorbatterier er representert med en konsentrert (negativ) reaktans. Varhaug og Heskestad kondensatorbatteri er på $955 \mu\text{F}$ som tilsvare 10 ohm.

2.2.5 LOKOMOTIV

Lokomotivene på den aktuelle strekningen er representert med en aktiv og en reaktiv effekt. Størrelsen på pådraget (effekten) er variert en del på de forskjellige simuleringene.

Maksimum pådrag (effekt) for de forskjellige lokomotiver er:

BM69	$P=1188000 \text{ W}$	$\cos \phi=0.8$	$Q= 891000 \text{ VAR}$	$I_{\max}=160 \text{ A}$
EL11	$P=1676000 \text{ W}$	$\cos \phi=0.9$	$Q= 812000 \text{ VAR}$	$I_{\max}=160 \text{ A}$
EL14	$P=5082000 \text{ W}$	$\cos \phi=0.9$	$Q= 2461000 \text{ VAR}$	$I_{\max}=480 \text{ A}$
EL17	$P=4440000 \text{ W}$	$\cos \phi=1.0$	$Q= 0 \text{ VAR}$	$I_{\max}=300 \text{ A}$

En av de mest usikre parametrerne er lokomotivenes pådrag fordi de er vanskelige å forutsi. For å se på hvilke konsekvenser forskjellige pådrag gir er pådragene variert en del på de forskjellige simuleringene.

2.3 TRAFIKKMØNSTER

Foreløpig grafisk rute for 1992 utgitt våren 1991 er lagt til grunn for beregningene. Den grafiske ruta er studert og tidspunktene 07.05 og 18.45 er valgt som simuleringstidspunkt fordi den aktuelle strekningen er sterkest belastet på disse tidspunktene. Se vedlegg 6.1 for grafisk rute.

2.3.1 TOGTRAFIKK FOR SIMULERING KL 07.05

På det aktuelle tidspunktet er det 5 tog på strekningen.

Type lok.	Tognr.	Type tog	Sted	Retning	Tilst.
2 x BM 69	Nr 715	Lokaltog	Egersund st.	Mot Stav.	Start
BM 69	Nr 713	Lokaltog	Varhaug st.	Mot Stav.	Start
E1 17	Nr 705	Nattog	Bryne st.	Mot Stav.	Start
E1 17	Nr 707*	Nattog	Ved Forus st.	Mot Stav.	I fart
BM 69	Nr 711	Lokaltog	Hinna st.	Mot Stav.	Start

*) Går bare natt til mandag.

2.3.2 TOGTRAFIKK FOR SIMULERING KL 18.45

På det aktuelle tidspunktet er det 7 tog på strekningen.

Type lok	Tognr.	Type tog	Sted	Retning	Tilst.
E1 14	Nr 5802	Godstog	Sira-Gyland	Mot Krs.	I fart
E1 14	Nr 5804	Godstog	Ved Helleland	Mot Krs.	I fart
E1 17	Nr 709	Fjerntog	Egersund st.	Mot Stav.	Start
BM 69	Nr 765	Lokaltog	Hellevik st.	Mot Stav.	Start
E1 14+11	Nr 5806	Godstog	Ved Varhaug	Mot Krs.	I fart
E1 17	Nr 704	Fjerntog	Ved Klepp	Mot Krs.	I fart
BM69	Nr 756	Lokaltog	Stavanger st.	Mot Krs.	Start

2.4 KAPASITETER I NETTET.

Omformerstasjonene i Gandal og Sira har hver 2 stk 5.8 MVA transportable omformere. Hver omformerstasjon kan levere:

Kapasitet 1 aggregat	Kapasitet 2 aggregater	Følg verdiene for strøm
5.8 MVA, 300 A, 16 kV kont.	13.6 MVA, 600 A, 16 kV kont.	
8.0 MVA, 500 A, 16 kV 6 min.	16.0 MVA, 1000 A, 16 kV 6 min.	
10.0 MVA, 625 A, 16 kV 3 sek.	20.0 MVA, 1250 A, 16 kV 3 sek.	

Det tillates ikke lavere kontaktledningsspenning enn 12.0 kV. Denne spenningen er satt svært lav. I praksis for å opprettholde en god togdrift bør ikke spenningen synke noe særlig under 13.0 kV. Kontaktledningen ($100 \text{ mm}^2 + 50 \text{ mm}^2$) kan belastes kontinuerlig med 600 A. En del sugetransformatorer og impedansspoler kan belastes kontinuerlig med 380 A og representere et svakt punkt.

3.0 RESULTATER I FRA SIMULERINGENE

Resultatene for de forskjellige simuleringene er presentert med spenninger og strømmer i koblingsskjema i vedlegg 6.3. Viktige resultater er også presentert i kapitlene 3.1 og 3.2.

Resultatene kan ikke betraktes som absolutt eksakte fordi det er en del usikkerhet ved noen av verdiene som er matet inn i dataprogrammet. Verdiene gir imidlertid gode indikasjoner på spenninger og strømmer i nettet. Spesielt er det interessant å se på forskjeller i spenninger og strømmer ved forandringer i nettkonfigurasjonen og pådrag for de enkelte tog.

3.1 SIMULERINGER FOR TIDSPUNKT 07.05.

Dette tidspunktet er valgt på grunnlag av tett togtrafikk og kjøring med dobbeltsett BM 69 sett.

Med sannsynlige pådrag menes at det er tatt hensyn til hvor på strekningen de forskjellige togene er, strekningens topologi og om togene starter eller er i fart.

For tidspunkt 07.05 er de sannsynlige samtidige pådragene satt til:

Loktype	Tognr.	Pådr.	Aktiv og reaktiv effekt
2 x BM 69	Nr 715	80%	$P = 2 * 0.8 * 1188000 = 1900800 \text{ W}$ $Q = 2 * 0.8 * 891000 = 1425600 \text{ VAR}$
BM 69	Nr 713	80%	$P = 0.8 * 1188000 = 950400 \text{ W}$ $Q = 0.8 * 891000 = 712800 \text{ VAR}$
El 17	Nr 705	80%	$P = 0.8 * 4440000 = 3552000 \text{ W}$ $Q = 0 = 0 \text{ VAR}$
El 17	Nr 707	40%	$P = 0.4 * 4440000 = 1776000 \text{ W}$ $Q = 0 = 0 \text{ VAR}$
BM 69	Nr 711	80%	$P = 0.8 * 1188000 = 950400 \text{ W}$ $Q = 0.8 * 891000 = 712800 \text{ VAR}$

Alle simuleringene for tidspunkt kl. 0705 viser at begge aggregatene i Gandal omformerstasjon må være i drift. Ved utfall av et av aggregatene vil vern løse ut og strømforsyningen falle ut.

