

OVER HET OVERBRENGEN VAN KRACHT

DOOR MIDDEL VAN DEN

ELECTRISCHEN STROOM

DOOR

Dr. E. VAN DER VEN.

II

Van het overbrengen van mechanisch arbeidsvermogen door middel van den elektrischen stroom zijn in de laatste jaren vele gevallen bekend geworden. Maar in de meeste dezer gevallen is of de afstand waarop die overbrenging plaats had, klein, of de hoeveelheid, die werd overgebracht gering; terwijl wij daarenboven omtrent zeer weinige beschikken kunnen over betrouwbare metingen van de waarden, die omtrent de meer of min kostbare wijze der overbrenging het oordeel moeten bepalen.

Inderdaad zijn wij, wat dit laatste betreft, geheel verwezen naar den uitslag der proefnemingen van den franschen ingenieur, den heer MARCEL DEPREZ. Is dus aan de eene zijde het beschikbaar materiaal beperkt, daar staat tegenover dat de heer DEPREZ — naast dr. FROELICH, den wetenschappelijken adviseur der firma SIEMENS en HALSKE te Berlijn — de man kan genoemd worden, die, met eene volharding, een zaak van dit gewicht waardig, de uitkomsten der theorie gedurende een reeks van jaren aan die der praktijk heeft getoetst. Waarbij dan nog komt dat wij, niet het minst ten gevolge van de inmenging der Parijsche Academie, omtrent de voornaamste dezer proef-

nemingen gegevens bezitten, die zeker den toets der onpartijdigheid glansrijk kunnen doorstaan.

De eerste dezer proefnemingen kan echter slechts in zooverre van belang worden geacht, dat zij de voorloopster was der beide anderen, dat zij daartoe als het ware den stoot gaf. *Nauwkeurige* metingen werden daarbij weinig gedaan, deels doordien men zich daarop niet had voorbereid op de wijze die een ernstig, wetenschappelijk onderzoek eischt, deels doordien het onklaar worden van een der machines tijdens de proefnemingen het aantal eenigszins betrouwbare waarnemingen tot één beperkte. Het kwam er toen dan ook voornamelijk slechts op aan om aan te toonen, wat de theorie leerde, dat men langs een gewonen telegraafdaad op verre afstand een belangrijke hoeveelheid arbeidsvermogen door den stroom kon verzenden, zonder dat daarbij de electricische spanningsverschillen — als ik hier deze uitdrukking mag gebruiken — tot eene hoogte werden opgedreven, die het afvloeien der electriciteit langs de palen tot een bron van al te groot verlies maakte. Neemt men het woord in de goede beteekenis, dan droeg deze proefneming min of meer de kenmerken eener *reclame*.

In het najaar van 1882 zou te München een electriche tentoonstelling worden gehouden. Van hetgeen daar op het gebied der »overbrenging van kracht" zou worden aan het licht gebracht, stelde de *Augsburgsche Zeitung* in den zomer van dat jaar het volgende in het vooruitzicht. »De fransche ingenieur MARCEL DEPREZ, zoo algemeen bekend door zijne onderzoekingen betreffende de verdeeling van en het overbrengen van kracht door electriciteit, heeft verklaard dat hij bereid is langs een gewonen telegraafdraad kracht over te brengen van Augsburg naar München. De afstand dezer twee steden bedraagt vierenzestig kilometers. Een landbouwwerktuig in het tentoonstellingspaleis zal in beweging worden gebracht door een machine te Augsburg. Deze proef, die aldus voor het eerst op praktische wijze zal worden genomen, moet in de hoogste mate de algemeene belangstelling wekken."

Toch was op die tentoonstelling niet een landbouwwerktuig, van Augsburg uit door electriciteit bewogen, de *great attraction*, maar een 2,5 meter hoge waterval, gevoed door een centrifugaalpomp, wier motor te Miessbach stond en daar zelf door een stoommachine werd bewogen. Daar Miessbach op een afstand van 57 kilometers of ruim 10 uren gaans van München ligt en van grondleiding geen gebruik werd gemaakt, was de telegraafdraad, die een middellijn had van 4,5 millimeter, 114 kilometers lang. Dat men te München een centri-

fugaalpomp liet werken in plaats van eenig ander werktuig zal wel zijn reden daarin gehad hebben, dat met de halve paardekracht, die werd overgebracht, op deze wijze het meest zichtbaar effect kon worden verkregen.

