Elektrifieringen av svenska järnvägar

Göran Rönn

Denna kortfattade redogörelse koncentreras på införandet av elektrisk drift vid statsbanorna i Sverige. För fullständighetens skull ges dock inledningsvis en översikt över utvecklingen i andra länder fram till strax efter sekelskiftet, och avslutningsvis lämnas några uppgifter om elektrifieringen av enskilda järnvägar i Sverige.

Försök med elektrisk järnvägsdrift

Även om genombrottet för elektricitetens praktiska användning kom på 1900-talet, inleddes utvecklingen långt tidigare. Det gällde även specialfallet elektrisk järnväg. Man får gå tillbaka ända till 1830-talet för att finna de äldsta exemplen.

Vid den tidpunkten hade naturvetenskapen börjat ägna elektriska fenomen stigande intresse, och man började se praktiska användningsområden. Bland annat uppmärksammades möjligheten att utnyttja sambanden mellan elektriska och magnetiska fenomen till att ur elektrisk energi utvinna mekaniskt arbete.

Uppgifter finns om att t ex Thomas Davenport i USA på 1830-talet lyckades bygga batteridrivna modellvagnar. I något större skala arbetade tysken Wagner, som 1840 visade ett litet elektriskt lok med likströmsmotor och galvaniska batterier. Loket tycks ha väckt visst uppseende men föll sedan i glömska, när försöken att vidareutveckla projektet i full skala misslyckades.

Det första elektriska loket

När den första elektriska järnvägsdriften tillkom kan knappast med fullständig visshet fastslås. Om man inte räknar Wagners experimentlok som ett riktigt elektriskt lok, kan man kanske gå till Skottland, där Davidson hade byggt ett batteridrivet lok för banan Glasgow–Edinburgh 1842. Det kan kvalificera sig som en kandidat till titeln "världens första elektriska lok", eftersom det användes i kommersiell drift. Det tycks dock ha konkurrerats ut av ånglok och hästar. Genombrottet för eldriften dröjde ännu.

Till detta konstaterande bör fogas att vi faktiskt talar om 1840-

talet. Bara något decennium hade gått sedan den bekanta loktävlingen med ånglok för banan mellan Liverpool och Manchester. I Sverige fanns inga järnvägar alls med lokdrift, och sådana hade knappt ens diskuterats. I USA och på sina håll i Europa prövades alltså elektrisk jänvägsdrift innan ens de ångdrivna järnvägarna nått Sverige.

Trots ökande kunskaper om elektricitetens verkan återstod ännu på 1860-talet alltför många svårigheter för att man skulle kunna presentera ett ändamålsenligt system för elektrisk bandrift. Två svaga länkar i dittills byggda system kan lätt urskiljas: motorn och strömkällan. Motortekniken utvecklades förvisso, men ännu var permanentmagnetmotorer regel, och det begränsade möjligheterna att bygga in tillräcklig motoreffekt. Några andra strömkällor än galvaniska batterier förekom knappast, och detta var förmodligen en ännu svårare begränsning.

Siemens finner lösningen

År 1867 presenterade Werner Siemens idéer som i hög grad löste dessa båda problem. Lösningen byggde på dynamomaskiner. Siemens ersatte permanentmagneterna med elektromagneter som magnetiserades av motorströmmen. Han byggde med andra ord en seriemotor, och den har för elektrisk järnvägsdrift gynnsamma egenskaper.

Eftersom han samtidigt började använda sådana maskiner som generatorer förbättrades möjligheterna för elektrisk bandrift kraftigt. Man var inte längre hänvisad till av många skäl olämpliga batterier. Tanken att använda roterande maskiner som generatorer var inte helt ny, men slog igenom först tack vare Siemens.

De första elektriska järnvägarna

Genom sitt fortsatta utvecklingsarbete, och genom sitt sätt att presentera resultaten, har Werner Siemens kommit att framstå som något av den elektriska järnvägsdriftens skapare. Vid en utställning i Berlin 1879 hade Siemens byggt en liten utställningsbana där besökarna kunde åka några varv på en 300 meter lång bana i vagnar som drogs av ett litet elektriskt lok. En ångdriven dynamomaskin alstrade strömmen som tillfördes loket genom rälerna. Att elektriciteten alstrades utanför loket var ett nytt viktigt steg som Siemens tog.

Ofta betraktas denna utställningsbana som världens första elektriska järnväg. Vill man finna en sådan med reguljär trafik måste man gå några år framåt i tiden. I maj 1881 togs en av Werner Siemens anlagd elektrisk järnväg, eller snarare spårväg, i bruk vid Berlin. Om detta var den elektriska järnvägens födelse, har vi nyligen passerat hundraårsdagen.

Under 1880-talet utvecklades de tekniska detaljerna ytterligare för elektrisk järnvägsdrift på basis av idéerna från Siemens första banor, med tillägget att kontaktledning infördes för strömtillförsel. Det hela bildade ett system som i första hand lämpade sig för banor

med liten geografisk utsträckning och förhållandevis lätta tåg i tät trafik. Därför blev det också i första hand på spårvägarna som systemet slog igenom. I USA skedde en mycket snabb tillväxt av de elektrifierade spårvägarna från omkring 1890. I Europa dröjde det stora genombrottet till kring sekelskiftet.

Redan mellan 1880 och 1890 fanns det således en tämligen väl etablerad teknik för elektrisk drift av spårvägar. Samma tekniska lösningar kom också att användas på en del järnvägar med spårvägsliknande trafik, dvs lokaltrafik på korta avstånd. Det förekom för all del också försök i något större skala, men de ledde inte till något riktigt genombrott.

Varför kom nu inte erfarenheterna från de elektriska spårvägarna att omplanteras till järnvägarna? Förklaringen är att spårvägarnas elektriska system inte passade när det gällde drift av tunga tåg på stora avstånd i jämförelsevis gles trafik. Den typiska spårvägsanläggningen hade följande uppbyggnad, vilken även gällde när de svenska spårvägarna elektrifierades i början av 1900-talet:

1) Den elektriska energin alstrades av ångmaskinsdrivna dynamomaskiner, antingen i en för spårvägen egen anläggning eller i en kommunal kraftstation även avsedd för bland annat elektrisk gatubelysning.
2) Motorerna i vagnarna var likströms seriemotorer som reglerades genom omkoppling från serie- till parallelldrift i några steg.
3) Strömtillförseln ordnades genom kontaktledning med rälerna som återledare.
4) Kontaktledningsspänningen anpassades till motorerna vilket medförde att spänningen sällan översteg 1 kV. Oftast stannade den vid 500 à 700 volt.

