

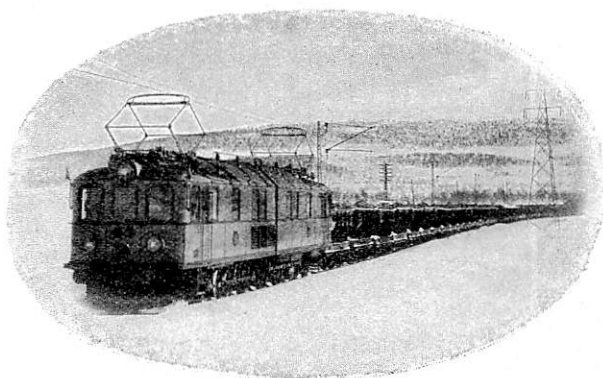
ELEKTRIFIERINGEN AV STATENS JÄRNVÄGAR

TVÅ ORIENTERANDE FÖRELÄSNINGAR

UTGIVNA AV

KUNGL. JÄRNVÄGSSTYRELSENS
ELEKTROTEKNISKA BYRÅ

Dec. 1924



CENTRALTRYCKERIET, STOCKHOLM 1925

1.

Redan för ett kvarts sekel sedan har elektrotekniken i rent tekniskt avseende löst problemet att framföra även tunga järnvägståg med elektrisk kraft (energi), som utvunnits ur vattenfall, belägna på jämförelsevis stora avstånd från förbrukningsplatserna. Man diskuterar nu icke längre de tekniska möjligheterna att bygga elektriska kraftöverföringar och konstruera elektriska lokomotiv, utan ombyggnad av järnvägar för elektrisk drift har blivit en rent ekonomisk fråga, en fråga om hur minsta möjliga anläggnings- och driftkostnader skola ernås samt hur alla till buds stående nya möjligheter skola utnyttjas.

Vid jämförelse mellan ångdrift och elektrisk drift måste man för att vara fullt rättvis räkna med elektrifierade bansträckor av ganska stor utsträckning, enär annars en stor del av just de viktigaste fördelarna vid elektrisk drift ej komma till synes. Här torde förklaringen ligga till att det dröjde jämförelsevis länge, innan elektrifiering av järnvägar kom mera allmänt till stånd, trots det att, som nyss nämdes, problemet i tekniskt avseende varit löst. De första elektrifieringarna omfattade nämligen endast kortare tunnelsträckor, lokalbanor, växelbangårdar och infarter till större städer. Det var först sedan man lärde sig inse alla de fördelar den elektriska driften medförde framför ångdrift, som elektrifieringen av järnvägar kom till stånd i större utsträckning.

Man frågar sig då, vari dessa den elektriska driftens fördelar bestå.

För Sverige såväl som för andra icke kolproducerande länder betyder den först och främst ökat oberoende av utlandet.

Vad detta kan betyda hava vi näraliggande erfarenheter av i åtstramningen och prisstegringen på stenkol under kristiden. Genom ökning av medelhastighet och tågvikt kan vid elektrifiering banornas trafikkapacitet ökas utan att dubbelspår behöver byggas. Antalet lokomotiv kan minskas dels av nyssnämnda orsak och dels enär det elektriska lokomotivet kan bättre utnyttjas än ånglokomotivet. Restiderna kunna förkortas och underhållskostnaderna minskas. Ur passagerarnas synpunkt medför elektrifieringen även avsevärda fördelar: resorna bliva genom frånvaron av i kupéerna inträngande rök och kolstybb angenämare, tågets gång lugnare och jämnare, tröttande uppehåll för vatten- och koltagning undvikas; annat att förtiga. Slutligen torde man kunna påstå, att kraftverk och ledningsnät genom strömleverans till järnvägarna kunna bättre utnyttjas, vilket har till följd, att krafttarifferna böra kunna sättas lägre för alla förbrukare.

Det nämdes nyss, att elektrifieringsfrågan egentligen är en fråga om ekonomi. Men även om man har tillgång till jämförelsevis billiga kol eller torvpulver torde ändå frågan om elektrifieringen kunna tagas i övervägande. Ty eftersom ånglokomotiv ej under bästa förhållanden kunna tillvarataga mer än 6 å 7 % av kolens energi — resten av energin går bokstavligen upp i rök — är det fördelaktigare att i stationära kraftstationer, vilka kunna

tillvarataga 12 à 16 % av kolens energi, omvandla denna till elektrisk och överföra den till lokomotiven. Att detta verkligen förtjänar övervägas, visar utvecklingen i Amerika och kllandet England, där man sysselsatt sig med utredningar att på detta sätt söka bättre utnyttja och spara på stenkolen.

Ett land med »vita kol» — vattenfall — har i dessa en större rikedom än stenkol. Och denna naturrikedom kan i betydligt större grad tillvaratagas, enär ända upp till omkring 60 % av den i vattenfallen magasinerade energin kan nyttiggöras för framförande av tåg.

I det följande skola vi i korta drag försöka klargöra själva grunderna för elektrisk järnvägsdrift, d. v. s. söka giva en bred framställning av vad som erfordras för att tvinga den i vattenfallens bubblande massor bundna energien att under lokomotivförarens tyglar utföra sitt arbete i lokomotivmotorerna och föra det tunga tåget till sin bestämmelseort.

I en kommande föreläsning skall lämnas en beskrivning av elektrifieringar, som utförts och utföras vid bandelar tillhörande Statens järnvägar i Sverige, nämligen Svartön—Riksgränsen — den s. k. Malmbanan —, vilken elektrifierades under åren 1910—1922 samt Stockholm—Göteborg, på vilken sträcka elektrifieringsarbetet just nu är i full gång och som väntas kunna tagas i drift mot slutet av år 1925.

Utvecklingen under de senaste decennierna har gått fort i vad det gäller praktiska tillämpningar av upptäckterna på elektricitetens område. Under många och långa århundraden kände man blott till de allra enklaste ytt-ringarna av denna egendomliga naturkraft. Men när sedan under 1800-talet sambandet mellan elektricitet och magnetism blev känt, inleddes en tid av kraftig utveckling för elektrotekniken. Elektriska generatorer byggdes, vilkas förmåga att leverera elektrisk energi vida översteg äldre strömkällors, elektromotorn började allvarligt konkurrera med andra kraftmaskiner, elektriskt ljus trängde sakta men säkert ut fotogen- och gasljuset, växelströmsgeneratoren och transformatorn möjliggjorde distribuering av elektrisk energi över snart sagt vilka avstånd som helst.

Användningen av elektrisk ström som drivkraft för spårvägar och mindre banor är ungefär lika gammal som den elektriska motorn. Det var dock under ett par decennier huvudsakligen kortare bansträckor, som elektrifierades. Den strömart, som användes, nämligen s. k. likström, eller likriktad ström, tillät nämligen ej utan betydande energiförluster transporterung över längre sträckor. Emellertid löstes genom växelströmmen kraftöverföringsproblemet och därmed problemet om elektrifiering av längre järnvägssträckor.

I detta sammanhang är lämpligt påpeka, att på en del håll, särskilt i Amerika, har likström fortfarande kommit till användning vid elektrifiering även av längre sträckor med tung trafik, sedan man genom förbättrade maskinkonstruktioner kunnat höja den för kontaktledningarna använda spänningen och därigenom nedbringat energiförlusterna. För valet av likström till detta ändamål i Amerika torde möjligen även mycket god tillgång på koppar för ledningarna hava spelat en viss roll.

Då vi emellertid i Sverige, liksom i de flesta europeiska länder, efter utförda ingående undersökningar kommit till den uppfattningen, att växelström är att föredraga vid järnvägs elektrifiering i stor skala, synes det ej nödvändigt att här uppehålla tiden med likström elektrifiering, utan det nu följande kommer att uteslutande röra sig om elektrifiering med växelström, med s. k. enfasström.

Som väl torde vara bekant, uppkommer en elektrisk ström av en elektrisk spänningsskillnad eller, kortare, elektrisk spänning. Vad strömmen egentligen är, därom »tvista de lärde». Att någon absolut godtaglig förklaring ej formulerats spelar dock en underordnad roll, om blott man förstår konsten att framställa strömmen, leda den efter godtycke och avstänga den, då den ej behöves.

Man kan framställa elektrisk ström genom att nedsänka tvenne föremål av olika metaller i en vätska, som förmår kemiskt sönderdela den ena metallen. Härigenom uppstår en elektrisk spänningsskillnad mellan metallerna. I denna anordning igenkänna vi ett *galvaniskt element*. Förbindas detta elements båda *poler*, d. v. s. de med olika spänningar utrustade metallföremålen med en metalltråd, en *ledare*, uppstår i denna en utjämningsströmning, en *elektrisk ström*. Storleken av denna ström beror dels på spänningens storlek och dels på det *motstånd*, som ledaren utövar. Denna ström kan liknas vid en vattenström i ett vattenrör, som orsakas av en höjdskillnad mellan tvenne vattenytor eller av en med pump framkallad tryckskillnad. Mängden av det vatten, som under en viss tid rinner genom röret, är tydligen beroende dels på höjd- eller tryckskillnaden, och dels på rörets beskaffenhet (dess genomskärningsyta, dess inre ytas utseende o. s. v.), vars inverkan på vattenströmmen kan anses som ett slags *motstånd* mot genomströmningen.

Med denna liknelse i minne inser man utan vidare, att storleken av den elektriska strömmen, d. v. s. *strömstyrkan* måste vara *direkt proportionell* mot spänningsskillnaden och *omvänt proportionell* mot motståndet. Denna sats, den s. k. *Ohms lag*, vilken är grundläggande för hela elektrotekniken, kan uttryckas med den enkla formeln

$$J = \frac{E}{R}$$

i vilken J betyder strömstyrkan, E spänningsskillnaden eller spänningen och R motståndet i den *strömkrets*, som det är fråga om.

De i formeln ingående storheterna uttryckas i vissa överenskomna enheter, nämligen strömstyrkan i *amper*, spänningen i *volt* och motståndet i *ohm*. De äro valda så att

$$1 \text{ amper} = \frac{1 \text{ volt}}{1 \text{ ohm}}$$

Denna formel äger obegränsad giltighet för s. k. likriktad ström eller *likström*, vilken karaktäriseras därav, att den ständigt flyter i en och samma riktning. För *växelström*, d. v. s. elektrisk ström, som kastar om sin riktning ideligen ett stort antal gånger i sekunden, måste man däremot använda den med viss försiktighet, enär det motstånd, som en ledare utövar mot växelström, är ett helt annat än motståndet vid likström, det s. k. ohmska motståndet. Detta har sin orsak i magnetiska verkningar av strömmen. En ledare, som genomflytes av en elektrisk ström, omger sig med ett s. k. *magnetiskt fält*, d. v. s. magnetiska verkningar kunna framkallas med elektriska strömmar. Omvänt kan man av magnetiska fält erhålla elektriska strömmar, vilket fenomen fått benämningen elektromagnetisk *induktion*.

Det nära sambandet mellan elektricitet och magnetism spelar en oerhörd roll i växelströmkretsar. Det magnetiska fältets styrka varierar nämligen med strömstyrkan, men just fältförändringarna orsaka nyss nämnda *induktion*, icke blott i andra närbelägna ledare utan även i den *egna ledaren*,

d. v. s. den ledare, där den fältalstrande växelströmmen framgår. I den egna ledaren uppträder alltså en som man säger *inducerad* växelström, vars riktning i varje tidsmoment är *motriktad* den primära strömmen och ger sig tillkänna som en uppökning av det rena likströmsmotståndet, samtidigt som den något *försenar* strömmen. En ledares självinduktion kan man därför betrakta som en slags *tröghet* hos ledaren, en ovilja att genomsläppa växelström. På grund av denna av självinduktionen orsakade försening hinner ej växelströmmens strömstyrka få sitt fulla värde samtidigt med spänningen, utan blir förskjuten bakåt. Man benämmer detta *fasförskjutning*; strömstyrka och spänning *ligga ej i fas med varandra*.

Då man alltså vid växelströmmen har att räkna både med uppökning av ledarens motstånd genom självinduktion och med fasförskjutningen, vilken

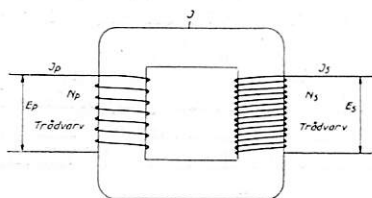


Bild 1. Schematisk bild av transformator.

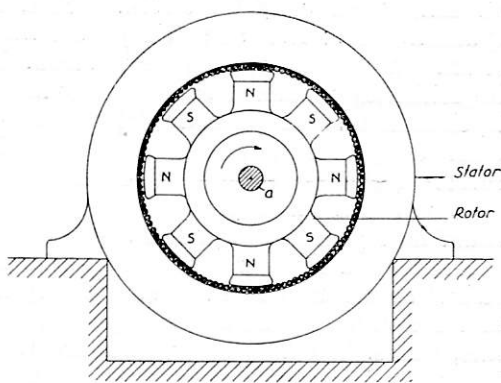


Bild 2. Schematisk bild av generator.

senare tydligtvis komplicerar beräkning och konstruktionen av strömkretsarna, synes det i första ögonblicket som om man gjort ett dåligt val, då man elektrifierat järnvägar med växelström. Emellertid vinner man genom växelström den utomordentliga fördelen, att den elektriska energien i denna form kan transporteras över snart sagt vilka avstånd som helst med relativt obetydliga förluster, vilket icke är möjligt med likriktad ström.

Förlusterna i en ledning äro nämligen i mycket hög grad beroende på strömstyrkan i ledningen. Då nu en elektrisk ströms *effekt* är lika med produkten av strömstyrka och spänning inses, att man har vissa möjligheter att manipulera med dessa båda storheter, blott nyssnämnda produkt, som uttrycker effekten, blir oförändrad. Om strömmen i en ledning har en styrka av 100 amper och en spänning av 10 volt, så utvecklar den en effekt av $10 \times 100 = 1000$ watt, som effektenheten heter på elektriskt språk. — I parentes kan nämnas, att man oftast uttrycker effekten i *kilowatt*, som är $= 1000$ watt eller i *hästkrafter*, varvid 1 hästkraft är $= 736$ watt. — Men 100 amper i en ledning åstadkomma avsevärda förluster, isynnerhet om ledningen är lång. Man får vid ledningens slutpunkt, där dessa 1000 watt, d. v. s. 1 kilowatt, skola utnyttjas, pruta av högst betydligt. Kunde man istället transportera effekten i en annan form, exempelvis med 1000 volts spänning i stället för 10 volt, så skulle blott 1 ampers ström framgå i ledningen och effektförlusterna bliva en ren obetydlighet i jämförelse med vad fallet var nyss.

Denna möjlighet giver oss växelströmmen därigenom, att den tillåter *omtransformering* av strömmens spänning. Principen för transformeringen är följande. (Se bild 1.)