Reeds dadelijk na de opening der tentoonstelling vernam men, als glanspunt van de proefneming, dat het »economisch rendement'', dat is de verhouding tusschen het naar München overgebracht en te Miessbach ontwikkeld *electric* arbeidsvermogen, 60 percent bedroeg. Wij weten wat wij van deze gunstige verhouding te denken hebben; was de absolute waarde van hetgeen men moest overbrengen nog kleiner geweest dan een halve paardekracht, was de weerstand op de as der machine te München nog zwakker geweest dan die door de centrifugaalpomp geboden, dan zou de verhouding nog gunstiger zijn uitgevallen. En dat, gelijk in 't voorbijgaan wordt gemeld, indien er een weerstand werd bijgevoegd gelijk aan dien van 80 à 100 kilometers telegraafdraad, de werking nog volkomen dezelfde was, kan, volgens hetgeen wij vroeger verklaarden, alleen daardoor zijn verkregen, dat de electromotorische kracht te Miessbach tot $\sqrt{\frac{114 + 100}{114}} = 1.37$

maal haar vroeger bedrag werd opgevoerd, dat men aldaar de machine dus ongeveer 1.4 maal het vroegere aantal omwentelingen per minuut liet maken. Normaal werkende deed zij in dien tijd reeds 2000 toeren per minuut, zoodat men, na bijvoeging van dien weerstand, dit aantal tot ongeveer 2800 toeren zou hebben moeten opvoeren!

De omstandigheid in aanmerking nemende, dat deze berichten zonder onderscheid kwamen van eene zijde, wier belang rechtstreeks bij het welslagen der proefneming was betrokken, zag men met enig ongeduld uit naar het verslag der Electrotechnische Commissie, met het onderzoek van alle op de tentoonstelling genomen proeven officieel belast. Dit liet echter lang op zich wachten; het verscheen eerst in Januari van het volgend jaar.

Daaruit bleek in de eerste plaats dat de uitwendige weerstand 950 ohms had bedragen en dat die van elk der beide, volkomen identieke, machines gelijk was aan 453 ohms. Deze identiteit had men trouwens reeds daaruit kunnen opmaken, dat de heer DEPREZ in zijne voorloopige mededeelingen het »rendement'' $\frac{E_2}{E_1}$ op 60 pct. had gesteld, omdat de snelheden der beide machines zich verhielden als 1200 : 2000. En wij weten dat alleen dan beide verhoudingen met elkander mogen

verwisseld worden, wanneer de beide machines van volkomen gelijke constructie zijn. Toen echter de Commissie op den 9den October 1882 haar eerste onderzoek instelde, had de machine te Miessbach reeds gedurende een week die te München gedreven; ook schijnt men in dien tijd, volgens mededeelingen van den heer DEPREZ, te München op onvoorzichtige wijze te zijn omgegaan met het sluiten en verbreken van den stroom, waarvan het gevolg was geweest dat het isolement der windingen van den ring had geleden. Te Miessbach, waar men op het herstellen van dit gebrek niet voldoende was ingericht, had men het kwaad zoo goed als het kon verholpen. Maar, hoe dit zij, de Commissie kon slechts ééne proef nemen, waarbij de snelheid zich niet hooger dan tot 1600 omwentelingen liet opvoeren; toen zij den 10den October de snelheid op 2000 omwentelingen wilde brengen, ging een van de bezems — stroomverzamelaars — los en werd door dit ongeval de machine geheel vernield.

Ons oordeel omtrent de resultaten van deze poging, om op grooten afstand arbeidsvermogen over te brengen, heeft dus alleen het onderzoek op den 9den October ingesteld tot grondslag; en wij zullen de eersten zijn om te erkennen, dat deze grondslag voor het vormen van een oordeel onvoldoende is. Toch willen wij mededeelen, welke er de uitkomsten van waren.

Terwijl de machine te Miessbach 1611 omwentelingen in de minuut volbracht, liep die te München met eene snelheid van 752 toeren. Indien men uit de verhouding dezer snelheden dat der electromotorische krachten afleidt, komt men tot een »rendement" van ongeveer 47 pct. Maar men mat te München ook het spanningsverschil aan de electroden der machine en de stroomsterkte en bevond dat het eerste 850 volts, de tweede 0.52 ampères bedroeg. Telt men bij genoemd spanningsverschil het product $RI = 950 \times 0.52 = 494$ op, hetwelk de kracht voorstelt, die bij het overbrengen van den stroom door den telegraafdraad te loor ging of liever, wier arbeidsvermogen daarbij in warmte werd omgezet, dan komt men tot een bedrag van 1344 volts voor het spanningsverschil aan de electroden der machine te Miessbach. Om uit dit verschil de elektromotorische kracht van den door die machine ontwikkelden stroom afte leiden, moet dit nog worden vermeerderd met het product 453×0.52 , hetwelk de kracht voorstelt wier arbeidsvermogen in hare windingen in warmte werd omgezet. Wij vinden dan ongeveer: $E_1 = 1580$ volts. Om daarentegen uit het te München waargenomen spanningsverschil de electromoto-