Tidiga växelströmssystem

Den stora svagheten i nyss beskrivna system för likströmselektrifiering var, när det gällde dess användning på större järnvägar, den låga kontaktledningsspänningen. Försök gjordes att nå högre spänning, men svårigheterna med motorernas isolation var ett skäl till att åtskilliga tekniker i stället sökte möjligheter att använda växelström.

Tekniken med växelström hade gått framåt starkt i slutet av 1800-talet. Vid sekelskiftet fanns åtskillig erfarenhet samlad. Både i USA och Europa, inklusive Sverige, fanns flera växelströmsinstallationer utförda, särskilt sedan trefassystemets födelse kring 1890.

Växelströmsdrivna järnvägar

Möjlighet syntes därför finnas att med hjälp av transformatorer på loken använda en väsentligt högre spänning i kontaktledningen än vad som sedan tillfördes motorerna. Redan på 1880-talet började man tänka sig växelströmsdrivna järnvägar.

Svårigheterna var ändå stora, åtminstone när det gällde att finna lämpliga motorer. Många lösningar kom att diskuteras och prövas. Här ska bara kort nämnas några av mer väsentlig betydelse.

De motorer som fanns att tillgå var i första hand asynkronmoto-

rer för trefas matning. De fordrade minst två kontaktledningar, och var svåra att hastighetsreglera. Trefasdrift kom dock till stånd, först 1895 på en spårväg i Lugano och därefter på banan Burgsdorf–Thun i Österrike 1899. Trots att systemet hade sina nackdelar var det så livskraftigt att trefasbanor var i drift i norra Italien in på 1960-talet.

Behovet av två kontaktledningstrådar innebar dels komplikationer vid spårväxlar, dels isolationsproblem som begränsade möjligheterna till höga kontaktledningsspänningar. Klart var därmed att man egentligen behövde ett system baserat på enfas växelström.

Enfas asynkronmotorer kunde naturligtvis matas genom en enpolig kontaktledning, men var liksom trefasvarianten svåra att hastighetsreglera. Deras stora nackdel var dock att de saknade startmoment, och därför inte kunde igångsättas annat än obelastade.

De vägar som först prövades var olika former av omformarlok, där enfas asynkronmotorer drev generatorer för antingen trefas växelström eller likström till banmotorerna. Försök som gjordes gav i många fall gynnsamma erfarenheter, men det var ändå ingen perfekt lösning. Om inte annat blev loken tämligen komplicerade och dyrbara. Skulle man t ex få ut en motoreffekt på 1 000 kW fordrades på loket i tur och ordning transformator, enfasmotor, generator och drivmotor för denna effekt.[1]

Utan att gå in på några ytterligare detaljer bör nämnas att flera andra system också kom att prövas. Även om dessa kan allmänt sägas att de ofta fungerade utmärkt, men blev dyra och krävde åtskillig komplicerad utrustning i loken.

Alldeles efter sekelskiftet började prov med kvicksilverlikriktare ge gynnsamma resultat, men de var ännu flera decennier senare alldeles för känsliga för att motsvara järnvägarnas krav. Några likriktarlok motsvarande senare tiders diod- och tyristorlok kunde därför inte komma i fråga vid denna tidpunkt.

Svensk elektrisk järnvägsdrift före sekelskiftet

Hittills har föga sagts om förhållandena i Sverige. Vad som hände utomlands, särskilt i Europa, fram till sekelskiftet hade stor betydelse för vad som samtidigt och därefter kom att ske inom området i Sverige. Antalet järnvägselektrifieringar i Sverige var litet före 1900, men intresset var stort bland landets tekniker. Det framgår inte minst av samtida årgångar av Teknisk Tidskrift. Där finns ett stort antal beskrivningar av utländska system, reseberättelser samt diskussioner om olika systems lämplighet för svenska förhållanden.[2]

Något stort antal elektriska järnvägar fanns alltså inte i Sverige vid sekelskiftet, men några hade tillkommit. Således fick Boxholms Bruk 1890 landets första permanenta elektriska järnväg.[3] Det rörde sig om en smalspårig bana för brukets interna transporter. Första gången ett elektriskt lok användes i Sverige torde emellertid ha varit

när man på en elektroteknisk utställning i Göteborg 1885 lät besökare för tio öre åka två varv på en kort utställningsbana på Chalmerska skolans gård.[4]

En även internationellt sett tidig järnvägselektrifiering kom till stånd i Sverige. Det var Djursholmsbanan som 1895 började med elektrisk drift, t o m några år före de första elektriska spårvägarna i landet. Liksom i Boxholm och vid utställningen i Göteborg användes likströmsdrift.

Vattenfallskommittén

Bortsett från de äldsta försöken med galvaniska batterier var ännu mot slutet av 1890-talet praktiskt taget all använd elektricitet alstrad i ångdrivna, dvs vanligen stenkolseldade, generatorstationer. Vid denna tidpunkt började vissa länder uppmärksamma vattenfallen som verkliga naturtillgångar just för att frambringa elektrisk energi.

För länder med tillgång till vattenfall, men med små egna kolfyndigheter, öppnade sig lockande möjligheter till besparingar. Ett land av detta slag var Italien, där vattenkraften redan vid sekelskiftet fått påtaglig betydelse. Inte minst genom statliga initiativ hade man dessutom börjat använda dessa vattenkraftverk för elektrisk järnvägsdrift.

Även i Sverige fanns möjligheter att utvinna elektrisk energi ur vattendragen. I samband med att den möjligheten mer uppmärksammades kom också synen på många vattenfall att ändras. Intresset för dem var tidigare ganska begränsat, och med tiden hade i många fall oklarheter uppstått rörande äganderätt och nyttjanderätt.

Bland annat gällde detta en del vattenfall som åtminstone delvis tillhörde staten. För att få en uppfattning om dessa tillsattes i juni 1899 den s k vattenfallskommittén, som skulle klarlägga ägoförhållandena i de vattenfall där staten hade del och undersöka, hur de skulle kunna nyttiggöras för produktion av elektrisk energi inom landet.

Med denna kommitté togs de första stegen mot en elektrifiering av de svenska statsbanorna, trots att de ursprungliga direktiven på intet sätt tog upp frågan om elektrisk järnvägsdrift. Genom ett initiativ från järnvägsstyrelsens dåvarande generaldirektör Nordström fick kommittén även i uppdrag att undersöka vilka av staten ägda vattenfall som var av sådan storlek och så belägna att de kunde vara lämpliga att använda för elektrisk järnvägsdrift.[5]

Detta var också de första yttre tecknen på att frågan om elektrisk järnvägsdrift engagerade järnvägsstyrelsen.