En s. k. *järnkärna* j av mjukt järn och mer eller mindre i form av en sluten ring, bär tvenne trådlindningar, av vilka den ena, den s. k. *primära* lindningen har N_p och den andra, *sekundära* lindningen, har N_s *trådvarv*.

Den primära lindningen inkopplas till en elektrisk växelströmkälla, exempelvis en växelströmsgenerator, med en spänning $= E_p$, varvid till följd av primärlindningens motstånd — det rena ohmska motståndet jämte det av självinduktionen framkallade motståndet — man erhåller en primärström J_p .

Enär det finnes järn närvarande, bliva de magnetiska verkningarna av växelströmmen synnerligen kraftiga. Det i det föregående omnämnda induktionsfenomenet uppträder här och orsakar i den sekundära lindningens trådvarv en *inducerad växelström*, som kan tillgodogöras på olika sätt.

Spänningen av denna sekundärström förhåller sig till den primära strömmens spänning *direkt som trådvarvens antal*, vilket ju kan uttryckas med denna formel

$$\frac{E_p}{E_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

Den sekundära *strömmens* styrka återigen kan man i stort sett säga förhålla sig till primärströmmens styrka omvänt som lindningsvarvens antal.

Denna apparat, *transformatorn*, som den benämnes, förvandlar alltså *lågspänd* växelström med *stor strömstyrka* till *höghspänd* växelström med *liten strömstyrka*, varigenom den elektriska energin får en form, som lämpar sig för överföring över långa sträckor utan allt för stora ledningsförluster. Vid förbrukningsplatsen kan man med en liknande apparat, inkopplad i omvänd riktning, *nedtransformera* växelströmmen till en för maskinen med hänsyn till isoleringsmöjligheter lämplig spänning.

Man måste noga ihågkomma, att transformatorn ej är någon kraftkälla, ty den kan ej avleverera större energimängd än den mottager, dess funktion är att omstöpa energins form, så att denna blir lättare att transportera långa sträckor.

Efter denna allmänna orientering torde tiden vara inne att något närmare skärskåda de olika delarna i det väldiga maskineri, som suger energin ur vattenfallen och formar om den till dragkraft för järnvägstågen.

Det är ju egentligen solen, som vi hava att tacka för denna rikedom av »vita kol» såväl som »svarta kol». Det är samma sol, vars en gång under stenkolstiden utstrålade och i de mäktiga kollagren magasinerade värme vi utnyttja i ångmaskinen, som lyfter havsvattnets småpartiklar upp i luften och i tunga moln låter dem svepa över landområdena, där de som regn återbördas till jorden fast högt över havsytans nivå. Det är alltså solenergi, som magasineras i fjällsjöarnas vatten och som tillvaratages i kraftverkens turbiner, då vattnet söker sig väg till havet igen.

I turbinaxeln erhåller man således den ursprungliga solenergin i form av mekanisk rörelseenergi, dock icke hela den i vattnet inneboende energin, ty en liten del, så där omkring en tiondel, bortgår i form av friktionsförluster m. m. i turbinerna, vilka alltså hava en *verkningsgrad*, som det heter, av c:a 90 %.

Till turbinaxeln kopplar man en maskin, *den elektriska generatoren*, som i princip ser ut som *bild 2* visar. På axeln a sitter ett klumpigt hjul med

ett antal stora kuggar. Detta hjul benämnes generatorns *rotor* och kuggarna äro ingenting annat än *magneter*, vända så att varannan kugge utgör en *nordpol*, *N*, och varannan en *sydpol*, *S*. Magnetiseringen av dessa magneter sker genom elektrisk likström.

Rotorn kan vridas tillsammans med axeln inuti generatorns *stator*. Statorn utgöres av en av järnplåtar uppbyggd ring. På dess insida ligga från varandra isolerade ledningar, vilka alltså befinna sig i det magnetiska fältet. När nu turbinerna virvla runt, kommer även rotorn i rotation och därmed magnetpolernas magnetiska fält. Här finnas nu alla betingelser för att det fenomen, som i det föregående behandlats, d. v. s. *induktion*, skall kunna uppträda. Man erhåller alltså i statorns lindningar inducerade *växelströmmar*, vilkas spänning beror på maskinens lindningssätt.

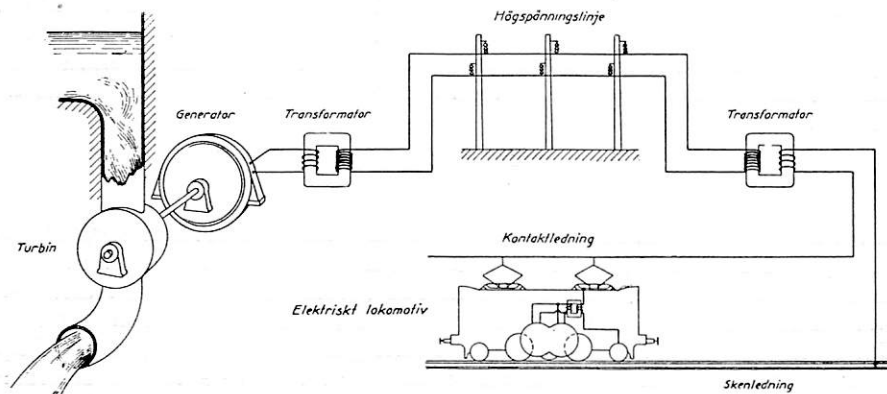


Bild 3. Schematisk bild av elektrisk kraftöverföring för järnvägsdrift.

På samma axel sitter även den *likströmsgenerator*, i vilken på liknande sätt alstras den för den stora generatorns magneter behövliga likströmmen.

Solenergin har således nu tagit form av elektrisk energi. Även denna omformning kostade något i förluster, så där omkring 7 %, d. v. s. växelströmsgeneratorns verkningsgrad är c:a 93 %. Som synes tappar man ständigt något vid varje omstöpning av energiformen. De siffror, som angivas, äro ungefärliga medelsiffror för kraftverk och maskiner av den storlek, som finnes vid Malmбанan. Mindre maskiner hava i regel större förlustprocenter.

På grund av svårigheter att vid rörliga maskindelar förse lindningarna med fullgod isolation har den ur generatören direkt komna strömmen relativt låg spänning — i Porjus, Malmбанanans kraftstation, 4 000 volt —, vilken spänning är alltför låg för att utan vidare kunna utsläppas på långa ledningar. Man insätter då transformatorer, *bild 3*, som transformera upp spänningen till åtskilliga tiotusental volt eller så, varigenom strömmen kan hållas nere och ledningsförlusterna inskränkas, vilket betyder minskad kopparåtgång. För Malmбанan upptransformeras sålunda spänningen till 80 000 volt.

Med en överföringsledning transporterar man därefter energin från kraftstationen invid vattenfallet till och längs den elektrifierade järnvägen, där den skall uträtta sitt arbete. Samma skäl, som bestämde lågspänning för generatorerna, är avgörande även för valet av spänning på de maskiner, *motorer*, som i lokomotiven skola förvandla den elektriska energin tillbaka

till mekanisk rörelse. Alltså måste man *nedtransformera* strömmen till lägre spänning. Detta sker i tvenne omgångar, först från 80 000 till 16 000 volt i transformatorer i *understationer*, varifrån strömmen ledes ut genom *kontaktledningen* till lokomotiven, där den andra nedtransformeringen till under 1 000 volt äger rum, i *lokomotivtransformatorn*. Först nu har den elektriska energin erhållit sådan form, att den lämpar sig för inmatning i *motorerna*, d. v. s. de maskiner, som omvandla den i mekanisk rörelseenergi, vilken genom kuggutväxling eller på annat sätt överföres till drivhjulen och sålunda sätter lokomotivet och tåget i rörelse.

Understationerna placeras med vissa avstånd längs banan, i punkter, där inmatning med hänsyn till främst förluster i kontaktledningen lämpligast bör ske. Enär förlusterna naturligtvis ej få stiga till alltför stora värden,

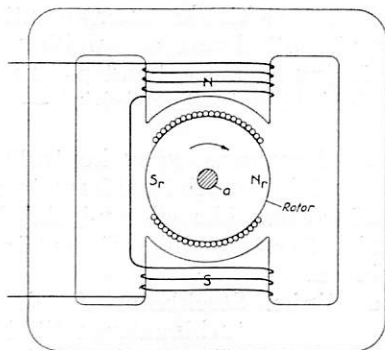


Bild 4. Schematisk bild av elektrisk motor.

är man nödsakad att fortfarande hålla sig till rätt hög spänning i kontaktledningen, så framt man vill undvika för tät placering av understationer. För Statens järnvägars elektrifierade bansträckor är denna spänning omkring 16 000 volt.

Kontaktledningen måste givetvis noga följa spåren, så att lokomotivet städse under sin gång kan erhålla ström. Strömöverföringen verkställs genom fjädrande byglar, även kallade *strömvtagare*, vilka hela tiden släpa mot kontaktledningens undersida. Kontaktledningen upphänges därför rätt över spåren i anordningar, fästa på längs spåret uppställda stolpar. På bangårdar med många parallella spår spänner man tvärs över dessa s. k. bryggor, å vilka upphängningsanordningarna fästas.

Sedan strömmen genom strömvtagaren inkommit i lokomotivet, behandlas den först i lokomotivtransformatorn, där dess relativt höga spänning nedsättes till några hundra volt. Som återledning för strömmen, sedan den passerat transformatorn och uträttat sitt arbete i lokomotivet, tjäna rälerna, med vilka lokomotivets hjul ständigt göra kontakt. Med ingången i *motorn* har den elektriska energin äntligen efter sin långa transport och efter många gånger upprepade omformningar kommit till den punkt, där den kan utnyttjas.

Den *elektriska motorn* är i princip lik den elektriska generatoren, d. v. s. den bygger på den elektriska strömmens magnetiska verkningar. Bild 4 visar schematiskt en elektrisk motors verkningssätt. Rotorn sitter fast upp-

kilad på axeln a , vilken är lagrad så att rotorn kan fritt rotera mellan magneterna N och S , representerande nordpol och sydpol. Då ström insläppes i de lindningar, som äro placerade på rotorn, blir även denna en magnet med sina poler, N_r och S_r respektive.

Nu existerar i läran om magnetismen en lag, som säger: *Magnetpoler av samma slag stöta bort varandra, under det att poler av motsatta slag draga varandra till sig.* En anordning, som likt bild 4 har den ena av magneterna vridbart uppställd, kommer givetvis att få till resultat en vridning av rotorn i pilriktningen. Sörjer man nu med hjälp av en s. k. strömsamlare på rotorn för att roterns magnetiska nord- och sydpoler alltid hava samma läge i förhållande till de fasta magneterna, oavsett roterns kringvridning, så komma ständigt attraktions- och repulsionskrafterna mellan magnetpolerna att finnas och rotorn kommer i rotation, medtagande axeln. Från axeln kan därvid den elektriska energin uttagas såsom mekanisk rörelseenergi. Har man väl fått denna omvandling utförd, så går det lätt att medelst kugghjulsutväxling eller eventuellt på annat sätt överföra motoraxelns vridningsrörelse till lokomotivets drivhjul — och tåget kan röra sig på skenorna.

Lokomotivets, d. v. s. drivmotorns, gång kontrolleras av föraren genom att från olika s. k. uttag på lokomotivtransformatorn dirigera olika spänningar till motorn och därigenom öka eller minska dess effekt.

Elektrifieringen av linjen Svartön—Riksgränsen är utförd enligt den här ovan lämnade beskrivningen.

För elektrifieringen av linjen Stockholm—Göteborg utnyttjas ett i avseende på kraftöverföringen från turbinaxlarna till kontaktledningen något olika system, som kommer att närmare beskrivas i ett följande föredrag.

I det föregående har framhållits, att hela denna nu skildrade transport av energi från vattenfallet till lokomotivet ej går för sig utan förluster. Varje upp- eller nedtransformering av strömmens spänning och varje omstöpning av energins form kräver sin tribut. Innan vattenfallens energi kommer järnvägen tillgodo i form av dragkraft, har man på detta sätt fått pruta av omkring 40 procent därav och kan alltså utnyttja blott omkr. 60 procent. Detta kan synas vara ett skäligen magert resultat av ett så kostbart maskineri, men i jämförelse med vad fallet är vid ångdrift, vid vilken i bästa fall blott 6 å 7 procent av stenkolens magasinerade energi kommer till godo som drivkraft, komma nyssnämnda siffror i en helt annan belysning.

Såsom inledningsvis påpekats kan man vid elektrifiering även utnyttja andra energikällor, såsom stenkol, oljor eller torv, för länder, som ej äga naturtillgångar i form av vattenfall. Särskilt till oljor knyta sig många förhoppningar, enär tillgången på stenkol med den jättelika utveckling, som järnvägs- och ångbåtstrafiken tagit, måste tänkas förr eller senare sina ut. Och för vårt land, som ju visserligen har vattenkraft att tillgå, kan möjligen även torven som energikälla komma i åtanke vid framtida utsträckt elektrifiering av järnvägar.

Vad nu genomgåts har givetvis endast varit de stora huvuddragen av en järnvägslektrifiering. För att allt skall fungera tillfredsställande kräves ett otal hjälpapparater och hjälpmaskiner i kraftstationer, understationer, ledningsnät och ej minst i lokomotiven. Ett ingående i detaljer härvidlag ligger dock utanför ramen för dessa föreläsningar, vilka endast avse att giva en överblick av problemet elektrisk järnvägsdrift.

En framställning, som behandlar elektrisk järnvägsdrift, vore emellertid

ofullständig, om man alldeles uteslöt de nackdelar, som skulle vidlåda sådan drift, om ej en hel del särskilda åtgärder vidtoges, nämligen de störningar, som driften under vissa förhållanden kan giva upphov till på närliggande telegraf- och telefonledningar, d. v. s. *svagströmsstörningar*.

Då man diskuterar denna störningsfråga, torde det dock ej vara ur vägen att erinra om, att störningar kunna uppträda även under andra förhållanden än vid elektrisk järnvägsdrift. Varje elektrisk kraftledning kan giva upphov till sådana i näraliggande svagströmsledningar, vilka störningar i trakter med starkt utvecklat kraftledningsnät under vissa förhållanden kunna omöjliggöra telefonering, särskilt då det gäller långlinjesamtal.

Svagströmsstörningarna kunna indelas i tvenne huvudgrupper, nämligen dels sådana, som uppstå på grund av att kontaktledningen längs banan för spänning av jämförelsevis hög storleksordning, och dels sådana, som orsakas av strömmen i kontaktledningen. Området kring en sådan högspänningsförande ledare utgör, oavsett om ström framgår i ledaren eller ej, ett elektriskt spänningsfält, i vilket alla föremål bliva elektriskt uppladdade. Denna uppladdning avtager med föremålens, i detta fall svagströmsledningarnas, utflyttning från grannskapet av den spänningsförande ledaren. I denna utflyttning eller svagströmsledningarnas förläggning i jordkabel ligger det säkraste skyddet mot störande inverkningsar av detta slag. Där i något fall ej utflyttning kan lämpligen äga rum och jordkabel ej kan användas, kan uppladdningen neutraliseras eller *kompenseras* av en särskild ledning, som för en högspänning, vilken är motsatt kontaktledningens.

