

NSB. teknikk

1

1985
(26)

Teknisk informasjon fra Norges Statsbaner



Ombyggingen av bruer Hamar—Otta

Det er ikke overlevert noen beregninger eller forskrifter for dimensjoneringen av de jernbanebruer som ble bygd i tidsrommet fra 1851 til 1890. Fra 1890 ble det imidlertid satt i gang revisjonsberegning av de gamle bruer. Det kontor som stod for revisjonsberegningen og som er opprinnelsen til NSB's nåværende brukontor, fikk dessuten som oppgave å konstruere bruer for nye baner. Som beregningsgrunnlag ble valgt det såkalte «anleggstog for bredt spor», supplert med «fremtidstog for bredt spor». Disse belastningstog hadde maksimal aksellast 13 tonn og metervekt 4,8 t/m. De viktigste nyanlegg hvor bruene ble bygd for denne belastning, var Hamar—Otta og Kongsvinger—Flisa.

Økte krav til bruenes bæreevne førte til at det i 1899 ble vedtatt et nytt belastningstog, «Belastningstog av 1899», med maksimal aksellast 18 tonn og metervekt 6,6 t/m, som ble lagt til grunn for alle nyanlegg fram til 1932.

I 1955 var alle bruer fra den første periode fram til 1890 ombygd eller under ombygging, mens en rekke bruer bygd i 1890-årene for «anleggs- og fremtidstog», fortsatt var i bruk og førte til restriksjoner for bruken av våre tyngste lokomotiver. Dette var bl.a. tilfelle på strekningen Hamar—Otta, og en hovedoppgave var å erstatte disse med nybygg. Utskiftingen av disse bruspen skjedde i løpet av 1956 og 1957, og i dette arbeid kom våre to nye 50 tonnns utrykningskraner til god nytte. Som et eksempel er vist utskiftingen av bru over Moelven. Den gamle bru fra 1894 hadde to fagverkspenn, hvert på 36 m, og disse ble erstattet av platebærer-spenn. Arbeidet måtte skje uten avbrudd av jernbanetrafikken, og de nye spenn ble derfor sammenbygd inne på land og lagt inn med hjelp av kranene i mellomrommet mellom to tog.

Bilde 1 viser den ferdige nye brua, mens bilde 2 og 3 viser to faser under utskiftingen, som foregikk i juli 1956.



Informasjonsblad
for Norges Statsbaner

Årgang 11, 1985
Nummer 1 (26)

Utgiver:
Norges Statsbaner
Hovedadministrasjonen
Storgt. 33
Postboks 9115 Vaterland
0134 Oslo 1

Telefon: (02) 20 95 50



Redaksjonsutvalg:
F. Holom (formann)
K. Igelkjøn
H. Karlsson
S. Kloster
I. Rustad
S. Tennebø

Avdelingskontakter:
Å. Dale, E.
A. Enerud, M.
A. Nordby, M/Tekn. lab.
T. Vasset, D/Pla.
K. Mathisen, Plak.

Sats, repro og trykk:
Grøndahl & Søn Trykkeri

Opplag: 3000
Ettertrykk tillatt når kilde
oppgis

ISSN 0333-0214

Artikler og innlegg i NSB-tek-
nikk uttrykker forfatterens
meninger. Disse representerer
ikke nødvendigvis NSB's offi-
sielle synspunkter.

Omslagsbildet:
Elektrisk bandedrift.
Seriekondensatorbatteri.

	Side
Ombyggingen av bruer Hamar–Otta	2
Krogsæter, Karsten: Nye utfordringer for NSB-teknikk (leder)	4
Børresen, Helge E.: Elektrisk bandedrift i Norge	5
Kloster, Sverre: Elektrisk bandedrift: Litt om trekkraftmateriell	7
Fæster, A.: Elektrisk bandedrift: Matestasjoner	11
Telle, Ole.: Elektrisk bandedrift: Kontaktledning og strømavtaging	16
Dragseth, Erling: Elektrisk bandedrift: Tilsyn med NSB's elektriske anlegg	22
Rasmussen, Eilert: Elektrisk bandedrift: Svakstrømsanlegg, påvirkning fra banestrøm. Teleseksjonen	23
Solheim, A.: Elektrisk bandedrift: Påvirkning fra tyristorstyrt trekkraftmateriell på signalanleggenes sporfelter	25
Kristiansen, Børre: LCC – et hjelpemiddel ved planlegging, anskaffelse og drift av tekniske anlegg	27
Svensøy, Arne: Optimalisering av hastighetsprofilen	30
Henriksen, Arne: Holmlia stasjon	31

Bruserien: Ved Per Hektoen

Nye utfordringer for NSB-teknikk

Da «NSB-teknikk» startet i 1975, skrev daværende TD Løvseth en lederartikkel om bladets vesentligste oppgaver, blant annet:

- å gi orientering om nytt teknisk utstyr i NSB*
- å gi meddelelser om planer og muligheter på det tekniske område i NSB*
- å orientere om utviklingen på det internasjonale plan, som kan ha betydning for den tekniske utvikling ved NSB*
- å være organ for lansering av nye idéer, eventuelt også være debattforum.*

«Jeg håper «NSB-teknikk» vil svare til forventningene,» skrev Løvseth.

Nå er 10 år gått, og den enkelte leser bør tenke etter om forventningene ble innfridd. Kanskje du også kan fortelle Redaksjonskomitéen hva du syns?

Ved en 10 års milepel er det dessuten grunn til å se framover. Vår bedrift står foran store utfordringer. Vi er utsatt for hard konkurranse i transportmarkedet. Det er derfor nå lett å se behovet for å effektivisere vår organisasjon, å bedre våre produkters pris og kvalitet samt å satse mer på markedsføring og salg. Men det er også grunn til å minne om at vår bedrifts konkurranseevne sterkt avhenger av kvalitet og økonomisk rasjonalitet innen bedriftens tekniske sektor.

Her ligger kanskje den viktigste framtidsutfordring for «NSB-teknikk». Vårt tidsskrift skal fortsatt ha de oppgaver som Løvseth i sin tid pekte på, men alle artikler bør ha et felles mål: Å bidra til at våre kolleger innen teknisk sektor inspireres og dyktiggjøres i sitt arbeid med å gjøre NSB til en mer livskraftig bedrift.

Karsten Krogsæter
Teknisk direktør

Elektrisk banedrift i Norge

Av sjefing. Helge E. Børresen

I land med baner med sterk stigning og med rimelig disponibel vannkraft, våknet interessen for elektrisk banedrift tidlig i elektromotorens historie. Større ytelser ble mulig ved rimelig lokomotivvekt når drivkraften kunne produseres stasjonært og ikke om bord, som i damplokomotivet. Alternativet diesellokomotiv kom dessuten først etter 1908, over 20 år senere enn elektrolokomotivene.

I 1908 fikk Norge den første banen med elektrisk drift, Thams-havnbanen, og i 1911 Rjukanbanen. NSB's første elektrifiserte strekning, Oslo—Drammen kom i 1922.

Litt om utviklingen av banestrømsystemene

I 1879 kom den første elektrisk drevne bane i drift i Tyskland med 120 volt likespenning på kontaktledningen.

Senere ble likestrømmotoren utviklet for spenninger helt opp til 3000 volt, som da også ble kontaktledningsspenningen f.eks. i Belgia og Italia. Men større utbredelse fikk 1500 volt likestrømsystemet, bl.a. i Frankrike og Holland på sterkt trafikkerte baner.

Høyere spenningsnivå var dog aktuelt og kunne den gang bare oppnås med vekselstrømmotorer. De første vekselstrømdrevne baner, bl.a. i Sveits i 1899, var basert på 3-fase kontaktledning og 3-fase sleperingmotorer. I Tyskland satte en elektrisk motorvogn basert på dette systemet allerede i 1903 den fantastiske hastighetsrekord på 210 km pr. time.

3-fasesystemet fikk beskjeden utbredelse.

Men 3-fasemotoren har i våre dager fått sin renessanse som banemotor og i langt enklere utgave, takket være moderne reguleringssteknikk som også overflødiggjør komplisert 3-fase kontaktledning. Vårt nyeste dieselelektriske materiell Di 4 og BM 92 og elektrolokomotiv type El 17 har 3-fasemotorer. Disse banemotorene er uten sleperinger eller kullbørster, men har hittil uovertrufne egenskaper.

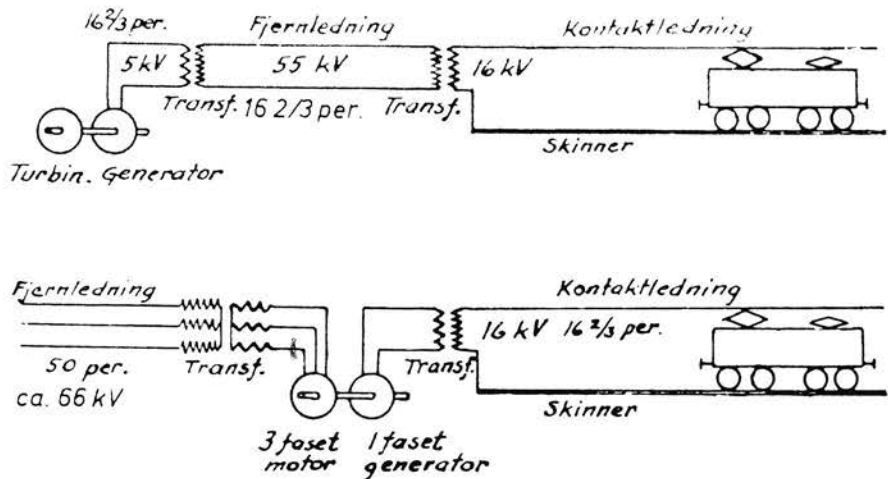


Fig. 1 Elektriske baners strømforsyning.

Likestrømbaner ble dominerende i over 25 år fordi det var likestrøm «serie-kommutatormotoren» som viste seg best egnet som bane-motor.

Men så ble det utviklet en variant av denne motortypen for vekselstrøm, og fra 1905 var dermed elektrifisering ved flere baner som hadde «stått over» likestrømalternativet snart i gang. Riktignok klarte man ikke å få denne motortypen brukbar for vekselstrøm med så høy frekvens som ved alminnelig strømforsyning, dvs. 50 Hz i Europa. Noen baner i USA og ellers noen få som f.eks. Thams-havnbanen, valgte frekvensen 25 Hz. Men det ble 16 2/3 Hz (50/3), som bl.a. Rjukanbanen valgte, som senere ble standard ved dette 1-fasesystemet.

Elektrifisering med frekvens 50 Hz fikk først sitt gjennombrudd omkring 1960 med silisiumlike-retteren, fordi likestrømbanemotoren da ble brukbar i trekraftmateriell for vekselstrømdrevne baner. Allerede fra 1955 hadde riktignok Frankrike satt i gang med 50 Hz-systemet ved hjelp av mere kompliserte likerettertyper. Forvaltninger som har begynt elektrifiseringen etter 1960, har valgt 1-fase

50 Hz-systemet og 25 kV kontaktledningsspenning. Baner med denne såkalte industrifrekvensen er i senere år også bygd med kontaktledningsspenning 50 kV. Det gjelder gods- og gruvebaner med lange transportavstander.

Elektrifiseringen ved NSB

Stortinget vedtok allerede i 1912 at Drammenbanen skulle elektrifiseres. Men langvarige utredninger fulgte, bl.a. med bruk av utenlandske eksperter. Klarsignalet kom først 4 år etter, og driften startet i november 1922.

Vedtaket om evt. videre elektrifisering ved NSB skulle utstå til en gruppe oppnevnt av NTH, som arbeidet fra 1922 til 1924, hadde gjort nye undersøkelser, bl.a. om systemvalg og om kostnader og fremdrift «i det tempo våre statsfinanser tillater», som mandatet bl.a. lød. Tyskland hadde allerede i 1912 valgt samme system som på Drammenbanen, men likevel ble også likestrømsystemet med 3000 volt og 3-fasesystemet vurdert av gruppen som alternativer. Innstillingen konkluderte dog med at man skulle fortsette med systemet fra

Drammenbanen dvs. 16 2/3 Hz og 15 kV kontaktledningsspenning.

I NSB-elektrifiseringens første fase kunne man ikke slik som senere ha frekvensomformere direkte mellom 3-fasenettet og kontaktledningsnettet. Togdriften ville nemlig ha forårsaket for store spenningsvariasjoner og lastpendlinger i 3-fasenettet, som enda var svakt i mange områder. Kraften til Drammenbanen måtte produseres i eget kraftverk, dvs. Hakavik. Av planene for kraftverket framgår også at det ble overveid å bygge de 4 aggregatene slik at ett eller flere av disse i perioder med liten banestrømlast kunne pumpe vann tilbake fra Eikeren til magasinet. Kraften til pumpedriften skulle i tillegg tas fra samkjøringsnettet.

Det var pga. beskjedent vannmagasin, men rikelige vannressurser ved utløpet at pumpealternativet var påtenkt.

Også banen Narvik—Kiruna fikk forsyning fra egne kraftverk, først bare fra svensk side. Men fra 1932 ble «Nygårdsanlegget» ved Narvik satt i drift. Dette kraftverket var i drift helt til 9.11.72, mens SJ innførte omformerdrift langt tidligere.

Strekningen Oslo—Lillestrøm fikk dog fra starten i 1927 en del av kraften fra 3-fasenettet gjennom omformer på Alnabru, men i tillegg kraft fra Hakavik over kabelforbindelse mellom Oslo V og Oslo Ø.

Hakaviks forsyningsområde ble etter hvert utvidet helt ned forbi Neslandsvatn på Sørlandsbanen. Kraftigere trekraftmateriell og høyere hastighet har nødvendigvis gjort forsterkning med flere matestasjoner (omformerstasjoner) i området som samkjøres med Hakavik kraftverk.

Banestrøm produsert i egne NSB-eide kraftverk, tilsvarende det mellom-europeiske baner har i stor utstrekning, finnes bare på Flåmsbanen, hvor NSB eier et lite kraftverk.

Miljømessige hensyn var visstnok medvirkende til at NSB ikke fortsatte med direkte produsert kraft som måtte ha vært ført langs banene over egne høyspente kraftlinjer. Systemet ville selvsagt ha skjemet trange dalfører, som i alle tilfeller også ville ha hatt andre høyspenningslinjer.

NSB har måttet bygge og driver fremdeles 3-fase kraftlinjer i områder hvor slike manglet under elektrifiseringen, for krafttilførsel til matestasjoner.

Fig. 1 viser de to nevnte systemer som er benyttet for kraftforsyning til elektrisk banedrift.

Øverst direkte produsert i banestrømkraftverk og ført ved 1-fase fjernledning til transformatorer ved sporet.

Nederst levert over samkjøringsnettet til matestasjoner ved sporet,

hvor omformer og tilhørende transformatorer er installert.

NSB's elektrifiseringsprogram regnes fullført med åpningen av strekningen Hjerkin—Trondheim for elektrisk drift 1.11.1970. Med dette er 2440 km bane elektrifisert, dvs. ca. 57% av banenettet.

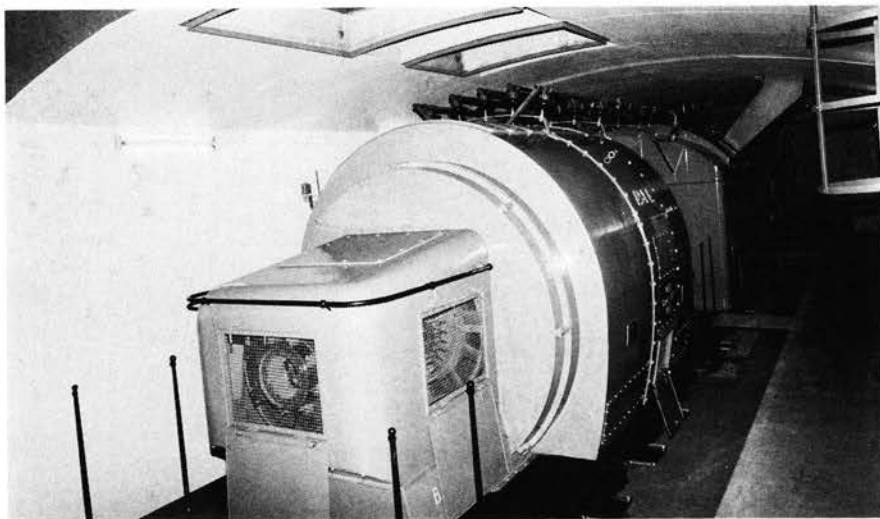
Strømforbruk

På NSB's elektrifiserte strekninger utføres ca. 85% av det totale transportarbeidet. I 1984 ble det kjøpt banestrømkraft for knapt 102 millioner kroner. Forbruket var ca. 434 GWh eller millioner kilowattimer. Dette er under 1% av landets totale strømforbruk.

Kraftprisforhold blant annet sammenlignet med dieseloljepris

I 1984 anskaffet NSB til dieseldriften brennstoff for knapt 53 mill. kroner og som nevnt banestrøm for knapt 102 mill. kroner. Forutsatt at transportarbeidet diesel/elektrisk drift som nevnt står i forholdet 15% til 85%, er anskaffelseskostnadene til «drivstoff» pr. transportert enhet følgelig enda bare 1/3 ved elektrisk drift av diesel-driftens.

Etterfølgende artikler vil gi noen inntrykk fra forskjellige sider ved elektrisk banedrift.



Transportabelt omformeraggregat i fjellanlegg.

Litt om trekkraftmateriell

Av overing. Sverre Kloster.

	Enhet	EL1	EL8	EL13	EL14	EL16	EL17
Byggeår		1922-30	1940-49	1957-66	1968-73	1977-84	1981-
Akselanordning	—	B'B'	1'Do 1'	Bo' Bo'	Co' Co'	Bo' Bo'	Bo' Bo'
Timeytelse	kW	692	2080	2720	5100	4400	3400
ved hastighet	km/h	33	70,5	65	72	77	68-115
Max. hastighet	km/h	70	110	100(115)	120	140	150
Elektrisk bremseytelse	kW	-	-	-	1620	2400	2150
Motorspenning	V	290	345	425	420	880	2200
Lok-vekt	t	62	82	72	105	80	64
Trekraft kont.	kN	60	86	129	215	209	(155)
Ytelse/tonn	kW/t	11,2	25,4	37,7	48,6	55	53,1
Adhesjons utnyttelse	%	9,6	14	18	20	26	24,2

Fig. 1. Diverse data for noen lokomotiver.

Innledning og historikk

Denne artikkel tar sikte på å gi noen glimt av den tekniske utviklingen av elektriske lokomotiver ved NSB. Videre ganske kort å kommentere noen av de randbetingelser og hensyn til faste anlegg det må tas hensyn til når et lokomotiv tekniske data skal fastlegges.

Som det framgår av en annen artikkel i dette blad, valgte NSB i likhet med noen andre land strømforsyningsystemet 15 kV — 16 2/3 Hz. Den vesentligste årsak til at 16 2/3 Hz ble valgt, var hensynet til traksjonsmotorens driftsstabilitet. For å gi lokomotivet de riktige trekkeegenskaper, er en fase seriekommutatormotoren velegnet. Denne motortype er det imidlertid vanskelig å få til å kommutere tilfredsstillende over hele hastighetsområdet når frekvensen er 50 Hz. Motoren får lett store gnistdannelser på kommutatorene med rundfyr og store skader til følge. Betinget av spesielle elektriske forhold er disse problemer vesentlig lettere å mestre ved 16 2/3 Hz.

Den tekniske utvikling av lokomotivene fra 1922 til i dag kan en teknisk sett dele opp i 3 epoker. Se også fig. 1 der det er gjengitt noen data for noen av lokomotivtypene.

— I første epoke ble det nytt et en fase vekselstrømkommutatormotorer. Denne motortype ble nytt et på alle lok i perioden fra EL 1 i 1922 til EL 14 i 1967. I denne forholdsvis lange tidsperioden foregikk det en kontinuerlig utvikling, og forbedringer med denne teknikk

ble foretatt både på det mekaniske og elektriske området. Enkelaksel-drift ble etter hvert enerådende etter som hastigheten økte. Ytelse pr. vektenhet økte til det firedobbelte. Hjelpetstyr og apparater ble stadig forbedret for å øke driftssikkerheten og senke vedlikeholdskosten. Spenningsreguleringen til traksjonsmotorene foregikk i elektromekaniske trinnkoplere. EL 14 må sies å representere det siste trinn i denne utviklingen og har også i praksis vist seg å være et robust og driftssikkert lokomotiv.