3.1.1 BEREGNINGER MED SANNSYNLIGE PÅDRAG ALLE TOG, U/ Fsl.

Av vedlegg 6.3 side 13 ser vi at dobbeltsettet med BM 69 som starter på Egersund stasjon får den laveste spenningen. Spenningen er her 14.9 kV. Ingen av omformerstasjonene eller kontaktledningen er overbelastet. Situasjonen er akseptabel selv uten at forsterkningsledningen mellom Gandal og Varhaug er tatt med i simuleringen.

3.1.2 BEREGNINGER MED SANNSYNLIGE PÅDRAG ALLE TOG, U/Fsl. BRUDD PÅ SAMKJØRING VED SONEGRENSEBRYTER SLETTEBØ.

Se vedlegg 6.3 side 14. Bruddet i samkjøringen mellom Gandal omformer og Sira omformer gir at spenningen for dobbeltsettet med BM 69 som starter på Egersund stasjon blir 13.2 kV. Selv denne spenningen kan aksepteres. Strømmene i systemet er også akseptable. Sira og Gandal er normalt samkjørte.

3.1.3 BEREGNINGER MED FULLE PÅDRAG ALLE TOG, U/Fsl. BRUDD PÅ SAMKJØRING VED SONEGRENSEBRYTER SLETTEBØ.

Se vedlegg 6.3 side 15. Denne simuleringen er utført for å se på tilstanden for spenninger og strømmer i verste tilfelle for dette klokkeslettet.

Av koblingskjema for denne simuleringen ser vi at spenningen i Egersund er 12.0 kV og strømmen fra Gandal omformer er på 1000 A. Systemet er på grensen til å bryte sammen. Denne tilstanden er svært ekstrem. Sannsynligheten for at denne tilstanden skal oppstå er svært liten.

3.2 SIMULERINGER FOR TIDSPUNKT 18.45.

Dette tidspunktet har den største belastningen og det er 7 tog på strekningen Stavanger til Gyland. 3 av togene er godstog og ett av dem har to lokomotiver. Ved dette tidspunktet er det også tog som starter på Egersund stasjon som har den laveste spenningen.

For tidspunkt 18.45 er de sannsynlige samtidige pådragene satt til:

Loktype	Tognr.	Pådr.	Aktiv og reaktiv effekt
El 14	Nr 5802	80%	$P = 0.8 * 5083000 = 4065600 \text{ W}$ $Q = 0.8 * 2461000 = 1968800 \text{ VAR}$
El 14	Nr 5804	50%	$P = 0.5 * 5082000 = 2541000 \text{ W}$ $Q = 0.5 * 2461000 = 1230500 \text{ VAR}$
El 17	Nr 705	50%	$P = 0.5 * 4440000 = 2220000 \text{ W}$ $Q = = 0 \text{ VAR}$
El 17	Nr 704	40%	$P = 0.4 * 4440000 = 1776000 \text{ W}$ $Q = = 0 \text{ VAR}$
BM 69	Nr 765	70%	$P = 0.7 * 1188000 = 831600 \text{ W}$ $Q = 0.7 * 891000 = 623700 \text{ VAR}$
El 14 +11	Nr 5806	40%	$P = 0.4 * 6758000 = 2703200 \text{ W}$ $Q = 0.4 * 3273000 = 1309200 \text{ VAR}$
BM 69	Nr 756	80%	$P = 0.8 * 1188000 = 950400 \text{ W}$ $Q = 0.8 * 891000 = 130920 \text{ VAR}$

Samtlige simuleringer viser at strømmen både i Sira omformerstasjon og Gandal omformerstasjon er så stor at det må kjøres to aggregater i hver stasjon. Hvis et av aggregatene faller ut vil venn løse ut og strømforsyningen vil falle ut.

3.2.1 BEREGNINGER MED HALVT PÅDRAG ALLE TOG, U/Fsl.

Se vedlegg 6.3 side 16. Spenningen for tog på Egersund stasjon blir 13.6 kV. Denne spenningen er akseptabel. Strømmene i nettet er også akseptable.

3.2.2 BEREGNINGER MED HALVT PÅDRAG ALLE TOG, M/Fsl.

Se vedlegg 6.3 side 17. Denne simuleringen er tatt for å se på virkningen av en forsterkningsledning mellom Gandal og Varhaug. Av koblingsskjemaet ser vi at spenningen i Egersund er 14.0 kV. Spenningen har steget med 0.4 kV som en følge av forsterknings-ledningen.

3.2.3 BEREGNINGER MED SANNSYNLIGE PÅDRAG ALLE TOG, U/Fsl.

Se vedlegg 6.3 side 18. Spenningen for tog på Egersund stasjon er 13.7 kV. Denne spenningen er akseptabel. Strømmene i nettet er også akseptable.

3.2.4 BEREGNINGER MED SANNSYNLIGE PÅDRAG ALLE TOG, M/Fsl.

Se vedlegg 6.3 side 19. Forsterkningsledningen gjør at spenningen på Egersund stasjon blir 14.0 kV. Spenningen har steget 0.3 kV pga. forsterknings-ledningen.

3.2.5 BEREGNINGER MED SANNSYNLIGE PÅDRAG ALLE TOG, M/Fsl. BRUDD PÅ SAMKJØRING VED SONEGRENSEBRYTER SLETTEBØ.

Se vedlegg 6.3 side 20. Ved brudd på samkjøringen mellom Sira omformer og Gandal omformer blir spenningen på Egersund stasjon 13.4 kV. Ved Helleland blir spenningen 14.7 kV. Disse spenningene er akseptable. Strømmene i nettet er også akseptable.

3.2.6 BEREGNINGER MED SANNSYNLIGE PÅDRAG ALLE TOG, M/Fsl. ALLE KONDENSATORBATTERIER UTKOBLET.

Se vedlegg 6.3 side 21. Denne simuleringen viser i hvilken grad kondensatorbatteriene er med på å løfte spenningen. Med kondensatorbatterier innkoblet er spenningen på Egersund stasjon 14.0 kV. Uten kondensatorbatterier er spenningen 12.6 kV. Kondensatorbatteriene gir altså en spenningsøkning på 1.4 kV.

3.2.7 BEREGNINGER MED STORE PÅDRAG ALLE GODSTOG, M/Fsl.

Se vedlegg 6.3 side 22. Ønsket å se på konsekvensen for strøm og spenning ved å la godstogene få ekstra store pådrag. Tog 5802 ved Gyland fullt pådrag, tog 5804 ved Helleland 80 % pådrag og tog 5806 ved Varhaug 80 % pådrag. Spenningen ved Egersund stasjon blir da 12.9 kV. Heller ikke dette gir for lave spenninger eller for høye strømmer i nettet.

4.0 DISKUSJON OG KONKLUSJON

Det største problemet ved å prøve å simulere strømmer og spenninger i kontaktledningsnettet uten et større simuleringsprogram er fastsettelsen av togenes pådrag. Pådragene varier med blant annet sted, tidspunkt, last, lokfører etc. En må velge et tidspunkt for så å anslå togenes pådrag. Ved å forandre på parametre vil en få frem en forskjell mellom to forskjellige simuleringer som kan analyseres.