Det andra slaget av störningar äro sådana, som hava sin orsak i kontaktledningsströmmens magnetiska verkningar, alltså i *induktion*. Detta fenomen, som — enligt vad framgått av det föregående — ligger till grund för hela den moderna elektrotekniken och alltså även för järnvägsselektroteknik, är således en sak på både gott och ont.

Störningar av denna typ variera i styrka med den strömstyrka, som går fram i kontaktledningen. De bliva därför särskilt svåra vid kortslutningar, då strömstyrkan i kontaktledningen för några ögonblick springer upp till högst betydliga värden.

Den som skydd mot uppladdningsstörningar vidtagna åtgärden att utflytta svagströmsledningarna kan visserligen tillgripas även för att borttaga induktionsstörningar, men lämnar praktiska resultat först när utflyttningen från banan är av storleken *en kilometer* eller mera, då däremot redan en utflyttning till 200 meter vid 16 000 volts kontaktledningsspänning borttager *uppladdningen* fullständigt.

Induktionsstörningarna uppkomma, som nyss nämndes, genom elektromagnetisk induktion från strömmen i kontaktledningen. Om strömmen efter uträttat arbete i lokomotivet följde de vägar, som den helst *borde* följa, nämligen skenledningen tillbaka till transformatorn i understationen, skulle denna skenledningsström, eftersom den går i motsatt riktning mot kontaktledningsströmmen, komma att åstadkomma en induktion rakt motsatt kontaktledningsströmmens och således så gott som helt neutralisera induktionsstörningarna. Nu följer emellertid återledningsströmmen ej skenledningen utan kryper till stor del ganska snart ner i jorden, enär motståndet där är minst; och följderna blir, att induktionen från kontaktledningsströmmen blir övervägande.

Detta slags störningar kunna tydligen borttagas genom att på något sätt tvinga återledningsströmmen tillbaka genom skenledningen. Denna metod

användes också, i det man med vissa mellanrum i kontaktledningsnätet insätter transformatorer, försedda med tvenne lindningar med lika antal varv, av vilka den ena inkopplas i kontaktledningen och den andra i skenledningen. På grund av att de liksom suga återledningsströmmen tillbaka från jorden in i skenledningen hava dessa transformatorer fått benämningen sugtransformatorer. För erhållande av bästa möjliga resultat bör emellertid helst en särskild återgångsledning anordnas, i vilken då sugtransformatorerna inkopplas i stället för i skenledningen och vilken ledning hopkopplas med skenledningen vid punkter, belägna ungefär mitt emellan sugtransformatorerna.

I en följande föreläsning, som kommer att omfatta en beskrivning av Svenska statsbanornas elektrifieringar, skall något utförligare redogöras för hur dessa anordningar för borttagande av svagströmsstörningar utförts. Så mycket kan dock nu sägas, att dessa åtgärder redan visat sig fullt tillräckliga, i det de nedbringa störningarna till sådan storleksordning, att de praktiskt taget ej vålla några svårigheter för telegram- och telefontrafiken.

Den sällsamma naturkraft, vars verkningar människan utnyttjat ej blott på det sätt, som denna föreläsning velat giva en inblick i, utan även på flera andra sätt i det dagliga livet och på skilda områden, uppträder stundom i skepnader, som hittills trotsat alla människors försök att tämja den, såsom blixten, vilken man visserligen med olika slag av åskledare söker leda in på för människan ofarliga vägar, men som likväl fortfarande i farlig oberäknlighet hotar med våldsam ödeläggelse än här, än där. Men även bakom den eleganta form, som givits den i ett modernt kraftverk, och som gör det möjligt att till synes lätt och lekande dirigera den att på olika områden tjäna människan, lurar en fara, som man allvarligt måste varna för. Ty människokroppens vävnader påverkas kraftigt av elektriska strömmar. Äro strömmarna mycket svaga, kunna de visserligen i vissa fall verka stimulerande på musklers och nervers verksamhet, vilket förhållande givit upphov till deras användning vid en del muskel- och nervsjukdomar. Men vid högre spänningar och större strömstyrkor verkar strömmen förlamande och muskelsammandragande, varjämte dess kemiska och värmeverkningar kunna bli så starka, att de förstöra de organiska vävnaderna och på detta sätt förorsaka döden.

Gränsen mellan ofarliga och farliga spänningar och strömstyrkor ligger mycket olika för olika personer. Det har konstaterats, att redan spänningar på omkring 50 volt kunna vara livsfarliga, om kontakten mellan den spänningsförande ledaren och människokroppen är god.

Bortsett från sådana höga spänningar, vilka giva upphov till överslag och s. k. ljusbågar redan innan direkt beröring sker, och vilka på grund härav *alltid* genom rena värmeverkningar bli ödesdigra, hänger livsfaran på storleken av den strömstyrka, som passerar muskler och nervtrådar. Verkan av en flyktig beröring kan, trots relativt hög spänning, mången gång inskränka sig till blott ett övergående obehag, under det att en betydligt lägre spänning vid ett annat tillfälle, tack vare bättre kontakt exempelvis genom ett fast grepp kring ledaren, kan åstadkomma livsfarliga skador. Saken förvärras i ett sådant fall ytterligare därigenom, att strömmens muskelsammandragande verkningar oftast göra det omöjligt att utan hjälp utifrån lösgöra handen. Man bör därför vara synnerligen försiktig i närheten av *alla* spänningsförande maskin- och ledningsdelar, oavsett spänningens storlek.



Bild 5. Karta över Sverige, angivande elektrifierade järnvägar.

II.

I föregående föreläsning har lämnats en orienterande översikt över den elektriska järnvägsdriftens historia och de tekniska förutsättningarna för densamma. Denna andra föreläsning skall ägnas något mer åt detaljerna i det stora elektrifieringsmaskineriet, hur de utföras och hur de fungera.

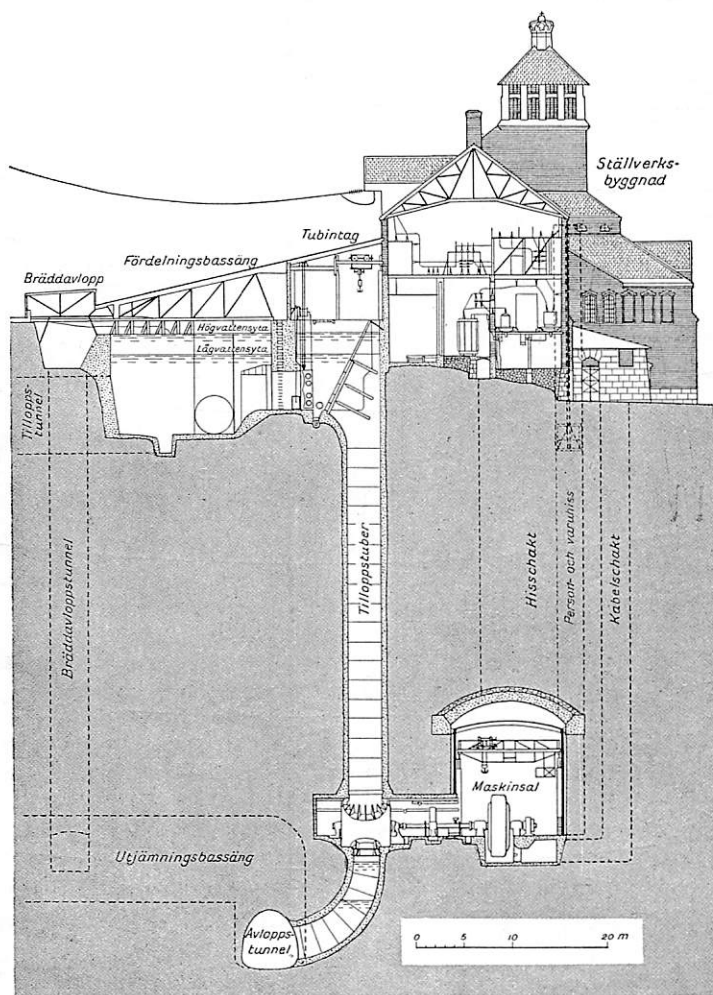


Bild 6. Sektion av Porjus kraftanläggning.

Vi erinra oss, att den i fjällsjöarnas vatten magasinerade solenergin genom kraftverkens turbiner och generatorer tvingas in i elektricitetsens form för att — upptransformerad till så hög spänning som möjligt för att hålla ledningsförlusterna vid låga värden — föras genom långa ledningar till förbrukningsplatsen. Och vi följde dess väg genom understationernas transformatorer, där dess spänning åter sänktes, via kontaktledningen över spåren, därifrån den

genom lokomotivets kontaktbygel infördes i lokomotivtransformatorn för att ännu en gång ändra form, d. v. s. erhålla lägre spänning, bättre lämpad för motorerna, i vilka den elektriska energien slutligen fick utföra sitt arbete.

Det första, som fångar vårt intresse, är kraftverket, där vattenfallets energi tämjes och får form av elektrisk ström.

Den statsbanedel i Sverige, som först elektrifierades, var Kiruna—Riksgränsen, den nordligaste delen av det svenska järnvägsnätet och en av de

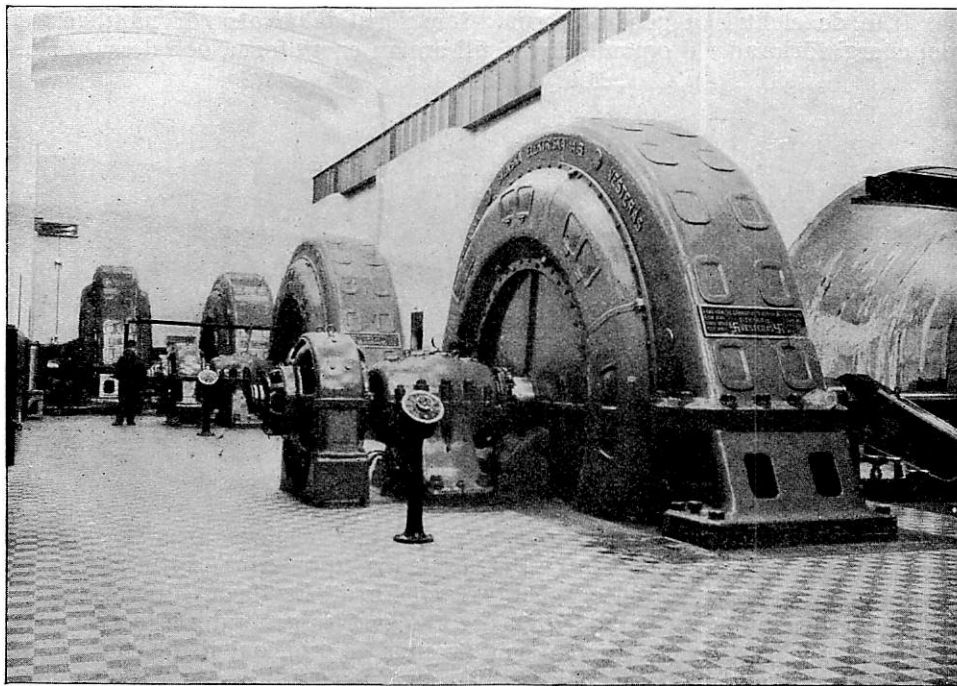


Bild 7. Porjus kraftverks maskinsal.

nordligaste järnvägar i hela världen. Elektrifieringen av denna linje utfördes åren 1910—1915. Sedermera har den utsträckts så att år 1922 de elektriska tågen kunde framföras ända ned till Svartön.

Denna bana erhåller sin elektriska energi från *Porjus kraftverk*, i vilket utnyttjas höjdskillnaden mellan Stora Lulevattens och Lilla Porjusselets vattenytor. För att få en föreställning om vad ett elektriskt kraftverk är skola vi nu göra en kort visit i Porjus.

Sedan Luleälv efter utloppet ur Stora Lulevatten och efter en rad mindre forsar nådde en annan sjö, Stora Porjusselet, kastade sig dess vattenmassor utför en rad skummande forsar, och här planerades kraftverket för att tillvarata den här tillgängliga för våra förhållanden rätt ansenliga fallhöjden. En omkring 1 250 meter lång dammbyggnad anbragtes tvärs över älven nedanför stora Porjusselet, varigenom en sammanlagd fallhöjd av c:a 56 meter kunnat koncentreras på en punkt. Och så utsprängdes kraftverkets maskinsal nere i berget på omkring 50 meters djup och tilllopps- och avloppskanaler för de oerhörda vattenmassorna anordnades likaledes.

som i berget insprängda tunnlar, djupt under dagytan, under det kring kraftstationen uppväxta samhället. Tilloppstunneln är omkring 600 och avloppstunneln omkring 1 200 meter lång.

Genom stora tuber ledes vattnet ned till turbinerna, vilka stå uppställda i nischer, utsprängda i maskinsalens ena långsida. Själva maskinsalen har en bredd av 10 och en längd av 95 meter. Taket är förstärkt med betongvalv och även innerväggarna äro utförda av betong och anbragta på något avstånd från den råa bergväggen. I mellanrummet inpressas varm luft, som erhålles från de elektriska generatorerna. Som förut påpekats går nämligen en del energi förlorad vid omvandlingen till annan energiform, och dessa förlus-



Bild 8. Porjus kraftverks ställverksbyggnad.

ter giva sig tillkänna i form av värme, som måste bortledas från maskinerna med tillhjälp av ventilationsluft. Det är denna uppvärmda kylluft, som insläppes mellan innerväggen och bergväggen för att borttaga fuktbildning.

Maskinutrustningen för tågdriften utgöres av fyra generatorer, av vilka tre äro kopplade till var sin turbin och avsedda för normal drift, medan den fjärde tillsammans med en annan växelströmgenerator för s. k. trefasström är kopplad till en reservturbin.

Turbinerna äro vardera på 12 500—14 000 hästkrafter och varje generator kan lämna enfasström med 4 000 volts spänning intill 2 500 ampers strömstyrka.

I föregående föreläsning omnämndes, att växelström är en slags elektrisk ström, som ej flyter lugnt och jämnt i en och samma riktning, utan karaktäriseras av ständiga omkastningar av rörelseriktningen. Den växelström, som här i Sverige kommit till användning för järnvägslektrifiering, är en enkel s. k. enfasström, vars rörelseriktning ändras 30 gånger under loppet av en sekund. Varje sekund uppnår strömmen alltså sitt största värde 15 gånger i ena — positiva — riktningen och 15 gånger i den andra — negativa. Den benämnes därför 15-periodig.

Det är således 15-periodig enfasström med 4 000 volts spänning, som alstras eller genereras i Porjusgeneratorerna, då dess stora åttapoliga, 85 000 kg tunga rotoror tvingas i rotation med en hastighet av 225 varv i minuten.

