

Energiöverföringen Hällsjön–Grängesberg

*Världens första kommersiella
trefasöverföring*

Av Nils Göte Håkansson

Den 18 december 1893 invigdes världens första kommersiella 3-fas överföring. En försöks- och demonstrationsöverföring Lauffen–Frankfurt hade några år tidigare tagits i drift. Överföringen mellan Hällsjön och Grängesberg i Västerbergslagen i södra Dalarna var ca 13 km lång. Den överförde 200 hk 3-fas elektrisk energi vid 9 500 V för kraft och 100 hk vid 5 000 V för belysning. Teknikerna bakom detta verk var ingenjörerna Jonas Wenström och Ernst Danielsson.

*Jonas
Wenström*

Jonas Wenström föddes den 4 augusti 1855 i Hällefors. Efter studier i Örebro och Stockholm avlade han studentexamen vid Karolinska Läroverket i Örebro år 1875. Därefter studerade han matematik och naturvetenskapliga ämnen i Oslo. Där avlade han med mycket goda vitsord den 14 juni 1879 examen Philosophicum i astronomi, engelska, filosofi, fysik, kemi och matematik. Under studietiden sysslade han med tekniska problem som glödlampan,



1. Jonas Wenström (1855–1893). Foto TM.

gyrokompassen, tröskverk, mjölkseparatören, elektriska strykjärn, dynamomaskiner och mycket annat. Det berättas om en experimentmaskin, som han drivit från en spinnrock.

Sommaren 1881 besökte han en elektrisk utställning i Paris och på hemvägen tog han anställning hos maskinfirman Möhring i Frankfurt am Main. Där stannade han tre månader. Efter hemkomsten konstruerade han en dynamo på sin faders ingenjörskontor i Örebro. Den tillverkades på en liten verkstad vid en kvarn i Örebro och provades i februari år 1882. Patent beviljades i november 1882. Detta köptes av grosshandlare Ludvig Fredholm för 20 000 kronor samt 10 % av försäljningssumman av försålda maskiner. Detta blev utgångsläget för Elektriska Aktiebolaget i Stockholm, sedermera ASEA och ABB.

Jonas Wenström var i december år 1893 ute på en resa i Bergslagen. Från Falun skulle han resa till Grängesberg och se anläggningen Hällsjön–Grängesberg men han blev sjuk och åkte direkt till Västerås, där han avled den 21 december 1893.

*Ernst
Danielsson*

Ernst Danielsson föddes år 1866. Han avlade studentexamen i Uppsala år 1883 och blev därefter elev vid det nybildade Elektriska Aktiebolaget i Stockholm med verkstad i Arboga, efter 1890 ASEA. Under åren 1884–1887 genomgick han Kungl Tekn Högskolan och anställdes därefter hos AB Tannia i Norrköping för att utföra experiment med elektrisk garvning. Han kom dock snart tillbaka till Elektriska Aktiebolaget i Stockholm och var assistentingenjör 1888–1890. Därefter begav han sig till Amerika, där han först fick anställning hos The Wenström Consolidated Dynamo and Motor Co, som innehades av en äldre bror, Olov, till Jonas och Georg Wenström. Firman blev senare Thomson & Houston



2. Ernst Danielsson (1866–1907). Foto TM.

Electric Co. Här fick han mycket förmånliga erbjudanden, om han ville binda sig för en längre tid men han ville återvända till Sverige år 1892. Först gjorde han en studieresa till England och kontinenten och sedan tog han anställning som chefskonstruktör vid ASEA, där han arbetade med trefaspatentet. Han lyckades snart omsätta Jonas Wenströms idéer till praktisk användbarhet. Det betecknas som hans förtjänst, att trefasöverföringen vid Hällsjön-Grängesberg och trefasdriften vid valsverken i Boxholm och Hofors kunde genomföras med lyckat resultat.

När dessa pionjäränläggningar blivit färdiga, bosatte sig Ernst Danielsson i Stockholm och blev konsult. Han gjorde därvid ett avtal med doktor Gustav de Laval men förblev konsult vid ASEA i vissa frågor. År 1900 anställdes Ernst Danielsson vid ASEA. Nu blev han bolagets tekniske direktör och innehade denna befattning i ca fem år. Han uppfann autosynkronmotorn. En motor, som startar asynkront, men som vid drift får synkronmotorernas egenskaper. Vidare uppfann han tandem-motorn, som är en kombination av två asynkronmotorer, som möjliggör viss hastighetsreglering. Han skrev även en avhandling om trefasmotorn, för vilken han fick Polhemspriset år 1895. Vidare blev han på grund av sin uppmärksammade ingenjörsvetenskapliga verksamhet invald som ledamot av Vetenskapsakademien år 1906. Han avled år 1907.

Pionjärer var inte endast Jonas Wenström och Ernst Danielsson utan många flera. Här skall blott nämnas grosshandlare Ludvig Fredholm, som den 17 januari 1883 bildade Elektriska Aktiebolaget i Stockholm och som blev bolagets förste direktör fram till sin död år 1891. Georg Wenström började vid den elektriska provbelysningen i Stockholm den 5 september 1881 och blev verkställande direktör år 1891. Arvid Lindström började vid fabriken i Arboga, blev sedan chefskonstruktör och professor vid Kungl Tekn Högskolan samt rådgivare åt ASEA. Listan skulle kunna göras mycket lång.

Trefas-systemet

En detaljerad beräkning av en trefasgenerator finns bevarad i en av Jonas Wenströms anteckningsböcker. Den tillverkades också. Hans ansökan om trefaspatent inlämnades i England 1889.11.14 och beviljades 1890.04.09. Det svenska patentet nr 3093 offentliggjordes 1890.01.20 och beviljades 1891.07.04. Patentbeskrivningen lyder: "Denna uppfinning afser ett trippelsystem, der tre skilda vaxelströmmar af samma vaxeltal och styrka, men med fasar, som äro en tredjedels våglängd skilda från hvarandra, frambringas, fortledas, omsättas och tillgodogöras af de särskilda apparater, som systemet omfattar."

Den första trefastransformatorn var färdigkonstruerad i april 1890 och den första trefasmotorn och trefasgeneratorn i maj

samma år. Därmed var huvudelementen generator, transformator och motor i ett fullständigt trefasssystem färdigkonstruerade. På våren 1891 var elementen tillverkade och provade men proven slog inte väl ut, varför projektet blev vilande under cirka ett år. Då kom Ernst Danielsson tillbaka efter en tvåårig vistelse i Amerika och han lyckades rätt snart lösa problemen. Den 8 oktober 1892 offererades utrustningen för Hällsjön-Grängesberg och den 18 december 1893 skedde invigningen.

*Energiöver-
föring innan
trefasssystemet
fanns*

Hällsjön och Grängesberg är två samhällen belägna i södra Dalarna, närmare bestämt i sydvästra delen av Norrbärke kommun i Västerbergslagen. Där hade sedan medeltiden bergsbruk och järntillverkning bedrivits. Kraft har behövts för att uppfordra malmen från gruvorna, för att läns pumpa vattensjuka gruvor och för att driva bälgarna för blästerluft vid hyttorna. Hand- och hästvindar användes fram till 1778. Då byggdes det första stora vattenhjulet med stånggångar, som också kallades konst. Det byggdes av de stora bruksägarna i Gravendal, Fredriksberg, Hällsjön och Malungsbo. Detta ledde till att kanaler för vatten togs upp, att dammar började byggas och att vattenregleringar blev aktuella för att kunna utnyttja vattenkraften i hela området.

3. Dagbrottet "Skärningen" i Grängesberg, belyst med båg lampor matade från en likströmgenerator, som drevs av en lokomobil. Oljemålning av A Jungstedt för Stockholmsutställningen 1897. Foto förf.