— Neste epoke startet med at spenningsreguleringen til traksjonsmotorene ble foretatt ved hjelp av tyristorer. Denne teknikk ble først tatt i bruk på elektrisk motorvogn BM 69 i 1970. Senere er EL 16 kommet til. Det var utviklingen av halvlederelementer — bl.a. dioder og tyristorer — for store strømmen og spenninger som førte med seg at helt nye reguleringsprinsipper kunne tas i bruk. Dette førte med seg at en kunne nytte en modifisert likestrømsmotor (bølgestrømsmotor) som traksjonsmotor. Denne nye teknikk førte også med seg at omfattende elektronisk utstyr for hastighetsregulering, vern og overvåkingsutstyr ble tatt i bruk.

— Siste epoke ble innledet ved at trefase asynkronmotoren ble tatt i bruk som traksjonsmotor. Slike motorer ble først tatt i bruk på diesel-elektrisk lok Di 4 i 1981 og EL 17 i 1982. Det var videreføring av den

elektroniske regulerings-teknikken som ga muligheten til å regulere spenning og frekvens til motorene, slik at lokomotivet fikk de riktige trekkeegenskaper.

Den trefase asynkronmotoren er enkelt oppbygd, lett og robust, men reguleringsutstyret som skal til er omfattende og komplisert. Mikroprosessorer er tatt i bruk i reguleringen. Fra omtrent dette tidsrom tas også sikkerhetssystemet for automatisk togstopp — ATS i bruk. Radiokommunikasjonsutstyr — togordreradio — planlegges innbygd.

Prosjektering av elektrisk lokomotiv

Når det skal anskaffes/prosjekteres et lokomotiv, vil det fra brukeren foreligge et ønske om et bestemt traksjonsprogram, dvs. de tjenester som en tar sikte på at lokomotivet skal utføre. Med utgangspunkt i traksjonsprogrammet er det så teknikerens oppgave å finne den teknisk, økonomisk og driftsmessig beste løsning. Dette er ingen enkel oppgave. Å prosjektere et elektrisk lokomotiv er i høy grad en intergrasjonsoppgave.

Fig. 2 viser skematisk noen av de forskjellige randbetingelser. Vi skal senere kort kommentere noen av disse. Ut fra traksjonsprogram og randbetingelser skal nå den beste løsning totalt sett finnes ut fra bl.a.:

- Pris på lokomotivet
- Overføringstap i strømforsyningsanlegg

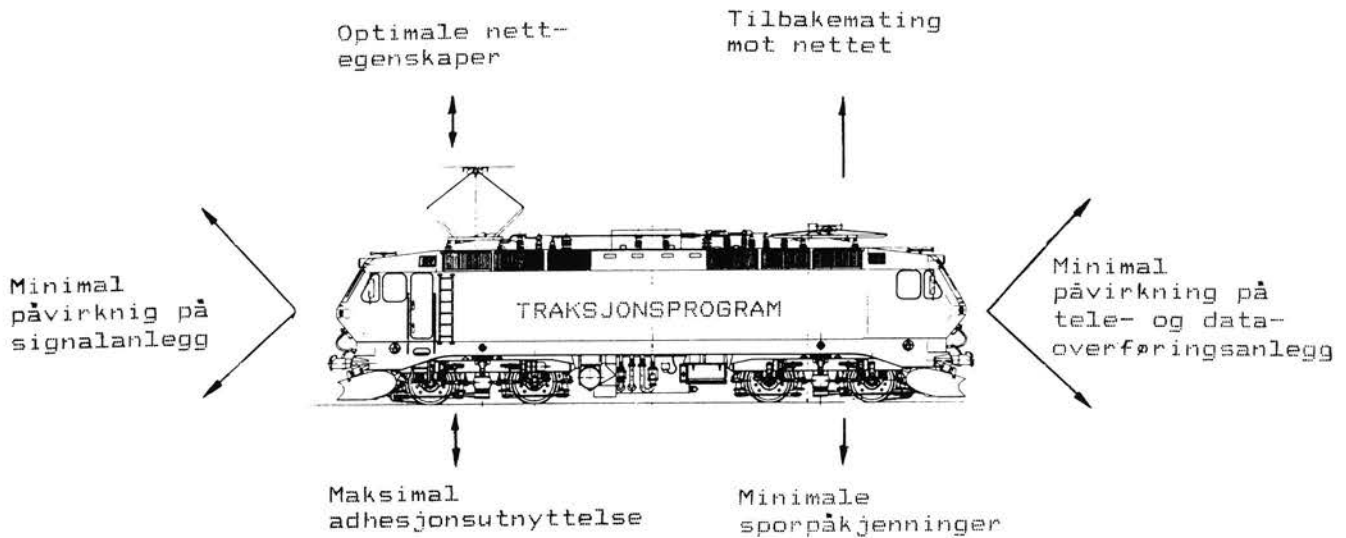


Fig. 2. Grunnkonsept for moderne elektriske lokomotiver.

- Tillatte spenningsgrenser ved lokomotivet
- Eventuell tilbakemating av energi
- Energi og effektpriser
- Vedlikeholdsomkostninger på lokomotiv og skinnegang
- Lokomotivets levetid
- Maks. tillatt aksellast

Det finnes også en rekke andre momenter som må tillegges vekt, som: standardisering, modulær oppbygging, diagnose- og feilrettingsmidler osv.

Traksjonsprogram

Når det anskaffes et lokomotiv, så kan en svært forenklet si at det er en trekkraftkurve som kjøpes. Denne vil være avgjørende for om traksjonsprogrammet kan gjennomføres. Som et eksempel vises trekkraftkurven for EL 17, fig. 3.

Ytelsen som et lokomotiv kan prestere ved de forskjellige hastigheter, er gitt ved den enkle formel $P \text{ (kW)} = 0,278 \cdot F \cdot V$ der F er trekkraft i kN og V er hastigheten i km/h. Denne ytelsen med tillegg av de tap som fås i selve lokomotivet, gir den elektriske ytelse som må tas ut fra kontaktledningen.

Både ønsket om å kjøre større tog og raskere tog fører således til at større ytelser må tas ut fra kontaktledningen, dvs. at strømforsyningsanleggene belastes mer.

Det traksjonssystem som velges kan også føre med seg store investeringer for strømforsyningen (se senere).

Vi skal kommentere noen av randbetingelsene i fig. 2 litt nærmere.

Maks. adhesjonsutnyttelse

Som nevnt vil en i dag vanligvis bygge inn så stor trekkraft og ytelse som mulig på en gitt loko-

motivvekt. I praktisk drift vil en ofte få den begrensning at lokomotivets trekkraft overstiger den trekkraft som kan overføres mellom hjul og skinne, fordi at hjulene slirer. I praksis er det derfor om å gjøre å velge f.eks. traksjonssystemer som gjør at lokomotivets adhesjonsutnyttelse, dvs. forholdet mellom trekkraft og lokvekt, er høyest mulig uten at hjulene slirer. Av fig. 1 ses at adhesjonsutnyttelsen på moderne lokomotiver må være 40–50% bedre enn på eldre lokomotivtyper. Dette er det vanskelig å få til i praksis. Å bedre adhesjonsutnyttelsen kan gjøres både med mekaniske og elektriske midler.

Best muligheter her gir tyristorlokomotiv og lokomotiv med asynkronmotorer.

Rotasjonstallsovervåking av de enkelte drivakslar og automatisk virkende elektronisk utstyr kan nyttes til å gripe inn i trekkraftreguleringen av traksjonsmotorene. Ved moderne systemer er det også lettere å belaste de enkelte aksler forskjellig, dvs. en tar ut den trekkraft over hjulet som motsvarer adhesjonskoeffisienten mellom dette hjul og skinnen.

Utviklingen på traksjonsområdet har vist at en i dag ved en gitt maksimalt tillatt aksellast omtrent kan bygge inn samme traksjons-

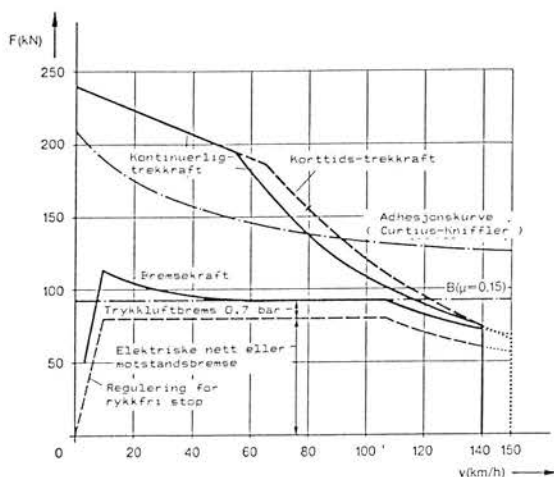


Fig. 3. Trekkraft — og bremsekraftkurve for EL 17.

program på 4 aksler — El 16 — som tidligere på 6 aksler — El 14.

Tilbakevirkning på faste elektriske anlegg

Alle elektriske trekkaggregater vil — uansett traksjonssystem — gi tilbakevirkninger på en del faste elektriske anlegg. I første rekke vedrører dette strømforsyningen, men også signal- og teleanlegg, fordi en del slike anlegg ligger innenfor banestrømmens influensområde, ved at banestrømmen i skinner og kontaktledningsanlegg induserer spenninger i nærliggende kabler og ledninger.

Strømforsyning og tilbakemating

Den elektriske effekt som lokomotivet tar ut fra kontaktledningen over strømvaktaken er gitt ved $P = U \cdot I \cdot \lambda$. Effektfaktoren λ er forskjellig for de ulike traksjonssystemer og endrer seg ved belastning og hastighet.

Fig. 4 viser hvordan λ kan variere. Med en litt grov tilnærming kan vi regne effektfaktoren for:

0,8 ved tyristorlok

0,9 ved vekselstrømlok

1,0 ved lokomotiver med asynkronmotorer.

Tyristorlok har mange traksjonsmessige fordeler men altså dårlig effektfaktor. Et asynkronlokomotiv vil trekke ca. 20% mindre strøm enn et tyristorlok ved samme effekt.

Det betyr videre mindre spenningsfall fra matestasjon til lokomotivet — mindre blindstrøm og varmetap i strømforsyningsnett og matestasjoner, dvs. spart energi. En ytterligere fordel med asynkronlokomotivet er at det kan kjøres kapasitivt, dvs. at en kan støtte spenningen på nettet ved stor avstand til matestasjonen.

Det må videre foretas reguleringsmessige tilpasninger mellom matestasjon og lokomotivutrustning slik at energipendlinger unngås.

Elektrisk bremse

Flere av NSB's elektriske trekkaggregater har elektrisk motstandsbremse. Dette innebærer at den energi som kan produseres ved at traksjonsmotorene under bremsing går som generatorer, går tapt som varme i bremsemotstander, se fig. 1.

Regenativ bremse eller nettbremse vil si at bremseenergien kan mates tilbake på strømforsyningsnettet. Systemet ble i sin tid prøvet på El 3 på Ofofbanen. Men erfaringen viste at nettbremsen var vanskelig å bruke i praksis, og bremsen ble derfor tatt bort.

På tyristormateriell er nettbremse av tekniske grunner vanskelig å realisere. Med asynkronlokomotiver derimot kan dette løses på en praktisk måte, og nettbremse er daglig i bruk på El 17. Ved bruk av nettbremse må matestasjonen være i stand til å sende energien «motsatt» vei gjennom stasjonen, dersom det ikke er andre elektriske aggregater på samme matestasjon. Med nettbremsen kan en spare ca. 10–20% energi avhengig av traksjonsprogram.

Påvirkning på signal- og teleanlegg

En stor ulempe ved både tyristorlokomotiver og asynkronlokomotiver er at de i langt større grad enn konvensjonelle vekselstrømlokomotiver kan påvirke tele- og signalanlegg på en uheldig måte. Spesielle reguleringsprinsipper — som er vesentlig forskjellige på tyristorlok og asynkronlok — fører til at banestrømmen til dels blir svært forvrengt, dvs. at formen avviker fra

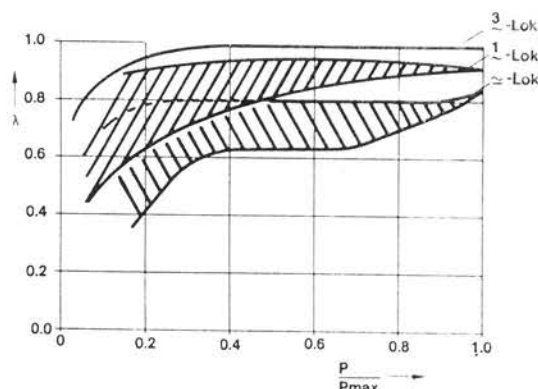


Fig. 4 Effektfaktor λ som funksjon av ytelse P for tyristorlokomotiv (3~), enfasevekselstrømlokomotiv (1~) og asynkronlokomotiv (3~)

Fig. 4.

sin regelmessige sinusform, se fig. 5.

Det kan ved matematisk Fourierrekkeanalyse — og det kan også påvises ved spesielt måleutstyr — at en slik kurve vil bestå av en grunnharmonisk sinusbølge, dvs. den formen som strømmen produseres med i generatorene, og en rekke overharmoniske strømmer med forskjellige frekvenser som skyldes den moderne regulerings-teknikk på lokomotivene. De overharmoniske strømmer vil være av lavere og høyere frekvenser. En meget viktig sak blir å sørge for at disse overharmoniske strømmer holdes på et akseptabelt nivå.

Overharmoniske av lavere frekvenser kan — dersom ikke spe-

Fig. 5. Typisk strøm- og spenningskurver ved: a) tyristorlokomotiv, b) asynkronlokomotiv.

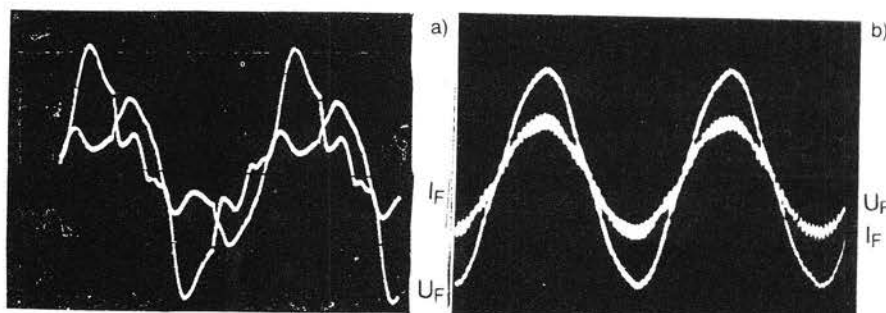


Fig. 6. Støyfilter på EL 17, vekt 800 kg.

sielle forholdsregler tas — påvirke sikringsanlegg, som det vil framgå av egen artikkel i dette nummer.

Overharmoniske av høyere frekvenser — 800—1000 Hz i taleområdet — kan gi støy i telenettet (se egen artikkel i dette nummer).

Ved anskaffelse av lokomotivet må det derfor stilles krav til den «støy» som lokomotivet kan tillates å produsere. For å tilfredsstille kravene, må det bygges inn støyfilter på lokomotivene, se fig. 6.

Strømvaktning

Et best mulig samspill mellom strømvakter og kontaktledning er av stor viktighet for lokomotivets elektriske anlegg. Uregelmessigheter mellom strømvakter og kontaktledning kan lett føre til skader og driftsforstyrrelser (se egen artikkel i dette nummer).

Hjul-skinneproblematikken

er et meget viktig område innen randbetingelsene. Gode løpeegenskaper og kjørekomfort er viktig. Lavest mulige krefter mellom hjul/skinne kan bety mye for vedlikeholdsomkostningene både på lokomotiver og skinnegang.

Ved prosjektering av et lokomotiv er lavest mulig tyngdepunkt og lavest mulig uavfjærede masser i boggi et ønskemål.

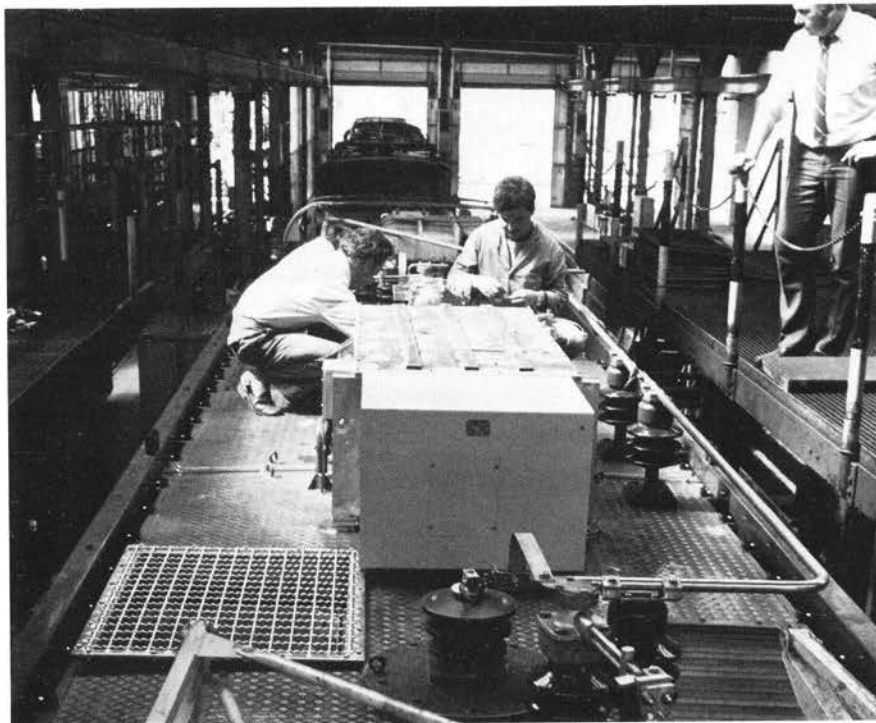
Det må også stilles krav til reguleringsystemet, f.eks. til automatisk virkende slire/glidevern som kan minske slitasje eller hindre såkalt polygondannelse på hjul.

Byggenormer

Den elektriske utrustningen på lokomotivet bygges normalt etter IEC-normer (International Electrotechnical Commission).

Dette er en omfattende samling normer som bl.a. gir detaljerte prøvoforskrifter for serieprøver og typeprøver.

Disse normer faller oftest sammen med tilsvarende norske normer der slike finnes. I tillegg nyttes



UIC-normer av hensyn til standardisering og samkjøring med andre forvaltninger.

Videre kommer det selvsagt i tillegg egne krav ut fra miljøhensyn og klimatiske og topografiske hensyn.

Utviklingen videre

Den reguleringsteknikk som nyttes i tyristor- og asynkronlokomotiver vil utvikles videre for å øke driftssikkerheten og senke vedlikeholdsomkostningene.

En ny generasjon tyristorer, GTO-tyristorer, er på vei inn. Disse åpner mulighetene for å forenkle anleggene og senke prisene.

Mikroprosessorer vil komme mer til anvendelse og nye diagnose-systemer vil utvikles.

Sikkerhetssystemene vil utvikles videre.

Telekommunikasjonsanlegg, radio for intern bruk i tog og eksternt bruk f.eks. til togordreradio er under utvikling og prøving ved NSB.

Utviklingen i de seneste år indikerer at elektronisk basert utrustning i stadig sterkere grad vil fortrengte konvensjonelle løsninger på elektriske lokomotiver der sterkstrømsteknikken for bare 15 år siden var enerådende.

Innføringen av nytt telekommunikasjonsutstyr og videreutviklingen av elektronisk baserte sikkerhetssystemer, vil forsterke trenden mot at elektriske lokomotiver blir stadig sterkere integrert i en rekke undersystemer. Å løse disse integrasjonsoppgaver vil bli en viktig del av det framtidige arbeidet innen trekraftområdet.

Matestasjoner

Av avd. ing. A. Fæster.