Från generatorerna ledes strömmen i grova kopparkablar genom det luftschakt som anordnats för tillförsel av ventilationsluft till generatorerna upp i det ovan jord rätt över maskinsalen uppbyggda ställverket, där den i transformatorer får spänningen höjd från 4 000 till 80 000 volt.

Från föregående föreläsning erinra vi oss, att en transformator består av tvenne lindningar eller spolar av koppartråd, primära och sekundära, på en gemensam järnkärna. I avsikt att erhålla bättre isolation är hela anordningen här nedsänkt i ett plåtkärl med olja. Vi stå alltså inför en ny förändring av den elektriska energins form och ha således att räkna med en del förluster. Även dessa förluster bortgå i form av värme, som uppvärmer transformator

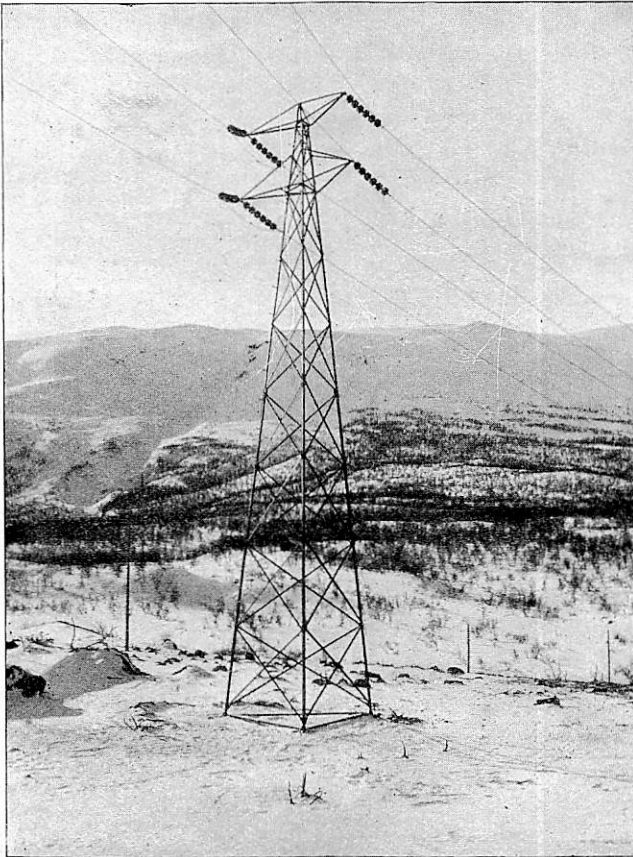


Bild 9. Stolpe med överföringsledning.

och olja. I Porjus hålles denna uppvärmning inom tillåtna gränser genom i oljan nedsänkta kylrör, genom vilka vatten framläppes.

Den upptransformerade strömmen ledes nu vidare via s. k. oljeströmbrytare till samlingskenorna, vilkas funktion framgår av namnet, och därifrån till överföringsledningen, som skall transportera den till förbrukningsplatsen.

Strömbrytarna skola, som namnet säger, bryta strömmen, ifall av någon anledning så påfordras. Vid så stora effektelopp som det här är frågan om, skulle det ej alls gå för sig att verkställa denna brytning genom att enkelt skilja tvenne ledare åt, ty självinduktionen i strömkretsen, som motsätter sig varje ändring av strömmen, skulle då orsaka en för omgivningen och för ledarna själva farlig ljusbågsbildning vid avbrottsstället. Utan man måste



Bild 10. Torneträsk transformatorstation.

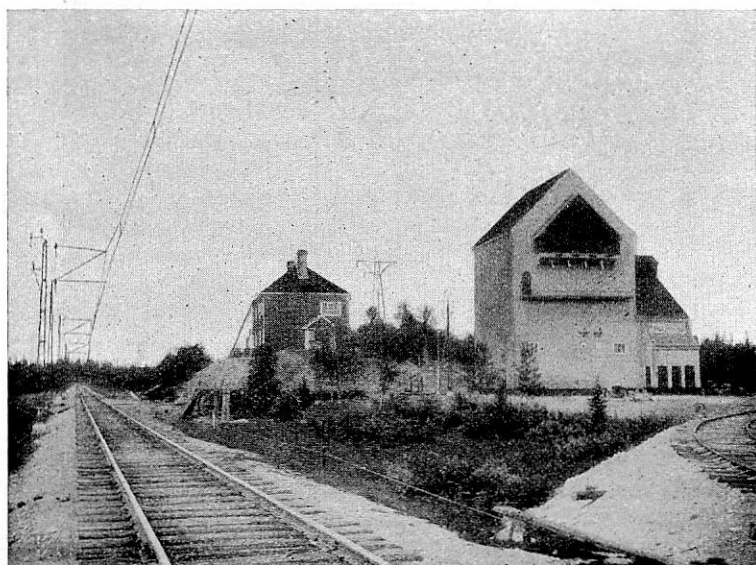


Bild 11. Transformatorstationen vid Nuortikon.

innesluta brytmekanismen i en oljekammare, så att själva avbrottet sker i oljan och uppkomsten av ljusbåge härigenom förhindras.

Dessa oljebrytare i Porjus bryta automatiskt strömmen, då denna av någon anledning visar tendens att stiga över tillåtna värden. Fördenskull är brytaren kombinerad med ett s. k. relä, vilket, då strömmen når en viss bestämd

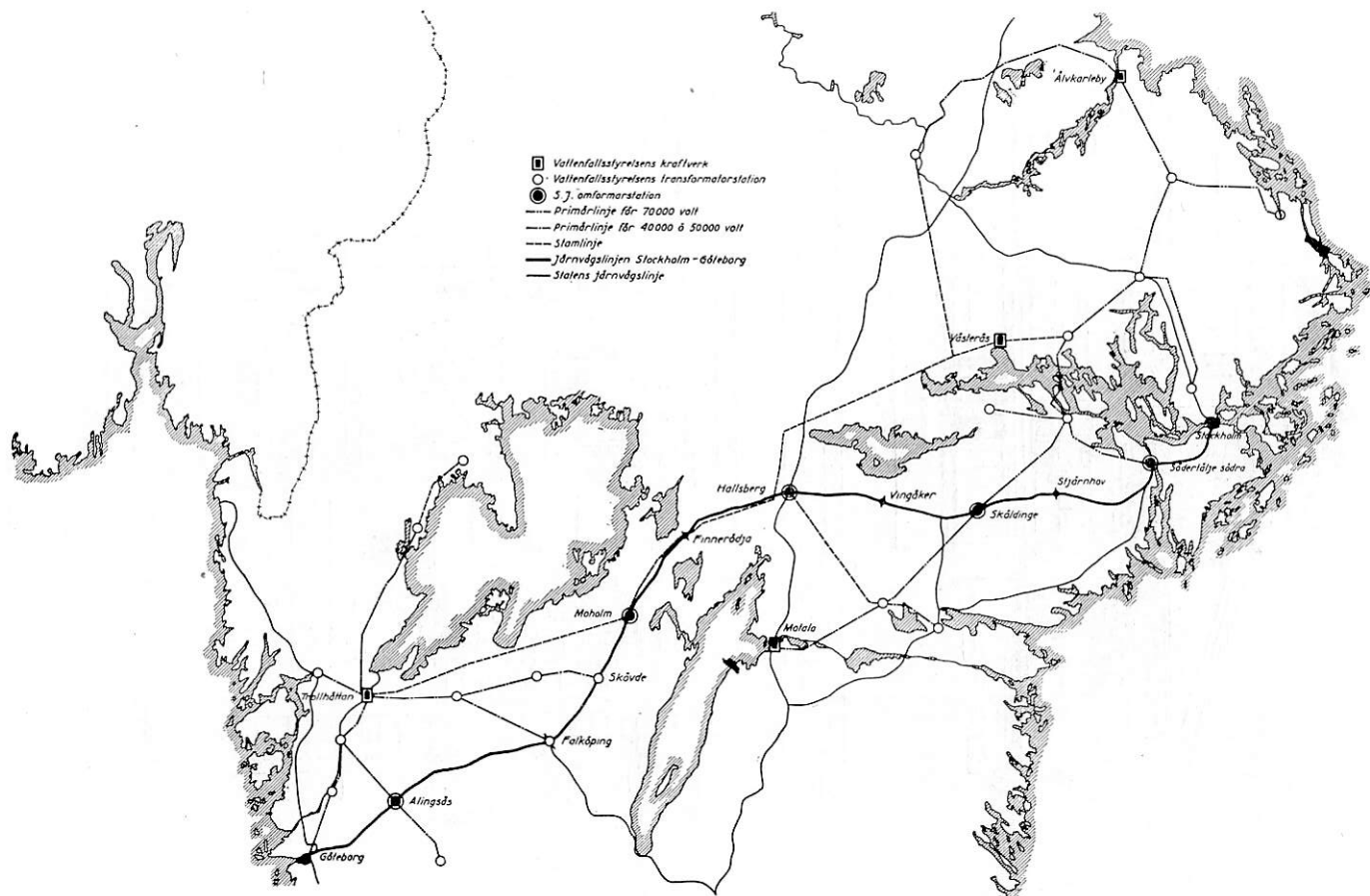


Bild 12. Översiktsplan över kraftledningsnätet vid och omkring linjen Stockholm—Göteborg.

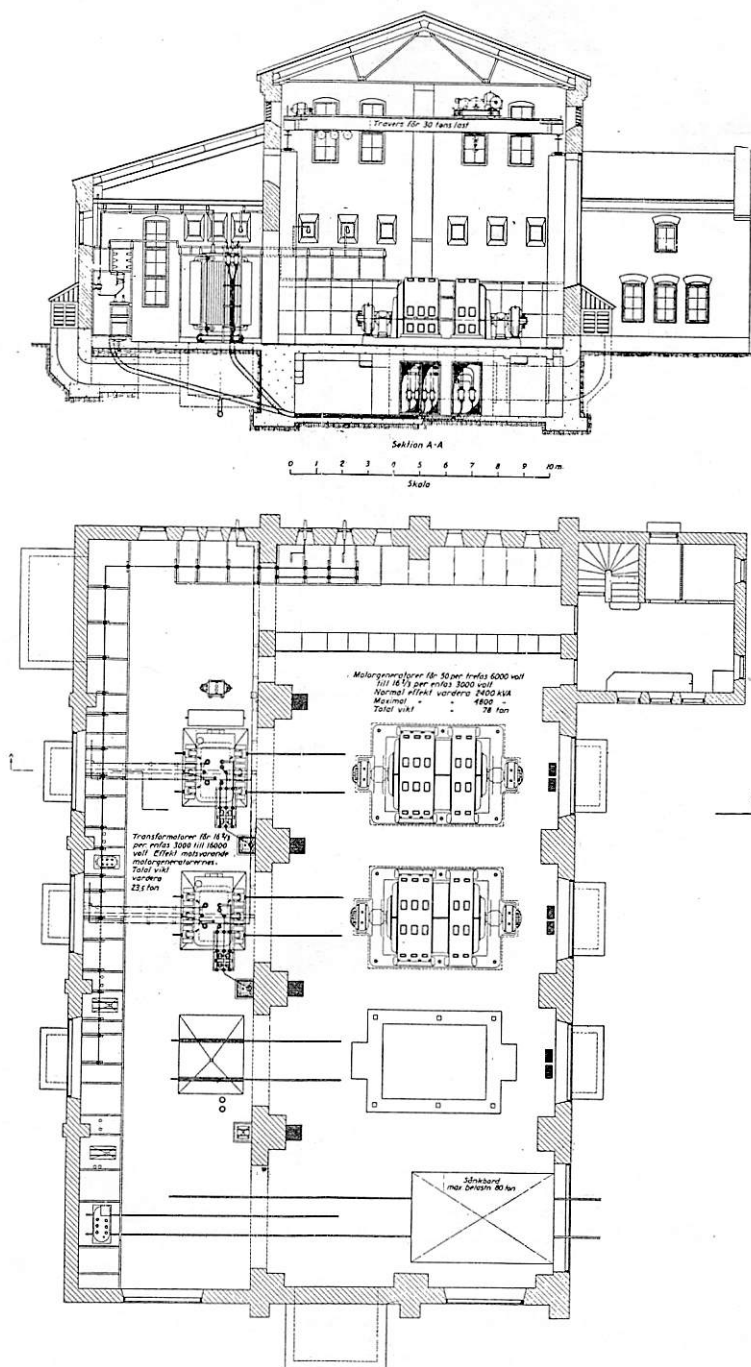


Bild 13. Omformarestation för elektrifieringen Stockholm—Göteborg.

storlek, påverkar mekanismen, så att strömmen brytes. Reläet är ett s. k. tidrelä, vilket innebär, att det är försett med en urverksanordning, som åstadkommer utlösning av oljebrytarens mekanism först efter en viss, inställbar tid, som för dessa strömbrytare är 20 sekunder.

Liknande oljeströmbrytare med tidreläer äro insatta mellan samlingsske-

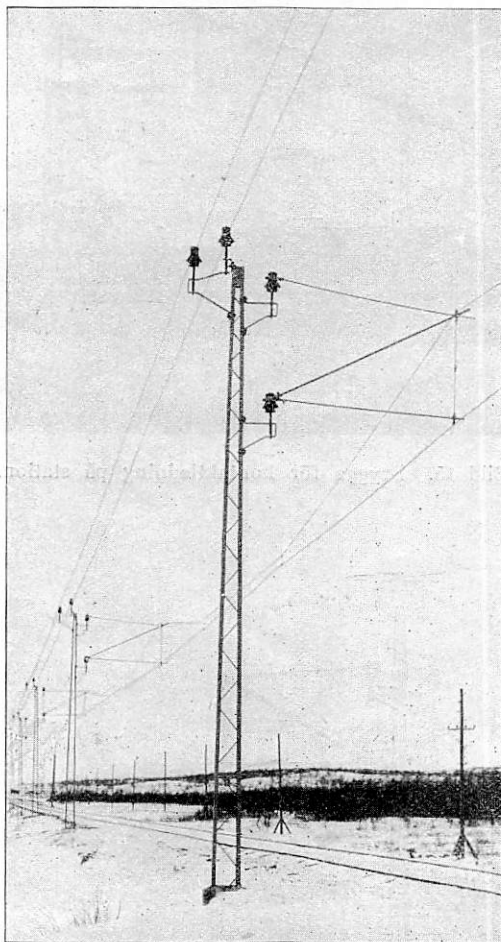


Bild 14. Kontaktledning för Malmbanan.

norna och överföringsledningen. Dessa brytare äro inställda att bryta strömmen efter 12 sekunder.

Uppe i ställverksbyggnaden ligger vidare kraftverkets hjärna, kontrollrummet, dit alla trådar löpa, och varifrån hela detta jättemaskineri manövreras. Här avläser man de olika maskinernas periodtal, spänning, strömstyrka och effekt, här ringa allarmklockorna, då någonting på linjen eller i kraftverket är i olag, och här äro alla regleringsrattar samlade, varmed man styr maskinernas gång och reglerar det hela.