Grängesbergs Stora Konstbolag bildades år 1846 av gruvägarna. Nu byggdes två stora vattenhjul och kanaler togs upp. Mindre konstgångar köptes upp, den sista år 1875. Den svåra vattenbristen i mitten av 1800-talet medförde att anläggningarna byggdes ut ännu mera. I mitten av 1800-talet fanns sålunda sju vattenhjul, ett tiotal vattendammar med över en miljon kubikmeter vatten, ca 45 km kanaler för tillopp, ca 7 km stånggångar och som reserv en stor ångmaskin på 35 hk, kallad "Stora maskinen". En enskild gruvägare gjorde på 1850-talet ett försök med vindkraft men det misslyckades helt.

Belysningsanläggning installerades 1891–92 i ett dagbrott för att möjliggöra gruvbrytning även när det var mörkt. Det var en vedeldad lokomobil, som drev en likströmgenerator för 120 V, 32 A, levererad av Nyhammars Bruk. För belysningen användes bågglampor, som inköptes från Tyskland. För att de inte skulle skadas vid sprängningarna i brottet, firades de ned i tomma dynamitlådor när laddningarna antändes. Se fig 3.

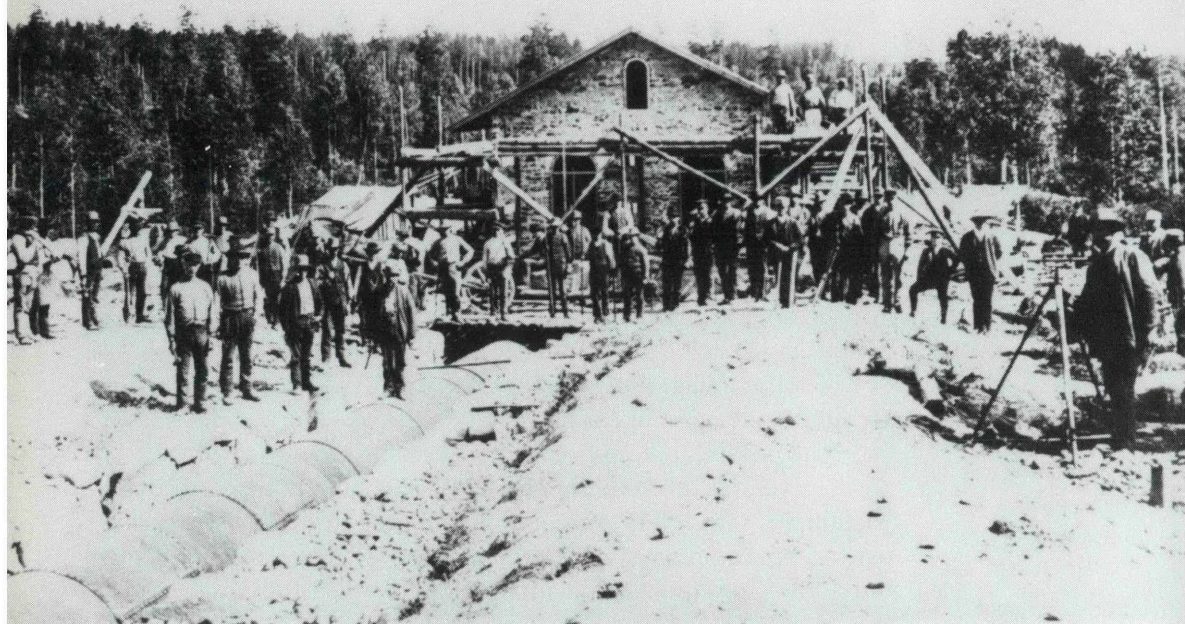
Trefas-systemet gör entré

Hällsjö kraftstation med 3-fas energiöverföring till Grängesberg offererades av ASEA första gången i december 1891 och andra gången den 8 oktober 1892. Då inlämnade även firman Luth & Rosén offert men var mycket dyrare än ASEA. De slutliga förhandlingarna fördes hösten 1892 och den 5 januari 1893 undertecknades kontraktet, varvid ASEA åtog sig att uppföra ett kraftverk vid Hällsjön med två 100 hk generatorer för kraft och en 100 hk generator för belysning samt en 100 hk generator som reserv för ljus- eller kraftgeneratorerna.

Elektriciteten för kraft skulle upptransformeras till 9 500 V, 3-fas växelspanning och överföras till motorstationerna, där den skulle nedtransformeras till motorernas märkspanning. Totalt skulle fem motorer med en sammanlagd effekt av 145 hk levereras. Växelspanningen för belysning skulle upptransformeras till 5 000 V och överföras till åtta transformatorer för nedtransformering till 2 x 110 V. Kontraktsumman var 70 000 kronor, som fördelade sig på de olika anläggningsdelarna enligt tabell 1.

Tabell 1. Kontrakterad anläggningskostnad

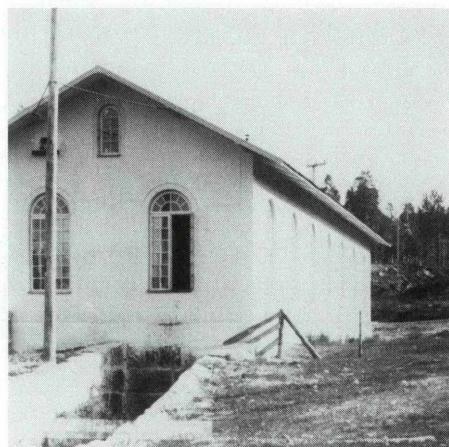
<i>Anläggningsdel</i>	<i>Kronor</i>
Kraftstationen vid Hällsjön med generatorer och transformatorer	25 500
Kraftledning för kraft och belysning	9 625
Motorer och transformatorer vid Björnberget	4 950
Motorer och transformatorer vid Grängesberg	15 900
Huvudledning och transformatorer för belysningen	10 755
Telefoner, telefonledningar och diverse oförutsett	3 270
Summa	70 000



4. Kraftstationen i Hällsjön under byggnad våren 1893 med hela arbetsstyrkan, bestående av murare med hantlangare, timmermän, byggnadsnickare och andra. I förgrunden syns avloppstunneln och längst till höger syns tillloppstunneln. Foto Länsarkivet i Hälsberg.

Kontraktet undertecknades av brukspatron P M Carlberg, Edwin Grönwall och August Sundin för Grängesbergbolaget och av G Wenström för ASEA. (PM Carlberg och Edwin Grönwall var år 1900 med om att starta Elektriska Aktiebolaget Magnet i Ludvika.)