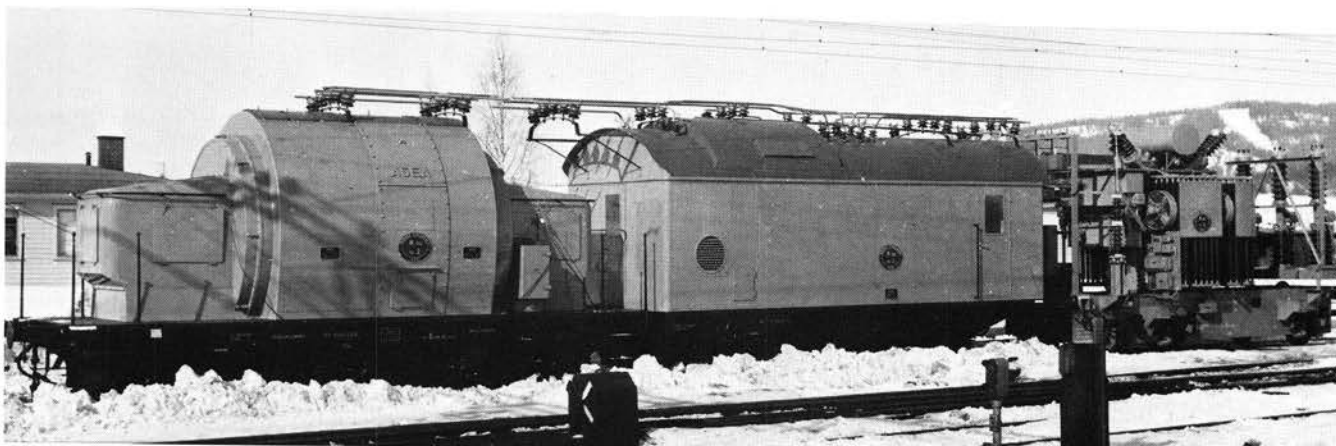


Fig. 1. Transportabel omformer 5,8 MVA.

Matestasjoner er NSB's fellesbetegnelse på omformer-, transformator- og kraftstasjoner som leverer, eller mater, elektrisk energi til kontaktledningsnettet.

Av den leverte energi til kontaktledningsnettet i 1984 var 7% produsert av generatorer for 16 2/3 Hz i vannkraftverk. Resterende, 93%, ble omformet fra 3 fase vekselstrøm 50 Hz, til 1 fase vekselstrøm 16 2/3 Hz i våre omformerstasjoner. NSB har i alt 31 matestasjoner, herav 27 omformerstasjoner, 3 transformatorstasjoner og 1 kraftstasjon.

Omformerstasjoner

Av NSB's 27 omformerstasjoner er 4 utrustet med stasjonære omformere, de øvrige er bygd for transportable omformere. De fleste stasjonene er av beredskapsmessige grunner bygd i fjell. Av de 23 stasjoner for transportable omformere, har 19 stasjoner plass til 2 omformere, 3 stasjoner har 3 oppstillingsplasser, og endelig har 1 stasjon plass til 1 omformer. For å gjøre bildet komplett, må nevnes at 1 omformerstasjon for stasjonære omformere har fått et tilbygg som gir plass til 1 transportabel om-

former. Hver transportabel omformerutrustning består av 3 vogner, nemlig omformer-, apparat- og transformatorvogn, regnet fra venstre mot høyre på fig. 1.

For tiden har NSB 49 transportable omformere av tre forskjellige størrelser.

32 stk. med nominell ytelse	5,8 MVA
9 stk. med nominell ytelse	7,0 MVA
8 stk. med nominell ytelse	10,0 MVA

Fig. 2. 10 MVA transportabel omformer. Snitt.

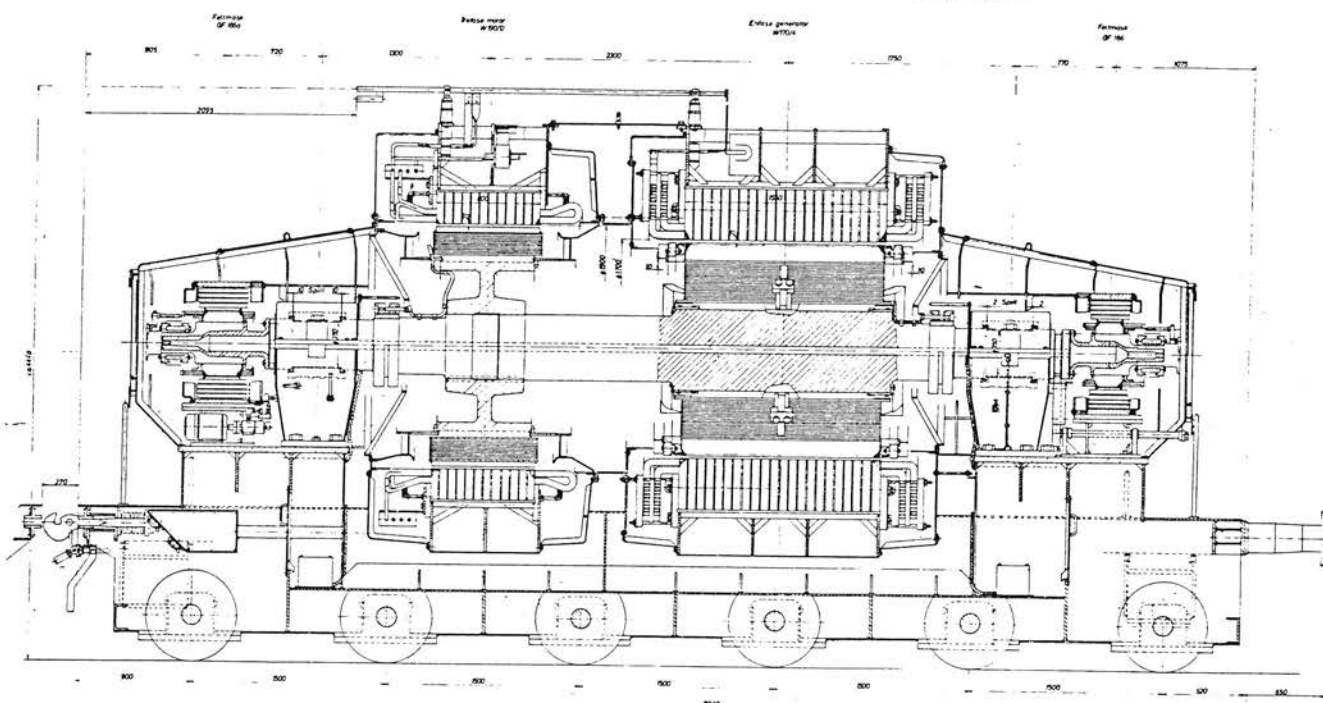


Fig. 3.

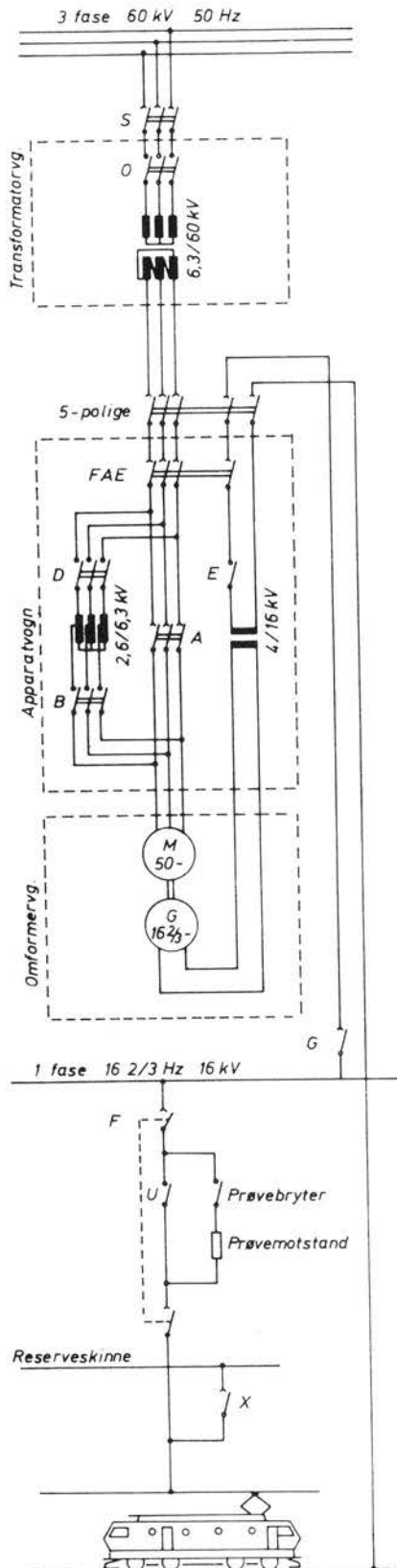


Fig. 4. Omformerstasjon. Kontrollrom.

Omformere kan kortvarig sterkt overbelastes, som eks. kan nevnes at 10 MVA omformere kan belastes med 19 MVA i 1 min.

Omformere som er transportable har den fordel at de kan trekkes inn til verksted for hovedrevisjon og evt. reparasjon. Dette gjør at omformerstasjonenes bygningsdimensjoner blir mindre, idet bl.a. løftekran ikke er nødvendig. Med transportable omformere av forskjellig størrelse er det lettere å tilpasse maskinkapasiteten etter trafikk-behovet. Med dagens belastningsform har vi en viss transportabel maskinkapasitet i reserve, som kan benyttes i tilfelle av et maskinhavari i en eller annen stasjon. Dette er nødvendig, da vi har stasjoner hvor et havari på en av omformerne vil skape store problemer med å avvikle normal togtrafikk. Det er raskt å klargjøre en transportabel omformer for transport og sette den i drift etter transport, da dette kan gjøres på ca. 10 timer om nødvendig.

Høyspenningsforbindelsen mellom vognene innbyrdes og til fast stasjonsutrustning består av fleksible forbindelser. Styre- og overvåkningsforbindelsene mellom vognene innbyrdes og fast stasjonsutrustning består av en rekke flerpolige stikkontakter. Da spesielt omformervognene er stive, har stor aksellast og en usedvanlig høy vekt pr. løpende meter vognlengde, er fremføringshastigheten begrenset til 20 km/h på fri linje og 10 km/h over stasjonsområder. Som eksempel skal nevnes at 10 MVA

omformervognen veier 138 tonn, har 6 aksler og en akselavstand på 1,5 m.

Fig. 2 viser et snitt av et 10 MVA omformeraggregat. Regnet fra venstre ser vi magnetiseringsmaskinen for motor, motor, generator og magnetiseringsmaskinen for generator. På fig. 3 kan man følge energiretningen fra kraftleverandørens trefasenett til lokomotivet. I dette tilfellet er innkommede spenning 60 kV, som via skillebryter S og effektbryter O går til 3-fase transformatoren hvor spenningen transformeres ned til 6,3 kV. Fra transformatorens 6,3 kV side går man videre via 5-polig skillebryter og skillebryter FAE til effektbryterne A og D. Under start blir spenningen til omformeraggregatet redusert til 2,6 kV av en autotransformator via effektbryterne D og B. Når omformeren er kommet i synkron hastighet, 500 omdr./min, og i fase med eventuelle andre omformere, tilkoples motor 6,3 kV, ved at effektbryter D og B går ut og effektbryter A går inn. Trefasemotoren driver enfase generatoren som leverer en spenning på 4 kV. Det må her nevnes at både motor og generator er synkronmaskiner.

Generatorspenningen transformeres opp til 16 kV, som via effektbryter E og skillebryterne FAE, 5-polige og G føres fram til 16 kV samleskinne. Ved hjelp av automatiske spenningsregulatorer kan spenningen reguleres mellom 14,5—17,5 kV. Det tar ca. 3 min. fra man gir startimpulsen til om-

formerer er innfaset og kan levere energi til kontaktledningsnettet.

Når kontaktledningsnettet skal tilføres spenning, skjer det i første omgang via prøvebryter og prøvemotstand. Hvis overvåkingsreléene kjenner at kontaktledningen er feilfri, går utgående linjebryter U inn umiddelbart og setter full spenning på kontaktledningsnettet. For å beskytte kontaktledningen mot overbelastning og nedbrenning, har man diverse vern som vil kople ut bryter U og dermed spenningen. Av disse vern kan nevnes distanserele, minimalspenningsrelé og elektronisk overstrømsrelé. Da kortslutningsstrømmene kan bli opptil 15 000 A, har man satt som krav at spenningen skal bortkoples innen 60 milli sek., dvs. 1 periode etter en kortslutning. Dette setter store krav til reléer og brytere.

Utgående linjebryter vil når den er utløst av et vern, automatisk prøve å gå inn igjen. Har man en stående feil, prøver den innkopling 3 ganger, 5, 35 og 215 sek. etter den ble utkopleet. Ved nødfrakopling av utgående linjebryter, som bl.a. kan foretas av CTC-operatøren for å unngå ulykker, blir gjeninnkoplingen satt ut av drift.

En matestasjon har normalt flere utgående linjebrytere, som mater forskjellige kontaktledningsstrekninger. I omformerstasjonens kontrollrom er kontroll- og måleutrustningen montert. Fig. 4 viser et utsnitt av et slikt kontrollrom.

Fra den delen av pulten som ligger helt til venstre på bildet fjernkontrolleres en omformerstasjon, fra høyre del av pulten fjernkontrolleres et koplingshus, den øvrige del av pulten er for styring av omformere og utgående linjebrytere i egen stasjon. I bakgrunnen tavle som bl.a. inneholder verne- og automatikkutrustning for omformere og utg. linjer.

Den elektrotekniske utrustningen i omformerstasjoner med stasjonære omformere er i prinsippet lik den som ovenfor er beskrevet av omformerstasjoner med transportable omformere. Forskjellen begrenser seg stort sett til at omformeraggregatene og transformatorene er fast montert.

Som innledningsvis nevnt har NSB 4 omformerstasjoner med stasjonære omformere. I disse stasjonene er det i alt montert følgende omformere:

5 stk. med nominell ytelse	3,8 MVA
2 stk. med nominell ytelse	7,0 MVA
1 stk. med nominell ytelse	10,0 MVA

Transformatorstasjoner

Våre 3 transformatorstasjoner ble opprinnelig bare matet via 55 kV fjernledninger fra Hakavik kraftverk som eies av NVE. Men i dag blir transformatorstasjonene også tilført energi fra to av våre omformerstasjoner. Transformatorstasjonene får overført energien med den ønskede frekvens 16 2/3 Hz. Men spenningen er 55 kV og må dermed nedtransformeres til 16 kV. Ved at man benytter 55 kV som overføringsspenning mellom transformatorstasjonene, reduseres spenningsfallet.

Kraftstasjoner

Kjosfoss kraftstasjon som er den eneste kraftstasjon NSB eier, har to vannkraftturbiner, som hver driver to generatorer, en enfase-generator for banestrømforsyning på 625 kVA og en trefase-generator for den alminnelige forsyning på 850 kVA.

Spenningsforholdene i kontaktledningsnettet

En ubelastet omformerstasjon leverer til kontaktledningsnettet en spenning på 16,2 kV, som ved økende belastning stiger til ca. 16,5 kV. Spenningen fra en transformatorstasjon vil normalt synke ved økende belastning. Dette skyldes bl.a. spenningsfallet i fjernledningen fram til transformatorstasjonen. For å motvirke dette, kan det monteres en automatisk spenningsregulator (trinnekoper) på transformatoren. Dette vil nå bli gjort i forbindelse med ombygging av Neslandsvatn transformatorstasjon.

Kontaktledningen har en forholdsvis høy impedans, og derav et relativt stort spenningsfall. Som eksempel kan nevnes at dersom et tog trekker 500 A og er 40 km fra den matestasjonen som leverer energien, vil spenningsfallet i kontaktledningen bli 6000 V.

Fig. 5 viser impedansdiagrammet for 1 km kontaktledning uten returledning, hvor avstanden mellom sugetransformatorene er 3 km. Det er flere måter å bedre spenningsforholdene for trekkaggregatene på, uten å gjøre noe med selve kontaktledningen. Her kan nevnes samkjøring mellom matestasjonene, montasje av seriekondensatorer og bygging av forsterkningsledninger.

Samkjøring

Betingelsen for å samkjøre omformerstasjonene, dvs. å ha metallisk

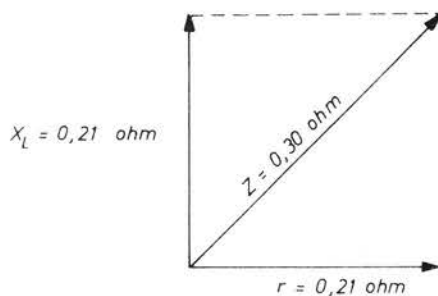


Fig. 5. Impedansdiagram. 1 km kontaktledning.

forbindelse mellom stasjonene over kontaktledningen, er at trefasenettet som leverer den elektriske kraften til våre omformerstasjoner er i fase, noe som normalt er tilfelle. I dag blir derfor nesten samtlige av våre matestasjoner samkjørt. Det eneste bruddet i denne samkjøringen er ved «Dødseksjon Kvinå» vest for Finse. Dette skyldes den lange trefase ringledningen mellom Vestlandsnettet og Østlandsnettet som leverer energi til Mjølfjell, henholdsvis Haugastøl omformerstasjon. Ellers kan nevnes at NSB samkjører med SJ over Kornsjø, Charlottenberg og Riksgrensen. Avstanden mellom matestasjonene er stort sett ca. 80 km, når man ser bort fra Oslo-området, hvor avstanden er betydelig mindre, og Sørlandsbanen vest for Kristiansand hvor avstanden er 100–115 km. I dag vil det by på store problemer å opprettholde normal toggang uten samkjøring.

Seriekondensatorbatteri

Som det fremgår av fig. 5 er kontaktledningens impedans (motstand) resultatet av induktansen x og resistansen r . Ved å bygge forsterkningsledningen kan resistansen reduseres. Monterer man seriekondensatorbatterier, vil kontaktledningens induktans reduseres. Serie-kondensatorbatterier vil riktig dimensjonert, også påvirke at det induktive spenningsfallet som forårsakes av trekkaggregatene reduseres. Som navnet sier blir seriekondensatorbatteriene kopleet i serie med belastningen.

I tilknytning til kondensatorbatteriet må det anordnes en dødseksjon for å hindre at strømtakeren kortslutter dette. Av fig. 6 fremgår det hvor seriekondensatorbatteri er innkopleet i kontaktledningen mellom Lillestrøm og Tangen omformerstasjoner.

Av fig. 5 og 6 kan man regne ut at impedansen mellom Lillestrøm

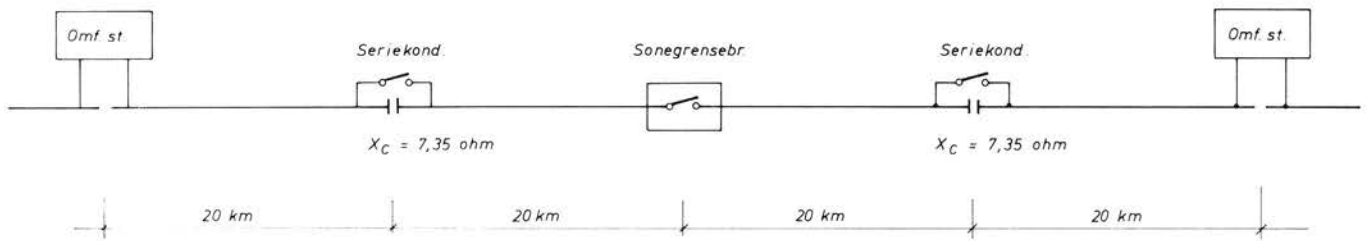


Fig. 6. Kontaktledning mellom to matestasjoner.

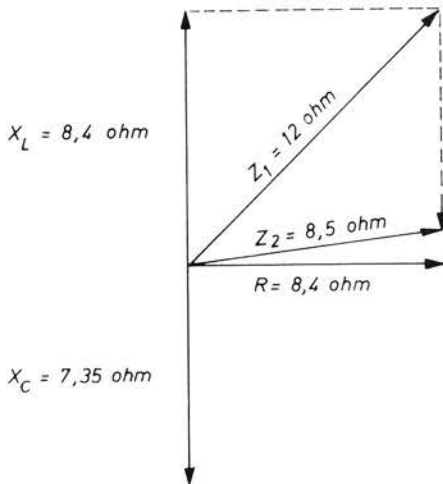


Fig. 7. Impedansdiagram. 40 km kontaktledning.

og Eidsvoll er 12 ohm uten seriekondensatorbatteri på Jessheim. Med en seriekondensator ved Jessheim blir impedansen på samme strekning 8,55 ohm, som kan utregnes ved likningen:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X - X_C)^2}$$

$$= \sqrt{(0,21 \cdot 40)^2 + (0,21 \cdot 40 - 7,35)^2}$$

$$= 8,55 \text{ ohm}$$

Dersom et tog på Eidsvoll trekker 500 A fra Lillestrøm, vil kondensatorbatteriet forårsake at spenningsfallet reduseres med $500 \cdot (12 - 8,5) = 1750 \text{ V}$. Praktiske prøver med BM69 mellom Jessheim og Eidsvoll og ensidig mating fra Lillestrøm har vist at kondensatorbatteriet på Jessheim gir en spenningsforhøyelse på opptil 2000 V.