Ved en analyse må en ta hensyn til sannsynligheten for at slike tilstander kan opptre. Det er f.eks. svært liten sannsynlighet for at alle tog skal ha fullt pådrag samtidig.

Simuleringene viser at trafikken om morgenen kl 07.05 normalt ikke byr på problemer med hensyn på strømforsyningen hvis begge aggregater er i drift i Gandal. Selv med fulle pådrag på alle tog, forsterkningsledning utkoblet og brudd på samkjøringen ved sonegrensebryter Slettebø, faller ikke spenningen i nettet lengre enn til 12 kV. Når en tar hensyn til at sannsynligheten for at denne tilstanden skal opptre er svært liten, er situasjonen akseptabel. Det er ingen reservekapasitet i systemet hvis et av aggregatene i Gandal faller ut.

På kvelden kl. 18.45 er det simulert flere tog på strekningen. Det skal mindre pådrag til pr. tog før spenningen synker. Men selv med ganske store pådrag kommer ikke spenningen under 12 kV. Det ble også her prøvd med fulle pådrag alle tog, men da konvergerte ikke programmet. Ut ifra dette kan det konkluderes med at strømforsyningen er akseptabel for dette klokkeslettet hvis begge aggregater er i drift både i Gandal og i Sira. Hvis imidlertid ett av aggregatene faller ut vil de andre aggregatene bli overbelastet og falle ut de også. Det må regnes med forsinkelser og alle tog kan ikke kjøre samtidig før alle aggregater er i drift igjen. Ved alvorlig feil på et aggregat kan det være snakk om flere dager før alle aggregater er i drift igjen.

Det er konkludert med at strømforsyningsskapasiteten er tilfredsstillende for de to mest belastede klokkeslettene, men det er under forutsetning av at:

- Samtlige aggregater må være i drift når det er nødvendig og de må fungerer tilfredsstillende.
- Alle vern og reléer må være korrekt innstilte.
- Ingen kjøring med ekstratog eller ekstra forspanslokomotiver på de mest belastede tidene. Hvis dette må gjøres bør det diskuteres slik at optimal kjøring kan avtales.
- Spenninger ned mot 13 kV godtaes av de forskjellige lokomotiver.

Forutsetningen "alle aggregater må være i drift" er svært viktig. Systemet er ikke dimensjonert for den trafikken vi ønsker å kjøre i dag og det finnes desfor ingen reservekapasitet.

En kortiktig løsning for å forbedre situasjonen er å bytte ut ett av aggregatene i Gandal og eventuelt ett av aggregatene i Sira med 10 MVA aggregat(er). En ny undersøkelse for hele strekningen Kristiansand til Stavanger vil bli foretatt i nær fremtid. Der vil det også bli sett nærmere på tiltak for å forbedre situasjonen.

Det er i denne rapporten gjort simuleringer for å se på virkningen av kondensatorbatterier og forsterkningsledning.

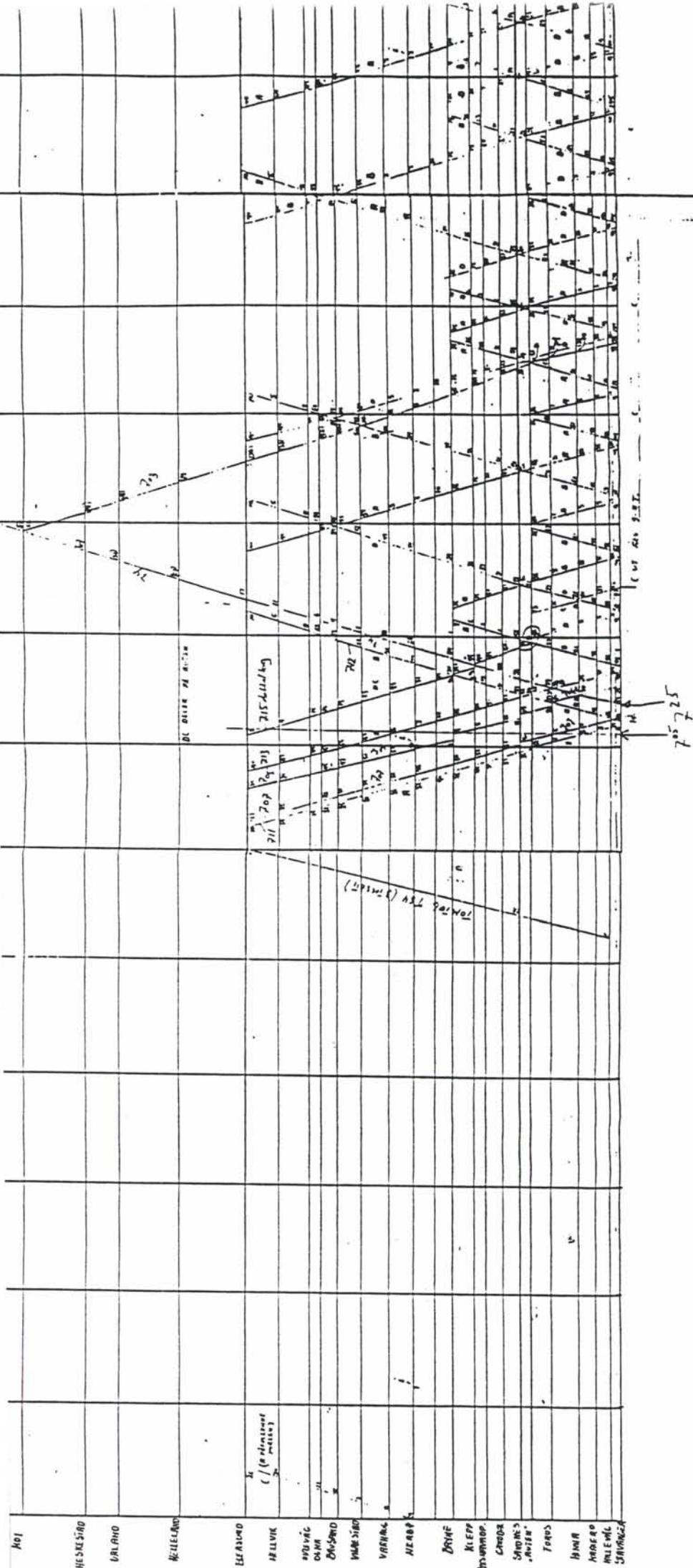
Det viser seg at kondensatorbatterier på Varhaug og Heskestad løfter spenningen for det lokomotivet med lavest spennin med ca. 1.4 kV.

Forsterkningsledning mellom Ganddal og Varhaug løfter spenningen for det lokomotivet med lavest spenning med ca. 0.4 kV.

Brudd ved Sonegrensebryter Slettebø gir at spenningen faller med opp til ca. 1.7 kV.