Karmansbo ägde marken och vattenrätten, som först arrende-



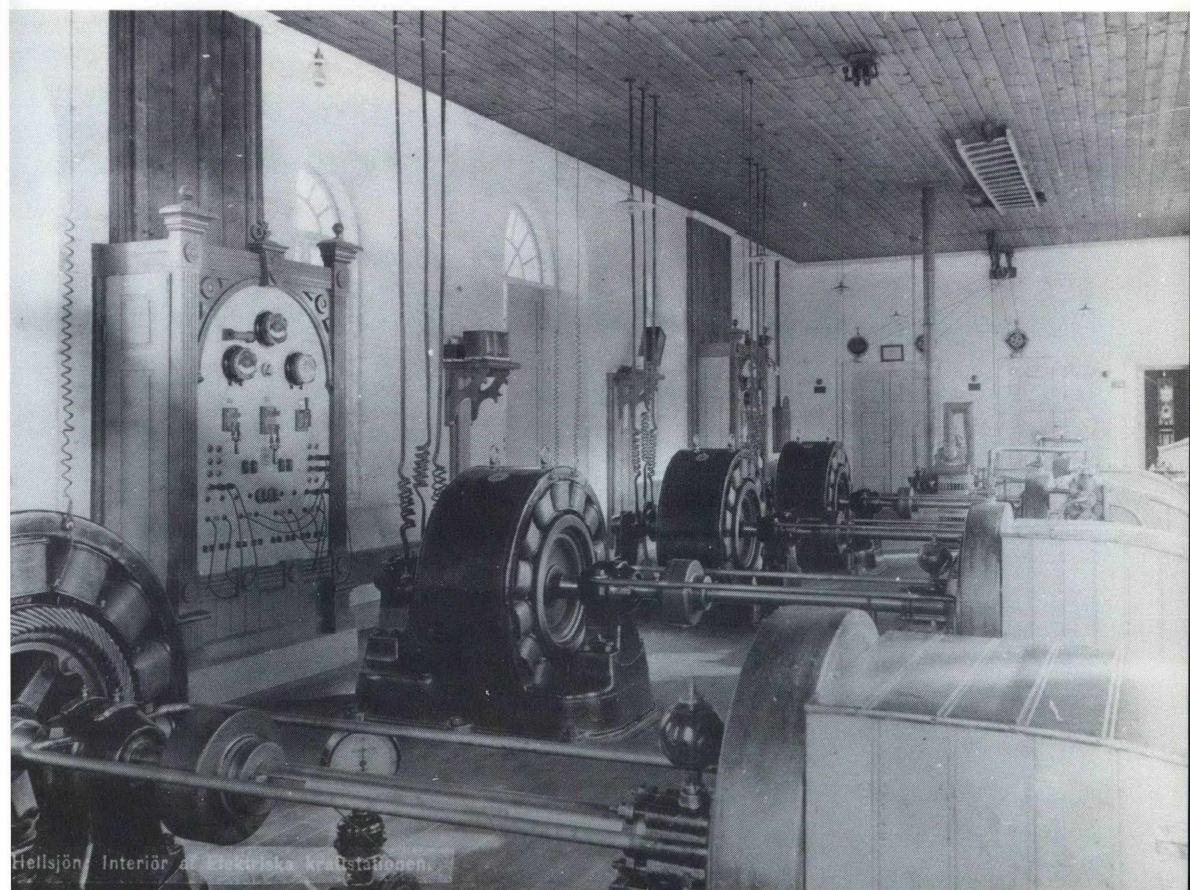
5. Exteriör av Hällsjöns kraftstation 1893. Det var en rappad tegelbyggnad med vackra, rundbågade fönster. På platsen hade tidigare legat en masugn tillhörig Karmansbo Bruks AB. Foto Albin Andersson, Dalarnas museum.

rades men sedan köptes, när kraftstationen byggdes ut 1897.

Byggnaden utfördes i tegel i ett plan. Det var ett stort företag och en stor arbetsstyrka med många olika yrkeskategorier var i verksamhet (fig 4). Byggnaden försågs med vackert rundbågade fönster (fig 5). Maskinhallen inrymdes i byggnadens norra del. Fig 6 visar en interiör. Intill kraftstationen byggdes en liten villa för stationens maskinister.

Qvist & Gjers Vattenbyggnadskonstruktionerna vid Hällsjön uppdrogs åt den välkända ingenjörbyrån Qvist & Gjers i Arboga. Genom reglering av några småsjöar kunde en fallhöjd på 45 m erhållas och en vattenmängd, som under normalår beräknades kunna lämna 300–400 hk. Hela nederbördsområdet uppskattades till ca 60 kvadratkilometer. En ca 500 m lång trätub förde vattnet från Vasselhyttesjön till kraftstationens turbiner, varifrån det rann vidare till Snösjön och Haggen.

6. Interiör av Hällsjöns kraftstation 1893. I förgrunden t v syns generatoren för belysning och därintill generatoren för reserv och generatorerna för kraft. Vid väggen t v syns två kontrolltavlor och vid bortre väggen t h om dörren syns en kamin för rumsuppvärmning. Foto Albin Andersson. Dalarernas museum.



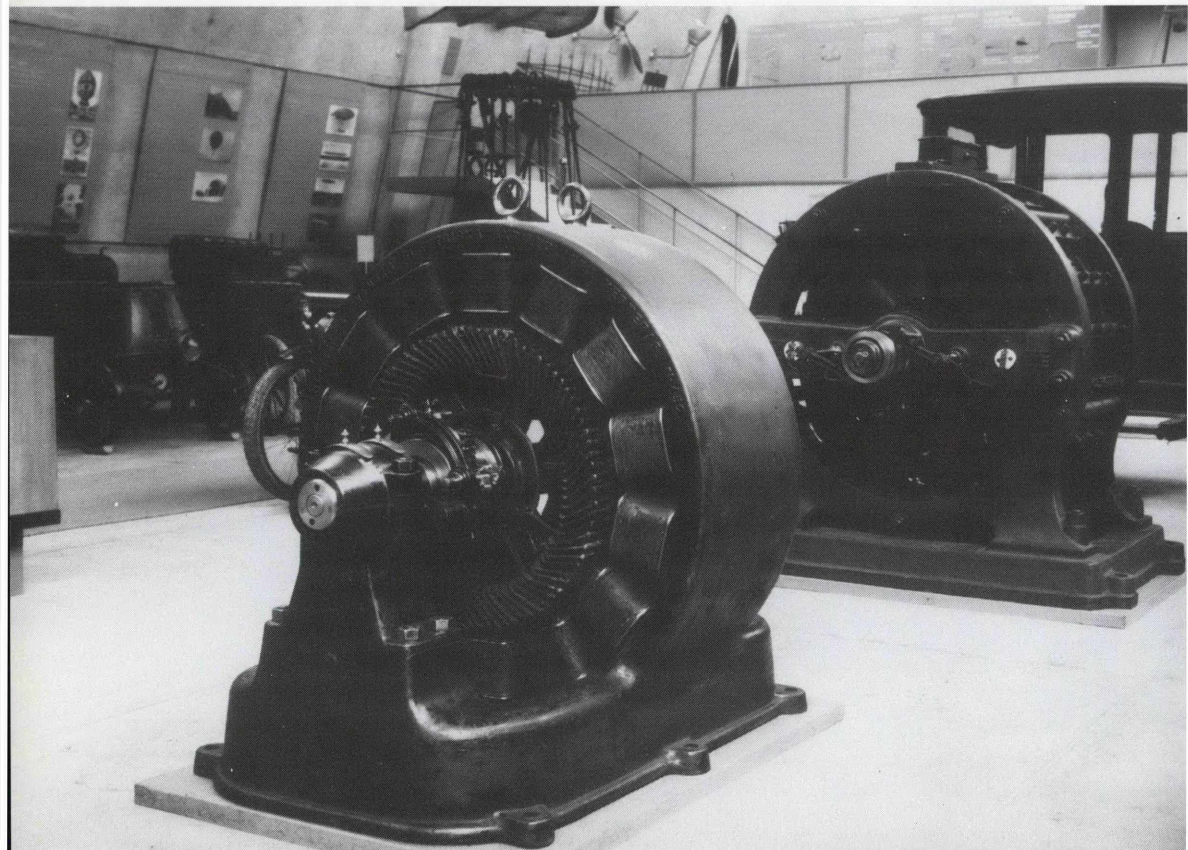
Hällsjön Interiör av elektriska kraftstationen.

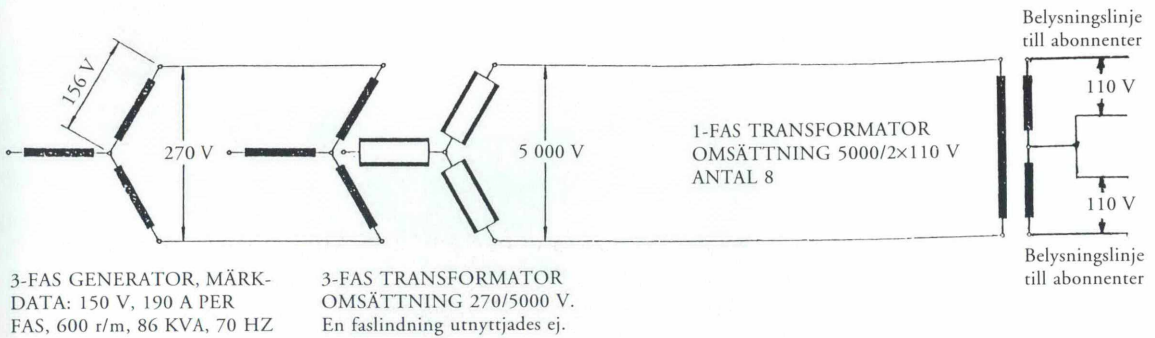
Turbinerna I kraftstationen installerades fyra turbiner. En för varje generator. Det var sugturbiner av Qvist & Gjers spiraltyp för normalt 100 hk vardera men som i praktiken visat sig kunna prestera betydligt mera. Vidare installerades en mindre turbin om 20 hk för de två likströmgeneratorer, som var avsedda att mata växelströmgeneratorernas fältlindningar.