rische kracht van den aldaar ontwikkelden tegenstroom afte leiden, moet het met ditzelfde product worden verminderd. Want de inwendige weerstanden van beide machines zijn gelijk en de stroomsterkte is in de geheele geleiding dezelfde; maar het spanningsverschil dat den stroom door hare windingen drijft en daarin in warmte wordt omgezet, bestond reeds toen de machine begon te draaien. Wij vinden op deze wijze: $E_2 = 850 - 235 = 615$ volts. Uit deze beide electromotorische krachten afgeleid, bedraagt het »rendement" slechts $\frac{1580}{615}$ of ongeveer 39 pet. Dit vrij aanzienlijk verschil tusschen de op beide wijzen berekende waarden kan alleen daarin zijn oorsprong hebben, dat, na de herstellingen, die de eene machine had ondergaan, beiden niet meer identiek waren.

Wat de absolute waarde van het overgebracht electrisch arbeidsvermogen betreft, volgt uit deze berekening dat het $615 \times 0.50 = 320$ volt-ampères bedroeg. Had men de verhouding $\frac{E_2}{E_1}$ opgedreven tot de waarde $\frac{1}{2}$, die, naar wij weten, bij de gegeven waarde van E_1 met het maximum van dit vermogen overeenkomt, dan had men de stroomsterkte — uit $I = \frac{E_1 - E_2}{R} = \frac{1580 - 790}{950 + 2 \times 453}$ — tot op 0,42 ampères moeten verminderen; daardoor zou de absolute waarde van het overgebracht electrisch arbeidsvermogen $E_2 I$ tot $790 \times 0.42 = 332$ volt-ampères zijn gestegen.

Dynamometrische metingen heeft de Commissie te Miessbach niet verricht; de dynamometer, dien men daar beschikbaar had, kon slechts dienen om een arbeidsvermogen te meten dat 15 paardekrachten of meer bedroeg. Wij kunnen dus ook niet beoordeelen welk verlies er aldaar werd geleden bij het omzetten van het mechanisch arbeidsvermogen in electrisch. Te München waren den 25sten September, toen de machine te Miessbach dus nog normaal was, door den duitschen ingenieur, die de Commissie daartoe had aangewezen, metingen met den toom gedaan; daaruit bleek dat toen het overgebracht mechanisch arbeidsvermogen den halve paardekracht bedroeg. Had men op den dag der proefneming deze meting herhaald, dan hadden wij ten minste met betrekking tot de verhouding, waarin te München het electrisch arbeidsvermogen weder in mechanisch werd omgezet, eenig oordeel kunnen vellen.

Wij zien het dus: de proefneming te München kan, wat de zeker-

heid der verkregen resultaten betreft, niet anders dan een mislukte proef genoemd worden. Toch niet in dien zin, dat zij er aanleiding toe kon geven, nu ook maar alle verdere pogingen in deze richting achterwege te laten. Want zoowel gemis aan de noodige voorbereiding als de zucht om effect te maken speelden hierbij te veel een hoofdrol. Een afstand van niet minder dan 57 kilometers was voor een eerste proef op grootere schaal wel wat heel groot; en een tentoonstellingsgebouw is niet de rechte plaats, een tentoonstelling niet de geschikte gelegenheid, om wat niet reeds in kalmer omgeving volkomen is voorbereid ten uitvoer te brengen. Zoo dacht er zeker ook de Electrotechnische Commissie over, toen zij, in een voor hem allervereerendst schrijven, den heer DEPREZ uitnoodigde onmiddellijk na den afloop, de proef te komen herhalen. »Nous pouvons vous assurer" zoo schreef zij, »que vous trouverez l'appui le plus puissant auprès des administrations de l'État et de la ville, auprès du consortium fondé à Münnich pour l'encouragement des entreprises électrotechniques, auprès de l'Union polytechnique, et enfin auprès des professeurs et des industriels de notre ville."

De heer DEPREZ scheen aanvankelijk geneigd aan dit aanzoek gehoor te geven. Maar verschillende overwegingen, die wel eenigszins voor de hand liggen, brachten hem er toe van dat voornemen af te zien. Den 6den Februari 1883 deed hij reeds eene eerste proef in de werkplaatsen van den *Chemin de fer du Nord*, welke maatschappij én een van hare telegraafdraden, én de noodige beweegkracht te zijner beschikking had gesteld. Omtrent deze proefneming willen wij niet in bijzonderheden treden, omdat zij binnen kort tijdsverloop gevolgd werd door andere, die voortdurend meerdere waarborgen van nauwkeurigheid aanboden. Zij toch werd den 11den Februari, onder ongeveer gelijke omstandigheden herhaald, in tegenwoordigheid van het bekende lid der Parijsche Academie, den heer TRESCA, en den 18den gevolgd door eene derde, waarbij, ook in diens tegenwoordigheid, de snelheid der machines hooger dan bij de tweede werd opgevoerd. Betreffende beide laatstgenoemden bracht de heer TRESCA in de zitting der Academie van 19 Februari een uitvoerig verslag uit, dat tot eene belangrijke discussie tusschen hem en den heer BERTRAND aanleiding gaf en er toe leidde, dat de Academie zelve zich rechtstreeks met de zaak ging moeien. Zij benoemde eene commissie, bestaande uit de heeren BERTRAND, TRESCA, CORNU, DE LESSEPS en C. DE FREYCINET, die in de zitting van den 9den

April een door CORNU gesteld verslag uitbracht van een onderzoek, door haar op den 4^{den} Maart ingesteld.