Fig. 7 viser impedansdiagrammet for 40 km kontaktledning. Impedansen Z_1 er uten kondensatorbatteri og impedans Z_2 med et seriekoplede batteri på 7,35 ohm.

Shuntkondensatorbatteri

For å bedre effekt faktoren i kontaktledningsnett og dermed avlaste enfasegeneratorene for reaktiv effekt, er det montert 2 stk. shuntkondensatorbatterier à 2

MVAR på Oslo S. Betegnelsen forteller at batteriet er koplet i shunt, dvs. parallelt med belastningen. Det vil med andre ord si at batteriene er innkoplet mellom kontaktledning og skinnegang. Behovet for reaktiv effekt på Oslo S er såvidt stort at man har planer om å øke kapasiteten til 8 MVAR.

Fjernkontroll

Sande transformatorstasjon var den første matestasjon som ble satt i fjernkontrollert drift, dette skjedde i 1957. I dag fjernkontrolleres 20 omformerstasjoner, 3 transformatorstasjoner, 1 kraftstasjon, 9 kondensatorbatterier, 2 koplingshus og ca. 700 kontaktledningsbrytere fra 8 kontrollstasjoner. Kontrollstasjonene ligger som regel i en bemannet omformerstasjon. I ett tilfelle ligger kontrollstasjonen i egen bygning og blir da kalt for driftssentral. Det foreligger planer for en driftssentral på Dovrebanen. Når dette er realisert vil bare 5 omformerstasjoner ved NSB være betjent. Fjernkontrollen omfatter styring, regulering og overføring av måleverdier.

Som følge av den raske utviklingen av fjernkontrollsystemer, har

NSB en rekke ulike systemer av både relé- og elektronikktypen. I disse tilfellene benytter man seg av pulter og tavler i kontrollstasjonene, se fig. 8.

Ellers har man datamaskin basert fjernkontroll med dobbelt sett datamaskiner og fargeskjermer. Dette systemet har en rekke fasiliteter hvorav kan nevnes automatisk feilsøking på kontaktledningen, fargeskrift når en anleggsdel er spenningsløs og selv sagt utskrivning av alle feil, brytermanøvrer, grenseverdioverskridelser etc.

Fig. 9 viser arbeidsplassen for en maskinist i en driftssentral for styring av matestasjoner og kontaktledningsbrytere.

Strømforbruk og belastningsforhold

I 1984 ble det til elektrisk banedrift kjøpt 434 mill. kWh trefase 50 Hz, som ble omformet til 362 mill. kWh enfase 16 2/3 Hz, dvs. en virkningsgrad på 83%. Videre ble det kjøpt 26 mill. kWh enfase, og endelig produserte Kjosfoss kraftverk 2 mill. kWh. Den elektriske kraft ble kjøpt fra 8 leverandører, hvorav Norges Vassdrags- og Elektrisitetsvesen (NVE) leverte hele 73%. For

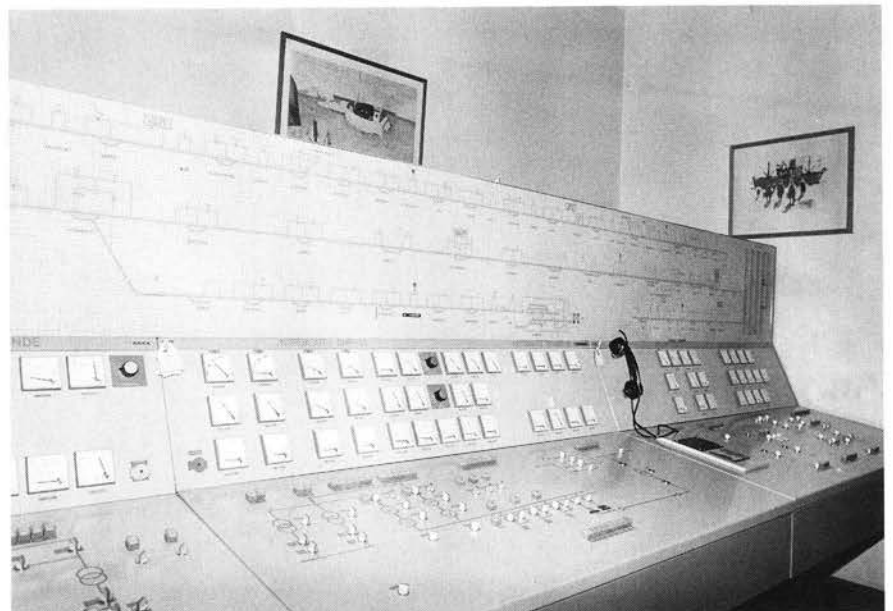


Fig. 8

ovennevnte energimengde på 460 (434 + 26) mill. kWh ble det betalt ca. 100 mill. kr.

Prisen på elektrisk kraft er sammensatt av energiavgift, effektavgift og overføringsavgift som går til kraftleverandør. Dessuten har vi de offentlige avgifter som merverdiavgift og elektrisitetsavgift. Den prosentvise fordeling av de nevnte avgifter er for 1984 utregnet til:

Energiavgift	50%
Effektavgift	25%
Overføringsavgift	2%
Elektrisitetsavgift	13%
Merverdiavgift	10%

Utregningen av effektavgiften gjøres stort sett ved at man registrerer gjennomsnittsbelastningen over en time, og den høyeste timesbelastningen i kvartalet legges



Fig. 9.

til grunn. Dette kan selvsagt gi uheldige utslag ved opphoping av tog som følge av feil eller forsinkelser. En måte å få redusert effekt-toppene på, er at man summerer kraftuttakene for flere matestasjoner.

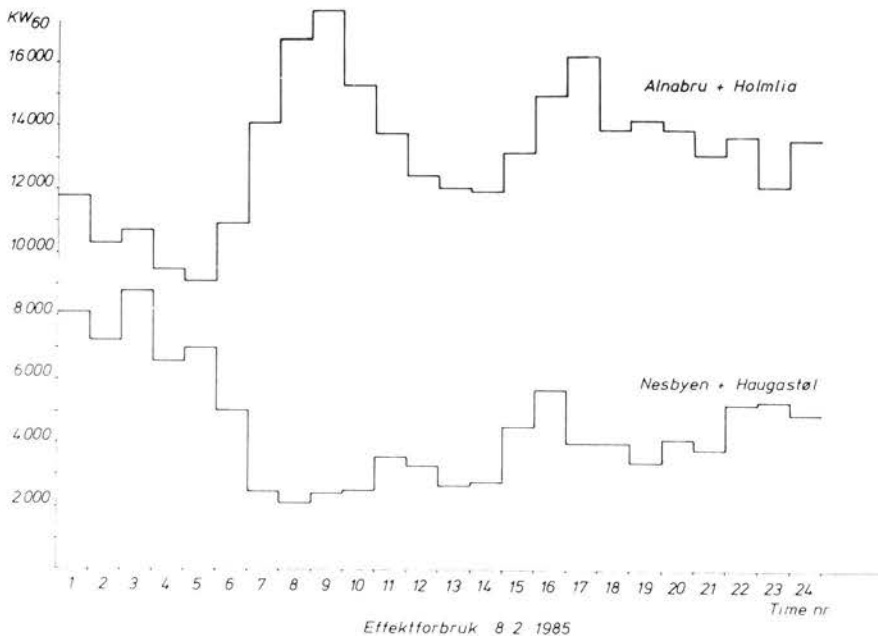
NSB har kraftleiekontakter som omfatter 1, 2 eller 3 matestasjoner. Belastningsbildet i matestasjonene kan se nokså forskjellig ut.

Av diagrammet, fig. 10, ses at Alnabru + Holmlia omformerstasjoner har sin toppbelastning i rushtiden, dvs. kl. 0700–0900 og kl. 1500 og 1700. Nesbyen +

Haugastøl omformerstasjoner har derimot toppbelastning kl. 0000–0500 pga. gods- og natto-gene.

Diagrammet, fig. 11, viser momentane strømverdier i Lillestrøm omformerstasjon målt på 16 kV, over ett døgn maksimalt utslag 1500 A. Også dette diagrammet viser at russtrafikken forårsaker de største belastningstoppene i Oslo-området. Spesielt merker man seg de hurtig belastningssvingningene, som i stor grad skyldes BM69-settene.

Fig. 10. Timesbelastning.



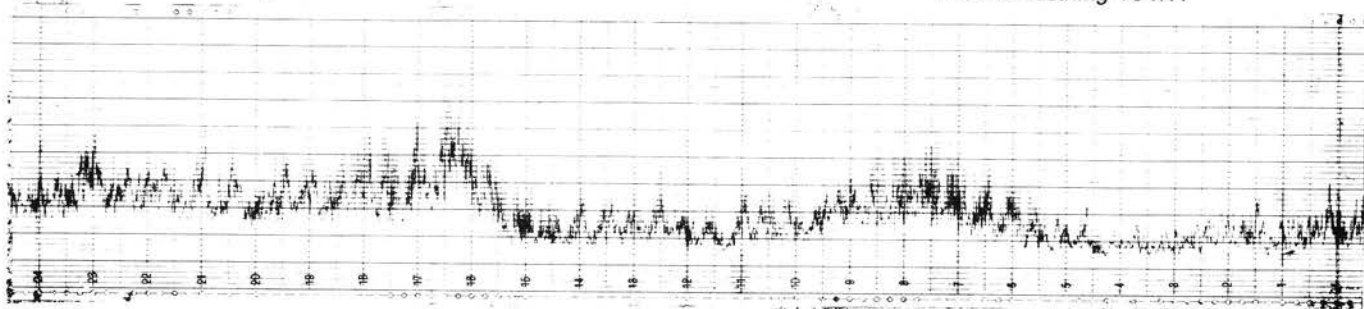
Vedlikehold

Den elektrotekniske utrustningen i matestasjonen vedlikeholdes nesten 100% av NSB's personale. Vedlikeholdet skal utføres etter «Instruks for vedlikehold av matestasjoner», trykk 509.2, som imidlertid enda ikke er komplett.

Grorud verksted foretar hovedrevisjon av omformeraggregatene, og benytter årlig ca. 8 årsverk på dette. Vedlikeholdsarbeid som blir utført av Had.'s E-avd. utgjør ca. 5 årsverk pr. år. Endelig benytter distriktene ca. 27 årsverk, slik at det totalt benyttes ca. 40 årsverk pr. år til vedlikehold. Anskaffelsesverdien etter dagens prisnivå av den elektriske utrustningen i matestasjonen vil være ca. 1200 mill. kr.

De årlige vedlikeholdsutgiftene, lønns- og saksutgifter, utgjør ca. 1% av nevnte anskaffelsesverdi.

Fig. 11. Omformerstasjon. Strømbelastning 16 kV.



Kontaktledning og strømavtaking

Av overing. Ole Telle.

Kontaktledning er fellesnavnet på kontakttråd, bæreline og hengetråder.

KONTAKTRÅDEN er den ledningen som strømavtakeren glir mot. Den er en massiv, sirkulær 100mm² tråd av elektrolyttkopper med to langsgående riller for feste av klemmer. De eldste elektrifiserte baner har kontakttråd med 8-talls profil, men disse ble senere erstattet med den runde fordi den har mindre flate for vindpåvirkning (fig. 1).

Bærelinen er en 50 mm², 7-trådet line av elektrolyttkopper. I motsetning til tilsvarende line av samme tverrsnitt er bærelinen venstreslått. Grunnen til dette er at den er lettere å identifisere i tilfelle tyveri.

Hengetrådene er massive elektrolyttkoppertråder med $\varnothing = 4$ mm med klemmer i hver ende. Hengetrådene er festet til kontakttråd og bæreline, og ved sin lengde bestemmer disse hvor stort «nedheng» kontakttråden skal ha mellom opphengningspunktene.

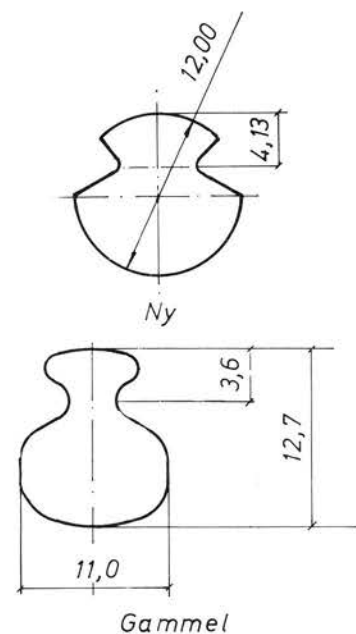
På enkelte sekundære spor, sidespor på stasjoner o.l., hvor den elektriske belastning er liten, brukes kontakttråd med 80 mm² tverrsnitt av økonomiske grunner.

Kontaktledning med et samlet tverrsnitt på 150 mm² kopper kan belastes varig med 600 A.

Kontaktledningsanlegg (fig. 2) er fellesbetegnelsen på alle de komponenter strømforsyningsanlegg for elektrisk banedrift består av: ledninger, master, åk, utliggere, sugetransformatorer, brytere (fjernstyrte og håndbetjente) m.v.

Kontaktledningsmastene er av tre, stål eller betong og tjener som opphengning for kontaktledningsanleggets ulike komponenter.

I motsetning til andre kraftledninger er det av avgjørende betydning for strømavtakingen at kontaktledningen ikke endrer beliggenhet i horisontal- eller vertikalplanet i avhengighet av temperaturvariasjoner. For å motvirke nedhengsendringer på kontakttråden som følge av kulde/varme er ledningen fastavspent i den ene enden og vektavspent i den andre. Ved hjelp av et trinsesystem vil strekket i ledningen til enhver tid i hele lengden være nær konstant (fig. 3). Av praktiske grunner skal enkeltledninger ikke overstige 800 m's lengde. Dobbelledninger kan være



Kontakttrådprofiler
Fig. 1

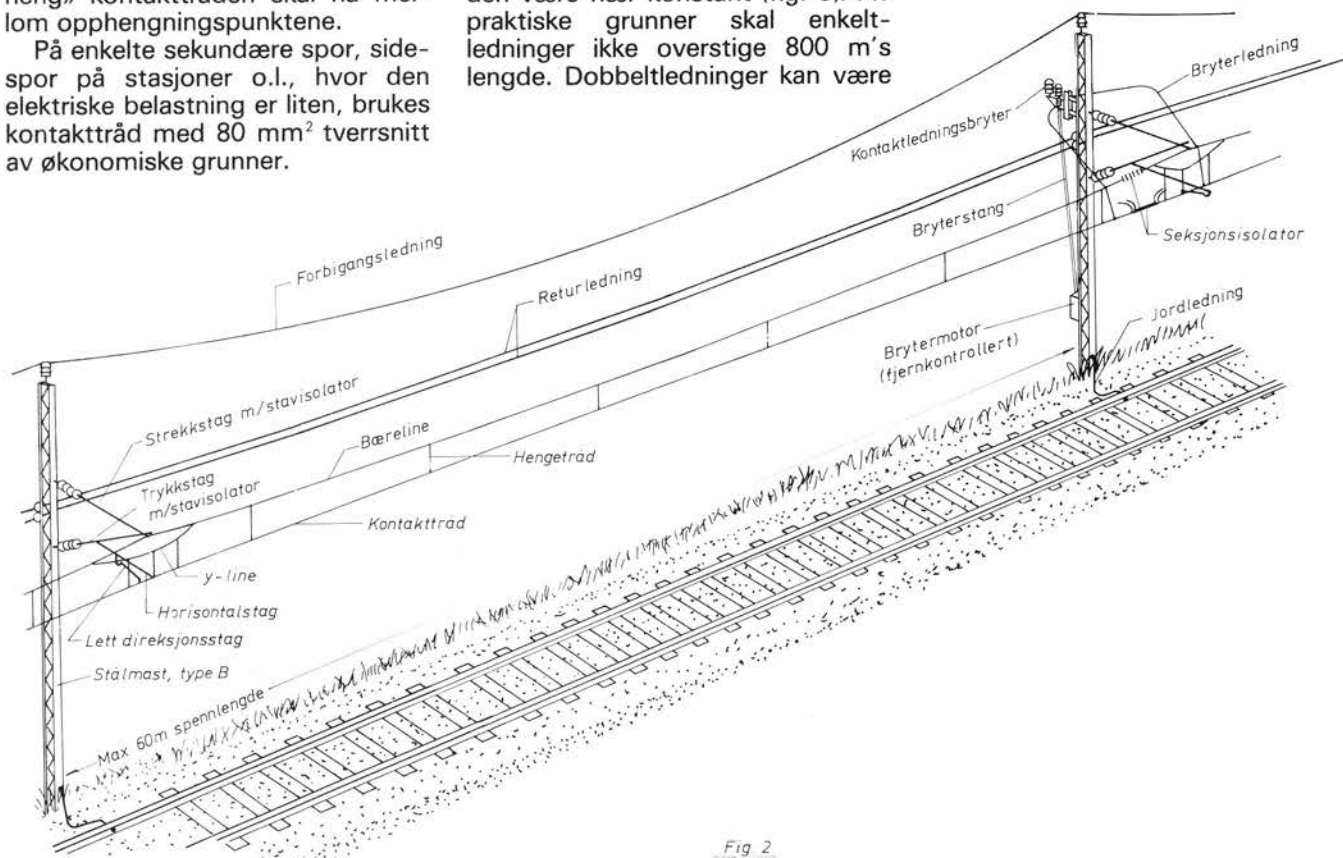


Fig. 2

opp til 1600 m. Disse er fast forankret (fixet) på midten og er vekt-avspent i hver ende.

Ved overgang fra en ledningspart til en annen skjer dette over et såkalt vekslingsfelt. Vekslingsfeltets legnde er 45–60 m. I dette feltet legges ledningene parallelt i samme horisontalplan i en lengde på 15–25 m. For å få en best mulig strømvaktning, gjelder det at overgangen fra den ene til den andre ledningsparten er jevnest mulig (jfr.fig.3).

I et vekslingsfelt er de to ledningsparter elektrisk sammenkople.

Seksjonsfelt er et lignende arrangement bare med den forskjell at ledningene her kan koples fra hverandre over kontaktledningsbryter (jfr.fig.3).

Sugetransformator

Ved hver ca. 3,0 km monteres det sugetransformatorer. Sugetransformatorer plasseres i seksjonsfelt.

Som kjent benyttes skinnegangen som returledning ved elektrisk banedrift. Skinnene har en viss avledning og en del av returstrømmen lekker ut og benytter jorden som returleder. Man vil da kunne få forstyrrelser på nærliggende svakstrømsledninger og kabler på grunn av usymmetrien i feltet fra kontaktledningsstrømmen og skinnestrømmen. Strømmen som går i jorden kan også føre til at man får spenninger både innenfor og utenfor baneområdet som kan være farlig både for mennesker og dyr.

Sugetransformatorene benyttes for å redusere forstyrrelsene på ledninger og kabler til et minimum. Dessuten unngår man utenfor baneområdet farlige spenninger, og innenfor baneområdet oppstår bare farlige spenninger ved eventuelle kortslutninger.