Turbinerna för 100 hk hade varvtalet 600 r/m och var direkt förbundna med generatorerna medelst s k kuggmuffar, vilka kunde överföra kraften utan nämnvärda förluster, även om en liten brytning mellan axlarna fanns. Kraften från 20 hk-turbinen överfördes till magnetiseringsgeneratorerna med remtransmissioner, som samtidigt växlade upp varvtalet. Varje generator var från början 3,3 kW men de byttes ut mot större vid idriftsättningen.

Generatorerna Generatorerna för kraft var för 600 r/m, 150 V, 190 A per fas, 70 Hz, 100 hk, 86 kVA och hade 14 poler. Varje generator vägde ca 3 ton. Vid tomgång fordrades ca 7 A magnetiseringsström och vid fullast ca 11 A för att hålla växelspanningen vid normalt värde.

7. En av de fyra trefasgeneratorer, som levererades till Hällsjöns kraftstation 1893 finns nu i Tekniska Museet. Märkdata: 150 V, 190 A per fas, 100 hk, 86 kVA, 14 poler, 600 r/m och 70 Hz, typ VA. Foto TM.





8. Principschema för belysningsystemet i anläggningen Hällsjön-Grängsberg ritat enligt uppgifter av Danielsson (1894).

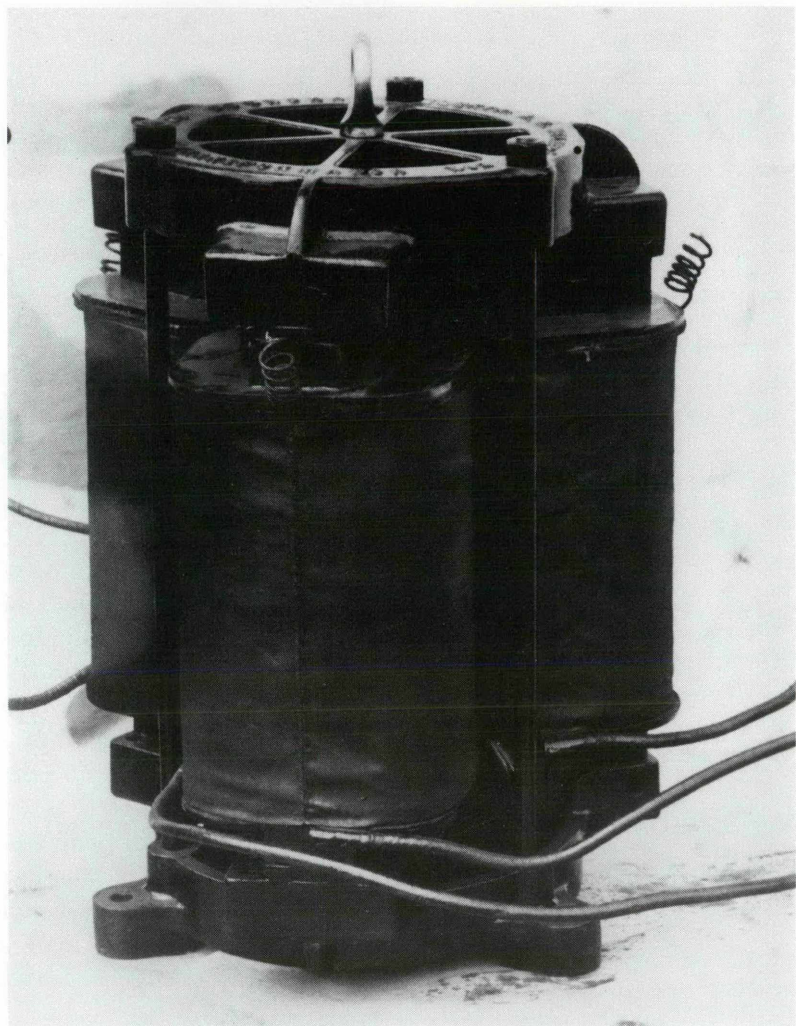
Kortslöts en maskin vid normal fältmatning och fullt varvtal, steg strömstyrkan till ungefär dubbelt normalt värde. Generatorerna hade fältlindningen i statorn och trefaslindningen i rotorerna järnkärna så att växelströmmen togs ut via tre släpningar (fig 7).

Generatorerna för belysning och reserv var exakt lika generatorerna för kraft men för belysningsgeneratorn belastades inte en av faslindningarna medan de två övriga matade belysningstransformatorn med en huvudspänning = 260 V (se fig 8). I juli 1895 beslöt styrelsen att överföra belysningsgeneratorn till kraftproduktionen eftersom den var trefasig och lämpligare för kraften samt beställa en ny generator, som var mera lämplig för belysningen. Här avses tydligen en 1-fas generator. Vidare var man redan våren 1894 betänkt på att använda reservgeneratorn för kraftproduktion.

Transformatorerna

Transformatorerna för upptransformering av växelspänningen var alla lika. Två var för kraft och hade två lindningar på högspänningssidan kopplade i serie, vilket gav 9 500 V huvudspänning. Transformatorn för belysning hade de två lindningarna på högspänningssidan kopplade parallellt, vilket gav 4 750 V men genom att övermagnetisera belysningsgeneratorn något erhöles 5 000 V, som utlovats. En primär- och en sekundärfas på transformatorn för belysning utnyttjades ej (se fig 8).

Transformatorerna var helt symmetriska både elektriskt och magnetiskt (se fig 9). De var från början självkylda men försågs med en kylfläkt, som via säkringar matades med 3x15 V växelspanning från en tertiärlindning, som anbringades nedtill på transformatorernas ben. Detta gav dock ej tillräcklig kyleffekt för transformatorerna för kraft, varför en tredje krattransformator levererades. Transformatorerna monterades i brandsäkra rum (fig 10).