Då den elektriska energin för malmbanan erhöles endast från en plats och denna plats till på köpet var tämligen avlägsen från banan, var det nödvän-

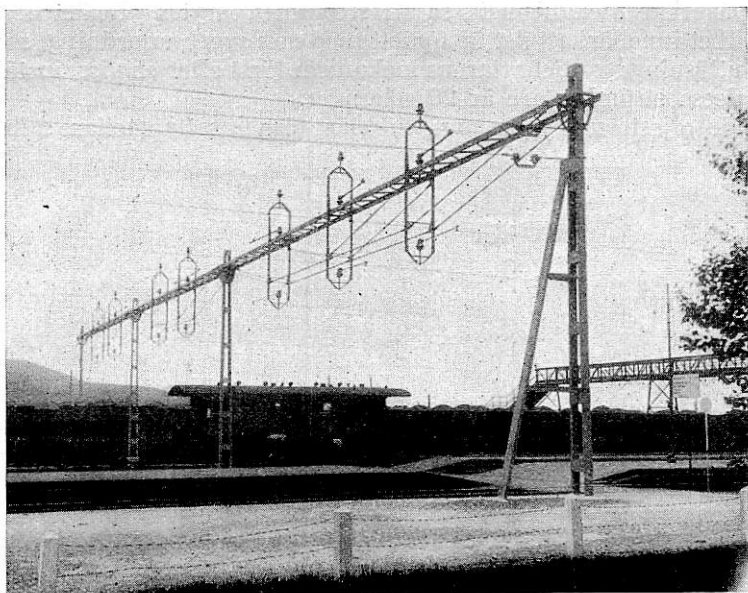


Bild 15. Brygga för kontaktledning på station.

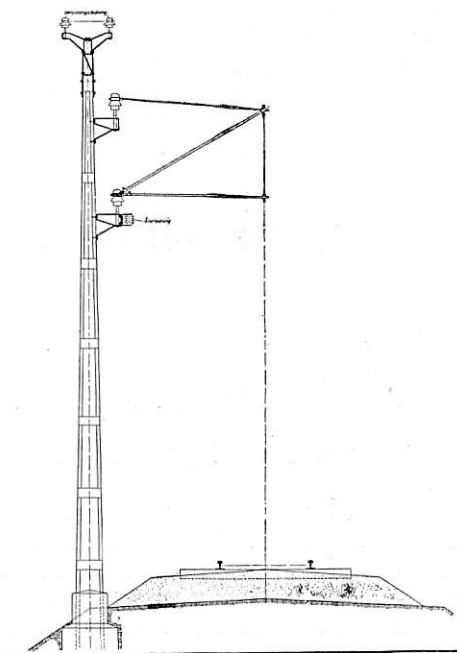


Bild 16. Kontaktledningsanordning för Stockholm—Göteborg.

digt att bygga en särskild matarledning, överföringsledning, ej blott mellan Porjus och någon punkt vid banan utan även längs denna i hela dess utsträckning. Därjämte hava förhållandena däruppe nödvändiggjort utbyggnad av hela anläggningen ända från generatorerna i kraftverket särskilt för den strömart, enfasström, som den elektriska driften kräver och jämsides härmed med maskineri för trefasströmmen, vilken utnyttjas av andra förbrukare, närmast gruvindustrin.

Malmbanans överföringsledning utgöres av tvenne ledningssystem, vardera bestående av en till- och en återledning eller sammanlagt av 4 st. 7-

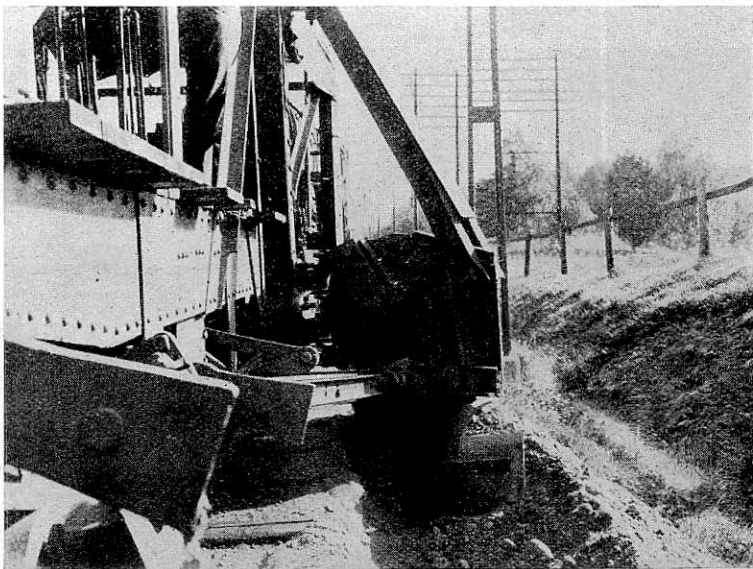


Bild 17. Plog för grävning av kabelgraven för järnvägens svagströmsledningar.

trådiga kopparlinor med genomskärningareor från 80 kvmm närmast kraftverket ned till 50 kvmm längst bort från detta. Linorna uppbäras av en rad järnstolpar 17 till 22 meter höga med en isolation av från 4 till 7 seriekopplade s. k. hängisolatorer av porslin.

Transformatorstationer äro byggda på följande platser: Vassijaure, Abisko, Torneträsk, Kiruna, Lappberg, Risbäck, Gällivare, Nuortikon, Polcirkeln, Lakaträsk, Gransjö, Boden och Notviken, alltså på ej mindre än 13 platser med i medeltal 35 kilometers inbördes avstånd. Dessutom är i Kuossakåbbå, där överföringsledningen delar sig i en gren norrut och en gren söderut, anordnad en s. k. omkopplingsstation, där erforderliga omkopplingar av linjerna kunna ske.

I transformatorstationerna nedtransformeras spänningen från 80 000 till 16 000 volt, varefter strömmen erhållit lämplig form att utsläppas i kontaktledningen.

Transformatorstationerna äro vardera utrustade med två à tre transformatorer av liknande typ som dem i Porjus, dock anordnade för kylning medelst luft och med automatiska oljeströmbrytare för var och en av dessa på såväl 80 000 voltssidan som på 16 000 voltssidan. Dessa brytare som sinsemellan

äro mekaniskt hopkopplade äro kombinerade med ett tidrelä, inställt för 6 sekunder. Transformatorerna inkopplas medelst dessa strömbrytare på 16 000 volts-sidan till en samlingsskena, från vilken sedan strömmen till kontaktledningssystemet uttages genom automatiska strömbrytare, som vid överbelastning eller fel bryter strömmen så gott som ögonblickligt (0,2 sek.) Genom detta system av på olika tid inställda strömbrytare är det sörjt för, att ett fel på ledningen ej behöver medföra strömbrott för större del av nätet än vad oundgängligen är nödvändigt. Blott om felet är av svårare natur eller berör överföringsledningen mellan Porjus och banan, träda strömbrytarna i Porjus i verksamhet.

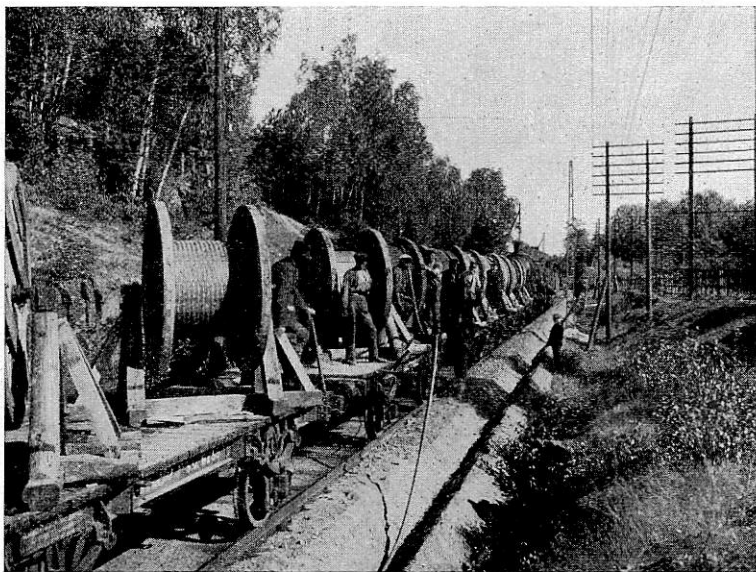


Bild 18. Utläggning av kabeln för järnvägens svagströmsledningar.

För elektrifieringen av linjen Stockholm—Göteborg har det varit möjligt att utan särskilda överföringsledningar ordna strömtillförseln från det redan befintliga, vitt utgrenade ledningsnät, som Vattenfallsstyrelsen utbyggt kring de stora kraftverken Älvkarleby, Västerås, Trollhättan och Motala. Genom särskilda ledningar, de s. k. stamlinjerna, har man dessutom anordnat förbindelser mellan dessa kraftverk inbördes, så att strömleveransen till bandriften således sker från ett nät, vilket praktiskt taget aldrig bör kunna bli spänningslöst på grund av driftstörningar i kraftverken.

Strömtillförseln till banan sker på fem platser, nämligen Södertälje, Sköldinge, Hallsberg, Moholm och Alingsås. På dessa platser uppföras understationer, vilka på grund av den form, i vilken energin här levereras, bli s. k. omformarestationer. Den ström, som levereras från nätet, är visserligen växelström, men dels har den ett annat periodtal än det som skall komma till användning i bandriften, nämligen 50 i stället för omkring 16, dels utgöres den av s. k. trefasström i stället för enfasig sådan. Av dessa orsaker måste den omformas i roterande maskiner bestående av en motor, matad med den inkommande trefasiga 50-periodiga strömmen, vilken på gemensam axel

driver en generator, som lämnar den för bandriften lämpliga enfasströmmen. Denna växelström kommer ej att som vid Malmbanan i Norrland hava ett periodtal av 15 utan i stället $16\frac{2}{3}$, enär en periodomformning från 50 perio-

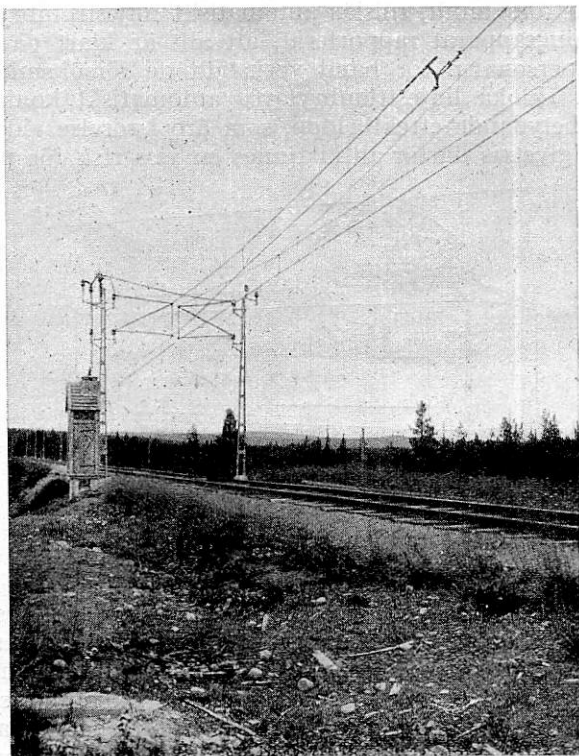


Bild 19. Anordning av spårtransformatorhus vid Malmbanan.

der, som det här är fråga om, kan ske enklare och billigare till $16\frac{2}{3}$ perioder än till 15. För bandriften spelar denna lilla skillnad ingen avgörande roll.

Enfasströmmen lämnar generatorerna med 3 000 volts spänning och får därför genomgå upptransformering till 16 000 volt innan den kan utsläppas i kontaktledningen. Transformatorerna, som härför användas, äro av liknande typ, som dem vi förut gjort bekantskap med vid Malmbanan och placerade i omformarestationerna.

Strömmen till- och fränkopplas kontaktledningen med oljeströmbrytare liknande dem, som beskrivits då Malmbanans apparater voro på tal. De äro dock kombinerade med reläer av något annorlunda konstruktion och verkningssätt i vad det gäller automatisk brytning vid fel på linjen. Dessa linjeströmbrytares funktion inskränker sig nämligen ej till ett enkelt brytande av en för anläggningen riskabel strömstyrka efter längre eller kortare tid utan de hava dessutom fått övertaga en del av det arbete bevakningspersonalen vid Malmbanan haft att utföra. Sker sålunda en kortslutning ute på linjen eller på ett lokomotiv bryter oljebrytaren i omformarestationen strömmen omedelbart men inkopplar efter 15 sekunder på försök en svagare ström

för att undersöka, om kortslutningen är kvar. Är detta fallet gör strömbrytaren om försöket efter 3 minuter. Skulle felet då fortfarande kvarstå, sätter den allarmapparaten till vaktpersonalen i gång. Visar det sig däremot vid endera av nyssnämnda inkopplingsförsök, att felet blott var av tillfällig art och försvunnit, tillslås automatiskt linjeströmbrytaren, så snart dess undersökningsapparat rapporterat, att allt är klart på linjen. Hittills har bevakningspersonalen för hand verkställt de försöksinkopplingar, som nu denna s. k. »kloka linjeströmbrytare» automatiskt kommer att utföra. Då det är rätt betydande effektelopp, som äro i rörelse vid dessa kortslutningar och det givetvis därför alltid finnes en viss risk för personalen, som

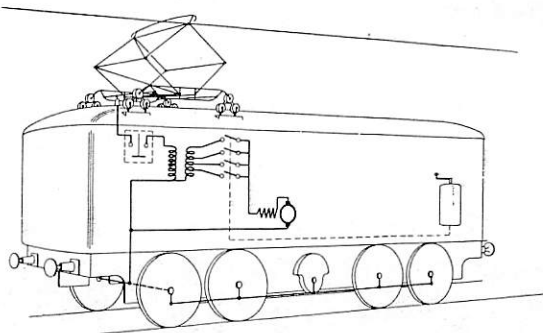


Bild 20. Schematisk bild av anordningen för ett elektriskt lokomotiv.

skall utföra inkopplingarna, inser man att den »kloka linjeströmbrytare» måste anses betyda ett viktigt framsteg även i säkerhetsavseende.

I övrigt bliva omformarestationerna utrustade med anordningar för manövrering av maskineriet samt mätinstrument av olika slag som möjliggöra avläsning av ström, spänning och effekt i tillförselledningarna samt den del av kontaktledningssystemet, som matas från den ifrågavarande omformarestationen.

Och så komma vi till kontaktledningen, det väldiga nät av koppartrådar över järnvägsspåren, som uppspänns för att göra det möjligt för lokomotiven att var de än befinna sig ständigt kunna uttaga den energi, de behöva. Denna ledning skall ständigt befinna sig ungefär mitt över spåret och på ständigt samma höjd — omkring 5,6 meter över spåret — samtidigt som den i längdriktningen måste kunna tillåta en viss av längdförändring vid olika temperaturgrader beroende rörelse.