Sugetransformatoren er en strømtransformator med omsetning 1:1 og dens virkemåte i kontaktledningsanlegget er at strømmen suges opp av jorden på den ene siden og presses ut i skinnene på den andre. Sugetrans-

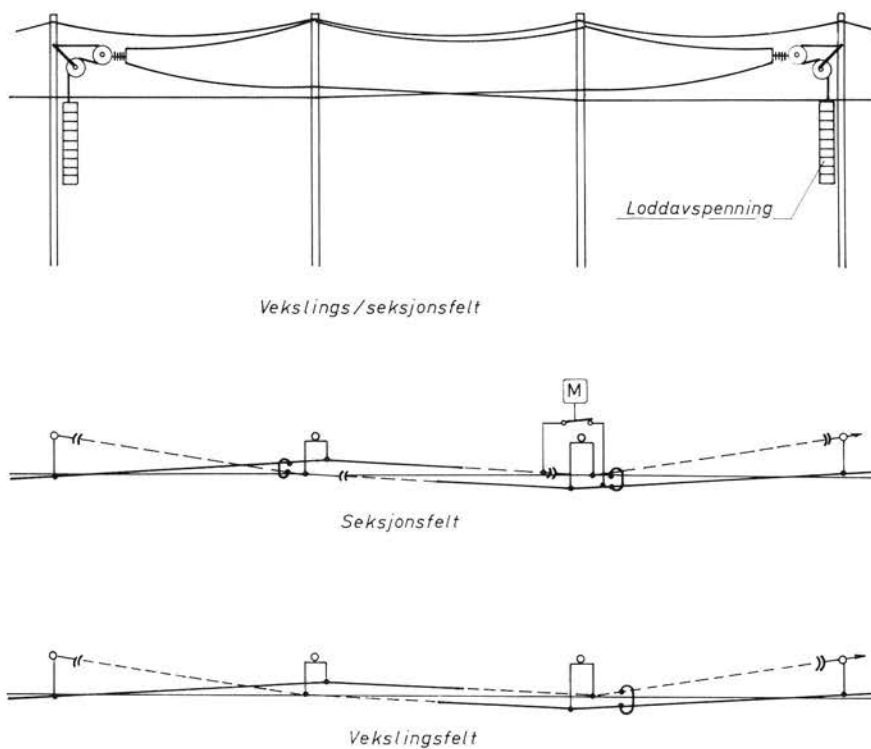


Fig. 3

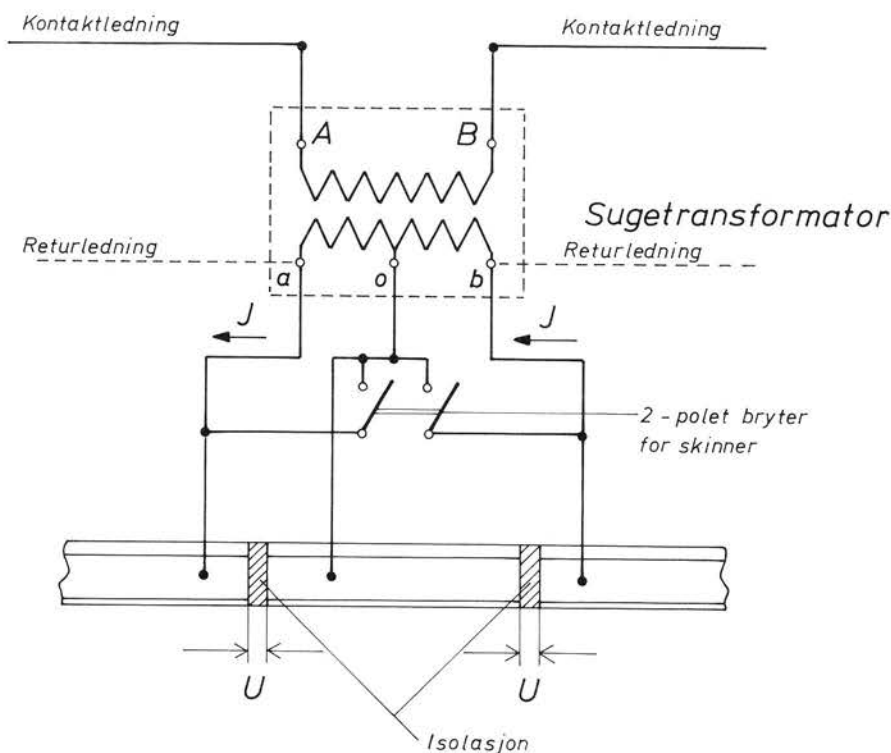


Fig. 4

formatorens primærside er tilknyttet kontaktledningen og sekundærsiden skinnegangen. Dessuten er sekundærsidens 0-punkt tilkoppelt en skinne som er isolert fra skinnegangen for øvrig.

Sugetransformatoren har på sekundærsiden en 2-polet bryter for kortslutning av skinnegangen (se fig. 4).

I tillegg til seksjonsfelt ved sugetransformatorer anordnes disse ved alle stasjoner innkjør hovedsignal, ved blokkposter og ellers på steder det er ønskelig for å kunne foreta en rask utkopling for feilsøking ved driftstans. På landsbasis finnes ca. 700 stk. fjernkontrollerte brytere. Disse betjenes fra de bemannede omformerstasjoner. En enkelt omformerstasjon kan ha ansvaret for opp til 150 stk. brytere. Ved hjelp av de fjernkontrollerte brytere kan man forholdsvis raskt «grovlokalisere» feil på kontaktledningsanleggene.

Forbigangsledning

På mange av de større stasjoner er det bygd forbigangsledninger (se fig. 5). Disse går mellom seksjonsfeltene ved stasjonens innkjørhovedsignaler og tjener til å bringe den elektriske strøm forbi en stasjon når det er behov for å ha denne utkoppelt, f.eks. på grunn av nødvendige reparasjons- eller vedlikeholdsarbeider.

Forsterkningsledning

Langs en del banestrekninger er det bygd forsterkningsledninger. Disse forbinder matestasjonen med kontaktledningen i områder hvor spenningsfallet er så stort at det oppstår problemer med togframføringen.

Forsterkningsledningene kan også brukes på samme måten som forbigangsledningene når det er behov for utkopping av deler av kontaktledningen (fig. 6).

Returledning

I de senere år er det på en del banestrekninger og over en del stasjoner bygd returledning som henges opp på kontaktlednings-

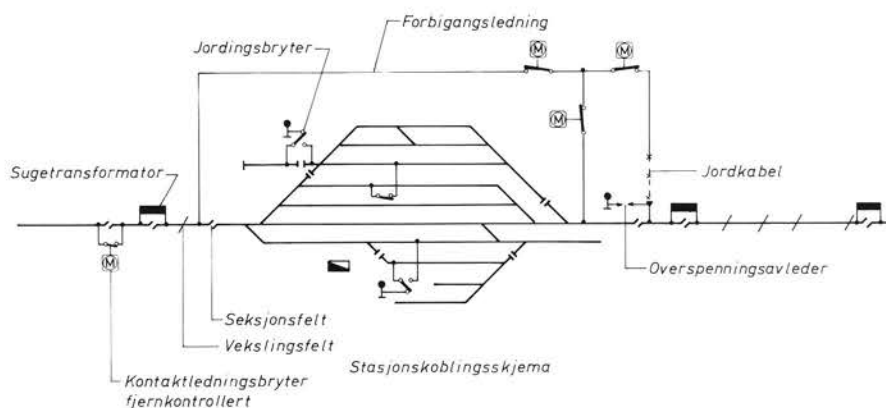


Fig. 5

mastene eller stasjonens åk (se fig. 2). Grunnen til at man har måttet gå til det skritt å bygge returledning, skyldes at banestrømmen i skinnene kan påvirke og forstyrre signalstrømmene som også går i skinnene.

Våre kontaktledningsanlegg som er bygd i perioden 1922—1970 er nokså like rent utseendemessig, men under denne lange byggeperioden skjedde det visse endringer av ledningens dynamiske standard etter hvert, i takt med kravet til økt kjørehastighet. Våre eldste anlegg skulle tilfredsstille de dynamiske krav som strømvatningen ved en hastighet på 60—70 km/h stilte. De første lokene hadde ikke høyere hastighet. I takt med trekkraftaggregatens økende hastighet måtte det skje en endring av kontaktledningens dynamiske standard. De kontaktledningsanlegg som ble bygd som de siste under det store elektrifiseringsprogrammet som ble avsluttet med åpningen av Dovrebanen fram til Trondheim i 1970, tilfredsstiller således en hastighet på ca. 100 km/h. Siden er imidlertid lokomotivenes hastighet økt ytterligere, slik at de sist anskaffede lok har en topphastighet på ca. 150 km/h. Det er imidlertid ikke foretatt noen endring av eksisterende kontaktlednings standard siden de ble bygd, og det sier seg derfor selv at de nyeste lokomotivens hastighet ikke kan utnyttes fullt ut selv om sporets standard skulle tillate det.

For at kontaktledningen i fremtiden ikke skal være den begrensende faktor for full utnyttelse av det nye trekkraftmaterieil, er det satt i gang omfattende forbedringsarbeider på våre kontaktledninger.

Forbedringsarbeidene foregår i to faser:

1. Dynamisk standardforbedring av eksisterende anlegg.
2. Totalfornyelse av de eldste anlegg.

Da det skulle tas stilling til hvilket kontaktledningssystem som skulle velges ved nevnte ombygningsarbeider, måtte NSB undersøke hva som fantes av systemer i bruk ved andre forvaltninger som best kunne tilfredsstille de krav som stiltes. Ved andre forvaltninger hadde man allerede i mange år vært opptatt av høyhastighetsproblematikken, men ambisjonsnivået lå ofte atskillig høyere enn det som hos oss kunne være aktuelt.

Det systemet som ble valgt for vårt ombygningsarbeid var benyttet i Sverige hos SJ og ved DB. Hos oss er systemet blitt kalt system 35 og er konstruert for kjørehastighet opp til ca. 160 km/h.

Grunnen til at det ikke ble valgt et system med enda større hastighetsprofil, var at vårt jernbanelnett er så kurverikt og kurveradiene er så krappe at hastigheter over 160 km/h bare ville være mulig på forholdsvis korte strekninger, iallfall innen overskuelig fremtid.

Det valg som ble gjort innebærer dessuten at man kan beholde det

alt vesentlige av konstruksjoner (ledningstverrsnitt, utliggerkonstruksjoner, klemmer, master m.v.) som eksisterende anlegg består av, og den dynamiske forbedring vil derfor kunne gjennomføres raskere og langt billigere enn om et system for høyere hastighet skulle blitt valgt.

Hvis man hadde valgt et system for f.eks. 200 km/h ville det bety at de fleste komponenter i anlegget måtte forsterkes fordi ledningsstrekkingen måtte bli vesentlig større. I tillegg ville byggeomkostningene økt sterkt. Det ville også ha betydning at den dynamiske standardforbedring som nå er i gang ikke kunne blitt gjennomført, iallfall ikke med siktepunkt å nå en topphastighet på 200 km/h.

Ledningsanleggene på strekningene Asker—Brakerøya, Oslo—Lillestrøm, Drammen—Hokksund og Asker—Spikkestad er totalfornyte etter nytt system. Videre er fornyelsesarbeidet i gang på strekningene Hokksund—Kongsberg og Oslo—Ski. Arbeidet

med dynamisk standardforbedring er i gang på de fleste øvrige elektrifiserte banestrekninger.

Totalfornyelsen av kontaktledningsanleggene er tid- og ressurskrevende. Siktemålet er å kunne bygge om ca. 50 km. pr. år. Med et elektrifisert banenett på ca. 2500 km. må det derfor regnes med at det vil ta ca. 50 år før hele nettet er totalombygd. De banestrekninger det vil ta mer enn 10 år å bygge helt om, vil bli bygd om til en bedre dynamisk standard. På denne måten skulle det være mulig å høste hastighetsgevinst i løpet av forholdsvis få år.

Strømvaktaker

Strømvaktakeren overfører effekten fra kontaktledningen til trekkaggregatet. Hånd i hånd med utviklingen av kontaktlednings-systemer og trekkraftmateriell har utviklingen av strømvaktakeren gått. God strømvaktaking avhenger i minst like stor grad av strømvaktakeren som av kontaktledningen. Kravet til strøm-

avtakeren er at den under alle forhold, vind, kulde, stor hastighet, skal øve tilnærmet konstant trykk mot kontakttråden og gi en mest mulig avbruddsfri strømvaktaking. Den må ha en god sidestabilitet så den ikke havner utenfor kontakttråden når toget i stor fart «hiver» seg inn eller ut av kurver, den må være mest mulig upåvirkelig av vindtrykk og helst følge ledningen med jevnt trykk selv ved ujevnheter i ledningens høydebeliggenhet. Kravet til strømvaktakeren er således enormt og svært komplisert å tilfredsstille.

En full matematisk analyse av problemet strømvaktakerdynamikk er enormt komplisert. Det er ikke uten videre klart at mer omfattende analyser vil føre til en mer økonomisk attraktiv løsning av høyhastighetsstrømvaktakeren. Analyser og undersøkelser av strømvaktaker og strømvaktaking med en strømvaktaker er tross sin kompleksitet den enkleste form for strømvaktaking. Med flere strømvaktakere i serie øker strømvaktakerpro-

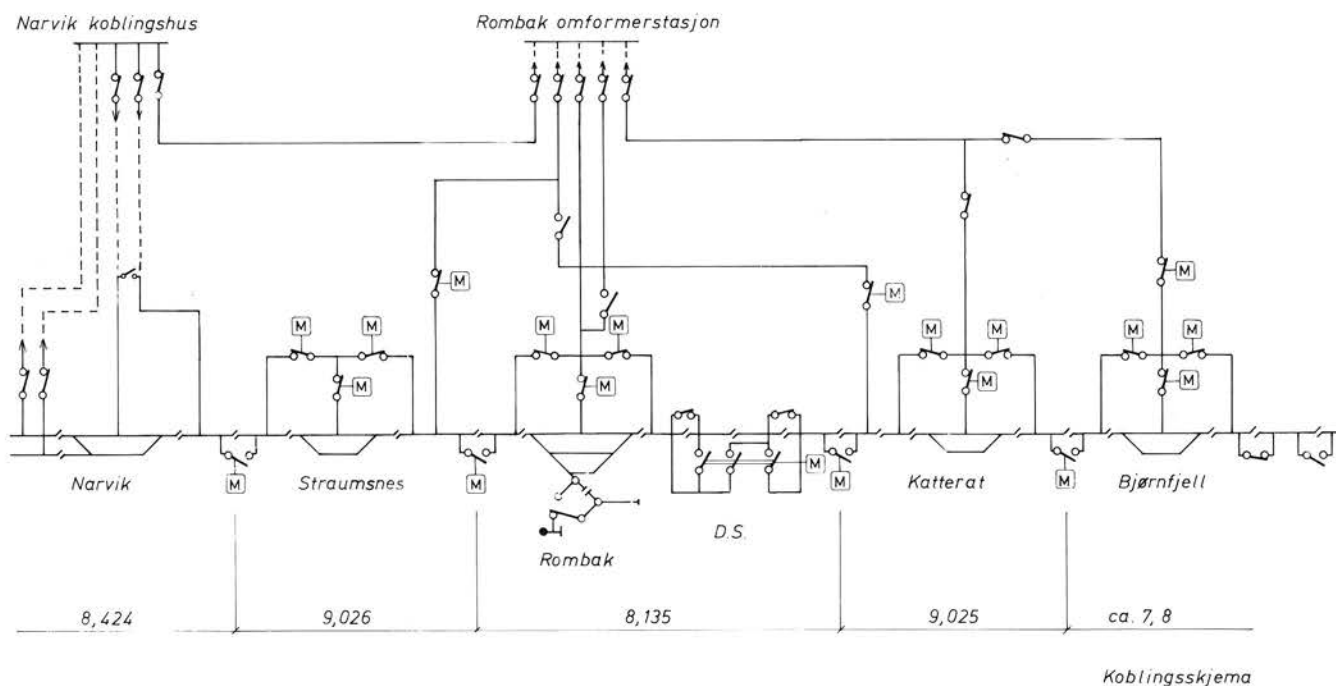
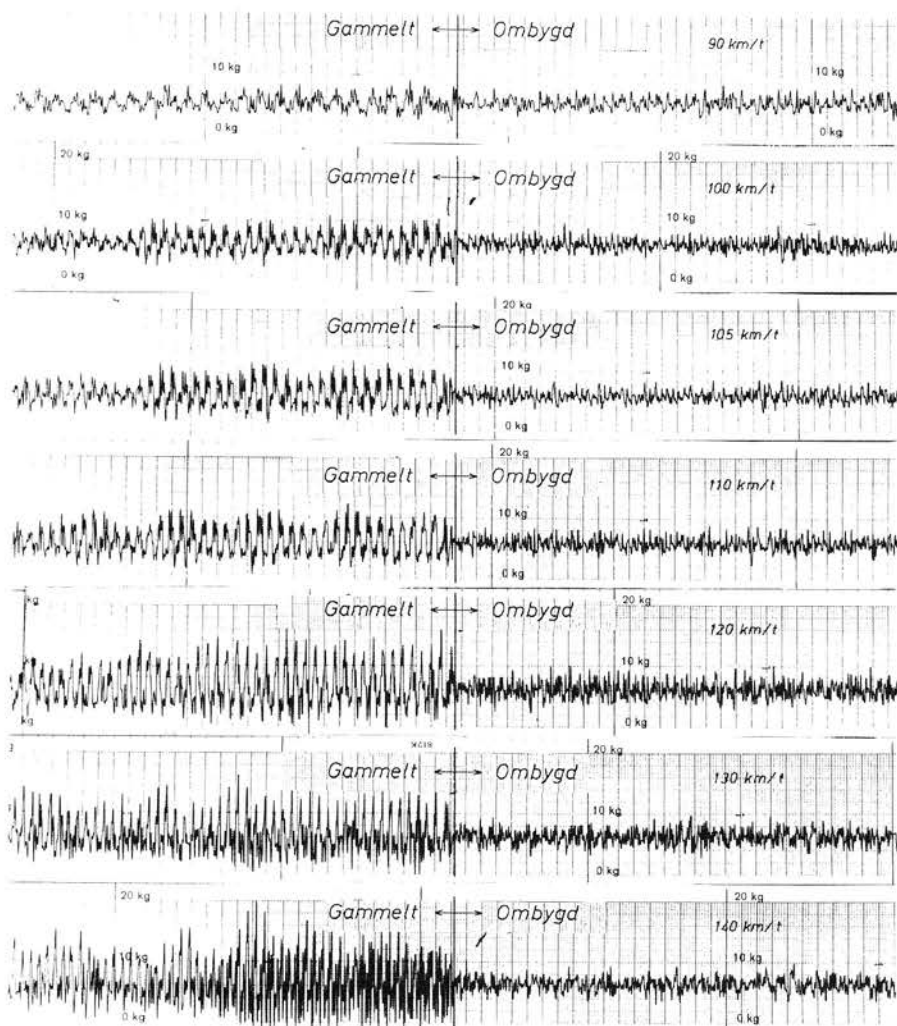


Fig. 6



Strømvatagertrykk

Fig. 7

blemene for hver strømvataker. Muppelkopling med atskilte strømvataker med mindre avstand enn 250 m er utilfredsstillende over 120 km/h p.g.a. svingninger i ledningen over og under den statiske beliggenhet etter passering av den første strømvataker.

Fjerningen av den naturlige resonans av hele kontaktledningen som den første strømvataker forårsaker, gjør det vanskelig for strømvataker nr. 2 å befare ledningen. Probleme ne øker med antall strømvataker i serie. Forsøk har vist at strømvataker som går som nr. 4

eventuelt nr. 5 i et togsett, har praktisk talt ingen betydning med hensyn til effektilførsel til toget.

Strømvataking

Arbeidet med forbedring av strømvataker og kontaktledning må ses i sammenheng.

Kravet som stilles til disse to svingende system er at samarbeidet må være slik at strømvatakingen ved alle hastigheter og belastninger må være mest mulig avbruddsfri og jevn. Ved lave hastigheter er dette ikke noe problem. Men når hastigheten øker,

melder problemene seg i form av spenningsavbrudd og gnistring. Arbeidet med disse to systemer går ut på å unngå at de statiske og dynamiske krefter endres i noen særlig grad avhengig av hastigheten.

Ved utenlandske forvaltninger og bedrifter er det i årevis forsket på problemet strømvataking, spesielt ved høyere hastigheter.

Av målinger som er utført går det fram at slitasjen på kontakttråden er sterkt avhengig av hastighet og strøm. Hvis kontaktrykket er lavt (trykket mellom strømvataker og kontakttråd), vil kontaktmotstanden øke. Da oppstår det lysbuer (gnister) som øker slitasjen på kontakttråden (kopper smelter). Hvis derimot trykket blir for stort, vil den mekaniske slitasje bli stor både på kontakttråd og strømvataker. En spesiell form for slitasje er den som oppstår på strømvatakeren ved rimbelegg på kontakttråden. Med rimbelegg på ledningen og gnistringen som da oppstår vil strømvatakerkullenes slitasjetid reduseres med ca. 30%.