Erfarenheterna inom landet av elektrisk järnvägsdrift var begränsade. Då kommittén önskade underlag för sitt arbete bad den om och fick regeringens tillstånd att genom en studieresa i Europa ta del av utländska erfarenheter. Elektrisk järnvägsdrift var dock bara en av många frågor som skulle studeras, vid sidan av t ex frågor om koncessioner, beskattning och taxor. Uppdraget att inhämta dessa

uppgifter gick till Svante Arrhenius, vars rapport avgavs 1901.[6]

I sin rapport berättade Arrhenius om de system som vunnit spridning på kontinenten. Han lämnade också en del synpunkter på dessa, men det hela mynnade inte ut i något förslag från hans sida om huruvida även de svenska järnvägarna borde elektrifieras. Möjligen kan man fastslå att han resonerade sig fram till att likströmssystemet hade sämre förutsättningar än växelströmssystemet, varmed avsågs trefassystemet.

Dahlanders utredning

För den fortsatta utvecklingen av elektrisk järnvägsdrift i Sverige fick nog Arrhenius arbete bara begränsad betydelse, åtminstone om man jämför med det utredningsarbete som på järnvägsstyrelsens uppdrag utfördes av Robert Dahlander. Under år 1902 utförde han ett omfattande utredningsarbete, som omfattade såväl tekniska som ekonomiska spörsmål. Även Dahlander inhämtade genom studieresor utländska erfarenheter.

Vilka resultat kom Dahlander fram till? Från rent teknisk synpunkt ansåg han att elektrifiering utan vidare kunde genomföras. Likströmssystemet, som byggde på en vid denna tidpunkt etablerad teknik, skulle kunna användas om likriktarstationer utplacerades längs järnvägarna på korta avstånd. Ett sådant system skulle dock bli så dyrbart att bygga och underhålla att det inte kunde ligga till grund för ett seriöst elektrifieringsprogram. Dahlander utgick därför från att elektrifieringen måste bygga på växelströmsöverföring. Som nämnts fanns inga helt lämpliga motorkonstruktioner tillgängliga, särskilt som Dahlander ansåg det angeläget att kunna ha enfasig matning för att slippa komplicerade tvåpoliga kontaktledningar.

Dahlander utgick vid sina beräkningar från ett av Maschinenfabrik Oerlikon i Schweiz utvecklat system med enfas asynkronmotorer på loken. Eftersom en sådan motor inte har något startmoment kan den inte direkt driva loket. Här användes den för att driva en likströmsgenerator, som i sin tur matade likströms traktionsmotorer. Man slapp det krångliga trefas kontaktledningssystemet och fick dessutom bra regleringsmöjligheter. Kontaktledningsspänningen kunde väljas väsentligt högre än vid ren likströmsdrift, och avståndet mellan inmatningsstationerna därmed ökas. Systemets huvudsakliga nackdel är rätt uppenbar. Dessa lok måste bli tämligen tunga och tekniskt komplicerade, och därför också dyrbara. Tyngden av de roterande omformarna gjorde att Dahlander inte ville belasta loken ytterligare med en transformators massa, men därmed tvingades han gå ned en bit i kontaktledningsspänning.

Hela det dåvarande statsbanenätet skulle kunna byggas om för elektrisk drift enligt detta system med strömförsörjning från 17 vattenkraftverk och 5 torveldade kraftverk. De senare skulle i första hand anläggas i delar av Småland med brist på lämpliga vattenfall men med tillgång till torv. Möjligheterna att överföra elektrisk

energi på större avstånd, och därmed ersätta dessa torveldade kraftverk med ström från andra delar av landet, beaktades inte. Så långväga överföringar hade inte kommit till stånd vid denna tidpunkt, och samkörning av flera kraftverk på ett gemensamt nät förekom bara i enstaka fall och då begränsat till högst tre à fyra kraftverk.

En sådan total omläggning till elektrisk drift skulle inte löna sig. Vid stigande stenkolspriser och ökande trafik skulle ekonomin dock bli bättre. En partiell elektrifiering av de bäst lämpade bandelarna bedömdes redan i detta skede vara ekonomiskt gynnsam. Dahlander ansåg dock att man inte borde fatta några långtgående beslut innan man utfört en del praktiska prov för att utröna vilka tekniska lösningar som var att föredra.

Teknikernas syn på tekniken

Robert Dahlanders utredning publicerades i Teknisk Tidskrift under år 1903, och fick på så sätt stor spridning bland svenska tekniker.[7] Inte minst i Teknisk Tidskrift var järnvägarnas elektrifiering ett ämne som engagerade. I tidskriftens spalter, och i en del andra sammanhang, kan man utläsa något om vad som upplevdes som huvudfrågor vid den tiden. Här ska bara två tvistefrågor omnämnas.

En fråga var om den elektriska energin för järnvägsdriften borde samproduceras med annan elproduktion eller om järnvägen skulle bygga ett helt eget system. Framför allt var det en fråga om hur landets vattenfall skulle användas. Vilka användare skulle prioriteras? Två huvudlinjer fanns. Den ena sade att om järnvägarna lade beslag på de största och bästa vattenfallen skulle detta hämma utbyggnaden för andra användare.[8] Andra sade tvärtom att järnvägarna skulle utgöra en tung bas som garanterade att utbyggnaden kunde utföras, samtidigt som det skulle finnas utrymme för andra att ansluta sig.

En annan fråga var hur själva den elektriska järnvägsdriften borde gestalta sig. På många håll oroade man sig för de starka växlingar i belastningen som kunde väntas uppstå om trafiken ombesörjdes med få men tunga tåg. Det fanns därför åtskilliga som hävdade att elektrisk järnvägsdrift borde bedrivas med många små och lätta tåg. De menade därför också ofta att elektriskt drivna resandetåg lämpligen kunde kombineras med ånglok i de tunga godstågen. Andra förfäktade däremot uppfattningen att om inte matningsområdena var extremt små, skulle en rimlig utjämning komma till stånd även vid trafiken koncentrerad till få men tunga tåg.

Av de nyss nämnda utredarna kan man förenklat säga att Arrhenius[9] hörde till dem som talade om att trafiken borde delas på små enheter och godstrafiken eventuellt bibehållas med ånglok, medan Dahlander ansåg att eldriften gott kunde användas även om trafiken koncentrerades till stora tåg.