Systemet för upphängningen av kontaktledningen är i huvudsak lika för Malmbanan och för Stockholm—Göteborg linjen. Skillnaderna bestå i olika avstånd mellan upphängningspunkterna, samt av dubbelspåret betingade förändringar särskilt av sektionspunkterna. För strömmens återledning har för linjen Stockholm—Göteborg en särskild återledning av koppar anordnats.

Kontaktledningen hålles i sitt läge över spåren av en rörkonstruktion, utliggaren, vilken är vridbart upphängd på längs spåret placerade järnstolpar med i medeltal 52,5 meter för Malmbanan och 60 meter inbördes avstånd för Stockholm—Göteborg. Utliggaren isoleras från stolpen med porslinsisolatorer fastsatta på järnpinnar.

Kontaktledningen utgöres av dels själva kontakttråden, vilken har 8-formad tvärgenomskärning och 80 kvmm area och dels bärlinan, en 7-trådig 50

kymm kabel. Båda äro av koppar och med en sammanlagd tvärsnittsarea således av 130 kymm. Kontakttråden, mot vars undre sida strömvtagarna på lokomotiven släpa, måste givetvis i största möjliga grad vara horisontell. Fördenskull är den upphängd i den ovanför uppspända bärslinans dels vid bärstolparna och dessutom på fem (för malmбанан två å fem) punkter pr spännvidd mellan dessa.

Längs hela sträckan är kontaktledningen uppdelad i sektioner på omkring 1,5 km längd, vilka sektioner medelst sektionströmbrytare kunna skiljas åt eller hopkopplas. Varje sektion hålles uppspänd med spännviktsanordningar vid sektionens ändpunkter, så att längdförändringarna vid skilda temperaturgrader ej hava någon ändring av nedhängningen till följd.

På bangårdar, där flera spår löpa parallellt, uppbäras kontaktledningarna av tvärs över spåren upplagda bryggor av järnkonstruktion.

Från omformarestationerna utgår alltså strömmen med 16 000 volts spänning i kontaktledningen och återvänder dit genom skenorna och den förutnämnda återledningen efter utfört arbete i lokomotiven. Då nu matningen sker från flera omformarestationer, vilkas spänning och strömriktning i ett visst ögonblick kunna vara mycket olika, måste man genom uppskärning av kontaktledningen sörja för, att alltid ledningarna från två omformarestationer hållas skilda åt i elektriskt avseende. Denna uppskärning utföres med ungefär mitt emellan tvenne omformarestationer insatta s. k. döda sektioner, ett slags relativt korta sektioner skilda från grannsektionerna och icke spänningsförande, förbi vilka lokomotivet antingen får rulla enbart av farten eller till vilka ström för hand eller automatiskt inkopplas då så erfordras. Sektioner av detta slag finnas anordnade vid Stjärnhov, Vingåker, Finnerödja och Falköping R.

För undvikande av i föregående föreläsning omnämnda svagströmsstörningar äro telefon- och telegrafledningarna uteder Malmбанан utflyttade på grund av terrängsvårigheter dock till endast 50 meters avstånd från banan. Härigenom minskades uppladdningsspänningen på dessa ledningar från ungefär 500 till omkring 50 volt. Den återstående laddningsspänningen borttages medelst en särskild kompensationsledning, vilken är så anordnad, att den samtidigt kan tjänstgöra för överföring av belysningsström till stationer och banvaktstugor.

De uteder linjen Stockholm—Göteborg framdragna telefon- och telegrafledningarna hava för undvikande av uppladdningsstörningar till största delen utbytts mot kabelledningar. Tvenne sådana s. k. svagströmskablar, en för Telegrafverkets och en för Statens Järnvägars ledningar, hava av denna anledning förlagts, den förra i med järnvägslinjens sträckning parallellgående vägar och den senare i banvallen. Återstående telegrafverket tillhöriga ledningar hava utflyttats från banan tillräckligt långt för att uppladdningsstörningar skola kunna undvikas.

För borttagande av de förut omnämnda induktionsstörningarna hava vid Malmбанан sugtransformatorer anordnats i kontaktledningssystemet med ett inbördes avstånd av omkring 1,4 kilometer. Dessa transformatorer hava i detta fall ena lindningen inkopplad i kontaktledningen och den andra i skenledningen och hava visat sig borttaga största delen av induktionsstörningarna, så att endast omkring 2 procent återstår, vilket i detta fall visat sig vara fullt tillfredsställande.

Även för linjen Stockholm—Göteborg skola sugtransformatorer anordnas i kontaktledningssystemet för borttagande av induktionsstörningar. Med

hänsyn till att övergångsmotståndet mellan skenor och jord här är betydligt lägre än vid Malmbanan, skola emellertid dessa ej inkopplas i skenledningen. I stället skola de inkopplas med ena lindningen i kontaktledningen och den andra i den särskilt anordnade återledningen, som dessutom förlagts på kontaktledningsstolparna på gynnsammast möjliga sätt. Konstruktionen av sugtransformatorerna har numera också kunnat fullkomnas avsevärt, varför enligt vad utförda provningar visat, det är att vänta, att resultatet i detta avseende vid linjen Stockholm—Göteborg skall bli omkring 10 gånger bättre än vid Malmbanan och således störningsspänningen reduceras till endast 0,2 procent av sitt ursprungliga värde. Detta möjliggör att avstånd

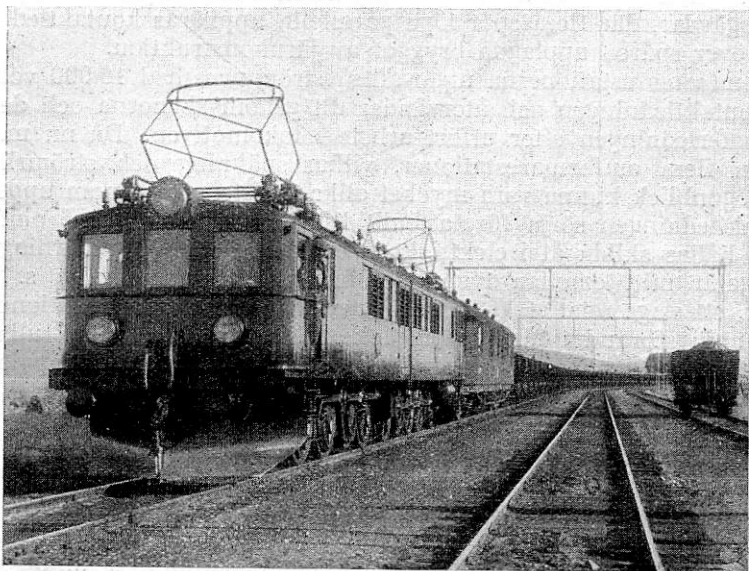


Bild 21. Elektriskt malmtågslokomotiv med 2000 tons tåg på Malmbanan.

av intill 125 kilometer eller till och med mer mellan omformarestationerna kunnat tillåtas utan olägenheter ur störningssynpunkt. Detta åter har gjort det ekonomiskt möjligt att använda omformaresystemet, vilket naturligen, enär det förutsätter endast ett fördelningssystem för alla ändamål med trefasström, ur nationalekonomisk synpunkt är synnerligen önskvärt.

Sugtransformatorernas uppgift är, såsom i föregående föreläsning påpekades, att i återledningen inpressa en ström, som är lika stor som kontaktledningsströmmen och riktad åt motsatt håll mot denna så att induktionen av dessa båda strömmar på svagströms- eller andra ledningar utefter banan blir noll. Men i och med det sugtransformatorerna åstadkomma detta, så borttaga de också spänningsfallet i återledningen, vilket de så att säga flytta upp i kontaktledningen. Då såsom för linjen Stockholm—Göteborg särskild återledning användes kan inbördes avståndet mellan sugtransformatorerna utan olägenhet utökas något och kommer för nyssnämnda linje därför att utgöra högst 3 kilometer. Sugtransformatorerna uppställas i små hus som uppföras vid sektionspunkter på kontaktledningen. För deras in- och urkoppling anordnas luftströmbrytare på särskild stolpe invid detta hus,

vilka strömbrytares ställning sålunda kan inspekteras utan att sugtransformatorhusen behöva öppnas.

Den särskilda återledningen, vilken utföres av kopparkabel med 130 kvmm area och vilken, som redan anförts, är nödvändig med hänsyn till sugtransformatorerna, är också värdefull, därför att den borttar nödvändigheten av att spåret skall förses med förbindningar av koppar vid skenskarvarna såsom i allmänhet är fallet vid elektriska järnvägar. Den medför också fördelen av att spåret kan brytas då så erfordras utan att särskilda anordningar med förbikopplingslinor vidtagas och utan att någon risk för personalen uppkommer.

De *elektriska lokomotiven* äro till skillnad från ånglokomotiven maskiner,

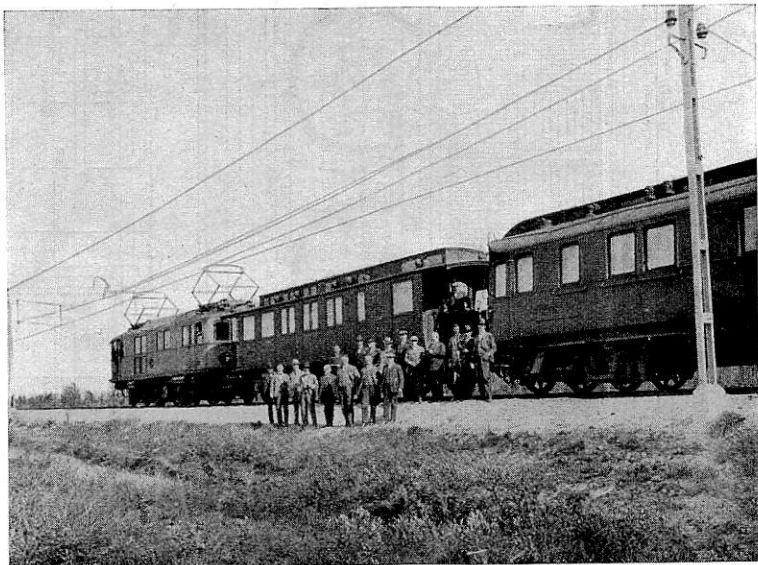


Bild 22. Elektriskt snälltågslokomotiv med tåg på Malmbanan.

vilkas kraftkälla befinner sig utanför deras väggar. Ett ånglokomotiv måste självt på sin färd medföra vatten och det kol, ur vilket det hämtar sin energi, medan det elektriska lokomotivet erhåller sin energi ur kontaktledningen så länge och i sådan myckenhet, som det bakom liggande kraftverket kan prestera. Detta är givetvis en oerhörd styrka för systemet elektrisk drift, ty ett elektriskt lokomotiv har av denna orsak i motsats till ett ånglokomotiv ingen begränsning i aktionsradie och är färdigt till omedelbar tjänst utan den tidsödande uppeldningsprocedur, som ett ånglokomotiv måste genomgå.

En annan betydande fördel, som de elektriska lokomotiven äga, är att deras vikt är avsevärt mindre än vikten för motsvarande ånglokomotiv. De elektriska lokomotiv, som komma till användning för linjen Stockholm—Göteborg, väga sålunda endast omkring 50 kilogram per hästkraft, som de kunna utveckla vid drivhjulspärfierien, under det att ånglokomotiven uppvisa ungefär dubbla vikten per hästkraft vid möjligast ekonomiska drift. Detta har kanske hittills ej varit av så stor vikt, men skola vi öka upp våra tåghastigheter, framträder betydelsen härav i hög grad.

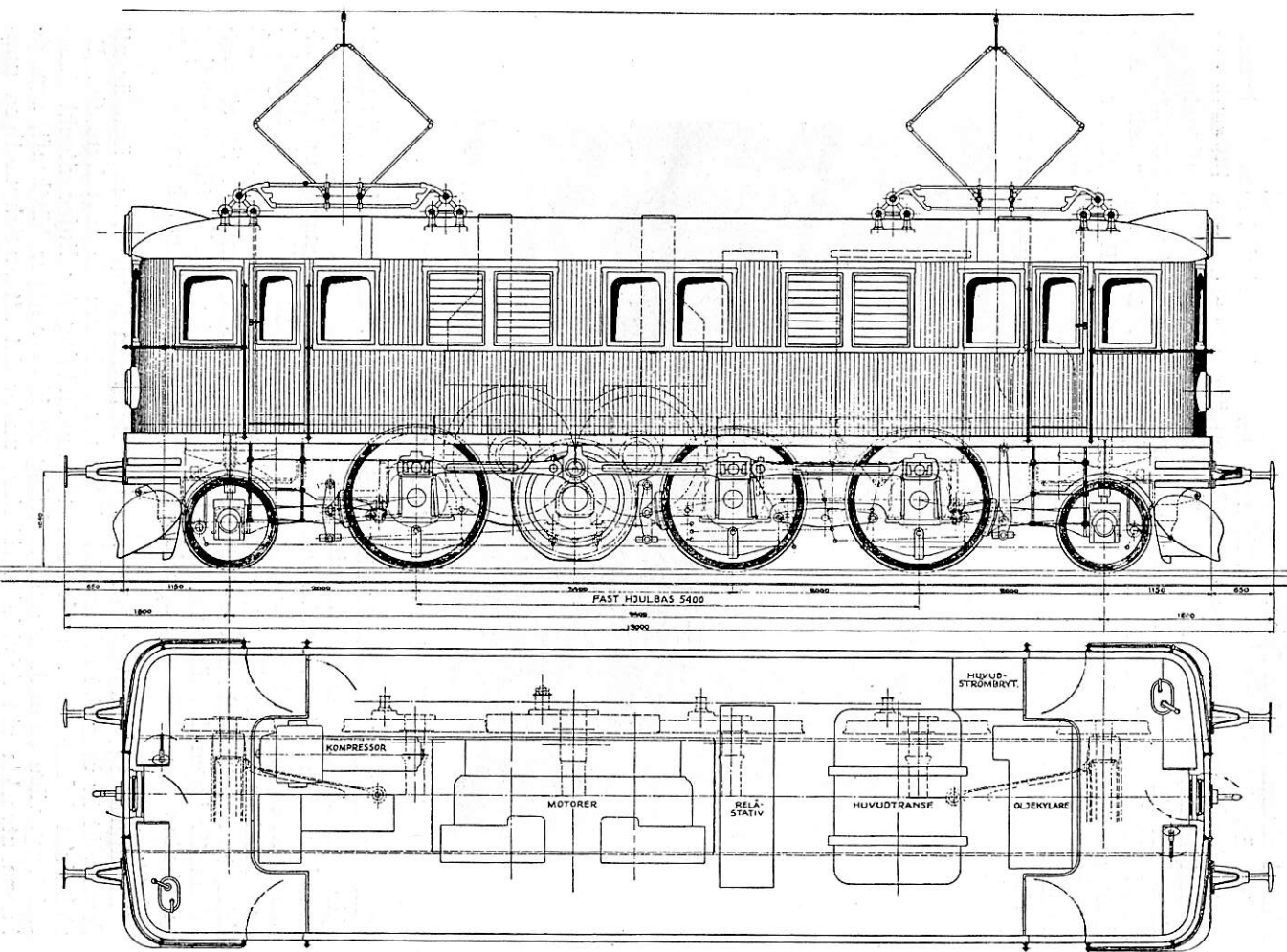


Bild 23. Elektriskt lokomotiv för Stockholm—Göteborg.