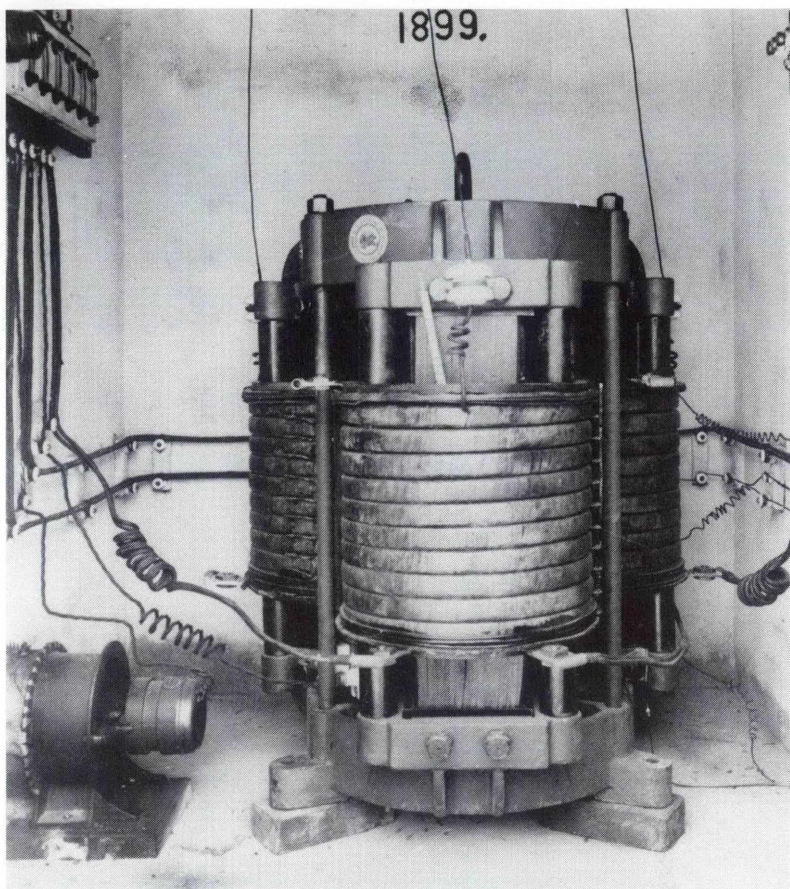


9. En av de tre trefastransformatorer, som levererades till Hällsjön 1893 med namnet "Trippelkonverter". Transformatorerna för kraft hade högspänningssidans två lindningar seriekopplade och omsättningen 260/9 500 V men transformatorn för belysning hade lindningarna parallellkopplade och omsättningen 260/4 750 V. Foto Asea Brown Boveri AB.

Instrumenteringen

Instrumenteringen bestod av två lika stora marmortavlor, infällda i vackert ornamenterade ekramar, en för de båda kraftgeneratorerna och reservgeneratören samt en för belysningsgeneratören och de båda fältmatarna.

Instrumenttavlan för reserv- och kraftgeneratorerna hade överst tre vackra lampor för infasning, som tillika var belysning för tavlan, tre ampèremetrar för generatorströmmarna, en voltmeter med

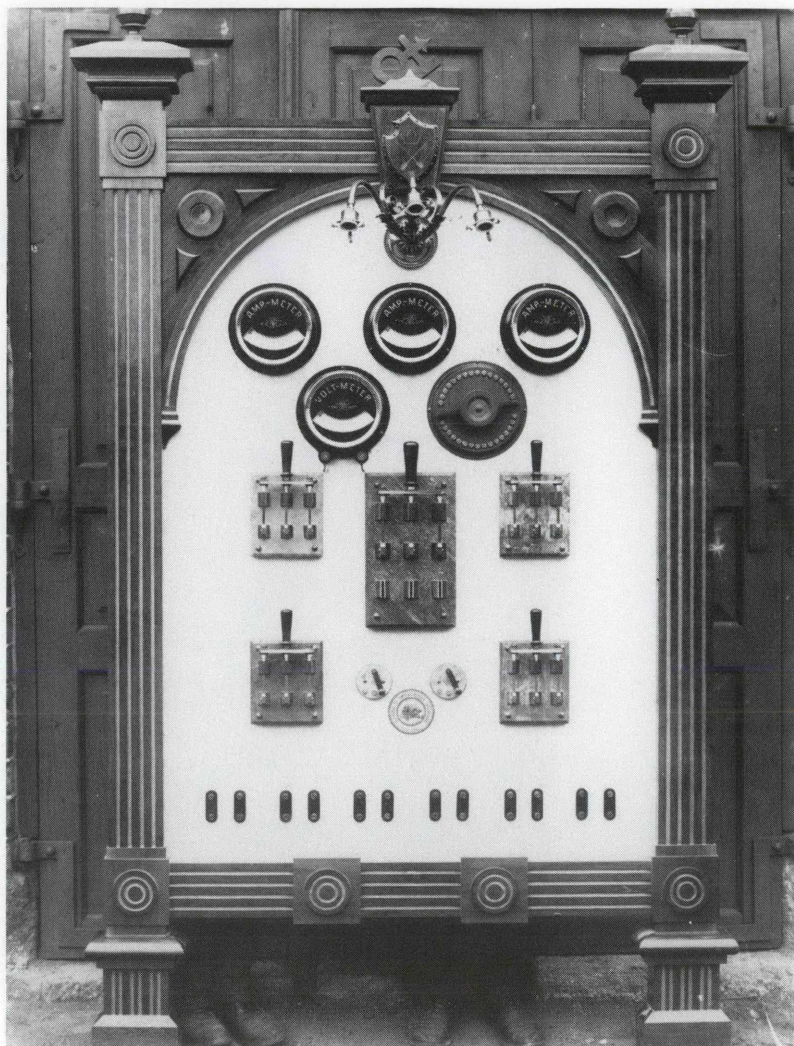


10. Trefastransformator, ursprungligen kallad "trippelkonverter", i brand-säkert rum med tertiärlindning för matning av kylfläkten, liknande arrangemanget vid Hällsjöns kraftstation. Foto Asea Brown Boveri AB.

omkopplare, så att alla faserna på alla maskinerna kunde kopplas in och mätas, en 2-vägs, 3-polig knivströmställare med vilken reservgeneratoren kunde kopplas för belysning eller kraft, två 1-vägs, 3-poliga knivströmställare för kraftgeneratorerna och två för transformatorerna samt smältsäkringar (fig 11).

Instrumenttavlan för belysningsgeneratoren och generatorerna för magnetisering hade ampèremeter för belysningsgeneratoren, två voltmeterar för magnetiseringsgeneratorerna, en 1-vägs 2-polig knivströmställare för belysningsgeneratoren och två för generatorerna för magnetisering samt pluggkontakter, så att generatorerna för magnetisering kunde kopplas till vilken generator som helst (se fig 12).

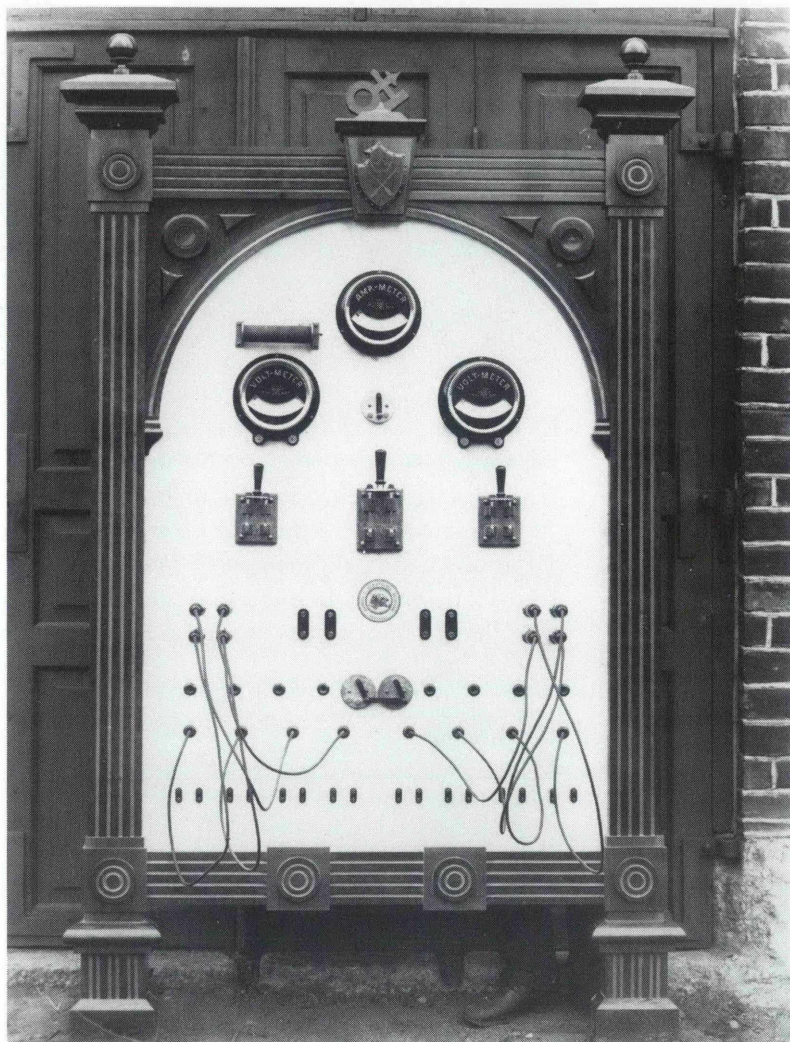
För kontroll av den genererade effekten fanns två registrerade



11. Instrumenttavla för reserv- och kraftgeneratoren. Överst fasningslampor, som även är tavelbelysning. Därunder ampèremetrar samt en voltmeter med mångpolig omkopplare, fyra 1-vägs och en 2-vägs knivströmställare och längst ned smältsäkringar. Foto Asea Brown Boveri AB.