Dit verslag nu bevat alle gegevens, die men verlangen kan, niet alleen om een juist oordeel te vestigen over de inderdaad verkregen uitkomsten, maar tevens om die aan de theorie te toetsen.

Wat de hoofdzaak betreft was de gansche inrichting bij dit onderzoek volkomen dezelfde als bij de drie voorgaande proefnemingen. Naast elkander waren de twee machines, die welke den stroom leverde en die welke hem ontving, opgesteld. Van de eerste was een der polen, door een korten draad van geringen weerstand, met een van de polen der laatste verbonden; de beide andere polen daarentegen door een telegraafdraad, die heen en terug liep over het station Bourget en 17 kilometers lang was. De uitwendige weerstand was dus dezelfde als wanneer de beide machines op een afstand van 8,5 kilometer van elkander waren verwijderd en beide paren van polen door een telegraafdraad waren verbonden geweest. De weerstand van den 4 millimeters dikken draad werd, uit herhaalde metingen, bevonden 160,62 ohms te bedragen; de inwendige weerstand van de stroomgevende machine bedroeg 56,62, die van de hem ontvangende 85,62 ohms. In het geheel werden er zes afzonderlijke proefnemingen gedaan, waarbij de snelheid van de stroomgevende machine tusschen 370 en 1024 omwentelingen in de minuut wisselde. Daar echter omtrent een dezer het verslag alleen de uitkomsten der dynamometrische, niet die der electricische metingen vermeldt, laten slechts vijf van deze eene volledige beschouwing toe.

De dynamometrische metingen betroffen: 1^o. het mechanisch arbeidsvermogen dat door de stoommachine op de stroomgevende werd overgedragen; 2^o. het mechanisch arbeidsvermogen dat werd ontwikkeld door de machine, die den stroom ontving. Eerstgenoemden geschieden door middel van een zelfregistreerenden dynamometer naar MORIN; uit herhaalde waarnemingen, voor en na de proefnemingen met zorg verricht was, in kilogrammen, de waarde afgeleid, overeenkomende met eene afwijking van één millimeter in de door den dynamometer geregistreerde kromme. Daar in de praktijk natuurlijk de overbrenging van het arbeidsvermogen zonder tusschenkomst van zoodanig meetwerktuig geschiedt en dit zelf arbeidsvermogen verbruikt, zou men door de proeven tot eene te ongunstige verhouding komen, tusschen het door de eene machine verbruikte en het door de andere geleverde arbeidsvermogen, indien men het door den dynamometer zelf verbruikte niet in vermindering bracht op wat hij zelf optee kent. Om dit verlies

te bepalen heeft men dan ook, door bij een viertal proeven dit werktuig als eenigen weerstand op de as der stoommachine te laten werken, het den aan zijne eigene beweging besteeden arbeid laten opschrijven.

De meting van het door de andere dynamo geleverde mechanisch arbeidsvermogen geschiedde door een toom naar PRONY. Deze had een hefboomsarm van $\frac{5}{2\pi}$ meters en was bij alle proeven met 5 kilogram

belast; het arbeidsvermogen van de wrijving, door dit werktuig op de as der machine uitgeoefend, bedroeg dus bij ééne omwenteling in de minuut $\frac{5 \times 5}{60 \times 75} = 0,0056$ paardekracht.

De electriche metingen omvatten de waarneming van de spanningsverschillen aan de polen der beide machines en die van de stroomsterkte, door middel van twee galvanometers naar DEPREZ. De waarde van de aanwijzingen dezer meetwerktuigen werden, binnen de grenzen der waargenomen afwijkingen, na afloop van de proefnemingen nauwkeurig in volts en ampères uitgedrukt en uit de dus bepaalde spanningsverschillen, met inachtneming van beider inwendigen weerstand, de electromotorische kracht der door beide machines ontwikkelde stroomen afgeleid.