De elektriska snälltågslokomotiven för linjen Stockholm—Göteborg skola sålunda framföra tågen i största förekommande stigningen (10 pro mille) med en hastighet av 60 kilometer per timme. Härvid kan per hästkraft framföras 320 kilogram tågvykt, och det elektriska lokomotivets vikt kommer sålunda därvid att utgöra omkring 15,6 procent av tågvykten, under det att vikten av motsvarande ånglokomotiv skulle utgöra minst 31 procent av hela tågvykten. Än värre blir det, om vi i framtiden en gång skulle önska framföra tågen med en hastighet av 90 kilometer per timme i största stig-

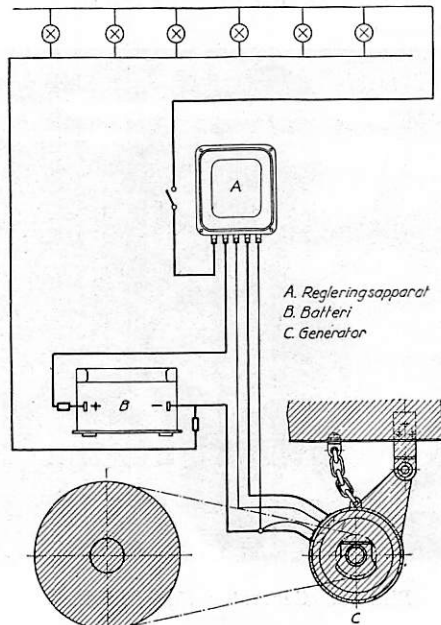


Bild 24. Schematisk bild av anordningen av »hulljus».

ningen, i vilket fall per hästkraft endast 190 kilogram tågvykt kan framföras. Därvid motsvarar tydligen vikten av det elektriska lokomotivet ungefär en fjärdedel av hela tågvykten, under det att vikten av motsvarande ånglokomotiv utgör ungefär hälften av hela tågvykten. Möjligheten till ökning av tåghastigheten är sålunda på grund härav avsevärt större vid elektrisk drift än vid ångdrift.

Den elektriska utrustningen på ett elektriskt lokomotiv består till sina huvuddelar av huvudströmbrytare, transformator, motorer och ett stundom rätt invecklat manöversystem, medelst vilket föraren från lokomotivets framända med handen på kontrollerveven reglerar strömtillförseln till motorerna.

När strömmen från kontaktledningen genom den på dennas undersida släpande strömvtagaren inkommer i lokomotivet, väl isolerad från alla ledande föremål, passerar den först huvudströmbrytaren. Som det alltid innebär en viss risk att vara i närheten av en dylik apparat, då den på grund av inträffande fel bryter strömmen, inrättar man denna strömbrytares mekanism så att den slår från först sedan oljebrytaren i närmaste omformarestation brutit strömmen. Genom denna anordning kommer all fara för personalen å lokomotivet liksom naturligtvis även för lokomotivet självt att försvinna.

Vi erinra oss från det föregående, att maskiner med roterande delar — alltså även lokomotivmotorerna — ej lämpligen kunna konstrueras för högre spänningar, enär isoleringen tar stor plats i anspråk och vållar andra svårigheter. Kontaktledningsspänningen 16 000 volt är för hög att direkt inkopplas på motorerna och måste nedtransformeras till storlekar under 1 000 volt. Detta sker i lokomotivtransformatorn, vilken är en ungefär liknande tingest, som dem vi förut påträffat i kraftverket och i understationen. Den skiljer sig dock från dessa däri att dess lågspänningslindning är försedd med en hel del s. k. uttag, vilket innebär att ej blott början och slutet av lindningen

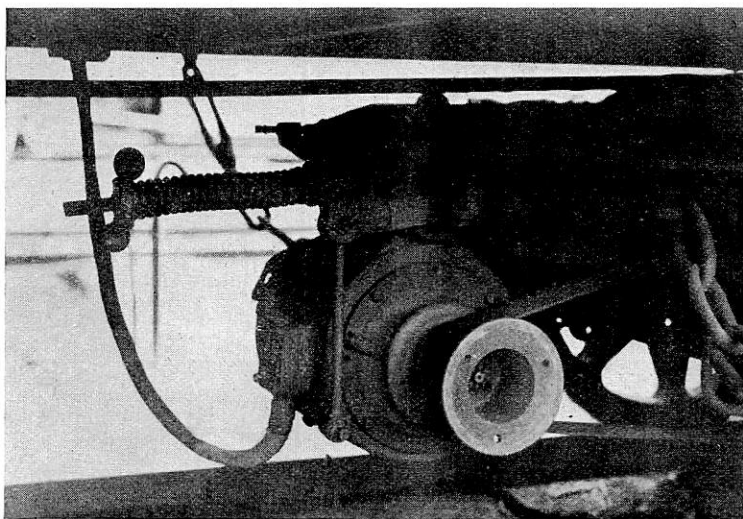


Bild 25. Generator för »hjulljus».

är gjord åtkomlig utifrån för att kunna uttaga strömmen utan att även en del avgreningar från lindningsvarven anordnats så att flere eller färre antal varv i denna lindning kunna inkopplas. Genom denna anordning kan man erhålla lågspänd ström med olika spänning. Startningen och regleringen av motorerna och alltså lokomotivet sker nämligen genom att i motorerna insläppa strömmen med olika spänningar, allteftersom de skola bringas att öka eller minska hastigheten.

Då strömstyrkorna i motorerna, särskilt vid startning, uppgå till rätt avsevärd storlek, har det varit olämpligt att verkställa inkopplingarna direkt medelst den av föraren manövrerade kontrollern eller kopplingsvalsen, utan man har insatt reläer, som övertagit in- och urkopplingarna, och låtit kontrollern reglera den svagare manöverström, som påverkar reläerna.

Vid Malmbanan finnas nu i tjänst 50 elektriska lokomotiv och två motorvagnar. Av dessa äro 33 lokomotiv avsedda för den tunga malmtrafiken och 16 av desamma framföra i daglig tjänst en tågviikt av 2 000 ton med en hastighet av intill 35 kilometer per timme i största stigningarna (10 pro mille). De äro därför för närvarande Europas kraftigaste lokomotiv och linjen Svartön—Riksgränsen, som har en längd av 434 kilometer, är för närvarande Europas längsta elektrifierade bana.

För linjen Stockholm—Göteborg kommer endast en typ av elektriska loko-

motiv till användning. Denna är utförd med tre drivaxlar och två löpaxlar, en i vardera änden. Lokomotivens drivmotorer äro till antalet två och driva med kuggväxlar en blindaxel, från vilken koppelstänger överföra drivkraften till drivhjulen. Kuggväxlarna göras utbytbara, så att man genom insättning av sådana med olika utväxling kan anpassa lokomotivet för antingen godstågs- eller snälltågstjänst.

Lokomotiven äro konstruerade så, att de kunna framföra ett snälltåg av 500 tons vikt på horisontal bana med en hastighet av 90 km i timmen och 60

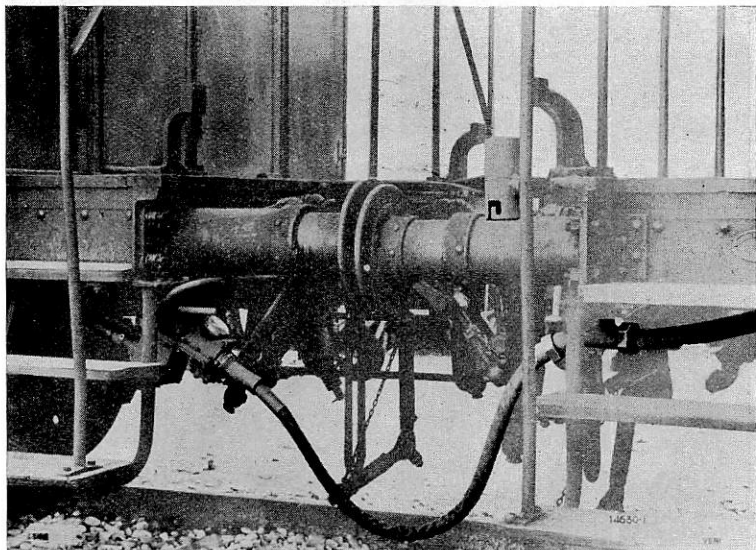


Bild 26. Koppling mellan vagnar för elektrisk uppvärmning.

km pr timme i 10 ‰ stigning. Insättes godstågsväxeln kunna de vardera draga ett 900 ton tungt tåg med respektive 70 och 35 km hastighet pr timme.

I lokomotivens utrustning ingå desutom luftkompressorer för bromsledningen och ventileringsanordningar för kylning av transformatorn och huvudmotorerna.

För att utnyttja de möjligheter den elektriska driften erbjuder för säkerställande av trafiken hava följande anordningar utförts å lokomotiven.

1) Manöveranordningen är så utförd, att, om föraren släpper kontrollerveven, motorströmmen omedelbart avbrytes. Genom en obetydlig ändring av inkopplingen kan det även ordnas så, att därvid också bromsning inträder, men torde värdet av en sådan anordning få anses tvivelaktig.

2) Då bromsning sker antingen genom förarens försorg eller i tåget åstadkommes även avbrott å drivmotorströmmen, om den skulle vara pådragen och ström kan åter påsläppas drivmotorerna först sedan bromsen lossats.

3) Då strömbrott inträder å kontaktledningen tillsättes automatiskt bromsen i tågen. Ett tåg kan därför om i nödfall så skulle erfordras, bromsas till stopp av linjepersonalen helt enkelt genom frånslagning av kontaktledningsströmmen.

Vid elektrifiering av en järnväg måste man också klarlägga frågan om hur belysning och uppvärmning av tågen efter elektrifieringens genomförande skall ordnas. Är det därvid fråga om elektrifiering av en isolerad

bansträcka, exempelvis en smalspårig bana sådan som Nordmark—Klarälvens järnväg, är problemet ej svårlöst, ity att man i sådant fall endast har att uttaga erforderlig såväl belysnings- som uppvärmningsström från lokomotivens transformatorer och med en kabelledning genom tåget tillföra vagnarna denna ström. Man kan i sådant fall lösa frågan utan hänsyn till andra än banans egna intressen.

Betydligt mer invecklat ställer sig problemet, då frågan om belysning och

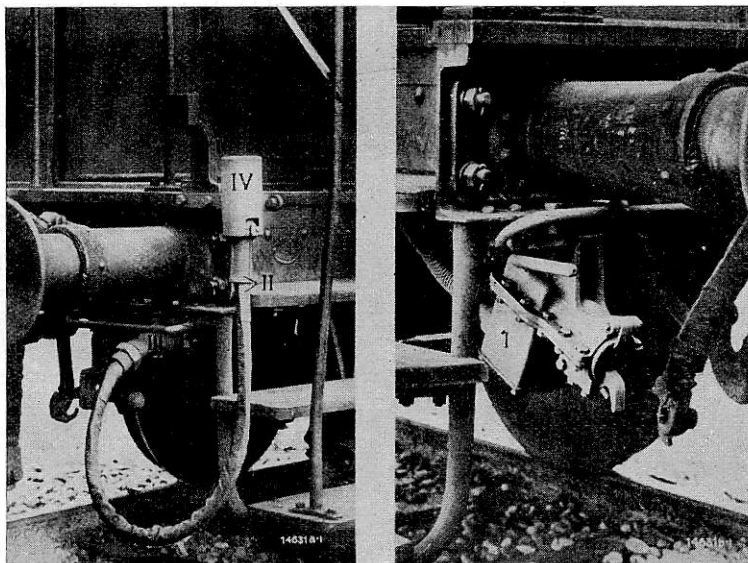


Bild 27. Kopplingsanordningar för elektrisk uppvärmning av tåg (ej hopkopplade).

uppvärmning av tågen skall ordnas för linjen Stockholm—Göteborg eller andra normalspåriga linjer. I detta fall råar man sig ej längre själv utan måste taga hänsyn till att vagnarna skola kunna framföras även på andra elektriska linjer och linjer med ångdrift och det även utom landets gränser. Ett fastläggande av en hel del standardbestämmelser i detta avseende har därför varit nödvändigt.

Beträffande belysningen i järnvägsvagnar torde numera enighet råda om att den bör vara elektrisk såväl för vagnar som framgå på elektriska linjer som på ånglinjer. Med hänsyn härtill går det ej för sig att räkna med att erforderlig belysningsström skall uttagas från de elektriska lokomotiven. Den elektriska belysningsanordningen måste därför vara så anordnad, att varje vagn i ett tåg får en oberoende anordning för detta ändamål. Vid Statens järnvägar införes med hänsyn härtill nu ett elektriskt belysningssystem helt betecknande benämnt »hulljus», som består av en liten elektrisk generator, vilken erhåller drivkraft från en av vagnsaxlarna. Under gång lämnar denna generator ström till belysningslamporna och till laddning av ett mindre batteri, som medföres i vagnen och som får övertaga leveransen av ström till belysningen, då hastigheten nedgår under en viss gräns, vanligen 20 kilometer per timme, eller då vagnen står stilla.

För uppvärmningen måste med hänsyn till nödvändigheten av att fram-

föra vagnarna på linjer med ångdrift ånguppvärmningsanordningar bibehållas i vagnarna, möjligen med undantag för särskilda lokaltågsvagnar, som endast avses att utnyttjas på de elektriska linjerna. Ånguppvärmning måste även med hänsyn till anslutande linjer bibehållas i en del tåg särskilt nattåg, som framgå över den elektriska linjen. För detta ändamål måste särskilda ångfinkor insättas i dessa elektriska tåg, vilka finkor då så erfordras vid stor tågstorlek kunna insättas ungefär mitt i tågen för att åstadkomma möjligast effektiva uppvärmning.

För en stor del vagnar blir det emellertid lämpligt att anordna elektrisk uppvärmning medelst ström som tillföres genom en särskilt anordnad värme-strömsledning från lokomotivtransformatorerna. För ändamålet förses nu en hel del vagnar med elektriska kopplingsanordningar på gaveländarna samt genomgående kablar och elektriska värmeelement bredvid ångelementen. Härigenom blir det möjligt att avvara värmefinkor i en hel del tåg och en uppvärmningsanordning erhålles som bättre och lättare låter sig regleras än ångvärmeledningen.

Som avslutning av dessa föreläsningar torde ett omnämnande av några av resultaten av Malmbanans elektrifiering vara av intresse.

Genom denna elektrifiering hava tågvikterna för malmtågen kunnat ökas med i runt tal 40 procent och tiden för framförande av ett tåg minskats till omkring hälften. Banans trafikförmåga för malmtransport har sålunda genom elektrifieringen i det närmaste tredubblats.