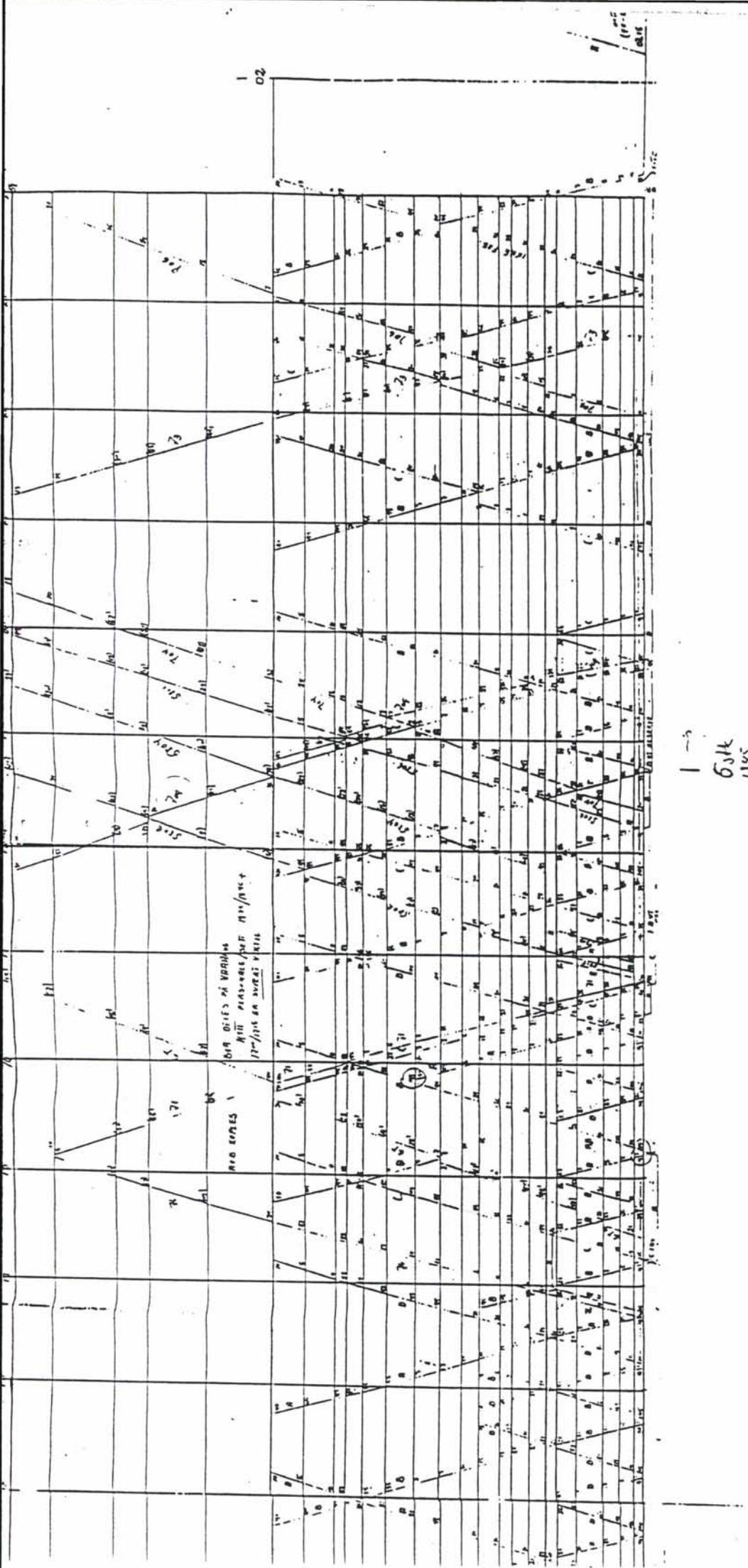
5.0 REFERANSELISTE

1. User's manual, ACCAN, O.W.Andersen, NTH, 1991.
2. Nytt lokaltogtilbud på Jæren. Konsekvenser for strømforsyningen, Arne Fæster, Hk/Ekm 20.03.90.
3. NSB Rapport, Behov for strømforsyning i forbindelse med nytt motorvognmatriell, Had September 1988.



715: $\bar{F}_{\text{Ges}} = \bar{F}_{\text{Ges}} + \bar{F}_{\text{Ges}}$ \bar{F}_{Ges}
 711: $\bar{F}_{\text{Ges}} = \bar{F}_{\text{Ges}}$ \bar{F}_{Ges}
 707: $\bar{F}_{\text{Ges}} = \bar{F}_{\text{Ges}}$ \bar{F}_{Ges}
 705: $\bar{F}_{\text{Ges}} = \bar{F}_{\text{Ges}}$ \bar{F}_{Ges}
 703: $\bar{F}_{\text{Ges}} = \bar{F}_{\text{Ges}}$ \bar{F}_{Ges}
 701: $\bar{F}_{\text{Ges}} = \bar{F}_{\text{Ges}}$ \bar{F}_{Ges}
 213: $\bar{F}_{\text{Ges}} = \bar{F}_{\text{Ges}}$ \bar{F}_{Ges}
 215: $\bar{F}_{\text{Ges}} = \bar{F}_{\text{Ges}}$ \bar{F}_{Ges}

705: $\bar{F}_{\text{Ges}} = \bar{F}_{\text{Ges}}$ \bar{F}_{Ges}
 711: $\bar{F}_{\text{Ges}} = \bar{F}_{\text{Ges}}$ \bar{F}_{Ges}
 712: $\bar{F}_{\text{Ges}} = \bar{F}_{\text{Ges}}$ \bar{F}_{Ges}
 705: $\bar{F}_{\text{Ges}} = \bar{F}_{\text{Ges}}$ \bar{F}_{Ges}
 703: $\bar{F}_{\text{Ges}} = \bar{F}_{\text{Ges}}$ \bar{F}_{Ges}
 701: $\bar{F}_{\text{Ges}} = \bar{F}_{\text{Ges}}$ \bar{F}_{Ges}
 213: $\bar{F}_{\text{Ges}} = \bar{F}_{\text{Ges}}$ \bar{F}_{Ges}
 215: $\bar{F}_{\text{Ges}} = \bar{F}_{\text{Ges}}$ \bar{F}_{Ges}



PARAMETRE FOR LUFTLEDNING (forts.)