Under arbeidet med utvikling av kontaktledningssystemer (f.eks. ved DB) har man gått ut fra dynamiske betraktninger. De forutsetter at bølgehastigheten i kontaktledningen er stor i forhold til toghastigheten.

En strømvataker i ro utøver en kraft F på kontakttråden i punktet X . Kvotienten av løfting og kraft blir betegnet som statisk elastisitet

$$e(x) = \frac{Y(x)}{F}$$

Jo mindre e endrer seg langs kontakttråden, desto mindre blir vertikalbevegelsen og desto mindre vil kontaktkraften mellom strømvataker og kontakttråd variere. «Kontakttrådens statiske elastisitet skal være mest mulig konstant» har vært utgangskravet for DB's kontaktledningssystem opp til 200 km/h.

For å oppnå dette må hengetræder nøye beregnes og plasseres. Utliggeren må ved hjelp av f.eks. Y-line gjøres vektmessig så lik ledningen forøvrig som mulig.

En årsak til strømvaktakerens bevegelser i vertikalplanet kan altså være ujevn statisk elastisitet.

En annen årsak kan være variasjoner av kontakttrådens høyde over sporet. Det gjelder derfor at kontaktledningens utligger og øvrige oppheningspunkter monteres mest mulig nøyaktig og at overgang fra en kontakttrådshøyde til en annen foregår over en tilstrekkelig lang strekning, slik at den ikke blir for steil og at denne overgangen også skjer uten sprang. Variasjoner i kontakttrådens høyde over sporet vil frembringe svingninger i systemet. Variasjoner i kontrakttrådshøyden kan være svært vanskelig å unngå. På forholdsvis rettilinjet banestrekning er det enklere enn på en kurverik bane. Avhengig av kurveradien vil strekket i kontakttråden forårsaket av kurven variere med kurveradien og vil påvirke ledningens vekt og nedheng.

Dessuten vil enhver unøyaktighet i sporets overhøyde påvirke ledningens høydebeliggenhet i forhold til strømvaktakeren. Andre ujevnheter i sporet spiller også inn på strømvaktakingen.

En tilfredsstillende strømvaktaking stiller krav til et godt og riktig justert spor, et riktig avfjæret trekkaggregat, en godt vedlikeholdt strømvaktaker og ikke minst en nøyaktig montert og vedlikeholdt kontaktledning.

Kontroll av kontaktledningen

NSB anskaffet for noen år siden egen målevogn for kontroll av kontaktledningen under normale driftsforhold. Normalt foretas kontroll av alle elektrifiserte banestrekninger 2 ganger i året, en gang på forsommeren etter at telen er gått av marken, og den andre gangen om høsten etter at baneavdelingen er ferdig med det meste av sesongens sporarbeider. Med målevognen måles bl.a. ledningens høyde over sporet og dens sideveis beliggenhet, siksaken. Den minst tillatte kontakttrådshøyde er 4,80 m og normalhøyden er 5,60 m. I horisontalplanet skal ledningen bevege seg jevnt mulig fram og tilbake på strømvaktakeren og skal

ikke komme lenger enn 0,40 m til hver side for strømvaktakertoppstykkets midtpunkt. Det er også viktig at denne horisontale bevegelse oppnås for dermed å få en mest mulig jevn slitasje av kull-slepestykkene. Dessuten måles trykket mellom strømvaktakeren og kontakttråden, strømvaktakerens akselerasjon, kontaktledningsspenningen og hastigheten.

Utenom de ordinære målekjøringer foregår det også målinger ved behov, f.eks. for å prøve nye komponenter eller for å kontrollere anlegg etter ombygging.

Alle måleresultater blir registrert på papirruller ved hjelp av skriver.

I tillegg til papiret med alle kurver nedtegnet, blir måleresultatene overført til en datamaskin som er forbundet med måleutstyret og som skriver dette ut i klartekst. Alle uregelmessigheter som registreres og som overskrider vedtatte toleransegrenser, blir skrevet ut av datamaskinen i form av såkalt «alarmrapport». Dette er avvikelser fra det normale som er så store at det må gjøres øyeblikkelige utbedringer. I tillegg skrives det ut en tilstandsrapport som sammenlikner resultatene ved dagens kjøring med målinger foretatt på foregående tur. Ved hjelp av disse utskrifter kan man se «trenden» hos anleggene.

Målevognen er et uvurderlig hjelpemiddel, bl.a. for å kunne fastsette med hvilken hastighet det er tilrådelig å kjøre på kontaktledningen.

Nedenfor er vist et eksempel hvordan man kan bruke målevognen for å kontrollere nytten av utført arbeid. Strømvaktakingen i lange tunneler er problematisk. Ved ca. 100 km/h viser det seg at ledningsanlegget blir satt i så store svingninger at hastigheten må settes ned for å unngå ødeleggelse av kontaktledning og strømvaktaker. Ca. 3,5 km av den ca. 9,0 km lange Kvinesheittunnelens kontaktledningsanlegg er blitt bygd om. Det gamle anlegget der er bygd uten vektavspente ledninger. Grunnen til det er at det ikke regnes med noen endring av temperaturen i løpet av

året som kan påvirke ledningslengden og dermed ledningens nedheng. Totalstrekket i ledningsanlegget var før ombyggingen ca. 11 040 N. Ved ombyggingen ble strekket i kontakttråden hevet til 9810 N og i bærelinen til 7850 N, altså en samlet økning på rundt 6870 N. I tillegg ble nye oppheningspunkter montert. Ledningens statiske elastisitet ble dermed endret. Nedenstående kurver viser hvordan strømvaktakingens kvalitet endres med hastigheten (se fig. 7).

Ved 90 km/h, som har vært ansett som en akseptabel hastighet, er det ingen vesentlig forskjell i det gamle og det ombygde anleggs strømvaktakingsforhold. Etter hvert som hastigheten øker, kan vi se hvordan forskjellen mellom de to anleggstyper kommer tydelig fram. Ved 140 km/h er bøyetrykket på det opprinnelige anlegg kommet opp i ca. 200 N som max., for i neste øyeblikk å være 0 N. Hele systemet er satt i svingninger slik at strømvaktakeren slår opp og ned med stor kraft.

Kurvene for det ombygde anlegg viser små og akseptable variasjoner i bøyetrykket.

Dette eksemplet viser med all ønskelig tydelighet at våre eldre kontaktsledningsanlegg ikke kan trafikkeres med hastigheter etter dagens mønster. Men det viser også at det er mulig å bygge om de eksisterende anlegg slik at de kan gi akseptable strømvaktakingsforhold ved nokså høye hastigheter.

Når den dynamiske standardforbedring av eldre kontaktledningsanlegg er utført, vil denne ikke lenger være den flaskehals som hindrer framføringen av dagens raske tog. Man har også den tro at anleggenes driftssikkerhet vil øke p.g.a. at de ikke blir utsatt for de ekstreme påkjenninger den for store hastigheten gir. ■

Tilsyn med NSB's elektriske anlegg

Av overing. Erling Dragseth

Med hjemmel i lov om tilsyn med elektriske anlegg skal alle elektriske anlegg, unntatt anlegg for radio-telefoni og radio-telegrafi, være underlagt offentlig kontroll og tilsyn.

Det offentlige tilsyn utøves av Norges vassdrags- og elektrisitetstilsyn (NVE) ved Elektrisitetstilsynet. NVE kan i spesielle tilfeller anordne et særlig tilsyn. For tiden er det opprettet særlig tilsyn for Norges Statsbaner, Teledirektoratet og Kystdirektoratet. Anordning av et særlig tilsyn innebærer at en institusjon får overdratt tilsynet med elektriske anlegg innenfor sitt eget område. Ellers har et særlig tilsyn samme status som hvert av Elektrisitetstilsynets 6 distrikter (fig. 1).

Årsaken til anordningen av et særlig tilsyn ved NSB er at anlegg for elektrisk banedrift er så spesielle. Ettersom anleggene avviker så meget fra ordinære installasjoner i industri og elektrisitetforsyning, ville det ikke være hensiktsmessig for NVE å bygge opp egen kompetanse på dette feltet sentralt og i distriktene.

Tilsynets oppgaver

Det særlige tilsyn har som oppgave i nødvendig utstrekning å gjennomgå og vurdere planer for nye anlegg og endringer ved bestående anlegg, samt å besiktige slike anlegg under utførelse og når de er ferdige.

Det særlige tilsyn skal dessuten foreta periodiske besiktigelses- og bestående anlegg med den hyppig-

het som til enhver tid er fastsatt av NVE.

I dag skal f.eks. høyspenningsanlegg (anlegg med over 1000 V vekselstrøm eller over 1500 V likestrøm) som tilhører NSB, besiktiges minst 1 gang i året.

Etter hver besiktigelse skal det utarbeides besiktigelsesrapport hvor mangler er påpekt, med frist for retting av manglene.

Videre skal det kontrolleres at det personalet som benyttes for utførelse og drift av NSB's elektrotekniske anlegg tilfredsstiller de til enhver tid gjeldende forskrifter om faglig utdanning for elektrofagfolk.

For øvrig skal særlige forhold innberettes til NVE når dette finnes påkrevet.

NSB's tilsynsområde

NSB's tilsyn omfatter baneområder og NSB's områder i tilslutning til dette, samt private sidespor som drives og vedlikeholdes av NSB.

Det særlige tilsyn omfatter dessuten installasjoner utenfor baneområdet som strømforsynes fra NSB's anlegg. Det siste innebærer at NSB, i likhet med elektrisitetstilsynets verkene, må føre tilsyn hos abonnenter som man selger strøm til, f.eks. på Bergensbanen (hytter, hoteller m.v.).

Konkret utgjør dette av høyspenningsanlegg (sterkstrømsanlegg med over 1000 V vekselstrøm eller over 1500 V likestrøm), 2442 km kontaktledningsanlegg, 2 koplingshus, 31 matestasjoner, 1 kraftstasjon og tilhørende mateledninger. Av lavspenningsanlegg

(sterkstrømsanlegg med spenning opptil 250 V vekselstrøm eller 500 V likestrøm) omfatter tilsynsområdet ca. 1300 anlegg (abonnement). Med sterkstrømsanlegg menes anlegg med så høy spenning og strøm at anlegget kan medføre fare for liv og eiendom.

Forskrifter

Tilsynets hovedoppgave er som allerede nevnt å påse at elektriske anlegg bygges, drives og vedlikeholdes i samsvar med gjeldende forskrifter og bestemmelser.

Dette medfører et behov for et klart regelverk for å kunne utføre ovennevnte oppgaver.

For drift av de vanlige sterkstrømsanlegg ved NSB gjelder de offentlige driftsforskrifter. Ved en del anlegg som er spesielle for jernbanen (kontaktledningsanlegget), har NVE dels gitt tilleggsskrifter, dels dispensasjoner hvor de offentlige forskrifter ikke har kunnet etterkommes. Som driftsforskrifter for slike anlegg har NVE i helhet godkjent NSB's trykk 411.1.

Likeledes er spesielle jernbaneanlegg bygget etter NSB's trykk 504, mens vanlige sterkstrømsanlegg bygges etter de offentlig forskrifter.

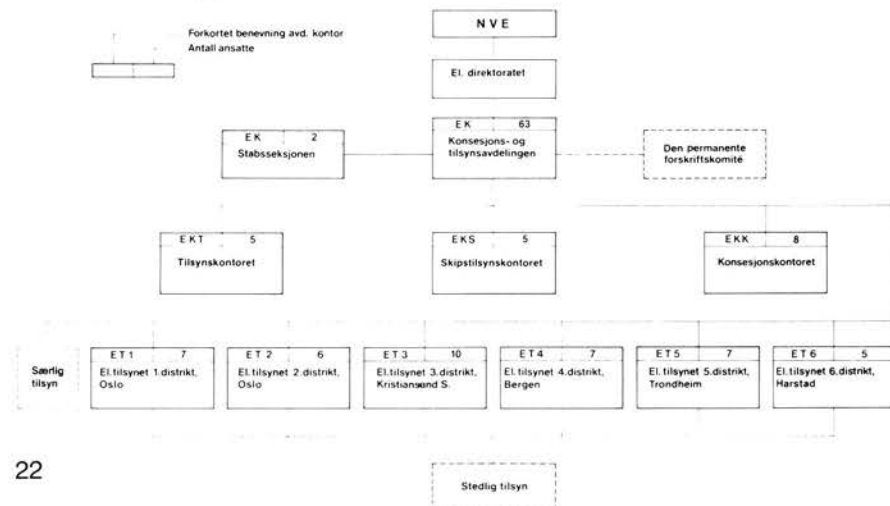
Signal- og sikringsanlegg betraktes av sikkerhetshensyn som lavspenningsanlegg og bygges etter disse forskrifter med de dispensasjoner som er gitt av NVE.

Ellers blir ansvaret for driften av NSB's høyspenningsanlegg fordelt på 7 driftsledere som har ansvaret for hver sin del av NSB's høyspenningsanlegg.

Erfaringer

Tilsynet med alle elektriske anlegg i Oslo og Drammen distrikter, hovedverkstedene og jernbaneanlegget utøves av Hovedadministrasjonen. For lav- og mellomspenningsanlegg er tilsynet delegert til de øvrige distriktene, som utøver «stedlig» tilsyn ved hjelp av godkjente installasjonsinspektører.

Ellers fungerer det særlige tilsyn med el. anlegg i NSB som et av NVE's 6 distrikter, uavhengig av NVE.



Svakstrømsanlegg, påvirkning fra banestrøm. Teleseksjonen.

Av overing. Eilert Rasmussen

De første samband langs jernbanene var «telegrafsamband», entrådet med framføring som luftlinjer på stolpekurser langs banene. Korrespondansen på disse linjer var morsetegn.

Senere kom telefonen, denne gikk i første omgang på enkeltråd med jord retur. Senere ettersom behovet vokste, gikk en over til totråds overføring, men fremdeles vesentlig på luftkurser.

De første telekabler langs banene kom først i 1936/37.

Telekablene var og er vesentlig fellesanlegg Televerket/NSB.

De første kabler var vanlige blymantlede armerte langlinjekabler etter Televerkets spesifikasjoner. Overføringen gikk på såkalte pupiniserte par, bortsett fra likestrøms styresignaler, som blir overført på upupiniserte par.

Da det ble bestemt at enkelte baner skulle elektrifiseres, var det klart at verken de eksisterende kabler eller luftlinjer kunne beholdes på grunn av induksjon fra kontaktledningen.

Det elektromagnetiske feltet mellom kontaktledning og jord (skinnegang) ville indusere ganske store spenninger og strømmer i luftlinjer og kabler.

Særlig var det klart at luftlinjene ville få store spenninger, så store at de ødela enhver mulighet for overføring av informasjon over linjene. Til dels kunne induksjonen komme opp i nivåer som var farlige for mennesker. Ergo måtte luftlinjene vekk.

Hva med kablene?

Målinger viste at blykappen og jernarmeringen reduserte induserte spenninger i kabelparene til en viss grad.

Kabelen virker som en transformator sett mot indusert spenning fra kontaktledningen.

Blykappen blir primærvikling, jernarmeringen tilsvarer jernkjernen i en transformator og kabelparene blir sekundærviklingen.

Kjørestømmen induserer en langspenning i kabelmantel og kabelpar. På grunn av transformatorvirkningen vil det imidlertid induseres motspenninger i kabel-

parene på grunn av strømmen i blykappen.

I de gamle blykablene var ledningsevnen i blykappen dårlig, og permeabiliteten i jernet også dårlig, slik transformatorvirkningen ble liten og det oppsto store induserte langspenninger i kabelparene.

Ved å forbedre permeabiliteten i jernet, samt øke tverrsnittet i blykappen oppnådde en reduksjonsfaktor på ca. 0,2.

Senere ble det benyttet aluminium i stedet for bly i kappen, slik at reduksjonsfaktoren kom ned til 0,1, det vil si at indusert støvspanning blir redusert til 10% av hva den ville vært uten kappe og jern.

Etter overgangen til plastisolerte kabler kan en ikke lenger presse aluminiumkappe på kablene, da isolasjonen vil smelte dersom det ikke legges en tykk varmebarriere av papir mellom ledere og kappe. Den nye kabel med reduksjonsfaktor har en kappe av laminert aluminium innstøpt i polyethylene, tilsett så mye carbon at kappen er ledende og gir kontinuerlig jording av aluminiumsmantelen. Denne type kabel har like god reduksjonsfaktor som de gamle, under forutsetning av at den jordes kontinuerlig og at begge endepunkter jordes mot en jordledning med ikke over 8 ohm jordmotstand. Dette kan skape problemer i kanalanlegg og tunneler hvor en ikke kan få kontinuerlig jording der kablene ligger i kanaler. I forbindelse med overgang til elektrisk banedrift ble det foretatt beregninger og målinger, blant annet for å bestemme optimal avstand kabel — kontaktledning. Både teori og målinger bekreftet at minimum induksjon i rimelig nærhet av banen var ved 12 m avstand kabel — kontaktledning. Denne avstand har en prøvd å holde i størst mulig utstrekning.

På tross av god reduksjonsfaktor, god balanse i kabelparene og optimal avstand fra kontaktledning, har vi store problemer med dataoverføring med hastigheter over 1200 B/s.

Det er for mye støy på linjene til at datasignalene går skikkelig. Mye

av støyen skyldes støy fra banestrømmen.

CCITT (en komite innen den internasjonale telekommunikasjonsunion) anbefaler maksimal «ekvivalent støystrøm» i forstyrrende ledninger til 1 A.

Målinger på kontaktledningene viser at disse verdier er vanskelige å overholde, men at det er mulig å holde seg under 1.5 A under «vanlig drift». Dette skyldes de nye tyristorstyrte kraftforsyningene i lokomotivene som gir mye mer støy enn de gamle el-lokomotivene.

Ved helt spesielle feil på en del av de nye lokomotivene kan ekvivalent støystrøm komme opp i verdier på 10 til 15 A.

Ved slike strømmer vil all tale og dataoverføring i våre lavfrekvente kabler bli vanskelig eller umulig.

Vi er nå i ferd med å bygge ut digitale samband, såkalte PCM systemer.

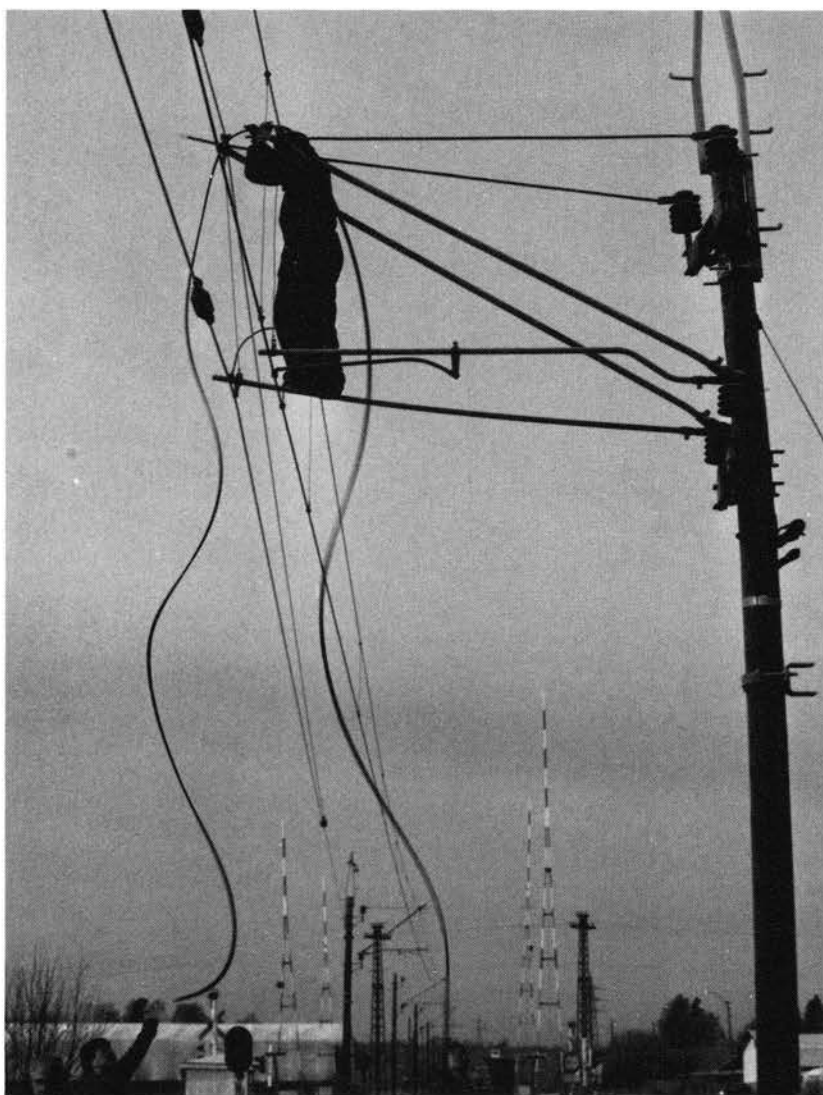
Disse samband håper vi vil være mindre følsomme for støy, og da hver talekanal overfører 64 KB/s (64 000 B/s), vil vi kunne overføre data med hastigheter opp mot 64 KB/s.