Deze beide van elkander afhankelijke bepalingen laten reeds dadelijk een oordeel toe omtrent het isolement van den telegraafdraad. Want, evenals wij dit reeds boven, ter afleiding van het spanningsverschil te München uit het te Miessbach waargenomene deden, kunnen wij ook hier, door bij het waargenomen spanningsverschil aan de polen van eene der machines het product van den weerstand der lijn en de stroomsterkte op te tellen, tot dat aan de polen der andere geraken. En evenzoo kan men omgekeerd, als beide verschillen afzonderlijk zijn bepaald, uit deze en uit de stroomsterkte den weerstand in de lijn berekenen; men behoeft daartoe slechts hun verschil door de stroomsterkte te deelen. Handelt men in dit geval aldus, en neemt men het gemiddelde uit de vijf bepalingen, dan komt men tot een weerstand van 159,6 ohms, die dus van den rechtstreeks gemeten weerstand slechts 0,4 ohms verschilt. Deze uitkomst zou, zoowel voor de geringe afleiding van den stroom langs de lijn als voor de juistheid van de metingen der verschillende grootheden getuigen, indien wij daarbij niet moesten vermelden, dat van de vijf afzonderlijke waarden ééne + 20 ohms en ééne — 21 ohms, dus ongeveer $12\frac{1}{2}$ pct., van het gemiddelde verschilt. Daar de weerstand dier lijn zeker en de afleiding langs de lijn

allerwaarschijnlijkst gedurende deze in een kort tijdverloop volbrachte bepalingen standvastig zal zijn gebleven, kan, bij de steeds standvastig bevonden stroomsterkte, dit aanmerkelijk verschil alleen aan fouten in de meting van het eene of het andere spanningsverschil worden toegeschreven; eene opmerking, waarop wij later nog zullen terugkomen.

De electromotorische krachten E_1 en E_2 in de beide machines ontwikkeld en uit de waargenomen spanningsverschillen aan hare polen, met inachtneming van de grootte harer eigene inwendige weerstanden, afgeleid, zijn, voor de drie proefnemingen waarbij de snelheid der eerste machine 800 toeren per minuut te boven ging:

Omwentelingen per minuut stroomgevende machine	stroomontvangende machine	electromotorische krachten in volts	
		E_1	E_2
850	643	2083	1258
923	709	2229	1468
1029	799	2480	1779

Volgens deze getallen worden de verhoudingen tusschen de ontwikkelde electromotorische krachten en de overeenkomstige snelheden bij de stroomgevende machine uitgedrukt door

2.45 2.41 2.31

en bij de stroomontvangende, door

1.96 2.07 2.23.

De verhouding is dus ongeveer standvastig, zoodat daaruit deze overeenkomst tusschen praktijk en theorie zou volgen, dat inderdaad de ontwikkelde electromotorische krachten zich zouden verhouden als de snelheden. Toch mogen wij de opmerking niet achterwege laten, dat men geneigd zou zijn het standvastig dalen van die verhouding bij toenemende snelheid in de eene, en het standvastig rijzen in de andere machine, aan een standvastige fout en niet, zooals het rapport het wil, aan toevallige fouten der waarneming toeteschrijven. De afzonderlijke waarnemingen der stroomsterkte geven respectievelijk, in ampères,

2.57 2.52 2.50

waarin eene, hoewel kleine, daling der stroomsterkte is op te merken, die uit het met wassende snelheid te langzaam toenemen van de electromotorische kracht in den hoofdstroom en haar te snel toenemen in den tegenstroom zou zijn te verklaren. En deze daling komt nog meer

uit wanneer men de stroomsterkte in de drie gevallen berekent, door het verschil der gemeten spanningsverschillen te deelen door den gemeten weerstand van den geleiddraad. Wij vinden dan toch, in ampères,

$$2.74 \qquad 2.51 \qquad 2.21.$$

Hoe echter dit afnemen van de stroomsterkte, dat in beide machines een verzwakking van het magnetisme der inductoren moet te weeg brengen, op de ontwikkeling van electromotorische kracht in de eene juist van tegenovergestelden invloed zou kunnen zijn dan in de andere, is theoretisch niet te verklaren. Er blijft dus wel niet anders over dan met de commissie aantenemen, dat wij ook hier met fouten in de waarnemingen te doen hebben, die naar hare meening voortkomen uit »l'impossibilité où l'on était de faire des mesures de U , u , I absolument simultanées."