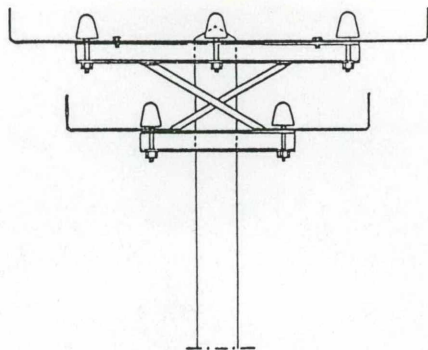
wattmetrar från firman Richard Frères i Paris. En var inkopplad på kraftsystemet och en på belysningssystemet. De var inte inmonterade på instrumenttavlor utan på annan plats i stationen.

Regulator för att hålla växelspanningen konstant vid olika belastningar fanns ej från början. Vid invigningen var Arvid Lindström, sedermera professor vid KTH, i stationen för att reglera



12. Instrumenttavla för belysnings- och magnetiseringsgeneratorerna. Överst finns ampère- och voltmeter, två 1-vägs knivströmställare, en 2-vägs knivströmställare, fyra pluggswitchar för inkoppling av fältmatarna till vilken generator som helst och nederst smältsäkringar. Foto Asea Brown Boveri AB.

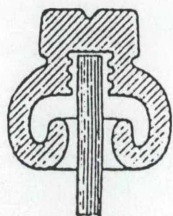
spänningen för belysningen. På våren 1894 fanns emellertid en automatisk regulator, levererad av firman Ganz & Co. Den var kompenserad för spänningsfallet i upptransformatorn i Hällsjön och förlusterna i luftlinjen, så att den höll växelspanningen konstant i Grängesberg och därför inskränkte sig spänningsvariationerna för belysningen till spänningsfallet i nedtransformatorerna och i kopparledarna i 2×110 V treledarsystemet.



13. Skiss av kraftledningsarrangemang, uppgjord 1943 av ingenjör Gösta Jönsson med ledning av muntliga uppgifter. Fasavståndet torde ha varit ca 700 mm och den övre regeln uppbar tre 4 mm koppartrådar för kraft och den undre två 3 mm koppartrådar för belysning.

Kraftlinjen

Kraftlinjen bestod av tre hård dragna koppartrådar för kraften och två för belysningen (fig 13). De uppbars av porslinsisolatorer med en invändig oljering för att förbättra isolationshållfastheten (fig 14). Isolatorerna var fästade på trästolpar, som var mellan 8 och 10 m höga. De stod med ca 45 m avstånd vid rak linje. Avståndet från Hällsjön till de olika kraftförbrukningsplatserna och de där installerade motorernas storlek framgår av tabell 2.



14. Sektion av oljeisolator. Den nedre rännan fylldes med olja.

Tabell 2. Kraftförbrukningsplatserna

Förbrukningsplats	Motor hk	Avstånd från Hällsjön km
Björnberget	30	8 550
Laxbäcken	30	11 655
Mekaniska Verkstaden	9	12 150
Stora Ångmaskinen	45	12 155
Lomberget	30	13 720

Alla stationerna låg ordnade efter varandra utom Mekaniska Verkstaden, för vilken en avgrening på 160 m gjorts. Kraft- och belysningsledningar följdes åt 13,72 km till Lomberget men därefter fortsatte belysningsledningen ytterligare några kilometer. I slutskedet utbyggdes belysningsledningen ytterligare. Diametern på koppartrådarna var 4 mm från Hällsjön till Björnberget men därefter 3 mm liksom för hela belysningsledningen.

År 1889 eller 1890 hade disp Granström i firman Wenström & Granströms Elektriska Kraftbolag, efter 1890 ASEA, hos Kungl Maj:t anhållit om att från Månsbo i Dalälven få draga en ca 17 km lång 10 kV kraftlinje till Norbergs gruvfält. Detta ledde till en förordning att kraftledningen skulle förläggas i kablar i jordade järnrör i jorden där ledningen korsade allmän landsväg eller järnväg. Kablarna var provade med 9 000 V växelspanning och förde ca 5 500 V mot jord men höll inte. Tillstånd erhöles då för att låta trådarna gå i luften men på alla sidor omgivna av ett jordat skyddsnät.

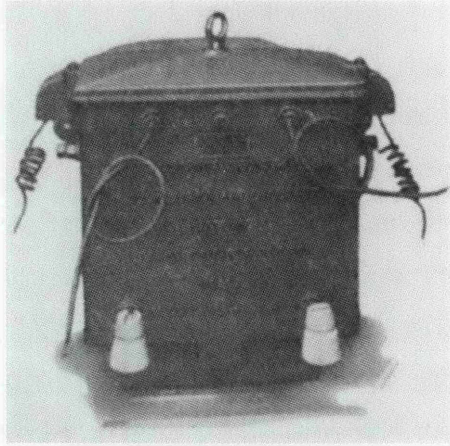


15. De tre transformatorcellerna är nu förrådsutrymmen men varningsmärkena för elektricitet på dörrarna har fått bli kvar som minne från den första kraftöverföringen med trefas växelspanning. Foto Henry Eriksson, Ludvika, 1978.

För att ingiva tillbörlig respekt för linjen var alla stolpar försedda med en varningsskylt, som uppvisade en döds-skalle med två korslagda benknotor, målade i svart på vit botten (fig 15).

