

# Asupra electrificării marilor linii ferate, în legătură cu ultimile electrificări făcute în Europa

DE

ION S. GHEORGHIU

Inginer în Serviciul construcţiunii şi exploatarei portului Constanţa.

(Urmare dela pag. 515).

III.

## **Problema rentabilităţii în electrificarea marilor linii ferate.**

Mai toate electrificările făcute pînă acum în Europa, au fost determinate de condiţiuni altele de cît cele de economie. În liniile urbane şi de împrejurimi, în cele cu traseuri grele, în liniile cu tuneluri lungi, electrificarea s'a impus numai prin calităţile ei tehnice.

Rămîne un fapt stabilit că cheltuelile de primă instalaţie în o electrificare de cale ferata, sunt considerabile.

Şi trebuie fireşte că exploatarea electrică să permită o economie sensibilă în cheltuelile de exploatare, pentru ca ea să nu devie prea oneroasă. Această economie era profetizată încă de la începutul tracţiunii electrice, şi exploatările electrice ceva mai îndelungate, în special cele ale căilor ferate italiene au arătat că ea există şi că în anumite condiţiuni poate deveni considerabilă.

Faptul că căile ferate prusiace au hotărît acum 4 ani, şi hotărâsc şi acum electrificări importante, fără nici o necesitate tehnică, ci numai pentru că s'a găsit că exploatarea electrică va reveni mai ieftin ca cea cu vapori, care e ea însăşi ieftină în o ţară cu cărbune destul ca Prusia, ne arată că tracţiunea electrică nu e