I efterhand kan konstateras att Dahlander fick rätt. När eldriften på allvar infördes utnyttjades den bland annat för att möjliggöra ännu större koncentration av godstrafiken till stora tåg. Studium av några typiska varaktighetskurvor från 1920-talet visar också på en

tämligen jämn effektförbrukning, avgjort jämnare än vad man torde ha funnit inom industrin som ju i stor utsträckning höll stängt på nätter och vid veckoslut![10]

Kommutatormotorn

Samtidigt som Dahlander avslutade sin utredning kom från USA beskedet att Westinghouse hade lyckats tillverka enfas växelströmsmotorer för järnvägsdrift. Det rörde sig om kommutatormotorer utvecklade från likströms seriemotorer. En sådan motor har många i detta sammanhang goda egenskaper. Utrustningen blir inte så tung och skrymmande. En transformator på loket skulle ge möjlighet till en lätthanterlig reglering med små förluster.

Uppgifterna nådde Sverige samtidigt som Dahlander slutförde sin utredning. Hans utredning byggde därför på en annan lösning, men han lyckades få med några ord om vad detta nya element kunde föra med sig. Han fann att en sådan motor, då ännu i stort oprövad,[11] sannolikt skulle förbättra förutsättningarna för elektrifiering av järnvägarna. Jämfört med Oerlikon-systemet skulle loken bli enklare och med transformatorer i dem kunde kontaktledningsspänningen sättas högre.

Statsbanornas försöksdrift

Efter detta utredningsarbete gjordes under några år inom järnvägsstyrelsen ytterligare tekniska och ekonomiska beräkningar samtidigt som praktiska försök genomfördes. Då det vid denna tidpunkt stod klart att enfas kommutatormotorn var mest intressant, inriktades både de praktiska proven och kostnadsberäkningarna på det systemet.

De praktiska försöken gjordes på Värtan-linjen utanför Stockholm och gav som helhet lovande resultat.[12] När proven avslutades 1907 ansågs tiden vara inne för statsbanornas första elektrifieringsprojekt i stor skala.

Parallellt med dessa undersökningar verkade järnvägsstyrelsen för att skaffa sig tillgång till vattenfall för den förutsatta elektrifieringen. Med tillstånd från riksdag och regering inköptes ett antal vattenfall i södra Sverige för ändamålet. Så småningom överfördes dessa till vattenfallsstyrelsen, men dessförinnan förorsakade de en del kritik mot järnvägsstyrelsen. Denna grundades på det förhållandet att man köpt upp några stora välbelägna vattenfall, men sedan låtit dessa förbli oexploaterade i avvaktan på att alla undersökningar i samband med den elektriska järnvägsdriften skulle bli färdiga. I denna kritik kan man också se upptakten till en diskussion som kulminerade några år senare rörande huruvida järnvägsstyrelsen skulle driva egna kraftverk, eller om vattenfallsstyrelsen skulle ansvara för all statlig kraftverksutbyggnad.

Malmbanans elektrifiering

Resultaten av försöksdriften var tillräckligt lovande för att den aktuella frågeställningen för järnvägsstyrelsen skulle förändras från huruvida en elektrifiering skulle ske till på vilket sätt den skulle ske. Att enfas växelström skulle väljas var ju klart, så den stora obesvarade frågan var i vilken ordning olika bandelar skulle elektrifieras.

Efter en del diskussioner kring olika bandelar bestämdes att Kiruna–Riksgränsen skulle bli detta pionjärobjekt. Riksdagen fattade sitt beslut 1910 och sträckan blev 1915 färdig för elektrisk drift.

Samtidigt med järnvägens elektrifiering byggdes ett stort vattenkraftverk i Porjus. Det försåg dels järnvägen med enfasström från särskilda generatorer, dels alstrades trefasström för i första hand malmfältens gruvor som dittills varit beroende av koleldade kraftverk.

Vilken frekvens som skulle väljas för järnvägens enfasström var inte från början givet. I de alltfler för normal konsumtion nyöppnade kraftverken förekom såväl 25, 50 som 60 Hz. Inget av dessa, möjligen med undantag av 25 Hz, lämpade sig vid elektrisk järnvägsdrift på grund av kommuteringssvårigheterna. För att bemästra dessa problem var en lägre frekvens nödvändig. På Värtan-banan prövades olika frekvenser mellan 15 och 25 Hz. För Riksgränsbanan fastställdes så småningom frekvens 15 Hz, vilken fått viss spridning i Europa både på italienska trefasbanor och tyska banor med enfasdrift.

I detta skede hade Robert Dahlander lämnat järnvägsstyrelsen. År 1908 inrättades en särskild byrå för elektrisk drift. Dahlander var en kort tid dess chef, men snart leddes den av Ivan Öfverholm som kvarstod i den tjänsten ända till sin pensionering 1939, dvs under hela den tidsperiod då huvuddragen i statsbanornas elektrifiering fastställdes och till stor del genomfördes.

Elektrifieringen av Riksgränsbanan, även kallad malmbanan, var naturligtvis en stor affär. Den normala gången inom SJ var att större anläggningar upphandlades delade på flera poster. Styrelsen stod oftast också för åtskilligt konstruktionsarbete. Denna gång gjordes en samlad upphandling, med större ekonomiskt och tekniskt ansvar för leverantören. Kontraktet gav till och med SJ vissa möjligheter att i händelse av ogynnsamma driftresultat annullera hela beställningen efter någon tids drift.

Siemens och ASEA

Det segrande anbudet kom från tyska Siemens tillsammans med svenska ASEA. Lösningen var säkert tilltalande bland annat därför att man samtidigt kunde dra nytta av den tyska jättens erfarenheter och placera en stor del av tillverkningen inom landet.

När det gällde elektrifiering av järnvägar hade inte ASEA utfört några stora projekt, men bland annat den med enfas elektrifierade smalspårsbanan mellan Klockrike och Borensberg redan 1908 visade på företagets intresse för tekniken.

I brist på utrymme för en utförlig redovisning av alla tekniska enskildheter och erfarenheter av dessa ska bara i korthet konstateras

att elektrifieringen i huvudsak gav resultat som uppfyllde eller överträffade förväntningarna. Alla jämförelser mellan eldriften och den förutvarande ångdriften utföll till eldriftens fördel. Järnvägsstyrelsen övertog snart anläggningarna helt och hållet och befriade leverantörerna från deras omfattande garantiåtaganden.