Maar dan zinkt ook meteen de grond ons onder de voeten weg, als wij een oordeel willen vellen omtrent de overeenkomst tusschen de theorie en de feiten, wat betreft de meest voordeelige wijze van overbrengen, met name omtrent de voorkeur daarbij aan de ver-

houding $\frac{E_2}{E_1} = \frac{1}{2}$ te geven. Want U en u stellen de spanningsverschillen aan de polen der beide machines voor en uit deze alleen kunnen de waarden van E_1 en E_2 door berekening worden afgeleid. Daar echter nu de tweede van de drie boven aangehaalde proefnemingen alleen waarden van U en u oplevert, die, bij deeling door die der standvastig bevonden stroomsterkte tot de afzonderlijk gemeten waarde van den weerstand van den draad leiden, kunnen wij aannemen dat de verhouding $\frac{E_2}{E_1} = \frac{1468}{2229} = 0.66$ het naast met de waarheid overeenkomt, dat dus bij eene omwentelingssnelheid van 923 toeren in de minuut en een weerstand op de as der den stroom ontvangende machine van 5 Kilogram aan den arm van $\frac{5}{2\pi}$ meters, het »economisch rendement" ongeveer 66 pct. heeft bedragen.

De absolute waarde van het op deze wijze overgebracht electrisch arbeidsvermogen bedroeg $\frac{E_2 I}{75 \times 9.812} = \frac{1468 \times 2.52}{75 \times 9.812} = 4.8$ paardekraft, het daartoe door de stroomgevende machine geleverde 7.3 paardekraft. Had men aan een »economisch rendement" van 50 pct. de voorkeur gegeven, dan zou, naar hetgeen de theorie leert, het overgebracht electrisch arbeidsvermogen de grootst mogelijke waarde

hebben verkregen, die zij bij de aan $E_1 = 2229$ volts evenredige snelheid van 923 toeren per minuut kan bereiken. Dan zou $E_2 = 1114$ volts, $I = \frac{E_1 - E_2}{B} = \frac{1114}{302} = 3.7$ ampères en dus $\frac{E_2 I}{75 \times 9.812}$

$$= \frac{1114 \times 3.7}{75 \times 9.812} = 5.47 \text{ paardekracht zijn geweest; het hieraan}$$

evenredig electrisch arbeidsvermogen, dat door de stroomgevende machine daartoe had moeten ontwikkeld worden, zou het dubbel of 10.94 paardekracht hebben bedragen en in de verhouding 10.9:7.3 zou er dan ook van de stoommachine meer mechanischen arbeid zijn gevorderd. Het is duidelijk, dat wanneer dit laatste arbeidsvermogen door de natuur zelve ruimschoots kosteloos wordt aangeboden, de laatstgenoemde wijze van overbrengen boven de eerste te verkiezen is. Zij zou in het besproken geval zijn verkregen als men den, toom, in plaats van met 5, met $\frac{5.47}{4.1} \times \frac{1488}{1114} \times 5 = 7.5$ kilogram had belast.

De dynamometrische bepalingen, welke op deze proef betrekking hebben, leiden tot de volgende uitkomsten. Het bleek dat door de stoommachine een arbeidsvermogen van 10.56 paardekracht was geleverd; daarvan was echter 2.3 paardekracht besteed aan het overbrengen door middel van den dynamometer, zoodat de stroomgevende machine slechts 8.26 paardekracht ontving. Het door den toom gemeten arbeidsvermogen, dat de machine leverde, die den stroom ontving, bedroeg 3.9 paardekracht; zoodat dus 47.7 pct. van het hier besteede arbeidsvermogen elders nuttig kon worden aangewend. Gaat men verder na, dat de eerstgenoemde machine 7.3 paardekracht aan electrisch arbeidsvermogen ontwikkelde en de laatstgenoemde 4.8 paardekracht, dan blijkt, dat de omzetting van mechanisch in electrisch arbeidsvermogen ten koste van 11 pct., die in tegenovergestelden zin ten koste van 18 pct. van het geleverde is geschied. De grootst mogelijke hoeveelheid mechanisch arbeidsvermogen, die men bij eene snelheid der stroomgevende machine van 923 omwentelingen in de minuut, door machines als de bij deze proef gebezigde, op een afstand van 8,5 meter, door een telegraafdraad van 4 millimeters middellijn kan overbrengen bedroeg dus $5.47 \times \frac{82}{100} = 4.48$ paardekracht en daartoe zou van een stoommachine een arbeid van $10.94 \times \frac{100}{89} = 12.3$ paardekracht zijn gevorderd. Inderdaad een nog niet zeer schitterend

resultaat en in de praktijk onbruikbaar, tenzij het mechanisch arbeidsvermogen op min kostbare wijze dan door verbranding van steenkolen wordt verkregen. De meest opgewondenen in die dagen sloegen reeds voor, de kolen bij de mijn stoommachines te laten voeden en het zoo verkregen arbeidsvermogen langs electrischen weg over te brengen naar de fabrieken; de meer bezadigden gaven er echter de voorkeur aan voorloopig nog de vracht der kolen te betalen!