Antalet lokomotivkilometer per år för de elektriska lokomotiven har också visat sig bliva avsevärt större än för de förutvarande ånglokomotiven, i det de elektriska malmtågslokomotiven kunnat gå upp till 11 000 kilometer per månad och 100 000 kilometer per år och de elektriska snälltågslokomotiven upp till 15 000 kilometer per månad och 140 000 kilometer per år.

För linjen Stockholm—Göteborg komma tågens gångtider att avsevärt förminskas. Sålunda kommer dagsnälltåget att efter elektrifieringens införande kunna framföras från Stockholm till Göteborg på 7 timmar mot nu omkring 9 och möjlighet till ytterligare minskning av gångtiden utan avsevärd ökning av framföringskostnaden finnes, så snart ökade tåghastigheter med hänsyn till banan kunna tillåtas.

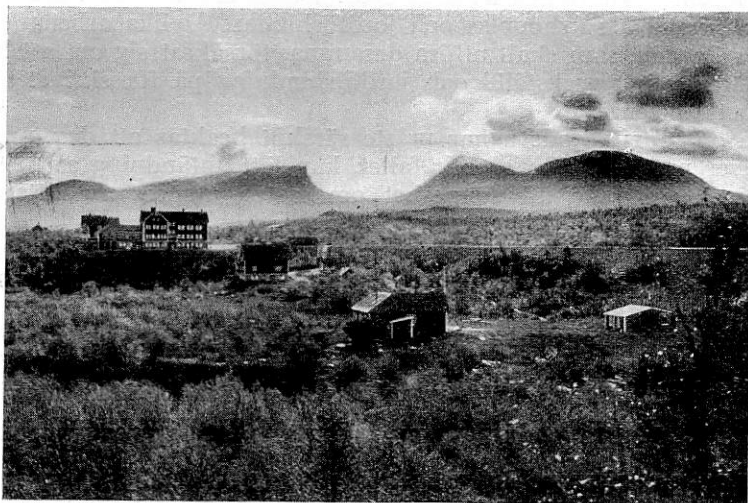


Bild 28. Lapporten och Abisko turiststation.

Regler och råd för undvikande av olycksfall genom beröring med spänningsförande ledningar.

Det är förenat med stor livsfara att vidröra såväl kontaktledningarna vid elektrifierad bana som de utliggare, vilka uppbära dessa ledningar, övriga å ledningsstolparna anbragta ledningar samt nedhängande eller nedfallna ledningar, vare sig beröringen sker direkt med någon kroppsdel eller indirekt medelst något föremål av metall, trä eller annat ämne. Även en mot en ledning riktad vattenstråle utgör tillräckligt god ledning för den elektriska strömmen, för att livsfara skall kunna uppstå för den, som berör strålen eller i förbindelse med densamma varande föremål. Likaledes är det livsfarligt att vistas närmare en ledning än en meter.

Kontaktledning eller annan starkströmsledning är alltid att anse som spänningsförande och följaktligen livsfarlig, såvida densamma ej i särskilt fall genom urkoppling och jordförbindning gjorts ofarlig.

För att kontaktledningarnas stolpar alltid utan fara skola kunna vidröras äro desamma medelst koppartrådar förbundna med närmast liggande räl i spåret, varigenom som skydd erforderlig jordförbindning erhålles.

Måste arbeten företagas, vilka kunna medföra risk för person att komma närmare kontaktledning eller annan högspänningsledning än en meter med någon kroppsdel eller med något föremål, t. ex. vid lastning eller lossning av öppna godsvagnar med stor lasthöjd, mätningar eller hanterande av långsträckta föremål i närheten av ledningarna eller andra dylika arbeten, skall ledningen först både urkopplas och jordförbindas. Dylika arbeten få ej påbörjas förrän den, som skall utföra desamma, försäkrat sig om att ledningsurkopplingen blivit verkställd och jordförbindning på föreskrivet sätt skett invid arbetsplatsen.

I fråga om öppna godsvagnar måste särskilt beaktas att desamma ej bli lastade över profilen. Om så blir fallet, kan lätt antändning av lasten uppstå genom överslag, i all synnerhet om lasten utgöres av lättantändliga ämnen.

Vidare måste tillses, att presenningar, med vilka last övertäckes, väl fastgöras, så att desamma ej genom drag eller bläst kunna »flaxa upp» över lastprofilen.

Vid utförandet av alla arbeten å ett lokomotiv eller tendern till detsamma, såsom lämpning av kol, vattentagning eller dylikt, måste största försiktighet iakttagas och måste sträng uppmärksamhet ägnas däråt, att vid slaggning eller rengöring av fyren och rökskåpet använda rakor m. m. handhavas med största försiktighet, så att den, som handhar dylika verktyg, icke kommer ledningarna närmare än en meter vare sig med någon kroppsdel eller

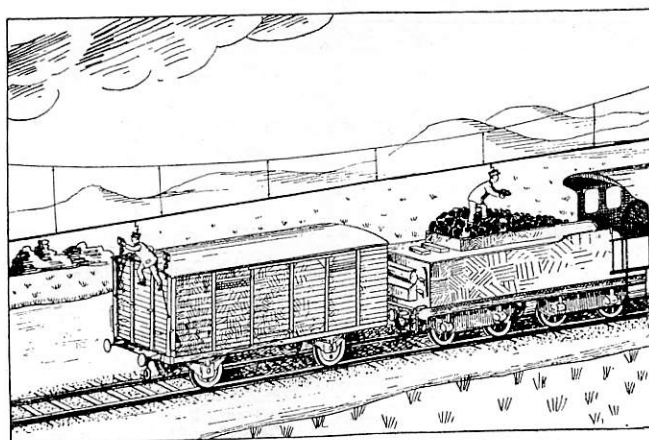
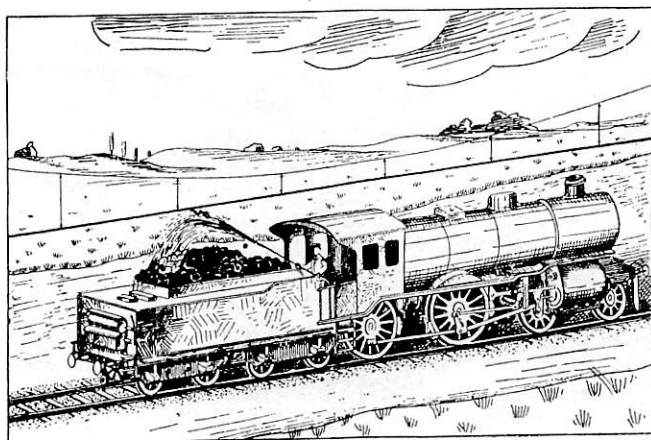
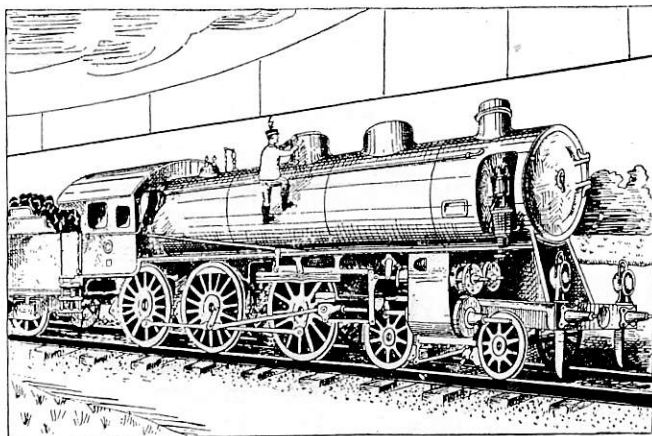


Bild 29.

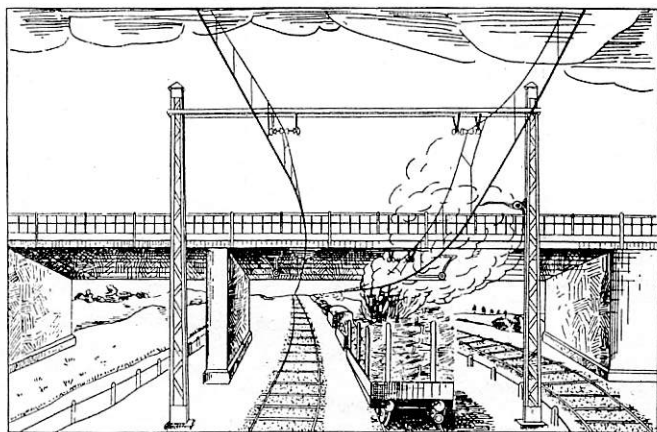
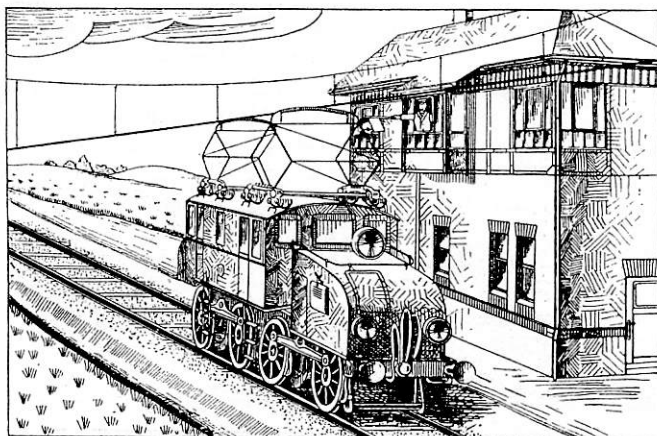
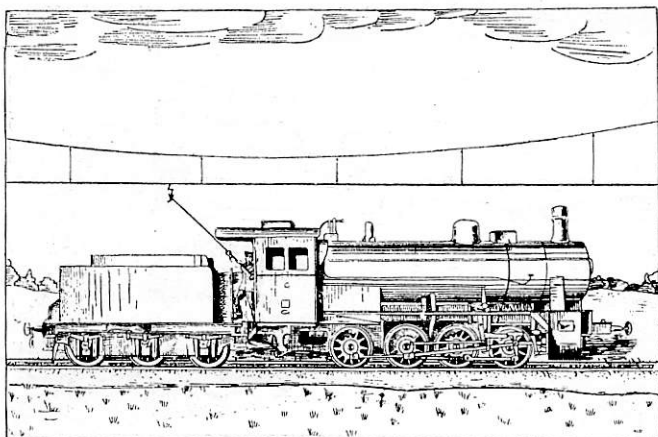


Bild 30.

med något redskap. Vid vattenspolning av kolen å en tender måste tillses, att vattenstrålen ej kommer i farlig närhet av kontaktledningen. Härvid måste särskilt uppmärksammas, att kontaktledningen i tunnlar, under ett flertal vägportar, samt över vändskivor i vissa fall ligger avsevärt lägre än normalt (5,6 meter över skenöverkant) och att alla arbeten med långa redskap å dessa platser därför medföra synnerligen stor fara.

Med hänsyn till därmed förbunden livsfara är det förbjudet:

- 1) att gå upp på under kontaktledning befintliga lokomotiv- och vagnstak,
- 2) att gå upp på pannan till ett ånglokomotiv, som befinner sig under kontaktledning, vare sig härmed avses påfyllning av sand, smörjning av regulator eller annat,
- 3) att vistas å ånglokomotivs tender, kolbox eller vattentankar vid dettas gång under kontaktledning,
- 4) att klättra i de stolpar, som uppbära kontaktledningen eller annan starkströmsledning.

Påträffas nedfallen ledning eller förmärkes fel eller ovanlig företeelse å kontaktledning eller annan elektrisk ledning, får densamma icke vidröras, utan måste förhållandet ofördröjligen inrapporteras till närmaste ledningspersonal, som har att vidtaga erforderliga åtgärder. Föreligger fara för tåg att framgå på sådant ställe, skola åtgärder omedelbart vidtagas för anordnande av stoppsignaler. Synes fara föreligga för att personer kunna komma i beröring med den nedfallna ledningen, skall vakt utposterar vid platsen, intill dess faran undanröjts.

Kan person, som råkat gripa en spänningsförande ledning, ej själv lösgöra sig, måste ledningen först jordförbindas, innan försök att lösgöra honom får anställas. Iakttages icke detta, uppstår livsfara även för den eller de personer, som försöka befria honom.

Har person bedövats av elektrisk ström skola ofördröjligen åtgärder för hans återupplivande vidtagas på sätt, som finnes angivet i särskild instruktion. Har person erhållit brännskada, skall han likaledes behandlas på sätt i denna instruktion finnes angivet.

Vad här ovan anförts om den fara, som vid elektrisk järnvägsdrift i olika fall kan uppstå, när ej tillräcklig försiktighet iakttages, åskådliggöres genom vidstående bilder.

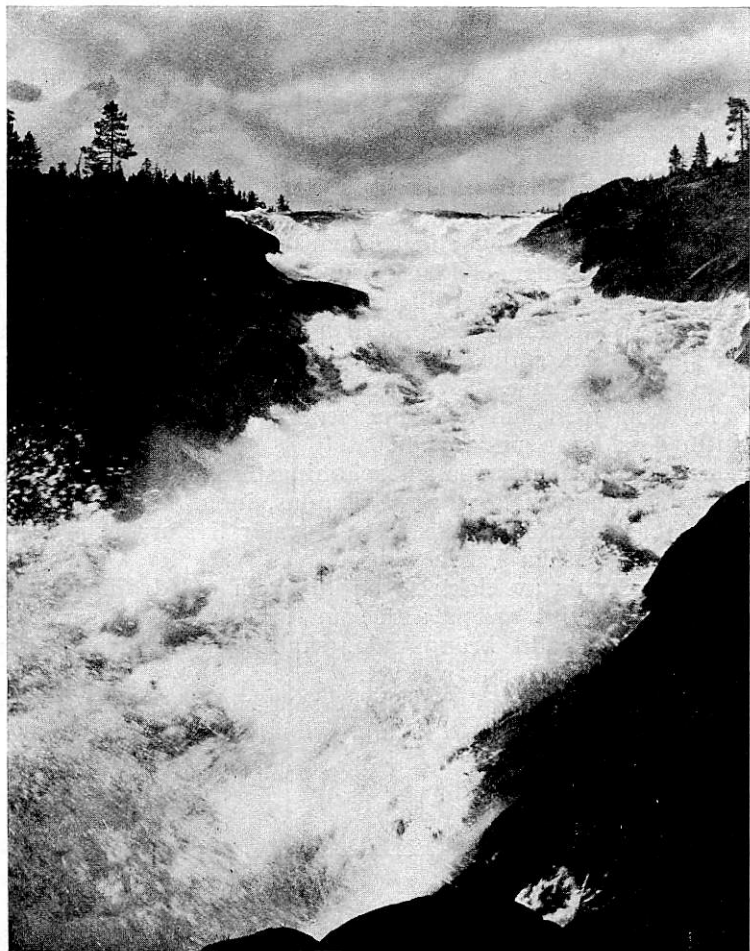


Bild 31. Harsprånget, övre fallen.