I ett avseende var erfarenheterna dock klart ogynnsamma. Det gällde störningarna på svagströmsledningarna nära järnvägen. Redan proven utanför Stockholm hade berört detta, men de lösningar man tog med sig till malmbanan visade sig otillräckliga. De inducerade spänningarna i telegraf- och telefonledningarna kunde bli så stora att de inte bara omöjliggjorde teletrafiken, utan t o m innebar personfara.

Detta är inte platsen för en beskrivning av problemet i fysikalisk och teknisk mening, men det bör ändå konstateras att grundorsaken till störningarna var att återgångsströmmen till stor del lämnade rälerna och i stället gick andra vägar genom marken. Ett omfattande arbete utfördes för att fastställa orsakerna och ange lämpliga motmedel.

1920 års utredningar

Svagströmsstörningarna var av sådan art att en lösning måste komma till stånd före en fortsatt järnvägselektrifiering. En första större utredning gemensam för järnvägsstyrelsen och telegrafstyrelsen tillsattes 1918. Den föreslog som lösning att s k sugtransformatorer skulle inkopplas i rälerna. Denna lösning gav resultat som innebar en stor förbättring, men ändå lämnade den en hel del i övrigt att önska.

Med utgångspunkt från malmbaneelektrifieringens positiva resultat utarbetade SJ planer för fortsatt elektrifiering, i första hand av västra stambanan mellan Stockholm och Göteborg. Förslaget presenterades 1920 för regeringen.[13] På vissa punkter riktades invändningar mot förslaget. Vattenfallsstyrelsen hade avvikande synpunkter beträffande hur enfasströmmen skulle genereras. Telegrafstyrelsen oroade sig för svagströmsstörningarna.

Riksdagen beslutade salomoniskt att järnvägselektrifieringen skulle genomföras, men på villkor att de tekniska detaljerna först justerades så att de accepterades av såväl järnvägsstyrelsen som av vattenfallsstyrelsen och telegrafstyrelsen. För att nå sådan samstämmighet tillsattes två nya utredningar, järnvägselektrifieringskommittén och svagströmskommittén. Om dessa utredningar kan sägas att de å ena sidan naturligtvis medförde en ytterligare fördröjning av den fortsatta elektrifieringen. Å andra sidan gav deras arbete en lösning som vann allmänt stöd bland de berörda, och som sedan visat sig fungera väl.

När det gällde energialstringen hade järnvägsstyrelsen som grundlösning valt att lågfrekvent enfasström skulle genereras direkt vid kraftverken och överföras till transformatorstationer längs järn-

vägen med särskilda enfas högspänningsledningar. Samma system som på malmbanan skulle alltså tillämpas. Från vattenfallsstyrelsens sida förordade man i stället att energin skulle tas från det ordinarie trefasnätet och via omformare ges det lägre periodtalet, som då av praktiska skäl fick sättas till 16⅔ Hz, en tredjedel av normalfrekvensen 50 Hz.

Telegrafstyrelsen såg helst att man elektrifierade med likströmssystem. Då ett sådant system inte alls ansågs önskvärt av järnvägsstyrelsen fick man i stället poängtera nödvändigheten av att med tekniska anordningar eliminera störningarna på teleledningarna. Inkopplingen av sugtransformatorer i rälerna, såsom järnvägsstyrelsens förslag förutsatte, var inte fullt tillfredsställande.

När utredningarna blev färdiga vid årsskiftet 1922/1923 föreslog de ett tekniskt system som alla inblandade ställde sig bakom.[14] Det kom också att bli det system som därefter tillämpats vid all elektrifiering av statens järnvägar. Systemet har följande kännetecken:

1) Energin tas från det allmänna trefasnätet.
2) I omformarstationer görs omvandling till lägre frekvens.
3) Separat återledning med sugtransformatorer används för att motverka svagströmsstörningar.
4) Därtill utflyttas svagströmsledningar från järnvägen, eller läggs om som kablar i marken.

De två sistnämnda punkterna är intressanta ur ekonomisk synpunkt, då tidigare beräkningar av elektrifieringskostnaderna utgick från att svagströmsstörningarna kunde begränsas med tämligen enkla medel. Nu blev det i stället en mycket tung post i kostnaderna.

Elektrifieringen kan fullföljas

Västra stambanans elektrifiering

Härmed var förutsättningarna uppfyllda för att kunna disponera de av riksdagen anslagna medlen, och arbetena med att elektrifiera bandelen Stockholm–Göteborg påbörjades omedelbart. Medan tyska Siemens spelade en stor roll vid malmbanans elektrifiering, var nu den svenska industrin helt dominerande både när det gällde leveranser av kontaktledningsmateriel, rullande materiel (elektrolok) och omformarstationer. När det gällde elektrisk utrustning dominerade helt naturligt ASEA. Hela västra stambanan fick elektrisk drift 1926.

När det gäller kostnaderna för denna elektrifiering kan några siffror ur SJ:s kostnadsredovisning ha intresse. Ändringar av svagströmsledningarna kostade strax över 10 miljoner kronor. Summan bör jämföras med att omformarstationerna kostade 5,4 miljoner och kontaktledningarna något över 14 miljoner. Om man tar hänsyn till att kostnaderna för kontaktledningar inkluderar en del anordningar som tillkommit med hänsyn till svagströmsstörningarna (återledning och sugtransformatorer) visar detta att bortåt hälften av investeringarna i fast materiel sammanhängde med svagströmsstörningarna.

Elektrifiering av halva SJ

Efter västra stambanans elektrifiering blev det ett kortare uppehåll före de fortsatta elektrifieringarna. Sedan alla utvärderingar visat att arbetet haft framgång både tekniskt och ekonomiskt inleddes vid SJ en planmässig elektrifiering som fortgick oavbrutet, men i varierande tempo, in på 1950-talet. Därefter har endast enstaka bandelar elektrifierats, senast sträckan Vännäs–Umeå för några år sedan.

I huvudsak är nog elektrifieringsarbetena nu slutförda, även om enstaka nya elektrifieringsprojekt kan tillkomma. Man måste dock minnas att även om fortfarande ungefär hälften av järnvägsnätet inte har elektrifierats, svarar denna hälft bara för omkring en tiondel av det totala trafikarbetet.

Eldrift vid enskilda järnvägar

Avslutningsvis ska något också nämnas som belyser att elektrisk järnvägsdrift inte enbart var en fråga för statsbanorna. Enskilda järnvägar utförde också elektrifieringar, och undersökningar gjordes i ännu fler fall.