Ledertype/navn	Linediameter Al [mm]	Bruddlast [kp]	Resistans [Ω]	Max. last ved 20° C [A]
Al 16	6.45	480	1.222	146
Al 25	8.07	730	0.717	192
Al 35	9.54	995	0.513	237
Al 50	11.40	1340	0.359	298
Al 70	13.50	1825	0.256	370
Al 95	15.90	2700	0.190	468
Al 120	17.90	3325	0.150	535
Al 150	20.00	4035	0.120	601
Al 185	22.26	5260	0.098	704
Al 240	25.34	6625	0.076	830
Al 300	28.35	8055	0.060	959
Al 329 Bluebell	29.75	8870	0.055	
Al 354 Marigold	30.87	9240	0.051	
Al 380 Hawthorn	31.95	10500	0.048	
Al 405 Narcissus	33.03	11225	0.045	
Al 430 Columbine	34.02	11560	0.042	
Al 456 Carnation	35.01	12520	0.040	
Al 481 Gladiolus	36.00	12950	0.038	
Al 596 Coreopsis	36.90	13600	0.036	

Ledertype/navn	Linediameter Cu [mm]	Bruddlast [kp]	Resistans [Ω]	Max. last ved 20° C [A]
Cu 10	3.57		1.784	
Cu 16	5.10		1.115	
Cu 25	6.40		0.714	
Cu 35	7.60		0.510	
Cu 50	9.00		0.357	
Cu 70	10.70		0.255	
Cu 95	12.60		0.188	
Cu 120	14.30		0.149	
Cu 150	15.80		0.119	
Cu 185	17.60		0.096	
Cu 240	20.00		0.074	

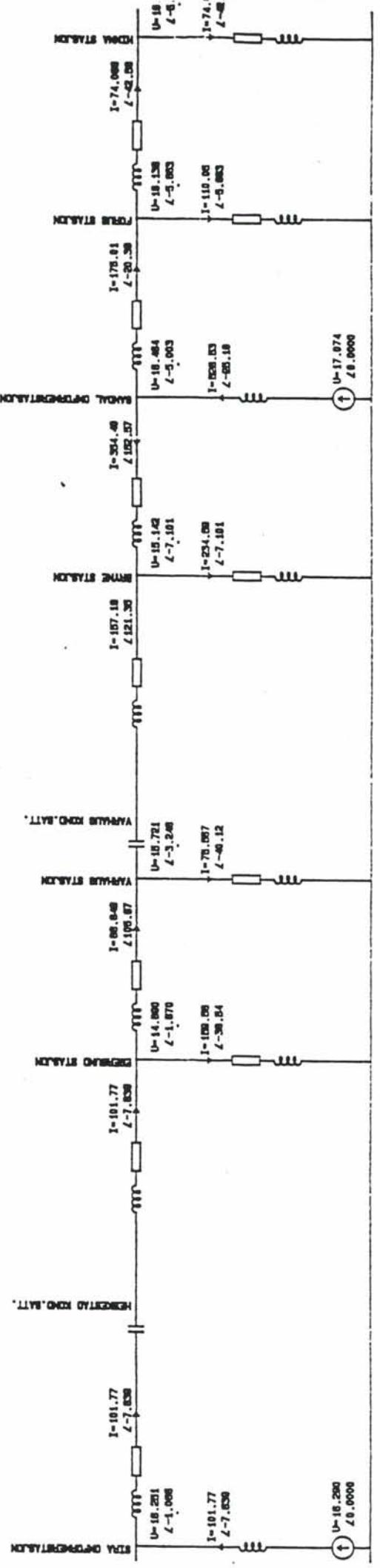
2 = EN 60

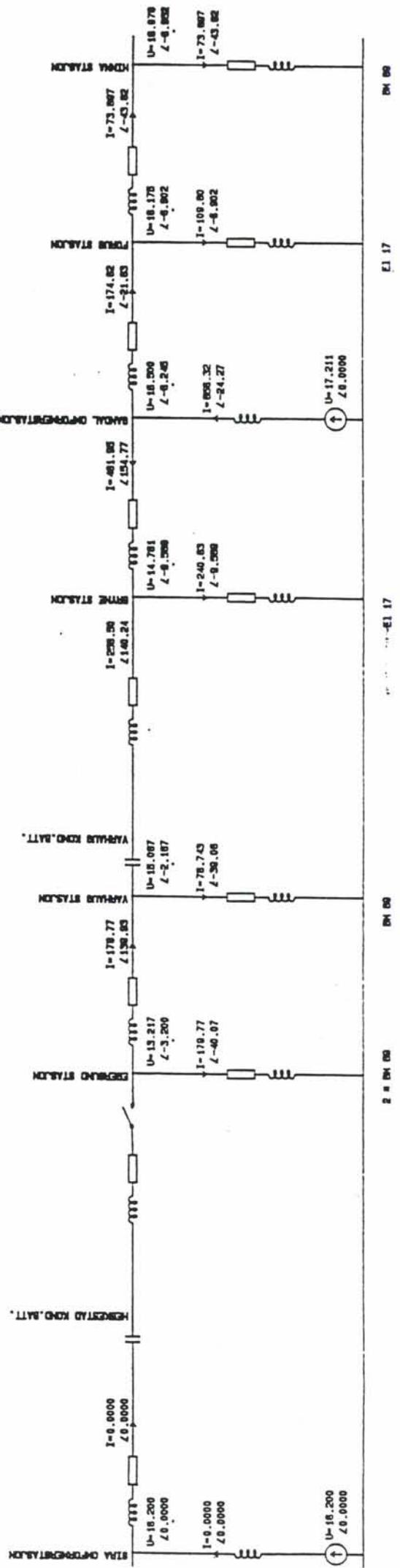
EN 60

EN 17

EN 17

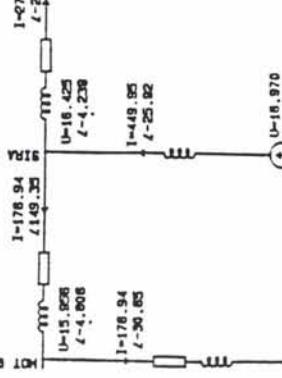
EN 60



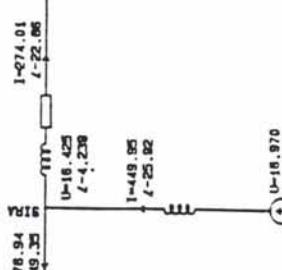


FRAMES PER SEC. NL-0704 SAMSON ISOLATOR PLATEAU. UTIL. TEST. BOARD 50 selected.