De eerste vertrouwbare berichten omtrent proefnemingen in het groot, na de zoo even vermelde ondernomen, dagteekenen van den zomer van het laatstverloopen jaar. In de zitting der Parijsche Academie van den 2^{en} Augustus 1886 toch werd door den heer MAURICE LÉVY, namens eene alleen uit leden dier Academie bestaande commissie, verslag uitgebracht omtrent hare werkzaamheden. Wederom betroffen deze de uitkomsten bij eene nieuwe overbrenging van kracht verkregen door den onvermoeibaren DEPREZ, die intusschen zelf tot lid der genoemde Academie was verkozen. Van de twee redenen, waarom tusschen deze proefnemingen en de voorgaande zoo belangrijken tijd verliep, was de eerste van zuiver financiëlen aard. Ontzaggelijke uitgaven, door geen particulier in den gewonen zin des woords te bekostigen, vorderen de welwillende medewerking van dezulken, die, als Rothschilds, over schatten hebben te beschikken. Deze vond de heer DEPREZ bij niemand minder dan bij de heeren ROTHSCHILD zelve; aan het einde van het verslag werd hun daarvoor, zoowel door den rapporteur als bij monde van den heer DEPREZ zelf, den welverdienden dank toegebracht. De tweede reden was van zuiver technischen aard. Reeds in November van 1885 waren de proefnemingen aangevangen. Maar de heer DEPREZ, wiens inzichten door de laatste opgedane ondervinding zeer waren gewijzigd, ondervond allerlei tegenspoeden bij het doelmatig vervaardigen van de kern, die in de stroomgevende machine de windingen zou dragen. En toen den 5^{en} December van dat jaar de bovengenoemde commissie haar onderzoek zou instellen, bracht een stormwind den draad in aanraking met nabijgelegen telegraafdraden, — aan het bureau te St. Denis verbrandden twee toestellen — zoodat de ring der machine onbruikbaar werd.

Men beoogde bij deze proefnemingen om van Creil naar het Parijsche spoorwegstation la Chapelle 50 paardekrachten over te brengen, die daar, behalve eenige pompen, een hamer, een boor, een verplaatsbare kraan en een electrischen remtoestel zouden bedienen. De afstand bedroeg 56 kilometers; maar beide machines waren verbonden door

een draad, uit zoogenaamd kiezelbrons vervaardigd, die een middellijn had van 5 millimeters. De weerstand van dezen draad, heen en terug, staat ongeveer gelijk met dien van een 10 kilometers langen gewonen telegraafdraad, zoodat die dan ook meer dan 60 ohms kleiner was dan de weerstand van den draad bij de vorige proeven gebezigd.

Dat de denkbeelden van den heer DEPREZ omtrent de meest praktische wijze van overbrengen van arbeidsvermogen, zich met den tijd zeer moeten hebben gewijzigd, blijkt het duidelijkst wanneer men let op de snelheden, die hij te voren en nu aan de stroomgevendende machine mededeelde, in verband met de electromotorische krachten toen en nu ontwikkeld. Bedroeg die snelheid toen ruim 900 omwentelingen in de minuut, thans ging zij 200 omwentelingen maar zelden te boven; was daarentegen de toen ontwikkelde electromotorische kracht eene van ruim 2000 volts, thans steeg die tot meer dan 6000. Alles wijst er dus op, dat, in plaats van zoo als toen door groote snelheid, hij thans door buitengewone lengte der omwinding van den ring tot ontwikkeling van een groote hoeveelheid arbeidsvermogen wilde geraken. Gaat men daarbij na dat de inwendige weerstand van de windingen van ring en electro's te zamen toen ruim 56, thans ruim 34 ohms groot was dan moet de doorsnede en dus ook het gewicht van den 1960 meter langen koperdraad, die haar vormden, al zeer aanzienlijk zijn geweest.

Wij kunnen, na de uitvoerige beschouwingen boven gegeven, kort zijn in de mededeeling van de nu verkregen uitkomsten. Bij de proef, die, wat betreft de verhouding tusschen de te Creil aangewende en naar Parijs overgebrachte hoeveelheden mechanisch arbeidsvermogen, de meest gunstige resultaten leverde, bedroeg de electromotorische kracht, die de machine aan eerstgenoemd station ontwikkelde 6290 volts, tegen 5080 volts door die te Parijs ontwikkeld. Eene verhouding $\frac{E_2}{E_1}$ dus van ruim 80 pct. Van de 116 paardekrachten mechanisch arbeidsvermogen echter, die te Creil daartoe werden besteed, konden te Parijs er slechts 52 nuttig worden aangewend; dus ongeveer 45 pct. Door middel van dezelfde machine, onder gelijke omstandigheden, en met dezelfde snelheid werkende, had men, bij vrije beschikking natuurlijk over een voldoende bron van mechanisch arbeidsvermogen, een veel grooter bedrag aan arbeidsvermogen kunnen overbrengen en wel het grootste wanneer men zich daarbij met een »rendement''

$\frac{E_2}{E_1}$ van 50 pct. had vergenoegd. In dit geval zou het aantal der te Parijs ontwikkelde volts 3145 en dus de stroomsterkte 18 ampères — de som der weerstanden was 174 ohms — hebben moeten zijn. Daar de stroomsterkte nu 9,85 ampères bedroeg zou dan het overgebrachte arbeidsvermogen $52 \times \frac{18 \times 3345}{9.85 \times 5080} = 58.8$, het daartoe besteede $58.8 \times \frac{116}{52}$ of ruim 130 paardekrachten hebben bedragen.