Djursholmsbanans tidiga elektrifiering 1895 och Mellersta Östergötlands Järnvägars tidiga enfasbana (Klockrike–Borensberg 1908) har redan nämnts.[15] En annan tidigt elektrifierad järnväg värd ett omnämnande, är Nordmark–Klarälvens Järnvägar (1921), bland annat för att den banan införde sugtransformatorer och separat återledning i Sverige.[16]

Allmänt sett var dock endast en liten bråkdel av de enskilda järnvägarna elektrifierade i mitten av 1930-talet. En utredning verkställd 1924 på uppdrag av enskilda järnvägar, vattenfallsstyrelsen och kraftverksföreningen visade hur enskilda järnvägar skulle kunna elektrifieras.[17] Det förutsattes då att samma "omformarsystem" som vid SJ skulle tillämpas, med omformarstationer som kunde vara egna eller gemensamma med SJ. I några fall genomfördes också elektrifiering i huvudsak enligt förslagen, t ex på bandelarna Göteborg–Borås och GDG-nätet (Gävle–Falun–Göteborg och vissa anslutande linjer).

När enskilda järnvägar satsade på elektrisk drift fanns oftast något eller några av följande tre motiv med i bilden:
1) Tillgång till egna kraftverk (NKlJ)
2) Tung trafik (GDG)
3) Förortstrafik (Djursholmsbanan)

Eldriftens ekonomi och kapacitet

Eldriften gav järnvägen fördelar i form av låga rörliga kostnader och stor prestationsförmåga jämfört med andra driftformer. Det gjorde att eldriften på hårt trafikerade bandelar samtidigt kunde sänka driftkostnaderna och höja kapaciteten på befintliga spår. Samtidigt förorsakade kontaktledningsanordningar och omformarstationer stora fasta kostnader. De elektriska loken har också i allmänhet varit dyrare i inköp än lok för andra driftformer.

När det gäller eldriftens betydelse för järnvägarnas transport-

förmåga kan man referera till Thorsten Thelander, som på 1940-talet var chef för järnvägsstyrelsens elektrotekniska byrå. När han lade fram uppgifter om eldriftens utveckling under andra världskriget konstaterade han[18] att

> eldriften förutan skulle följaktligen den under åren 1939–1943 förekommande trafiken icke ens tillnärmelsevis ha kunnat upprätthållas. Statsbaneelektrifieringens främsta betydelse under ifrågavarande period ligger därför icke i den högst betydande avkastning, som den kan påvisas ha medfört, utan i det förhållandet, att den räddat landet från en transportkris med de allvarligaste återverkningar på många områden.

För järnvägsstyrelsen fanns det således både ekonomiska och trafiktekniska skäl att satsa på elektrifiering. För att en sådan skulle komma till stånd hade åtminstone i princip riksdagen ytterst att ta ställning till om pengar skulle anslås. Två motiv tycks särskilt ha gjort intryck på riksdagens ledamöter. För det första var det önskvärt att minska beroendet av utländskt stenkol och tidvis ganska fluktuerande stenkolspriser. För det andra sågs utnyttjandet av vattenfallens energi som en nationell angelägenhet.

När det gällde att minska beroendet av utländskt stenkol måste konstateras att järnvägarna trots allt svarade för en mindre del av importen. Å andra sidan måste man räkna med att den stenkol som användes i ångloken utnyttjades mindre effektivt än den som förbrändes i större stationära anläggningar. En viss kvantitet elektrisk energi skulle därmed ersätta en större mängd stenkol om den användes för järnvägsdrift än för åtskilliga andra ändamål.

Sett från resenärernas synpunkt innebar övergången från ångdrift till eldrift framför allt att restiderna ofta kunde kortas ned. Ett annat plus var förstås att man slapp sot och rök från ångloken.

Sammanfattning

Vid sekelskiftet fanns i Sverige Djursholmsbanan som den enda egentliga järnvägen med elektrisk drift. Just vid denna tid började dock frågan om elektrifiering av järnvägarna på allvar engagera järnvägsstyrelsen och andra intressenter. Efter en hel del utredningar i kombination med praktiska prov i delvis ganska stor skala, utvecklades ett system som i sina huvuddrag består än i dag. I sina detaljer har det utvecklats och vidareutvecklats i Sverige, men de grundläggande elementen är hämtade från i första hand Tyskland och USA.

Denna korta redogörelse har helt ägnats åt elektrisk bandrift. Detta får inte dölja att de svenska järnvägarna, liksom samhället i stort, påverkades starkt av elektroteknikens framgångar även på andra sätt. Det gäller t ex telefontekniken, signaltekniken, belysning och nya elektriska maskiner för verkstäderna.

Tabell 1. Elektrifierad banlängd i Sverige, kilometer

+	Under året utförd elektrifiering
Σ+	Summa vid årets slut utförd elektrifiering
−	Under året nedlagd elektrifiering
Σ−	Summa vid årets slut nedlagd elektrifiering
Σ+ − Σ−	Elektrifiering i bruk vid årets slut (summa dittills utförd elektrifiering minus summa dittills nedlagd elektrifiering)

År	+	Σ+	−	Σ−	Σ+ − Σ−
1895	11	11			11
1896		11			11
1897		11			11
1898		11			11
1899		11			11
1900		11			11
1901	1	12			12
1902		12			12
1903		12			12
1904		12			12
1905	2	14			14
1906		14			14
1907		14			14
1908	8	22			22
1909		22			22
1910	2	24			24
1911	1	25			25
1912	1	26			26
1913	18	44			44
1914		44			44
1915	129	173			173
1916	66	239			239
1917		239			239
1918		239			239
1919		239			239
1920	100	339			339
1921	217	556			556
1922	157	713			713
1923	31	744			744
1924		744			744
1925		744			744
1926	465	1209			1209
1927		1209			1209
1928	2	1211			1211
1929		1211			1211

År	+	Σ+	−	Σ−	Σ+ − Σ−
1930		1211			1211
1931		1211			1211
1932	375	1586			1586
1933	490	2076			2076
1934	366	2442	1	1	2441
1935	295	2737		1	2736
1936	512	3249		1	3248
1937	480	3729		1	3728
1938		3729		1	3728
1939	582	4311	17	18	4293
1940	160	4471		18	4453
1941	336	4807		18	4789
1942	275	5082		18	5064
1943	169	5251		18	5233
1944	122	5373		18	5355
1945	168	5541		18	5523
1946	160	5701		18	5683
1947	164	5865		18	5847
1948	75	5940		18	5922
1949	270	6210		18	6192
1950	127	6337		18	6319
1951	9	6346	5	23	6323
1952		6346		23	6323
1953	218	6564		23	6541
1954	71	6635		23	6612
1955	369	7004		23	6981
1956	219	7223	72	95	7128
1957	68	7291	6	101	7190
1958	116	7407		101	7306
1959	69	7476		101	7375
1960		7476	1	102	7374
1961		7476		102	7374
1962	208	7684		102	7582
1963		7684	10	112	7572
1964	39	7723	19	131	7592