Det er imidlertid ikke bare banestrømmen som gir støy i telekablene.

Eldre telefon-, signal- og styretstyr signaliserer inne i kabelen med opptil 200 volt i pulset likestrøm. Disse signalene gir store forstyrrelser på andre kabelpar. Dette er også en medvirkende årsak til vanskelighetene med dataoverføring i vanlige kabler. Ved overgang til tonesignalisering vil disse problemer etter hvert forsvinne.

Vanlige kabler vil dog ikke være gode nok for et moderne telenett, både vil kapasiteten bli for liten etter hvert som NSB's krav til samband for tele- og data øker. Støy fra banestrømmen blir vi heller ikke kvitt. Det vil derfor ikke være aktuelt å legge nye konvensjonelle kabler for lange telesamband, alle nye kabler vil bli fiberoptiske kabler.

Fiberoptiske kabler kan lages fullstendig metallfri, idet selve lederer er laget av kvartsglass og over-



Opphenging av fiberkabel.

føring av informasjon skjer ved hjelp av lys.

Diameteren for hver lysleder er nå standardisert til 125 mikrometer for kappen, mens selve lyslederen har en diameter på fra 5 til 50 mikrometer for telekabler.

Signalene overføres som lyspulser på digital form (PCM — modulasjon).

Båndbredden for slike kabler er enorm sammenliknet med vanlige kabler, det kan dreie seg om flere milliarder pulser pr sekund. På nåværende stadium er maksimal overføringshastighet begrenset av

elektronikken som modulerer lyspulsene. Det er mulig med vanlig PCM-modulasjon å overføre inntil 8000 telefonkanaler pr. fiberpar, men utviklingen går fort, både når det gjelder modulasjonsmetoder og økning i hastighet i elektronikken, så mulighetene for 100 000 kanaler pr. fiberpar er alt innen rekkevidde i laboratoriene.

Fiberkanalene har en usedvanlig liten demping av lyset, slik at en ikke trenger forsterkere (regeneratore) så tett som en må ha dem på vanlige kabler.

Til sammenlikning kan nevnes at

et 30 kanals PCM system med en båndbredde på 2 megabit per sekund (millioner bit pr. sek.) trenger en regenerator for hver 3 kilometer, mens et 1900 kanals PCM system med en båndbredde på 140 MB/S i fiberkanal trenger regenerator for hver 30 til 60 kilometer, avhengig av kabeltype.

Fiberkablene er dessuten immune mot alle forstyrrelser, både induksjon fra kontaktledningen og lynnedslag.

Televerket ønsker å samarbeide med NSB når det gjelder å bygge ut et framtidig fiberkabelnett, og er interessert i å legge eller henge opp fiberkabel langs samtlige banestrekninger.

Det er nå i gang arbeidet med fiberkabelanlegg Oslo—Ski og Asker—Drammen. Anlegg Ski—Tomter er i prøvedrift i televerkets regi, men NSB skal overta et fiberpar på denne strekningen.

Det skal videre henges opp et prøveanlegg på Finse for å se om luftkabelen tåler de påkjenninger vær og snørydding vil utsette en luftkabel for.

I løpet av sommeren vil det i samarbeid med Televerket bli lagt en 8-fibers kabel hvor NSB skal eie 2 fibre, mellom Hamar og Gjøvik. Når vi får bygget ut NSB's fiberkabelnett langs samtlige banestrekninger, skulle vi være i stand til å dekke sambandsbehovet i overskuelig framtid, samtidig som sambandskvaliteten blir førsteklasses.

Påvirkning fra tyristorstyrt trekraftmaterieell på signalanleggenes sporfelter

Av avd. ing. A. Solheim

Ved innføring av moderne trekraftaggregater fikk man som bivirkning problemer med sikringsanleggenes sporfelter. Problemene skyldtes i hovedsak to faktorer: en kraftig økning av banestrømmen i sporet på grunn av større startstrømmer og en økning av overharmoniske komponenter på grunn av tyristorstyring av drivmotorene.

Det skal her gis en kort redegjørelse for disse problemene.

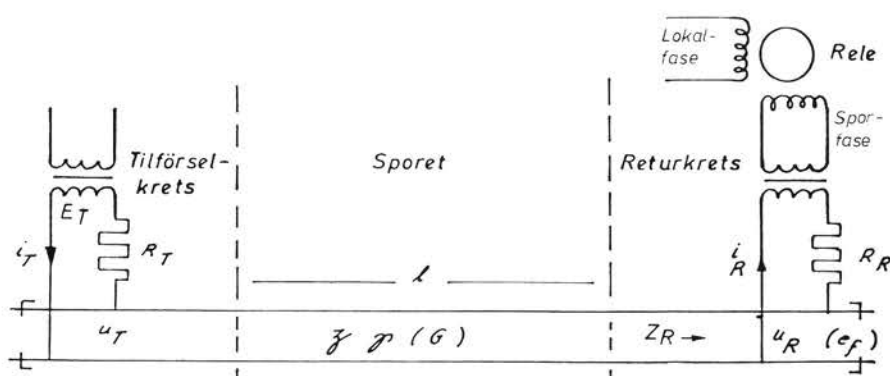
Prinsippene for NSB's sporfelter på elektrifiserte baner

Sporfeltene har til oppgave å avgi informasjon til sikringsanlegget om hvorvidt det i øyeblikket befinner seg tog på en gitt strekning eller ikke. Linjen er derfor inndelt i seksjoner, og hver seksjon utgjør et sporfelt.

Mellom de to skinnestrengene mates det inn en spenning, sporfeltspenning, som overføres til et relé og holder dette tiltrukket. Når et tog kommer inn på feltet, vil hjulparene kortslutte sporfeltspenningen og reléet faller. En feil med sporfeltet, som medfører at reléet ikke faller når feltet er belagt, utgjør en sikkerhetsfeil. En feil som fører til at reléet faller når sporfeltet er fritt, betraktes som en driftsfeil. Man må mellom sporfeltene ha elektrisk isolasjon som hindrer sporfeltspenningen på et felt fra å påvirke reléer på nabofeltene. Sporfelter med isolasjon bare i en skinnestreng kalles enkeltisolerte. Sporfelter med isolasjon i begge skinnestrenger kalles dobbeltisolerte. Enkeltisolerte felter gir på elektrifiserte baner umiddelbar fri passasje for returstrømmen fra lokomotivet, mens det på dobbeltisolerte felter må være egne kretser som slipper kjørestømmen gjennom, men som sperrer for sporfeltspenningen.

Sporfeltreléer

De sporfeltreléer som benyttes i NSB's sporfelter er tofase induksjonsreléer. Fluksen fra to sett spoler, sporfase og lokalfase, indu-



serer hvirvelstrømmer i reléankeret. Kraften på reléankeret oppstår ved samvirkning mellom hvirvelstrømmene induisert av det ene spoletsett og fluksen fra det andre.

Kraften på reléankeret kan uttrykkes som:

$$K = k \cdot I_{lf} \cdot \varnothing_{sf} \quad (1)$$

Her er k en konstant for reléet. Både I_{lf} og \varnothing_{sf} varierer etter en sinusfunksjon med signalspenningens frekvens, maksimal kraft fås når de to er i fase. Dette betyr 90° faseforskyvning mellom sporfasestrøm og lokalfasestrøm.

Noe forenklet kan dette altså framstilles:

$$K_1 = k \cdot I_{lf} \cdot I_{sf} \cdot \sin \alpha \quad (2)$$

Reléforstyrrelser

Når det på reléets sporfase føyes til en fremmedstrøm i_1 og faseforskyvet α_1 til I_{lf} blir uttrykket for kraften på reléankeret:

$$K_2 = K \cdot I_{lf} \cdot (I_{sf} \sin \alpha + i_1 \sin \alpha_1) \quad (3)$$

Fremmedstrømmen samarbeider med eller motarbeider altså den ordinære sporfeltstrømmen. Hvis fremmedstrømmen har en annen frekvens (ω_1) enn sporfeltstrømmen (ω), viser beregninger at det i tillegg til den opprinnelige kraften oppstår to nye komponenter. Den ene, med frekvens $\omega + \omega_1$, får på grunn av reléets treghet ingen betydning. Den andre kan imidlertid gi årsak til vibrasjoner i reléankeret med frekvens $\omega - \omega_1$, hvis ω_1 ligger nær ω . Slike vibrasjoner gir opphav til slitasje og kanskje drifts-

Fig. 1. Skjema over komplett sporfelt. For beregning av sporfelter benyttes samme metode som opprinnelig er utviklet for bruk ved beregning av lange telefonledninger. (Se NSB Tekniske Meddelelser 2 (1954), nr. 1 s. 5—s. 16.)

feil, mens sikkerhetsfeil er lite sannsynlig. Se for øvrig hva som er angitt under spenningskomponenter fra overharmoniske frekvenser nedenfor.

Muligheter for forstyrrelser fra kjørestømmen. Metning i sporfelt-transformatorer på grunn av 16 2/3 Hz spenninger generert i sporet

I enkeltisolerte sporfelt vil det over feltets returklemmer alltid opptre en fremmedspenning med kjørestømmens frekvenser. Dette skyldes at praktisk talt all kjørestøm går i den ene skinnen. På grunn av skinnemotstanden oppstår det over denne en spenning som med god tilnærming er proporsjonal med feltets lengde. Hvor stor del av denne spenningen som vil legge seg over returklemmene, vil avhenge av sporfeltets øvrige parametre.

I dobbeltisolerte sporfelt forutsettes kjørestømmen å fordele seg likt på de to skinnestrengene, og det vil da ikke opptre noen fremmedspenninger over returen. Usymmetrisk strømfordeling vil imidlertid forekomme, for eksempel hvis skinnestrengene har forskjellig avledning til jord. Dette vil føre til

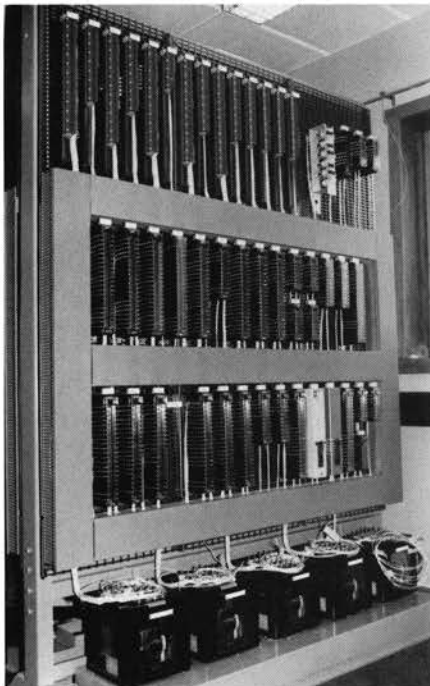


Fig. 2. Reléutstyr i sikringsanlegg med sporfeltréleer (plassert nederst).

at det oppstår en spenning over impedansforbindelsene og returen. Store nok spenninger med kjørestømmens frekvens over returklemmen kan medføre metning i returkretsens spoler og transformatorer. Metning vil medføre at reléet faller, og gir årsak til driftsfeil. Det bemerkes at stadig gjentatte driftsfeil gir opphav til mistillit og kan skape situasjoner med sikkerhetsrisiko.

I og med den kraftige økning av strømforbruket til de nye trekkaggregater har metningsfenomenet fått store konsekvenser. Selv relativt korte enkeltisolerte sporfelter påvirkes slik at returtransformatorene går i metning, og det skal liten ubalanse til i dobbeltisolerte felter for å påvirke sporfeltene. Det eksisterer tre prinsipielle løsninger på dette problem:

- fasevende sporfeltspenninger midt på feltet
- dobbeltisolere
- bygge returleder for banestrømmen

Det å bygge returleder er uten sammenlikning den beste signal-

tekniske løsningen på problemene, men også den mest kostbare.

Relétrékk på grunn av spenningskomponenter fra overharmoniske frekvenser

Kjørestømmen fra tyristorstyrte lokomotiver har et høyt innhold av overharmoniske komponenter. Når kjørestømmen genererer en spenning over sporfeltets returklemmer, fås også spenningskomponenter med de overharmoniske frekvenser. Spesielt vil komponenter med frekvensene 50, 83 1/3, 100 og 116 2/3 Hz som utgjøres av kjørestømmens 3., 5., 6. og 7. harmoniske, kunne påvirke reléene.

Disse overharmoniske frekvenser må derfor begrenses både i størrelse og tid.

Trekkaggregater må derfor enten ikke produsere overharmoniske spenningskomponenter med samme frekvens som driftsspenningen til sporfeltene, eller utstyres med filtere, eventuelt varselutstyr, hvis de overharmoniske komponenter kommer opp imot kritiske verdier.

Sporfeltenes krafttilførsel

Før innføring av tyristorstyrt trekkraftmateriell benyttet man 100 Hz som normal driftsfrekvens til sporfeltene. Denne faller sammen med kjørestømmens 6. harmoniske. Selv om denne harmoniske normalt ikke oppstår kontinuerlig ved korrekt triggering av tyristorene, viser det seg at produksjonsspredning på tyristorer kan forårsake differens i tennpunktet på tyristorene i samme bru og gi opphav til 6. harmoniske.

Man fant derfor grunn til å forskyve driftsfrekvensen for sporfeltene med 5 Hz, slik at det nå benyttes 95 Hz som normalfrekvens supplert med 105 Hz på dobbeltspor. Samtidig ble det nødvendig å innføre frekvensstabilisering av alle roterende omformere som leverer driftsspenning til sporfeltene. Dessuten har man innført et kontrollledd, frekvenskontroll, som ved 98 Hz kutter ut tilførselen til sporfeltene.

Sporfelter og framtiden

Bruk av sporfelter er en meget kostbar løsning for å registrere at tog befinner seg på en bestemt strekning. Det er en teknikk som er avhengig av at en mengde tekniske forutsetninger er oppfylt — hvor bare en del er omtalt i denne artikkel.

Det er gjennom tidene gjort flere framstøt for å utvikle andre og billigere registreringsmåter, bl.a. akseltellere, men intet system har foreløpig samme sikkerhetsnivå som ordinære sporfelter. Sikkerhetsoppfatningen er dog på gli mot redudansløsninger, og det er vel rimelig å tro at datateknikken om kort tid gjør sitt inntog også i sporfeltsammenheng. Da får vi nye og andre problemer å redegjøre for.

Kilder: Sintef rapport K-64 og K-164.

LCC — et hjelpemiddel ved planlegging, anskaffelse og drift av tekniske anlegg

Av overing. Børre Kristiansen.

NSB anskaffer materiell i form av tekniske enheter og systemer for store beløp hvert år. Dels dreier det seg om reinvesteringer i eksisterende anlegg, og dels investeres det i helt nye prosjekter. Drift og vedlikehold av dette utstyret utgjør store årlige beløp.

Ved slike anskaffelser er det viktig å foreta en nøye kvalitetsvurdering, da riktig kvalitet er av økonomisk betydning for NSB som bruker. Kvaliteten skal verken være for lav eller for høy i forhold til brukers behov. For lav kvalitet fører til et uforholdsmessig kostbart vedlikehold. For høy kvalitet fører til et uforholdsmessig kostbart produkt som dessuten står i fare for å bli innhentet av den tekniske utviklingen lenge før levetiden er omme. Det er dermed viktig, i forbindelse med en anskaffelse, å foreta en best mulig kostnadsanalyse som omfatter både anskaffelseskostnader og drifts- og vedlikeholdskostnader over hele produktets levetid.

Det er her LCC-metodikken kommer inn som et hjelpemiddel for å beregne en slik total kostnad for produktet. LCC står for «Life Cycle Cost» eller «levetidskostnaden». Med dette menes hva det koster totalt å anskaffe og eie et produkt over hele levetiden.

En stor del av produktets total kostnad er et resultat av beslutninger tatt tidlig i anskaffelsesprosessen. Dette gjelder også store deler av de fremtidige drifts- og vedlikeholdskostnadene, noe som viser hvor viktig det er med en metode som systematisk tar driftssikkerhet og fremtidig vedlikehold i betraktning allerede på dette stadiet.

Litt om driftssikkerhet

Før selve LCC-metodikken omtales nærmere er det nødvendig å si litt om den driftssikkerhetsteknikken som danner grunnlaget for metoden.

Først noen begreper og uttrykk:

MTBF = Funksjonssikkerhet: gjennomsnittlig tid mellom feil. (Mean Time Between Failure).

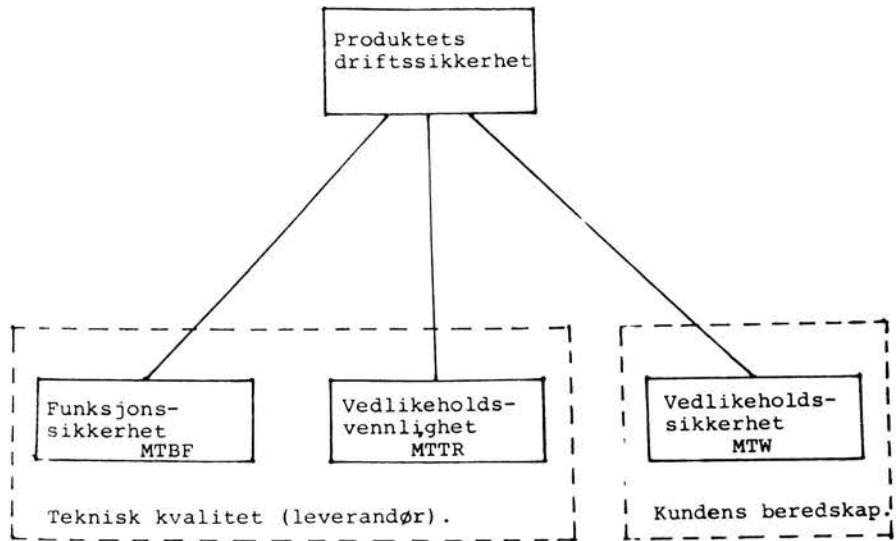


Fig 1.

MDT = Gjennomsnittlig tid for driftsavbrudd. (Mean Down Time).

MTTR = Vedlikeholdsvennlighet: gjennomsnittlig reparasjonstid (Mean Time To Repair).

MTW = Vedlikeholdssikkerhet: gjennomsnittlig ventetid (Mean Time Waiting) (fra feil oppstår til reparasjon påbegynner).

$MDT = MTW + MTTR.$

A = Tilgjengelighet (Availability)
 $= MTBF + MDT$

Driftssikkerheten i et system er systemets evne til å virke best mulig og komme hurtigst mulig i drift igjen når feil, forstyrrelser og begrensede vedlikeholdsressurser påvirker det.

Driftssikkerheten angis ofte i *tilgjengelighet (A)* som er et mål på hvor stor del av tiden systemet er i operativ drift.

Driftssikkerhet påvirkes således av faktorene

- funksjonssikkerhet — MTBF
- vedlikeholdsvennlighet — MTTR
- vedlikeholdssikkerhet (beredskap) — MTW

Figur 1 viser blokkskjematisk hvordan sammenhengen er mellom disse faktorene som tilsammen er bestemmende for systemets driftssikkerhet. Det fremgår at MTBF og MTTR er knyttet til det tekniske systemet, og dermed leverandørene, mens MTW er kundens (NSB's) eget problem.

Kommentar til faktorene:

Funksjonssikkerhet (MTBF)

Funksjonssikkerheten sier noe om hvor ofte feil kan oppstå i systemet. Egenskapen finnes på en måte «innebygget» i produktet, men den kan påvirkes ved forebyggende vedlikehold.