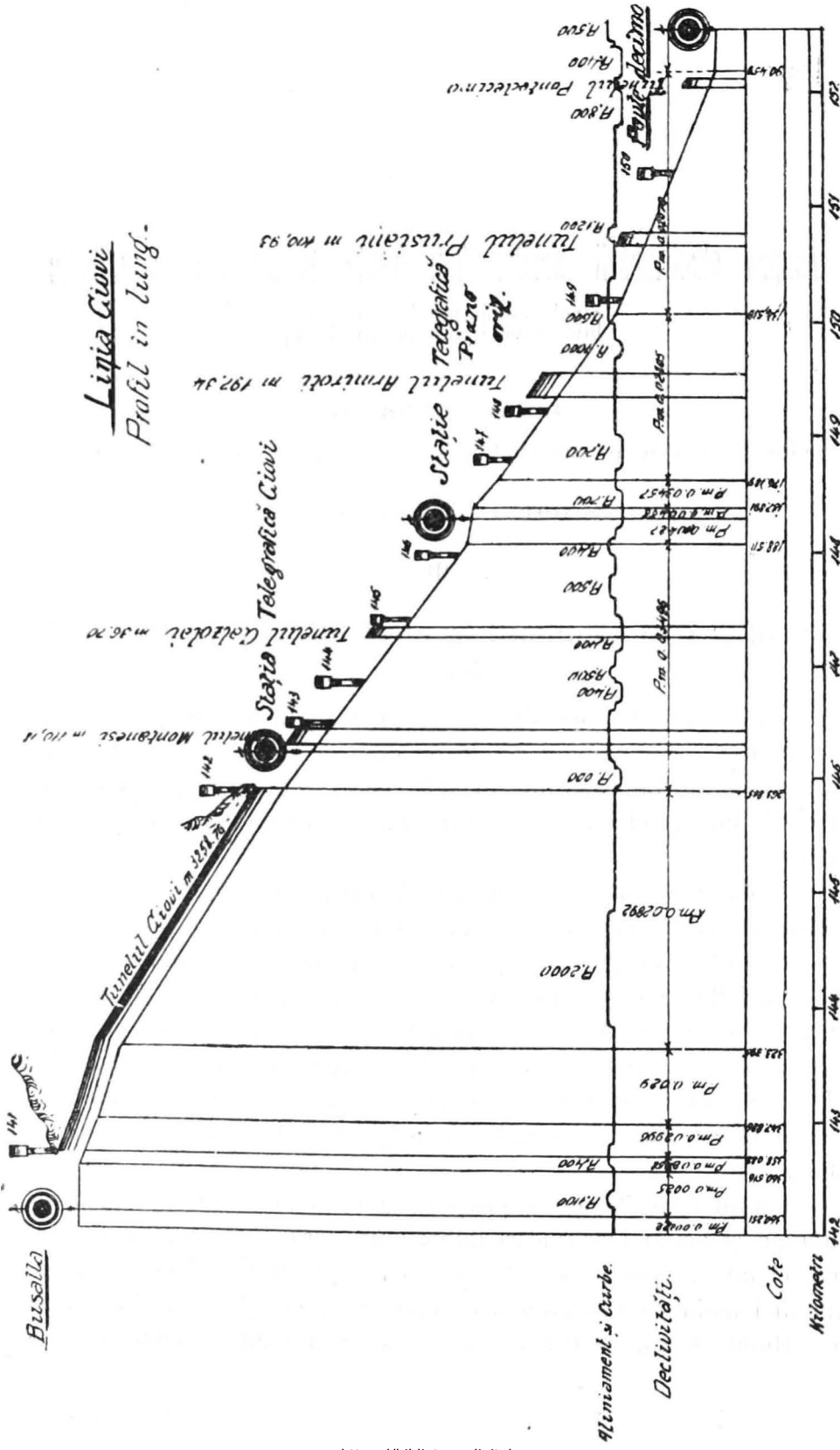


Fig. 5.

aşa de scumpă, pe cît se crede, şi că chestiunea rentabilităţii se poate pune în ori-ce electrificare de cale ferată.

În această problemă a rentabilităţii electrificării căilor ferate mari, tracţiunea electrică vine cu o proprietate de seamă.

*Ea permite o sporire considerabilă a traficului.*

Aceasta este un corolar al calităţilor deja enumerate ale tracţiunii electrice, care permiţînd a spori tonajul trenurilor de o parte, iuţeala şi timpul de punere în viteză, deci numărul lor, de altă parte, va permite în definitiv o sporire şi a traficului care e măsurat prin produsul între numărul trenurilor pe zi şi tonajul lor.

Condiţiunile care au determinat electrificarea porţiunii *Pontedecimo-Busalla (linia Giovi)* a liniei Genova-Milan şi Turin, şi rezultatele obţinute prin această electrificare, sunt din cele mai tipice în această privinţă.

Afară de linia coastei, Ventimiglia-Roma, pe care traficul nu e mare, Genova este legată de interiorul ţării şi în special de nordul Italiei, prin linia Genova-Novi, unde se separă ramurile spre Torino şi Milano.

În spre continent portul e strîns din toate părţile de colinele înalte ale Apeninilor, cu masivul principal numit Giovi, între Sampierdarena şi Ronco. Acest masiv e străpuns azi de 2 linii.

Mai întîi aşa numita *vechea linie a Giovi* (Sampierdarena-Pontedecimo-Busalla-Ronco-Novi) construită în 1853. Aproape întreaga diferenţă de nivel de vreo 350 metri între Genova şi Ronco, este concentrată pe o porţiune de 10,410 km, între Pontedecimo şi Busalla, cu rampe de 2,7% în mediu, 3,5% maximă (pe lungime de 2 km) şi cu tunelul Giovi de 3,3 km. lungime în rampă de 2,9% (Vezi profilul în lung. pe fig. 5.) Această porţiune extrem de grea micşorează foarte mult întreg traficul către Milan şi Turin de şi restul liniei are traseul relativ uşor.

Din această cauză, această linie a fost uşurată în 1889 prin construcţia unei a 2-a, numită *sucursala Giovi*, cu pante mai mici ca 1,6%, de lungime mult mai mare ca cea veche, cu un tunel de 8300 m. şi care se întîlneşte cu cea dintîi la Ronco.