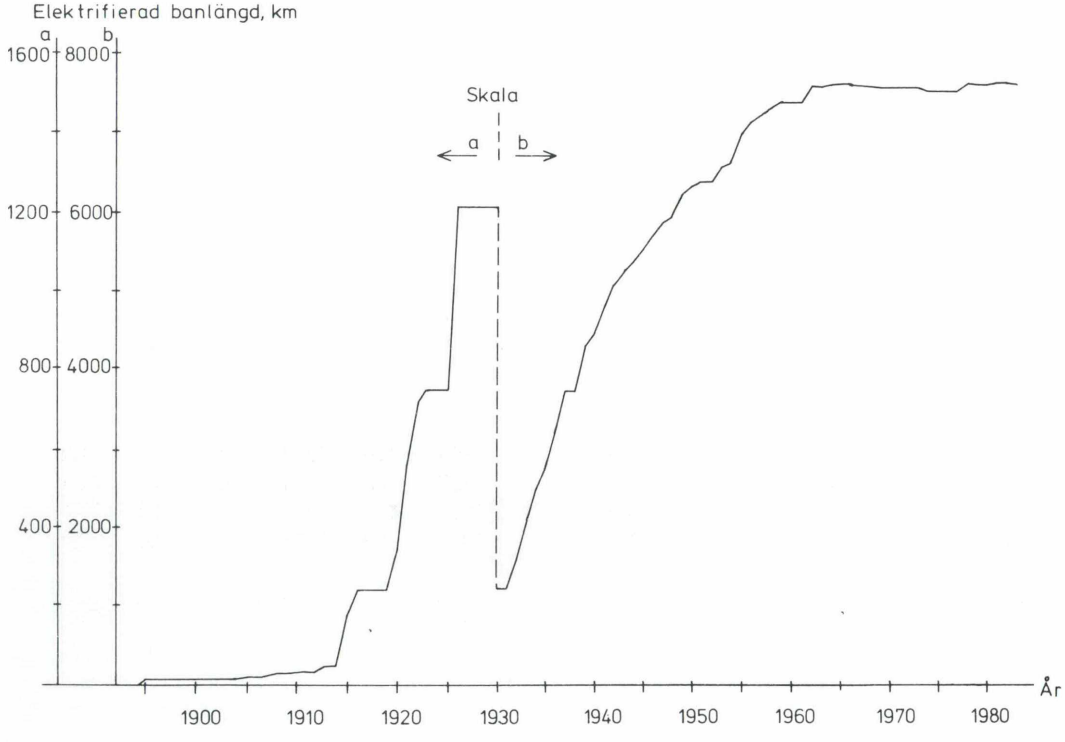
Forts Tabell 1.

År	+	Σ+	−	Σ−	Σ+ − Σ−
1965		7723		131	7592
1966		7723	1	132	7591
1967		7723	8	140	7583
1968		7723	7	147	7576
1969		7723	21	168	7555
1970		7723		168	7555
1971		7723		168	7555
1972		7723		168	7555
1973		7723	3	171	7552
1974		7723	47	218	7505
1975		7723	4	222	7501
1976		7723		222	7501
1977		7723		222	7501
1978	104	7827		222	7605
1979		7827	8	230	7597
1980		7827		230	7597
1981	31	7858	14	244	7614
1982		7858		244	7614
1983*		7858	30	274	7584

* T o m 1983-07.

Källa: Kjell Nordling, *Järnvägsdata*. Motala 1983, framför allt bilaga 2:1, 243–245.
(Förändringsuppgiften för 1983 bygger dock på notis i tidskriften *Tåg*, 5 (1983), 22 angående nedläggning av bandelen Deje–Karlstad)

Figur 1. Elektrifierad banlängd i Sverige, grafisk presentation av tabell 1.