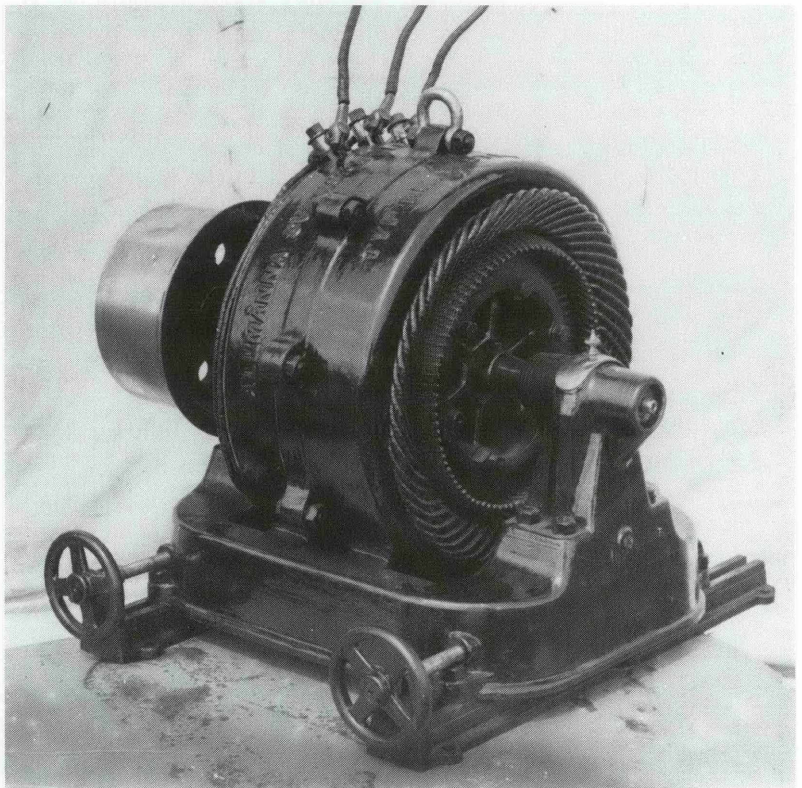
Belysningsanläggningen

Belysningsanläggningen bestod som tidigare nämnts av en 3-fas generator och en 3-fas transformator i vilka en fas inte var ansluten och vidare var transformatorn kopplad så att sekundärt 5 000 V erhöles (se fig 8). Luftlinjen matade från början åtta 1-fas nedtransformatorer. Två var för 10 kW, två för 6,7 kW och fyra för 4,5 kW. De var gjutjärnskapslade och hade omsättningen 5 000/2 x 110 V (fig 16). Belysningsnätet var alltså ett treledarnät med 220 V mellan de yttre ledarna och 110 V till de jordade mittedarna. Lamporna inkopplades på 110 V. Från början uppsattes 20 båg-lampor och ca 300 glödlampor. Båg-lamporna inkopplades tre i serie på 110 V. Där endast en båg-lampa måste uppsättas, seriekopplades den med ett induktivt motstånd. Glödlamporna inkopplades direkt på 110 V. Antalet lampor ökade snabbt. I ett pro-



16. Enfastransformator typ E 2 i gjutjärnskapling för utomhusmontage. Foto Asea Brown Boveri AB.

tokoll, där slutuppgörelsen behandlas, framgår att ännu fler belysningstransformatorer levererats och att längre ledningar dragits. Detta blev en diskussionspunkt vid uppgörelsen.



17. Trefasmotor typ RK för 15 hk, 950 r/m, levererad till Grängesberg 1893. Foto Asea Brown Boveri AB.

Motorstationerna var utrustade med en 3-fas nedtransformator, en mindre instrumenttavla med en 3-polig knivströmställare för transformatorn, tre smältsäkringar och en 3-polig knivströmställare för motorn. Den startades direkt utan förkopplingsmotstånd. Sedan den kommit upp i full hastighet, inkopplades belastningen med en friktionskoppling. Motorerna, fig 17, har data enligt tabell 3.

Tabell 3. Huvuddata för trefasmotorerna

Motorstorlek hk	Varvtal r/m	Fasspänning, V	Magnetiseringsström ampère	Vikt kg	Fullastström, A
9	1 000	50	42	291	66
30	670	70	75	905	146
45	670	85	70	1 260	178

Tabell 4. Huvuddata för trefastransformatorerna för kraft

Trefas transf. kW	Magn ström i förhållande till normal ström %	Järnförl. i %	Effekt vid full belastning %	Vikt i kg
8	6,0	2,1	95,5	320
27	4,0	1,9	96,2	750
40	2,5	1,92	96,0	1 050
62	2,6	1,4	96,9	2 300

Verkningsgraden

Mätning av verkningsgraden företogs mellan 31 maj och 2 juni 1894, då anläggningen varit i drift några månader. Två representanter var med från Stockholm, två från Västerås och två från Grängesberg. Verkningsgraden var kontrakterad till 70 % och de båda magnetiseringsgeneratorerna på vardera 3,3 kW skulle inte medtagas vid mätningen. I kontraktet angavs ej vilka motorer som skulle vara med men motorerna vid Laxbäcken, Spelet vid Stora Maskinen, Konsten vid Stora Maskinen och motorn vid Lomberget togs med. Med dessa motorer som belastning erhöles maximala förluster i kraftledningen. Prov utfördes vid två tillfällen. Det första provet pågick i 1½ timme och det andra i 1¼ timme. Resultatet framgår av tabell 5.

Tabell 5. Beräknad verkningsgrad för anläggningen

	serie 1.	serie 2.
Utmatad effekt från två turbiner vid Hellstjön	199,96 hk	200,26 hk
Utbromsad effekt på motorn vid Laxbäcken	30,24 "	30,33 "
Utbromsad effekt vid spelet vid Stora Maskinen	39,42 "	39,91 "
Utbromsad effekt vid konsten vid Stora Maskinen	38,69 "	38,24 "
Utbromsad effekt vid motorn vid Lomberget	31,43 "	31,20 "
Summa överförd effekt	139,78 "	139,68 "
Beräknad verkningsgrad	69,89 %	69,75 %

Mätnoggrannheten uppskattades till ca 1 %, varför värdena utan minsta tvekan ansågs kunna avrundas till 70 %, som föreskrevs i kontraktet.

Effektfaktorn beräknades av instrumentutslagen under proven. Effekten var 52 000 W i en fasledning, matad från två generatorer, som lämnade vardera 205 A fasström. Fasspänningen var 174 V och effektfaktorn alltså $= 52\ 000 / 2 \times 205 \times 174 = 0,73$.

Laddningsströmmen för linjen, dvs linjens ström på grund av linornas kapacitans mot jord mättes på kraftlinjen i tomgång med varierande växelspanning, som erhöles genom att variera generatorernas spänning. Innan provet isolationsprovades linorna och isolationen mot jord visade sig vara oändlig. Resultatet framgår av diagram 1, som även visar jämförelse med beräknade värden enligt lord Kelvins formel.

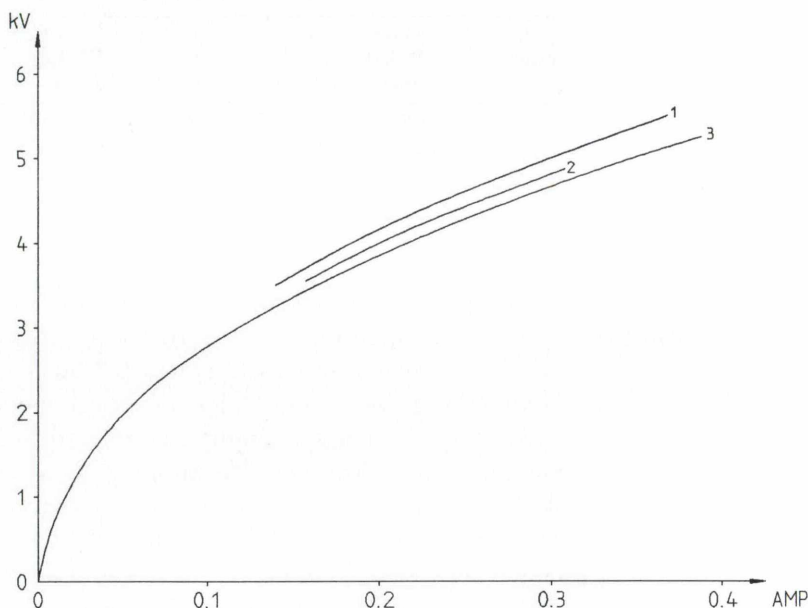


Diagram 1. Laddningsströmmen för kraftlinjen Hällsjön-Grängesberg. 1. Uppmätt laddningsström för en ytterfas. 2. Uppmätt laddningsström för mittfasen. 3. Beräknad laddningsström enligt Kelvin.