Vedlikeholdsvennlighet (MTTR)

Vedlikeholdsvennlighet går i korthet ut på at dersom det blir feil på et system, skal det være lett og raskt å reparere. Denne egenskapen finnes også på en måte «innebygget» i systemet, men hvordan den virker inn på driftssikkerheten avhenger av hvordan vedlikeholdet er lagt opp, for eksempel om reparasjoner utføres direkte i systemet eller om enheter skiftes ut og repareres i verksted.

Vedlikeholdssikkerhet (beredskap) (MTW)

Vedlikeholdssikkerheten er knyttet til kundens vedlikeholdsapparat, og

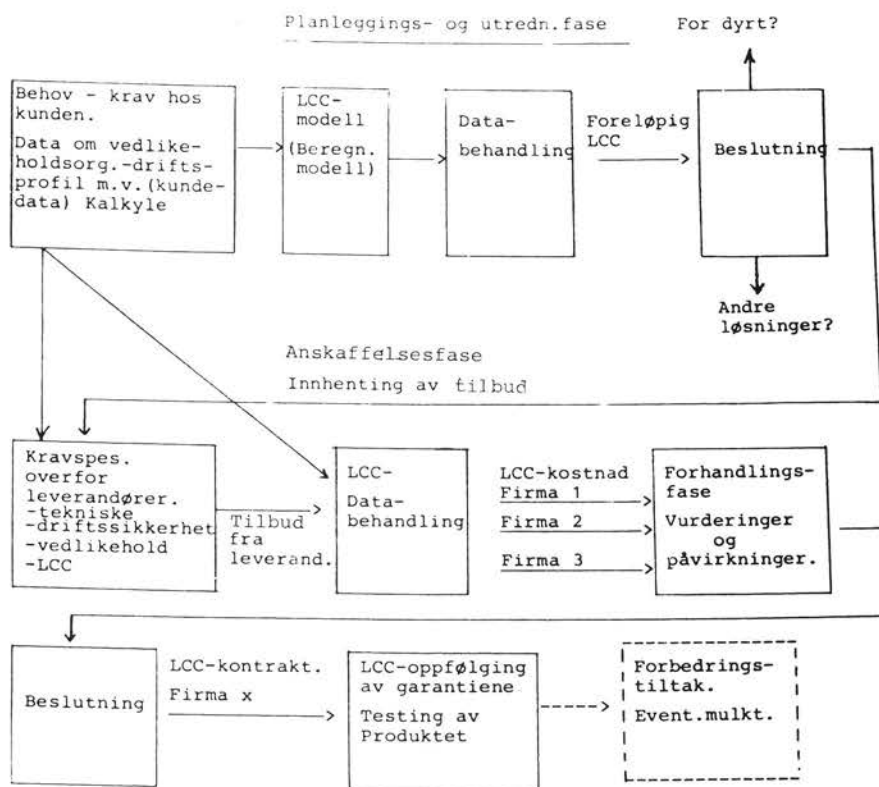


Fig. 2.

blir derved et mål på hvor godt dette apparatet er for de respektive system. Men et godt apparat er som regel et kostbart apparat, derfor er det viktig at det tekniske systemet (produktet) med sin funksjonssikkerhet og vedlikeholdsvennlighet er utformet slik at man kan oppnå god vedlikeholdssikkerhet til rimelig kostnad.

Det er LCC-metodikkens oppgave å foreta denne avveiningen.

Hva er LCC

Målet for enhver materialanskaffelse bør være å anskaffe et produkt som kvalitetsmessig tilfredsstillende driftsmessige krav, og til lavest mulige kostnader over produktets levetid. Det er dermed et mål å holde den totale levetidskostnaden for produktet lavest mulig, og LCC-metodikken er en støtteteknikk for å oppnå denne målsetningen.

Som nevnt innledningsvis står LCC for «levetidskostnaden», som vil si hva det koster totalt å an-

skaffe og eie et produkt over hele levetiden. LCC består således av en anskaffelseskostnad og akkumulerte drifts- og vedlikeholdskostnader (nåverdiberegning). Den sentrale faktoren i LCC-sammenheng er drifts- og vedlikeholdskostnaden. Erfaringene er at dette er store og økende kostnader for kunden som man har vært altfor lite opptatt av. NSB er her ikke noe unntak.

Ved anskaffelser ser man nøye på investeringene, da disse har sammenheng med budsjetter og bevilgninger, mens man vet for lite om hva det vil koste å drive systemet. Selv om man har til hensikt å anskaffe et kvalitetsmessig tilfredsstillende produkt med lavest mulige driftskostnader, og foretar visse erfaringsmessige vurderinger i den forbindelse, har hovedvekten vært lagt på anskaffelseskostnadene da disse er de mest synlige. Man har klart savnet et verktøy for systematisk vurdering av driftssikkerheten i forbindelse med en anskaffelse.

LCC-metodikken er et slikt verktøy, hvor man foruten å kunne kalkulere fremtidige driftskostnader, også har muligheter for å påvirke produktets utforming (MTBF og MTTR) i anskaffelsesfasen, slik at ønsket ytelse oppnås til lavest mulig pris.

Bruk av LCC ved planlegging og anskaffelse

Figur 2 viser blokkskjematisk gangen i en LCC-analyse ved planlegging og anskaffelse. I grove trekk skjer følgende:

1. Det behovet for nyanskaffelse som er oppstått hos kunden, utredes nærmere av behovsbedømmende avdeling og teknisk avdeling i fellesskap. Nødvendige driftsmessige og tekniske krav til produktet blir formulert. Vedlikeholdet blir planlagt, og alle data om vedlikeholdsorganisasjonen (MTW) som er nødvendige i en LCC-analyse blir listet opp. En kostnadskalkyle for produktet blir utarbeidet ut fra forutsatt driftssikkerhet.
2. Alle disse data overføres til en spesiell LCC-beregningsmodell for videre databehandling.
3. En foreløpig LCC kan dermed beregnes for videre vurdering og beslutning.
4. Dersom man beslutter å gå videre med prosjektet, må de endelige kravspesifikasjonene utarbeides. Her beskrives alle LCC-forutsetningene for de potensielle leverandørene. Ved siden av mere ordinære tekniske krav, kreves det at leverandørene angir og *garanterer* produktets driftssikkerhet i form av funksjonssikkerhet (MTBF) og reparasjonstider (MTTR) for samtlige enheter i systemet. Alle kundens forutsetninger om vedlikeholdsorganisasjon og driftsprofil (MTW) skal også inn i spesifikasjonene.
5. Når tilbud mottas, mates alle data inn i LCC-modellen for ny databehandling.
6. LCC-kostnadene for de forskjellige leverandørene beregnes.

7. Forhandlinger med leverandørene starter.

Av de forskjellige databeregningene som kan foretas, vil det være mulig å se hvor det kan gjøres endringer i produktet som kan forbedre LCC-kostnadene. Dette tas opp med leverandørene. Man har gjerne flere slike leverandørmøter med mellomliggende datakjøringer før leverandør velges og LCC-kontrakt inngås.

Eksempler på forbedringer:

- konstruksjonsprinsipper (modularisering, standardisering, endring til færre komponenter)
 - komponentvalg (lavere feilintensitet)
 - mengde og fordeling av reservemateriell (optimalisering).
8. Når produktet er i ordinær bruk, foretas en kontraktmessig utprøving både av MTBF og MTTR for å se om utstyret holder mål.
9. Konsekvensene for leverandøren hvis utstyret ikke holder mål, er avtalt i kontrakten.

I en slik LCC-analyse forsøker man således å spesifisere alle kostnader som er knyttet til produktets drift og vedlikehold, også kostnader for driftsavbrudd.

Som en oppsummering kan det sies at bruk av LCC i anskaffelsesprosessen tvinger for det første kunden til å gjennomgå og vurdere hele sin vedlikeholdsorganisasjon og sitt lagerhold, mens leverandøren tvinges til en grundigere gjennomtenkning av produktet.

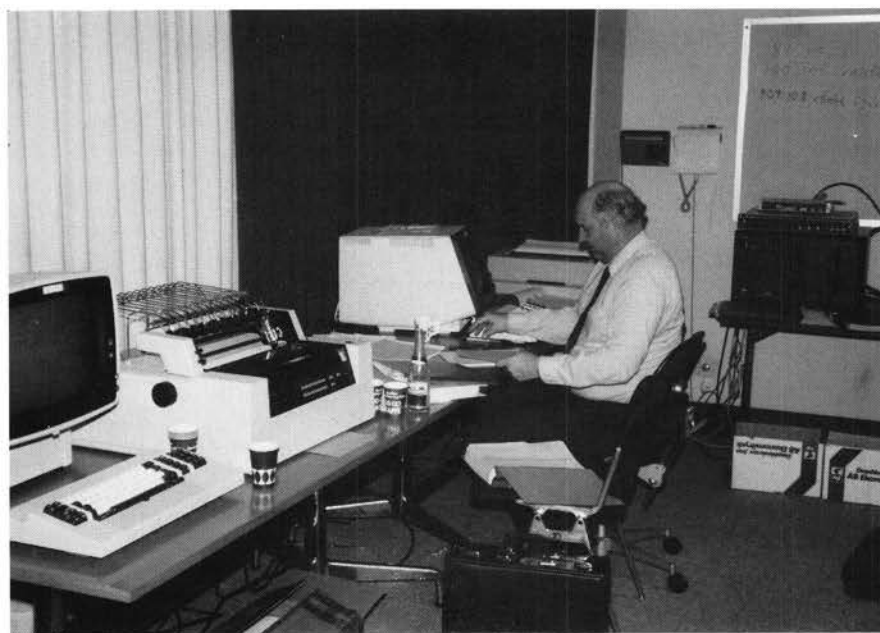
Bruk av LCC for vurdering av produkter i drift

LCC-analyser kan også foretas internt i bedriften av produkter som allerede er i drift. Man vil derved kunne avdekke komponentsvakheter og foreta utbedringer som kan minske driftsproblemene og senke vedlikeholdskostnadene.

Slike analyser kan også foretas spesielt for å bedre vedlikeholdet og optimalisere lagerholdet.

LCC ved NSB

Bakgrunnen for NSB's interesse for LCC er det samarbeidsprosjektet



Datarommet under LCCV-kurset.

som SJ og NSB har på utvikling og anskaffelse av et felles togradio-system. Etter initiativ fra SJ er det her valgt å benytte LCC i anskaffelsesprosessen, og prosjektet gir NSB verdifulle kunnskaper og erfaringer med bruken av metoden.

SJ har valgt å benytte et slikt verktøy mer og mer ved anskaffelser av tekniske systemer. NSB har orientert seg om SJ's satsning på dette området, og man er inne i en fase hvor man forsøker å skaffe mest mulige kunnskaper om metoden for videre å kunne vurdere bruken. NSB har i denne forbindelse arrangert et kurs over 1 uke i Oslo, hvor 20 NSB-ansatte og 5 leverandør-representanter deltok. Kurset ble innkjøpt fra Swederaail Consulting AB, og det deltok forelesere både fra SJ og det svenske konsulentfirmaet Systecon AB. Kurset omfattet forelesninger innenfor emnet driftssikkerhetsteknikk, samt en systematisk gjennomgang av LCC-metodikken i anskaffelsesprosessen fra kravspesifisering via forhandlinger til inngåelse og oppfølging av LCC-kontrakt med leverandør. I tilknytning til dette inngikk øvelses-

oppgaver i grupper, til dels med innlagt databehandling av resultatene for mest mulig å etterligne en virkelig anskaffelsesprosess.

Ved NSB er det således en diskusjon i gang om LCC som anskaffelsesverktøy og som verktøy for bedring av driftssikkerhet, og man forsøker å klarlegge egnede prosjekter. Det er klart at NSB må lære seg å tenke mere systematisk i driftssikkerhetstankebaner, både ved nye prosjekter og for anlegg i drift. LCC vurderes her som godt egnet for NSB, som foruten rullende materiell og maskinelt hjelpeutstyr av forskjellig slag, har driftsmessig viktige tekniske systemer bygget ut på landsbasis. Det er rimelig å anta at begrepet «levetidskostnad» etter hvert vil få en økende betydning både ved planlegging, konstruksjon, anskaffelse og drift.

Optimalisering av hastighetsprofilen

Av overing. Arne Svensøy

Tabell 1. Kjøretider Oslo — Bergen o/Roa

	Et 61	Et 62	Et 63	Et 64
Rute 1984	6:40:	6:45	6:45	6:55
Beregnet 1984	6:57	6:57	7:03	7:04
Beregnet 1985	6:44	6:44	6:50	6:51

Inkludert i alle beregnede tider:

Stasjonsopphold	0:11	0:11	0:10	0:13
Reservetid	0:10	0:10	0:10	0:10
Togstørrelse	El 14 + 8B5	El 14 + 8B5	El 14 + 12B5	El 14 + 12B5

Tidsangivelse i timer og minutter.

Tabell 2. Virkning på kjøretiden av forskjellige tiltak Oslo—Bergen

Tiltak	Netto reduksjon av kjøretiden	Beregnet kjøretid for Et 61 inkl. stasjonsopphold som i dag og 10 min. reservetid.
Skinne-/svillebyttning	0:10	6:34
Kontaktledning	0:03	6:31
El 16 + 8B5	0:01	6:30
El 17 + 8B7	0:13	6:17
El 17 + 6B7	0:05	6:12

Tabell 3. Kjøretider Oslo—Hønefoss

	El 14 + 8B5	El 14 + 12B5	El 17 + 8B7	Oppholdstid
o/Roa	1:12	1:13	1:09	0
o/Drammen	1:19	1:21	1:14	2 min. i Drammen
Differanse	0:07	0:08	0:05	

Tabell 4. Kjøretider Oslo—Kristiansand

	Et 71	Et 72	Et 73	Et 74
Rute 1984	4:55	4:57	5:10	4:52
Beregnet 1984	4:50	4:58	5:03	4:53
Beregnet 1985	4:46	4:54	4:59	4:49
Inkludert i alle beregnede tider:				
Stasjonsopphold	0:15	0:18	0:23	0:16
Reservetid	0:10	0:10	0:10	0:10
Togstørrelse El 13 + 8B5				

Tabell 5. Virkning på kjøretiden av forskjellige tiltak Oslo—Kristiansand.

Tiltak	Netto reduksjon av kjøretiden	Bergentet kjøretid for Et 71 inkl. stasjonsopphold som i dag og 10 min. reservetid.
Infrastruktur	0:01	4:45
El 16 + 8B5	0:08	4:37
El 17 + 8B7	0:15	4:22

Som nevnt i artikkel i forrige nummer av NSB-teknikk (nr. 3/84), skulle vi komme tilbake med nærmere presentasjon av rapportene for strekningene Oslo S—Bergen og Oslo S—Kristiansand.

Rapportens egentlige resultat er angivelse av hastighetsavsnitt. Resultatene presenteres i form av den virkning endringen i hastighetsprofilen har på kjøretiden beregnet ved hjelp av kjøretidsprogrammet.

Som man ser av tabell 1 har dagens rute 9—17 min. kortere kjøretid enn det kjøretidsberegningene gir. Innen ruteendringen i juni 1985 vil hastighetssignalene være oppdatert, og vi vil få bedre sammenheng mellom rute og beregnet kjøretid.

I tabell 2 vises netto kjøretidsreduksjon av forskjellige tiltak, som sporfornyelse, dynamisk standardforbedring av kjøreledningsanlegget og innføring av annet materiell.

Tiltakene på infrastrukturens side er under utførelse og prioriteres på strekningsavsnitt hvor reduksjon av kjøretiden er størst. Netto reduksjon ved innføring av El 17 og B7-vogner på Bergensbanen er 13—18 min., avhengig av togstørrelsen.

Vi har beholdt de hastighetsnedsettelsene som finnes i dag på grunn av rasfare.

Tabell 3 viser kjøretidsdifferansene ved alternative ruter mellom Oslo og Hønefoss.

Tilsvarende tabeller for strekningen Oslo—Kristiansand er vist i tabell 4.

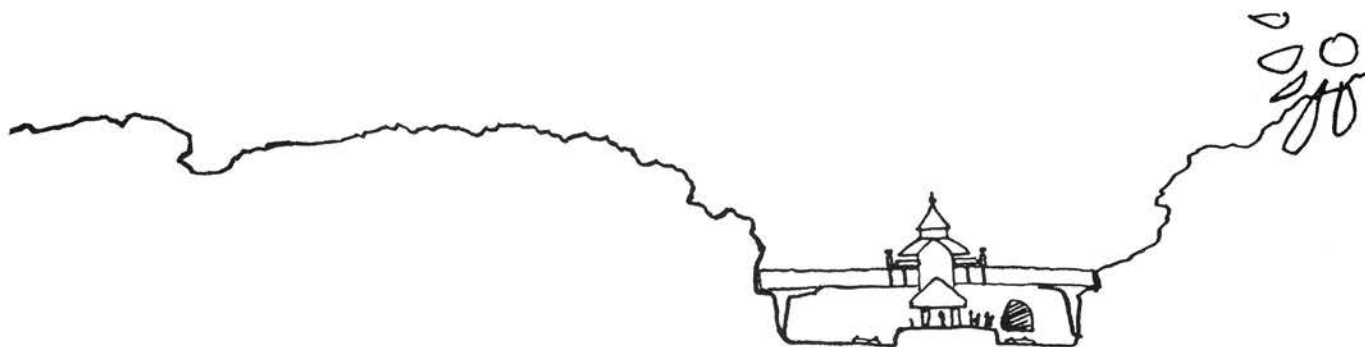
I tabell 5 er tiltakene forutsatt innført i den rekkefølge de står oppført. Ved å variere rekkefølgen vil netto reduksjonen i kjøretiden bli annerledes. F.eks. vil nettovirkning av infrastrukturforbedringer være 6 min. for El 17 og B7, mens det ene min. i tabellen gjelder for El 13 og B5-vogner. Etter våre beregninger vil man kunne kjøre «Weekend-ekspresen» til Kristiansand på 4 timer og 5 min. med El 17 og B7, med et kort opphold i Drammen og 10 min. reservetid etter at infrastrukturforbedringene er utført.

Gruppens rapporter vil danne grunnlag for den innbyrdes prioriteringen av infrastrukturarbeidene og for vurdering av materiellbruk samt ruteplanlegging.

De neste banestrekninger som skal gjennomgås er Kristiansand—Stavanger, Vest- og Østfoldbanen. Det er meningen at dette arbeidet skal starte til høsten.

Holmlia stasjon

Av overarkitekt Arne Henriksen



Holmlia ligger i et større utbyg-
gingsområde i Oslo kommune på
strekningen Oslo—Ski, nær gren-
sen til Oppegård. Planleggingen av
Holmlia er derfor basert på jern-
banen som det kollektive tran-
sportmiddel for området. Det er
planlagt bygd 4600 leiligheter med i
alt ca. 11 500 beboere innflyttet i
1986.

Jernbanestasjonen vil få stor be-
tydning for den nye Holmlia-byen,
og den litt spesielle utformingen av
byggningsanlegget skal bidra til å gi
stedet dets egenart.

Stasjonen er et lite bygg som vil
være størst mulig. Det er en ube-
tjent holdeplass hvor det er de arki-
tektiske formene som hilser
publikum velkommen — først tår-

net oppe på broen og så pavil-
jongen som sier: «Vær så god og
sitt ned.»

Adkomsten til plattformene er
fra en veibro som krysser jernbane-
linjene. Hensynet til funksjons-
hemmede, eldre og barnevogner
gjorde at man valgte en løsning
med trapp og heis. Heisen har fått
et åttekantet tverrsnitt og pyra-
midetformet tak, alt støpt i betong
med horisontale fuger. Inntil broen
er det lagt et åttekantet repos som
leder trafikantene rundt tårnet og
ned trappen.

Plattformen har overdekket
gangvei som ender i en åttekantet
paviljong. Takformene er bundet
sammen slik at anlegget skal virke
mest mulig monumentalt, tross sin
beskjedne størrelse.

Taket er tekket med blågrått
metall, og all betong er malt i lys
terrakotta. Hensikten både med ut-
formingen og fargene er at sta-
sjonen skal synes godt i land-
skapet, være et landemerke.

Holmlia stasjon

Byggherre: NSB, Oslo distrikt

Byggeår: 1981—82

Arkitekt: NSB Arkitektkontor
v/o.arkitekt Arne Henriksen

Konsulenter:

Byggeteknikk: Dr. ing. A. Aas-
Jakobsen A/S

El- og heisanlegg: NSB
Elektroavdelingen

Hovedentreprenører: A/S Vei-
dekke

Foto: Arne Henriksen og Trond
Taugbøl