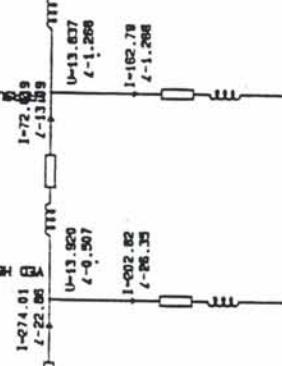
HOOT STRAIGHT PML SIRI



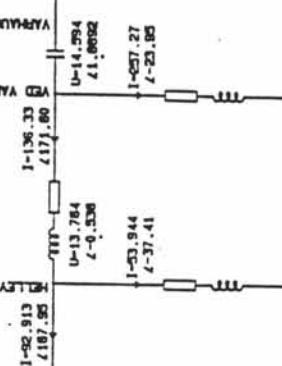
SIRI OFFSHORE STATION



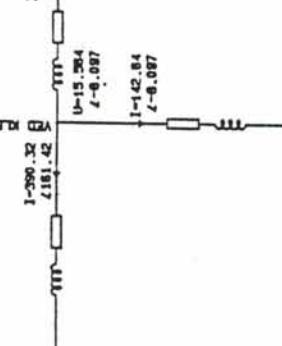
SIRI SHORE STATION



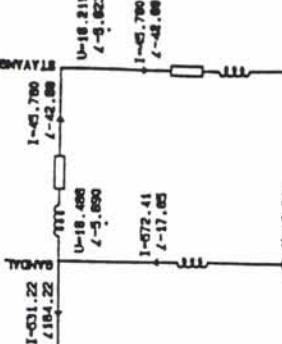
HELLVETIC STATION



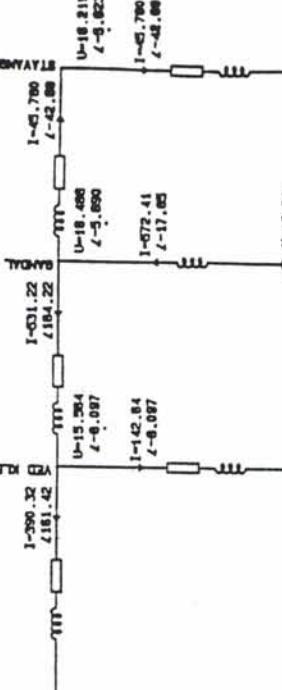
SIRI OFFSHORE STATION



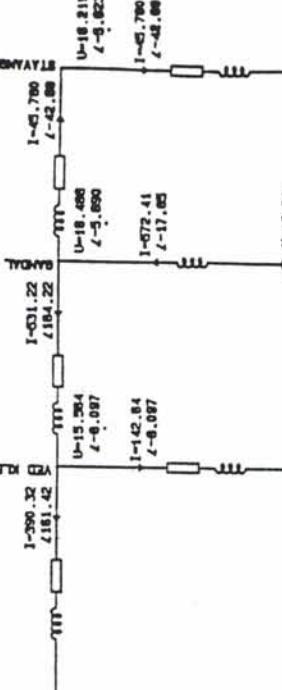
STATIONARY STATION



VARPHALE KOD. STAT.



VARPHALE



E1 16 E1 17 E1 18 E1 19 E1 20

E1 12

E1 17

E1 18

U=16.200
Z=0.0000U=17.570
Z=0.0000U=18.200
Z=0.0000U=19.000
Z=0.0000U=19.800
Z=0.0000U=20.600
Z=0.0000U=21.400
Z=0.0000U=22.200
Z=0.0000U=23.000
Z=0.0000U=23.800
Z=0.0000U=24.600
Z=0.0000U=25.400
Z=0.0000U=26.200
Z=0.0000U=27.000
Z=0.0000U=27.800
Z=0.0000U=28.600
Z=0.0000U=29.400
Z=0.0000U=30.200
Z=0.0000U=31.000
Z=0.0000U=31.800
Z=0.0000U=32.600
Z=0.0000U=33.400
Z=0.0000U=34.200
Z=0.0000U=35.000
Z=0.0000U=35.800
Z=0.0000U=36.600
Z=0.0000U=37.400
Z=0.0000U=38.200
Z=0.0000U=39.000
Z=0.0000U=39.800
Z=0.0000U=40.600
Z=0.0000U=41.400
Z=0.0000U=42.200
Z=0.0000U=43.000
Z=0.0000U=43.800
Z=0.0000

HEMERTHA KNOB, BATT.

DEBRIDGE STATION

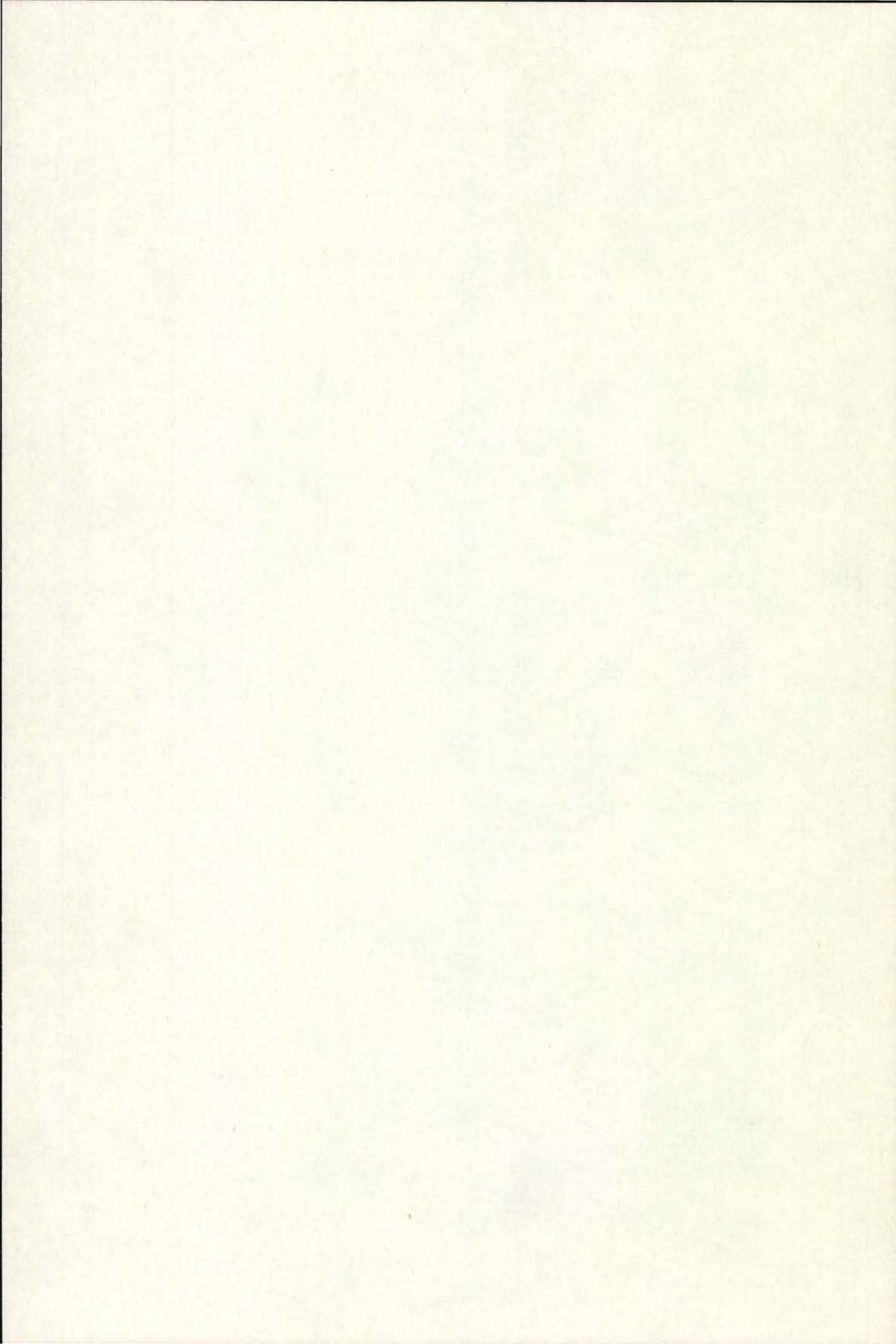
VARHILLE KNOB, BATT.