Waar zijn, bij het transport, de $116 - 52 = 64$ paardekrachten gebleven? Niet in de draad, die de beide stations verbindt. Daar deze een weerstand van 97.45 ohms vertegenwoordigde bedroeg, bij eene stroomsterkte van 9.85 ampères, het daarin in warmte omgezette arbeidsvermogen: $\frac{I^2 R}{75 \times 9.812}$ slechts 12.7 paardekracht. De overige 51.3 zijn dus en door ontwikkeling van warmte in de omwindingen der beide machines en door de omzetting van mechanisch in electrisch arbeidsvermogen, en omgekeerd, verloren gegaan. Het verlies in de geleiding is dus betrekkelijk gering; het zijn de machines, die het meeste arbeidsvermogen verslinden. Bij iedere overbrenging door middel van den stroom, op hoe korten afstand die ook geschiede, kan men, als overigens de omstandigheden dezelfde zijn als bij deze proefneming, in de praktijk op niet meer dan $1 - \frac{51.3}{116}$ of ongeveer 55.5 pct. van het besteede arbeidsvermogen rekenen.

En dit alleen daardoor, dat men bij dit transport genoodzaakt is van minstens twee machines gebruik te maken, en terwijl de door DEPREZ vervaardigde, wat hare industriele waarde betrof, ver boven andere bekende machines, bij voorbeeld boven de gewone Gramme (type A) stonden. Met het oog op de overbrenging in het groot van arbeidsvermogen, dat in afgelegen streken door de natuur om niet wordt aangeboden, naar middelpunten van nijverheid, heeft deze bevinding veel ontmoedigends. Want, hetzij men dit door weinige groote, hetzij men het door een groot aantal kleinere machines wil doen plaats hebben, bij de verdeling stuit men steeds op datzelfde bezwaar. Onderstel dat men in staat was door eene groote machine eenige honderdtallen paardekrachten over te brengen naar een centraal punt, om van daar uit eenige meer of minder verwijderde werkplaatsen te bedienen, dan zal men steeds in dit punt door een dynamo het mechanisch

arbeidsvermogen in electrisch moeten omzetten en daarna in ieder dier werkplaatsen weder de omzetting in tegenovergestelden zin moeten plaats hebben door even zoovele dynamo's, waarover door afzonderlijke geleidingen de stroom moet worden verdeeld. Terwijl dan in het centraalpunt slechts 45 pct. van het aan den waterval ontleende aankwam, zou van de daar ontvangen hoeveelheid arbeidsvermogen nog weder slechts 45 pct. over de gezamenlijke fabrieken kunnen verdeeld worden. En dan nemen wij nog aan, niet alleen dat eene omzetting van het electrisch arbeidsvermogen door zoovele kleinere machines op even voordelige wijze zal geschieden als door ééne grootere, maar ook dat de gansche uitwendige stroomleiding niet meer dan 12.7 paardekracht aan arbeidsvermogen zal doen verloren gaan.

Staan wij dus nog verre van de verwezenlijking van voor een viertal jaren gekoesterde verwachtingen en gevormde droombeelden; laat het zich niet aanzien dat weldra de nijverheid, daarbij ontdaan van de wel wat plotseling opgekomen vrees over eene, in de toekomst onvermijdelijke, uitputting van den bodem, den steenkolen verachtelijk den rug toekeert, toch is er reeds veel gewonnen. Zooals de zaken thans staan kan men, door middel van ééne den stroom voortbrengende en ééne hem ontvangende machine, een in de nijverheid dadelijk bruikbaar arbeidsvermogen van 52 paardekrachten leveren op eenen afstand van 56 kilometers van de plaats waar de eerste, met eene snelheid van slechts ruim 200 omwentelingen in de minuut draaiende er 116 vorderde om haar te drijven. Herinneren wij ons daarbij, dat het glanspunt der proefneming te München bestond in het overbrengen van *een halve paardekracht* op een afstand van 57 kilometers door eene machine, wier snelheid — 2000 omwentelingen — de grenzen van het practisch bruikbare naderde, dan zijn wij, dank zij de onvermoeide pogingen van den heer DEPREZ en de mildheid van hen die zijn arbeid steunden, in dat viertal jaren een reuzenschrede het doel genaderd!

Haarlem, 22 Maart 1887.