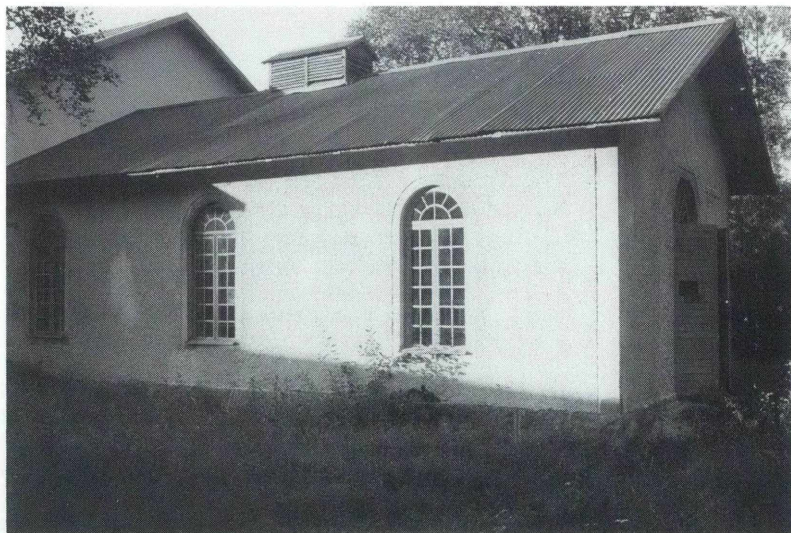
Invigningen

Invigningen av den nya kraftstationen ägde rum den 18 december 1893. Det var en stor dag i Grängesbergs historia. Man hade samlats i det nyligen uppförda gruvkontoret, som med anledning av dagens betydelse vackert dekorerats. Ett välförsett matbord hade ställts i ordning för inbjudna gäster, representanter för ASEA, ingenjörer och tjänstemän, som varit engagerade i projektet, samt

Grängesbergsbolagets egna tjänstemän. Många tal hölls för den nya tekniken och över projektets genomförande. Maten intogs med neddragna rullgardiner och i skenet av elektriskt ljus. Allt gick bra till desserten, då det helt plötsligt blev mörkt. Ett överslag med åtföljande kortslutning hade inträffat i en jordkabel vid en vägkorsning.

Falu Län- och Stads Tidning skrev den 19 december 1893 om invigningen i hänförda ordalag. De skrev att två landshövdingar var närvarande. En åkte dit med ordinarie tåg men en med extratåg. Ca 50 personer var inbjudna och utsmyckningen och oljemålningarnas vackra utseende i det elektriska ljuset lovprisades.

Slutuppgörelse ägde rum under sommaren och hösten. Av ett protokoll förstår man att ASEA debiterat den tredje krafttransformatorn, de extra levererade belysningstransformatorerna, de större maskinerna för magnetisering och annat på Grängesbergsbolaget. Hur stor sluträkningen blev har inte kunnat fastställas men av protokollet framgår att Grängesbergsbolaget inte alls var villiga att betala för några extra leveranser och de hävdar dessutom böter för sen leverans med 200 kronor i veckan från den 1 september 1893 till slutet av januari 1894. Slutligen godkändes att ASEA lämnade en rabatt på 10 858 kronor och två öre på den översända sluträkningen.



18. Exteriör av Hällsjöns kraftstation 1978. Foto förf.

Minnesbilder Berättelser om Hällsjön finns det många. Jonas Wenström var sjuk och sängliggande när anläggningen bit för bit provades och sattes igång. När man kommit så långt att man börjat provköra, meddelades detta till Jonas Wenströms hem och då tändes ett ljus på hans nattduksbord och detta fick brinna så länge provdriften pågick. Av drftjournalen framgår att det måste tändas och släckas många gånger. Under invigningen låg han sjuk i lunginflammation och dog några dagar efter invigningen. Han fick tyvärr inte uppleva den succé 3-fassystemet gjorde.

Ingenjör E K Petersson var först montageingenjör och sedan driftingenjör. Han hade på sitt nattduksbord en elektrisk lampa och en telefon. Sloknade lampan, vaknade han ofelbart och ringde till stationen och vid behov klädde han sig och åkte dit för att klara av problemet så snart som möjligt och få igång stationen snabbt efter avbrottet. Han lär ha blivit så invand, att han även som pensionär var tvungen att ha en elektrisk lampa att lysa på nattduksbordet för att kunna sova lugnt.

Källor och litteratur

- Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget, Westerås 1883–1908. Stockholm 1908.
 Althin, Torsten, Kraftöverföringen Hellsjön–Grängesberg år 1893 i samtida beskrivningar. Daedalus (1940).
 ASEA:s egen tidning 15 (1923) : 4–9.
 ASEA:s Historia 1883–1948. Västerås 1955–1957. Del I.
 Danielsson, Ernst, Elektrisk arbetsöverföring och belysningsanläggning Hellsjön Grängesberg. Teknisk Tidskrift 24 (1894): Mekanik och Elektroteknik.
 Danielsson, Ernst, Några mätningar, utförda på den elektriska arbetsöverföringen Hellsjön–Grängesberg. Teknisk Tidskrift 24 (1894): Mekanik och Elektroteknik.
 Elektrisk högtensionledning Hellsjön–Grängesberg. Teknisk Tidskrift 23 (1893): Mekanik och elektroteknik.
 Från Wenström till Amtrak. Profiler och händelser ur ASEA:s historia. Västerås 1983.
 Glete, Jan, ASEA under 100 år. Västerås 1983.
 Hedberg, Nils, Konst, spel och järnvägar i det gamla Grängesberg. Med Hammare och Fackla, VII (1936).
 Hjulström, Filip, Sveriges elektrifiering. Uppsala 1940.
 Håkansson, Harald, Elektrotekniska data intill sekelskiftet 1900. Dædalus (1938).
 Larsson, Algot, Grängesbergs-krönika. Grängesberg 1967.
 Lindström, Arvid, Några minnen från min första ASEA-tid. ERA (1939).
 Lindström, Arvid, Referat av anförande. Teknisk Tidskrift 72 (1942): Elektronik
 Lindström, Arvid, Trefasssystemet. Anteckningar från elektroteknikens barndom i Sverige. Föredrag hållet i Sancte Görans Gille den 12 december 1929.
 Styrelseprotokoll från Grängesbergs Konst- och Jernvägsaktiebolag för 1890-talet. Svenska Vattenkraftföreningens publikation 362 (1943): 12.
 Svensson, Helge, Jonas Wenströmsutställningen 1933. Dædalus (1934).
 Wenström, Jonas, Elektriciteten i gruvhanterings tjänst. Teoretisk översikt. G A Granström. Tillämpningar. Jernkontorets Annaler 75 (1892): 4.
 Wijkander, E A, Föredrag i Tekniska samfundet den 18 december 1893. Om den elektriska arbetsöverföringen vid Grängesberg. Industrin (1894): 2.
 Åberg, Alf, Från skvaltkvarn till storkraftverk. Stockholm 1962.
 Åkerman, Johan, Allmänna svenska elektriska aktiebolaget. Ett elektriskt halvsekel. Västerås 1933.

Energy transmission Hällsjön–Grängesberg, 1893

Summary

On 18 December 1993, it will be a hundred years since the world's first 3-phase, commercial alternating current system began operating. The men behind the project were Jonas Wenström and Ernst Danielsson.

Two firms submitted tenders for the installation at Hällsjön. After negotiations in the autumn of 1892, the contract for the delivery of a power station at Hällsjön was signed on 5 January 1893. Its 300 hp for power and lighting purposes was to be supplied to Grängesberg for the running of 5 electric motors of between 9 and 45 hp and for the provision of illumination in the form of some 20 arc and 300 filament lights.

The power station was built with four identical generators, two for power, one for lighting and one reserve generator for lighting or power. Each generator was for 100 hp, 86 KVA, 150 V and 190 A per phase, 600 rpm, 3-phase and 70 Hz. The lighting generator did not make use of one phase. In addition two transformers which stepped up the current for power to 3×9 500 V were installed. There was also a similar transformer for lighting which yielded 50 000 V. The station was controlled from two marble control panels, equipped with instruments and a switch.

At each motor station, the current was stepped down and supplied to the motor via fuses and a switch. The motors were operated with direct start, running idle and the load was engaged via a friction clutch. The distance to the five motor stations was between 8.5 and 13.2 km. In the case of the lighting, the current was stepped down to 2×110 V to a so-called 3 wire system and eight transformer stations were built at various places.

Two county governors were invited to the inauguration. One travelled there on a special train and the other with an ordinary one. Some 50 guests were invited, the station was inspected and a very fine meal was consumed. There were many enthusiastic speeches about the new technology and its future potential. The Gränges company got cheap power, Asea got a fine installation and several large orders along with licence fees on the 3-phase system.