SHAWNEE STATION

SIGNAL OPERATING STATION

POOKS STATION

KODIA STATION



Vedleggsrapport 4 til hovedplan for strømforsyning, sørlandsbanen.

INNLEDNING

UNDERSØKELSE AV RETURSTRØMSKRETS I BrS.

Etter initiativ fra Baneregionsjefen i BrS har det vært utført et arbeide med å finne fram de kritiske komponentene hovedsakelig i returstrømskretsen i banestrømforsyningen.

Bakgrunnen for oppdraget var de begrensede mulighetene for å fremføre det kraftigste trekraftmatriellet på sørlandsbanen, spesielt på strekningen mellom Kristiansand og Stavanger.

Undertegnede, Helge Jørn Hansen, Håvard Noraberg(signal), Tony Dæmring BrV, Hege Fadum BI, Arne Kr. Røren, Brit Eggen Bt, Tor Thoresen Bt har i større eller mindre grad bidratt til denne delrapporten.

Det er dessuten referert til rapport fra Gardermobanen om behov for sugetransformatorer i returkretsen.

KONKLUSJONER

KONKLUSJON MED HENSYN PÅ STRØMFORSYNINGSKAPASITET.

Det kan tyde på at det er fordelaktig å skifte ut sugetransformatorene for å redusere spenningsfallet. Dette har imidlertid ikke vesentlig innvirkning på totalkapasiteten i nettet men vil i større grad virke inn i form av sporfeltbelegg og andre regularitetsproblemer med knyttet til signalanlegget og som er relatert til samvirkeproblematikken mellom signal- og strømforsyninganleggene.

De sugetransformatorene som NSB benytter idag er ikke spesifisert på riktig måte. Banedivisjonen bør snarest utarbeide spesifikasjon på sugetransformatorer med større magnetisk kapasitet.

Det vil ikke bli bygd forsterkningsledning for å redusere spenningsfall og redusere energitap på sørlandsbanen idag.

For at dette skal bli lønnsomt må det være et større trafikkgrunnlag. Dette bør imidlertid absolutt vurderes på f.eks Gardermobanen og andre tettrafikkerte baner.

KONKLUSJON MED HENSYN PÅ SIGNAL-PROBLEMER.

Det arbeidet som er utført ved teknisk kontor BrS konkluderer med at det er fordelaktig å skifte ut impedansespoler m.h.p. sporfeltbelegg.

Erfaringene i siste halvår 94 tyder på at det er meget viktig å justere nullfeltet ved sugetransformatorene i forhold til kontaktledningens vekslingsfelt.

Det videre arbeidet som til nå er initiert i BrS er:

Etablering av simuleringsmodell for returkrets i MATLAB.

Dette vil forhåpentligvis gi oss endel svar på om NSB bør endre kravene til sugetransformatorer og impedansespoler samt kontruksjon av sugefelt, og delvis også sporfelt.

Det vil bli utført målinger på reell belastning i nettet. El16 og lok2000 vil være de mest interessante (støykilder). Det er åpenbart at lok2000 er en støykilde uten at årsaken på noen måte er klarlagt i banedivisjonen.(Disse lokomotivene innføres om 2-4år og vi bør være i forkant med våre tiltak).

Det vil under forutsetning av godkjennelse fra sikkerhetskontoret/Btt bli gjort forsøk med returkrets uten nullfelt på Kongsvinger- eller Drammensbanen.

PUNKTVIS OPPSUMMERING

PROBLEMSTILLINGER

Strømforsyningsproblemene på sørlandsbanen har artet seg på flere måter som:

- 1 Lav spenning, spesielt i Laudalsområdet mellom Kristiansand og Sira. (Avstanden mellom matestasjonene i dette området er 103km.)
- 2 Brente skinneskjøter i nullskinnen i sugetraofeltene.
- 2b Brenning av skinneskjøter ved kjøring med løslokomotiver.
- 3 Sporfeltbelegg i perioder med stor avledning fra skinnestrengen (høyt saltinnhold, spesielt på Jærbanken) i kombinasjon med elektriske tunglastperioder med tyristormatriell.

Alle disse faktorene har ført til at det er innført restriksjoner som i praksis nekter El16, lok2000 å trafikkere sørlandsbanen vest for Kristiansand. Det er dessuten lagt inn restriksjoner på 400A for El16 lokomotivene på sørlandsbanen fra Kristiansand og vestover.

TILTAK SOM SYNES Å HA EFFEKT.

LAV SPENNING kan delvis skyldes underdimensjonerte sugetransformatorer og impedansspoler samt underdimensjonert returkrets inn mot omformerstasjonen.(Mellom sporet og omformerstasjonen). På den største delen av strekningen mellom Kristiansand og Stavanger er det 150A og 250A sugetransformatorer. Verdiene på disse komponentene er etter de dataene vi til nå har klart å bringe på banen å betrakte som en ren termisk verdi og sier ingenting om hvilken magnetisk kapasitet den aktuelle transformatoren har.

Som et eksempel kan det nevnes at en 380A sugetransformator har en kapasitet på 570V på sekundærsiden før den begynner å kreve en vesentlig større magnetiseringsstrøm og til slutt går i metning. (D.v.s. at blikket i trafoen ikke tåler større flukstetthet og sammenhengen mellom den påtrykte Gauss (amperevinding) verdien og flukstetheten i jernet er ikke lenger lineær.)

Til sammenligning går en 600A sugetrafo fra Møre-Trafo i metning ved 440V ifølge Møre-trafos egne målinger. D.v.s. at man ved utskiftning fra 380A til 600A sugetrafoer må korte ned avstanden mellom sugetrafoene til 440/570 ganger den opprinnelige lengden for å beholde samme returstrømskapasitet. **I PRAKSIS BLIR DET MOTSATTE GJENNOMFØRT I ALLE ENHETER I NSB SÅVIDT MEG BEKJENT.**

Det jeg vil fram til med dette resonnementet er at den totale returimpedansen i nettet er sterkt påvirket av i hvor stor grad sugetransformatorene går i metning. Spenningsfallet i returkretsen blir ikke nødvendigvis redusert vesentlig av at man øker til sugetrafoer med større strømkapasitet. Det er belastningen på den enkelte trafo (lengden på sugefeltet) som avgjør returimpedansen i nettet p.g.a dette avgjør magnetiseringsstrømmen.

IMPEDANSSPOLENES innvirkning på lav spenning i nettet d.v.s. hvorvidt disse påvirker nettets totalimpedans vesentlig er ikke klarlagt men vi vil utføre målinger og beregninger for å kartlegge dette i nær framtid. Ved driftsforhold med store tverrspenninger (skjevavledning) er dette sannsynligvis en vesentlig faktor.