Noter

1. Transformatorn kunde möjligen utelämnas, men vanligen eftersträvades högre kontaktledningsspänning än vad som lämpligen kunde mata motorerna.
2. Som exempel kan följande tre artiklar nämnas: Sign d n, "Om elektriske jernbaner", *Teknisk Tidskrift*, 6–7 (1884), 129.
   Robert Dahlander, "Några ord om de elektriska järnvägarna i Tyskland", *Teknisk Tidskrift*, 3 (1892), 87 ff samt 4 (1892), 137 ff.
   "Om elektriska banor och deras utveckling" ur en till Kommerskollegium inlämnad reseberättelse, *Teknisk Tidskrift Allmänna afdelningen*, 39 (1900), 269 ff samt 40 (1900), 277 ff.
3. Sign J W, "Den elektriska järnbanan vid Boxholm", *Teknisk Tidskrift*, 8 (1890), 238 ff.
4. Notiser i *Teknisk Tidskrift*, 4 (1885), 84, 5 (1885), 103 samt 6 (1885), 134.
5. Generaldirektör Nordströms skrivelse till regeringen (kommunikationsministern) 1899-06-23.
6. Svante Arrhenius, *Berättelse öfver en jemlikt Kongl Maj:ts nådiga bref den 18 maj 1900 på uppdrag af vattenfallskommittén under sommaren år 1900 företagen utrikes studieresa* (Meddelanden från Kongl Jordbruksdepartementet, n:o 1, år 1901). Stockholm 1901.
7. Robert Dahlander, "Elektrisk drift å Statens Järnvägar, preliminär utredning", *Teknisk Tidskrift Allmänna afdelningen*, 2 (1903), 9 ff, 3 (1903), 17 ff samt 4 (1903), 25 ff.
8. Se t ex inlägg av M Beckman vid förhandlingarna vid allmänna svenska elektroteknikermötet i Stockholm den 9 till 11 september 1903 refererat i *Teknisk Tidskrift afdelningen för mekanik och elektroteknik*, 9 (1905), 205.
9. I sin reseberättelse säger Arrhenius på s 20 "att om elektrisk jernvägsdrift skall ifrågasättas, detta endast kan ske, såvida trafiken kan någorlunda jemnt fördelas, så att jernvägsdriften ungefärligen motsvarar kontinuerlig drift". På s 21 och 22 framför han vidare att "den väsentliga skillnaden mellan lokomotivets och den elektriska kraftens användande såsom driftmedel består deri, att den förra fordrar stora tunga tåg för att rätt göra sig gällande, medan den senare gynnar sönderdelningen af tågen i småtåg, bestående af en eller några få vagnar."
10. Varaktighetskurvorna finns återgivna i *Statens Järnvägar 1906–1931, Minnesskrift i anledning av de svenska statsbanornas 75-åriga tillvaro med Kungl Maj:ts nådiga bemyndigande utgiven av Kungl Järnvägsstyrelsen, band II*. Stockholm 1931, 778–779.
11. Westinghouse-bolaget hade träffat överenskommelse med järnvägen Baltimore–Annapolis om dess elektrifiering med enfas och kommutatormotorer. Då järnvägsbolaget råkade i finansiella svårigheter slutfördes inte projektet. Första järnvägselektrifiering med denna motortyp (något modifierad) blev i stället Niederschöneweide–Spindlersfeld invid Berlin 1903 med utrustning från Union-Elektricitätsgesellschaft i Berlin.
12. Robert Dahlander, *Försöken med elektrisk järnvägsdrift utförda å Statens Järnvägar åren 1905–1907*. Stockholm 1908.
13. Redan 1919 hade förslagets huvudsakliga innehåll offentliggjorts genom ett föredrag av Ivan Öfverholm vid Svenska Teknologföreningens årsmöte 1919-03-21. Det publicerades också i Teknisk Tidskrift:
    Ivan Öfverholm, "Elektrifieringen av Sveriges statsbanor", *Teknisk Tidskrift Veckoupplagan*, 15 (1919), 201 ff samt 17 (1919), 230 ff.
14. 1920 års järnvägselektrifieringskommittés betänkande daterat 1923-01-31 och 1920 års svagströmskommittés betänkande daterat 1922-12-30 har inte utgivits i tryckt form. Innehållet återges dock i huvudsak i en publikation från ingenjörsvetenskapsakademin:
    Frågan om järnvägarnas elektrifiering (IVA Meddelanden nr 31 år 1923). Stockholm 1923.
15. C Wijkborn och J Körner, "Enfasbanan Klockrike–Borensberg", *Teknisk Tidskrift afdelningen för elektroteknik*, 10 (1908), 99 ff.
16. René Sjöstrand, "Nordmark–Klarälvens Järnvägar – landets största bruksbana", *Tåg*, 4 (1971), 3 ff.
17. Julius Körner, *Kraftfrågan vid elektrifiering av mellersta Sveriges enskilda järnvägar* (Svenska Vattenkraftföreningens publikationer nr 169). Stockholm 1925.
18. Thorsten Thelander, *Statsbaneelektrifieringens betydelse under krisåren 1939–1943*. Stockholm 1947.

Övriga källor

Utöver särskilt angivna publikationer bygger texten i första hand på arkivhandlingar från Statens Järnvägar och enskilda järnvägar, samt artiklar i Teknisk Tidskrift. När det gäller mer sammanfattande beskrivningar av järnvägselektrifieringens tekniska och ekonomiska förutsättningar kan också hänvisas till följande litteratur:

Robert Dahlander, "Utredningar och försök rörande införande af elektrisk drifkraft", i *Statens Järnvägar 1856–1906, band III.* Stockholm 1906, 353–375.

Ivan Öfverholm, "Elektrifiering och elektrisk drift", i *Statens Järnvägar 1906–1931, band II.* Stockholm 1931, 727–783.

Thorsten Thelander, "Statsbanornas elektrifiering", i *Sveriges järnvägar hundra år.* Stockholm 1956, 351–460.

Svensk statsbaneelektrifiering år 1942 utgiven av Kungl Järnvägsstyrelsen. Stockholm 1942.

Göran Rönn, *Elektrifieringen av svenska järnvägar* (TRITA-HOT-2001). Stockholm 1978.

Summary

The electrification of the Swedish railways

Electric operation of railways proper was introduced in Sweden in 1895 on a suburban line, the Djursholm line (11 km). Before then electric railway operation had been introduced in 1890 on an internal industrial track. The first electric railway in Sweden, however, dates from 1885—a temporary exhibition line. DC drive was used on all of these lines, with steam-operated generator stations.

The question of electric railway operation on a larger scale arose when it was being considered how the country's waterfalls should be used for generating electricity. The matter was brought up in investigations in 1899–1903 commissioned by the government and the State Railways Board. These were followed by practical trials in 1905–1907 just outside Stockholm.

A primary interest in that period was to find a practicable AC system, as DC electrification was not economical for railway operation over large distances. The investigations and trials led to a choice of system for the first electrification project on the State Railways, the Kiruna–Riksgränsen line (129 km) which, with its heavy iron-ore traffic, was electrified in 1910–1915. The system chosen was low-frequency single-phase current (15 Hz, 15 kV), with special low-frequency generators in a new hydroelectric power station and with single-phase commutator traction motor. The project was carried out in cooperation between German and Swedish electrical engineering firms.

In most respects this electrification was a success, but the interference on communication lines proved to be an unpleasant problem. That problem, as also the question whether the power supply should in future come from separate low-frequency generators or from the public three-phase network, had to be solved before new electrification could be undertaken. Commissions of inquiry presented proposals in 1923 which established the fundamental features that still apply today in Swedish electric railway operation:

1) The energy is taken from the public three-phase network (50 Hz).
2) Conversion to lower frequency (16⅔ Hz) is done in converter stations before delivery to the single-phase overhead line.
3) A separate return conductor with booster transformers is used to counteract interference on communication lines.

On these principles systematic electrification of the railways was immediately started and continued up to the fifties. Unlike the first electrification project, foreign suppliers now played a comparatively insignificant role. The result has been that about half of the railway network is now electrified. Electrification has increased the railways' capacity and cut down running costs. The still unelectrified half of the railway network, which accounts for only about one tenth of the traffic, would appear to carry altogether too small a volume to justify the high fixed costs of electrification. The electrified network is therefore likely to remain essentially on the level illustrated in fig. 1, showing the development of the electrified railway network in Sweden.

Göran Rönn is a graduate engineer in the electrical engineering branch. He has earlier studied the electrification of the Swedish railways, with special emphasis on what decided the choice between different systems. His conclusions were published in 1978 in the series "Stockholm papers in History of Technology" (TRITA-HOT-2001).