RETURLEDNING har ikke vesentlig innvirkning på spenningsfallet i nettet med mindre denne overdimensjoneres utover den ekvivalente skinneimpedansen. Av andre årsaker som berøres senere bør det imidlertid bygges returledning på alle baner der det bygges om kontaktledningsanlegg eller nyelektrifiseres.

FORSTERKNINGSLEDNING reduserer spenningsfallet. Når det bygges om kontaktledningsanlegg på de enkelte banestrekninger bør det utføres beregninger på hvordan forsterkningsledning og overdimensjonert returledning virker inn fra et ENØK-synspunkt. Beregninger gjort i Sverige har vist at en forsterkningsledning(i praksis økning av tverrsnittet på kl-anlegget) har vært tjent inn på seks år p.g.a. rene energibesparelser.

BRENTE SKINNEISOLASJONER.

Brenning av skinneisolasjoner i sugefelt er et problem som i tillegg til at det forårsaker vedlikeholdskostnader for et tosifret antall millioner på landsbasis innebærer store regularitetsproblemer. Dette er p.g.a. dagens oppbyggning av feilstatistikken vanskelig å anslå med stor sikkerhet.

JUSTERING AV VEKSLINGSFELT.

Et tiltak som er helt vesentlig er at vekslingen mellom ledningspartene foregår midt på mellom isolasjonene på nullskinnen. Jeg vil ikke berøre teorien bak dette i dette notatet men mekanismen er tilsvarende det som skjer dersom man åpner klemmene på sekundærsiden til en strømtransformator
Dette genererer enorme spenninger og altså påfølgende brenning av skinneisolasjoner.

Dersom det er kort nullfelt bør dette enten utvides eller kontaktråden må trekkes opp hurtigere i nullfeltet for å få en kortere veksling. Bt v/Tor Egil Thoresen har hengetrådtabeller for å takle dette.

LENGDEN PÅ NULLFELTTET.

Et annet spørsmål i denne sammenhengen er lengden av nullfeltet. Dette er idag 30m på nye anlegg. Erfaringer på sørlandsbanen bl.a. etter en "forsiktig" prøvekjøring med lok2000 som løslokomotiv til Stavanger førte til enorme skader på isolasjonene. Årsaken til dette kan være at hele lokmotivet var inne på nullfeltet uten å kortslutte noen av isolasjonene i sugefeltet. Skjematiske vil dette medføre at laststrømmen går gjennom primærviklingen men bare gjennom halve sekundærviklingen (p.g.a. at returstrømmen går gjennom midtuttaket i sugetrafoens sekundærside) noe som igjen kan generere store overspenninger som brenner isolasjonene.

Dersom dette viser seg å være korrekt, bør nullskinnen i sugefeltet ikke ha en lengde på mer enn hjulavstanden til det korteste lokomotivet (ca.10m) i lokparken.

IMPEDANSESPOLENES INNVIRKNING

Erfaringene i deler av BrS viser at det er en sammenheng mellom størrelsen på impedansspoler og brenning av isolasjoner.

I kombinasjon med underdimensjonerte sugetransformatorer og skjev avledning fra sporene (p.g.a. f.eks mastejording eller spesielle jordforhold) samt tyristorstyrte lokomotiver med likestrømsmotor, kan men tenke seg at strømmen ser en relativt stor motstand gjennom impedansspolene p.g.a. at disse lokomotivene trekker meget store overharmoniske strømmer som utfra elementær kretsteknikk ser en større impedans gjennom en induktans. Dette KAN føre til at strømmen går utenom nullfeltet istedenfor gjennom sugetransformatorens sekundærside noe som igjen kan føre til brenning av isolasjoner.

RETURLEDNINGENS FUNKSJON

Ved bygging av systemer med returledning vil brenning av isolasjoner reduseres betraktelig p.g.a. at hvert sugefelt kun belastes med den strømmen som tog(ene) fram til neste sugefelt forbruker (og ikke sum strøm som tilfellet er uten returledning). Dette reduserer belastningen på hver enkelt sugetrafo og det vil ikke oppstå overspenninger over isolasjonene på samme måte.

På litt sikt vil det mest sannsynlig være mulig å fjerne isolasjoner i forbindelse med sugefelt.(Se jordingsprosjektrapporten).

NEDBRYTING AV ISOLASJONER AV ANDRE ÅRSAKER.

Det er erfart at sugefelt plassert i kurver og stigninger er mer utsatt for gjennombrenning enn på rettlinje. Det er åpenbart at de mekaniske forholdene også virker inn.

Isolasjonenes aldring som funksjon av elektrisk og mekanisk belastning er noe vi vet lite om.

SPORFELTBELEGG P.G.A. RETURSTRØMMER.

Med vårt signalsystem med dobbeltisolerte sporfelter er systemet meget følsomt for skjev avledning fra sporet. D.v.s. andelen strøm som går ut av skinnestrengen og i jord mellom hver sugetransformator ikke er lik for begge skinnestrengene.

Dette genererer i sin tur en spenning mellom skinnestrengene (en tverrspenning) som ikke må overstige en maksimumsverdi på 20V. Ved tverrspenninger større enn 20V vil vi p.g.a. oppbygningen av sporfeltreleene få falsk sporfeltbelegg som er en driftsforstyrrelse p.g.a. at togleder må sette togveien på nytt etter henvendelse fra lokfører via blokktelefon.

Tiltakene ved disse problemene er avhengig av hva som forårsaker skjevavledningen. Enkelte årsaker er åpenbare:

-Mastejording i samme skinnestreng over lengre avstander.
Kan løses med jording gjennom impedansespole.

-Godt ledende jordsmønster p.g.a. høyt saltinnhold.
1: Løses med kortere sporfelter og kortere sugefelter.
2: Impedansespoler med kraftigere magnetisk kobling mellom skinnestrengene utredes. (En slags forsterket sugetrafoeffekt mellom skinnestrengene).
3: Sugetransformatorer med større metningsspenning på transformatorens sekundærside utredes.

I tillegg er returledning også her løsningen p.g.a. at dette fjerner størstedelen av strømmen fra sporet og på den måten også reduserer skjevavledningen p.g.a. at avledningen utgjør en prosentandel av den totale skinnestrømmen.

FJERNING AV SUGETRANSFORMATORER.

Gardermobanen driver i disse dager og undersøker muligheten for å bygge bane uten sugetransformatorer. Dette stiller andre krav til bl.a. signalsystemet og er noe suspekt m.h.p. teleforstyrrelser. Avhengig av hvilke konklusjoner/erfaringer det trekkes på Gardermobanen er dette fullt mulig på store deler av sørlandsbanen, spesielt utenfor tettbygde områder.

Jernbaneverket

Biblioteket

JBV



09TU10000

100058