Micşorarea distanţei de secţionare între trenuri prin ventilarea tunelurilor şi aducerea celor mai puternice locomotive cu vapori au permis a mări traficul mereu crescînd al portului. Dar s'a văzut că cu creşterea extrem de repede a traficului de marfă în cu-

rînd aceste 2 linii nu vor mai face față. În adevăr, acum 2 ani acest trafic era de 4,5 mil. tone pe an sau în mediu 1250 vagoane pe zi (vagoane de 18 t. cu 10,5 t. greutate utilă), sau putem zice 1500 ca maxim. Păstrînd proporția de creștere constatată în ultimii 10 ani, s'a făcut socoteala că în 1920 va fi nevoie de cel puțin 2000 vagoane pe zi în mediu, cifră mult inferioară capacității maxime a celor 2 linii.

Cu dubla tracțiune, cu 310 tone greutate utilă maximă, se putea alcătui orarul următor între Pontedecimo și Busalla :

Stațiuni	Distanțe în km.	Decliv. la sută	Timp de parcurs la urcare în min.	
			Calători	Marfă
Pontedecimo-Piano oriz	4.4	2,8	12'	13'
Piano oriz-Montanesi	1.93	3,5	5'	6'
Montanesi-Busalla	4.080	3,0	11'	12'

Două trenuri de aceeași iuțeală se puteau succeda la interval de 13 minute, iar un tren de călători nu pleca din Pontedecimo, pînă ce trenul de marfă ce'l preceda nu pleca din Busalla (35' 40'). Ținînd seamă de proporția între trenuri de marfă și de persoane și de intercalarea lor se găsește un timp mediu de secționare de 20' între 2 trenuri.

Cu 20 ore de exploatare pe zi, și cu un randament de orar de 0,7, avem 42 trenuri pe zi. Scăzînd 20 trenuri de persoane, rămîn 22 trenuri de marfă, sau cu trenuri de 17 vagoane (310 tone greutate utilă), revine la 375 vagoane.

În același mod s'a găsit că capacitatea maximă a liniei succursale este de 56 trenuri pe zi din care 12 de persoane și 44 de marfă. Cu dublă tracțiune se pot face pe această linie trenuri de 520 tone greutate utilă, compuse din 20 de vagoane, ceea ce reprezintă 1280 vehicule zilnic.

Deci capacitatea maximă pentru transportul mărfurilor de import a celor 2 linii întrunite se putea socoti de 1655 vagoane zil-

nic, cifră care s'a prevăzut a fi absolut insuficientă peste cîți-va ani. Atunci s'au studiat următoarele soluțiuni :

Rectificarea traseului vechei linii a Giovei, construirea unei noi linii directe Genua Milan construcția unui funicular pentru transportul cărbunilor (50% din tot importul) la Novi, transformarea liniei vechi a Giovei în linie cu cremailera și în fine electrificarea unei porțiuni din vechea linie a Giovei.

Ultima s'a găsit a fi cea mai avantajoasă, Odată cu alte 10 tronsoane ale căilor ferate italiene, s'a decis atunci electrificarea porțiunii Pontedecimo-Busalla, de 10410 m. lungime. În urma bunelor rezultate obținute pe liniile Valtelinei, s'a hotărît întrebuintarea trifazatului.

Ce capacitate va avea cele 2 linii cu porțiunea de mai sus electrificată ? Iată datele pe care le-a prezentat în această privință d-nul inginer *Giorgio Calzolari*, din căile ferate italiene, la congresul internațional de electricitate ținut în Septembrie 1911 la Torino.

Cu tracțiunea electrică, cu viteza de 45 km/oră timpurile de parcurs de la tracțiunea cu vaporii se reduce la jumătate. Deși viteza constantă și invariabilă a trenurilor de marfă și de persoane ar permite să se ia ca timp de secționare cele 7 ale parcursului celui mai lung (între Pontedecimo și Piano oriz.) s'a comptat totuși, pentru mai multă siguranță, numai pe 10'. Cu 20 ore de circulație și cu un coeficient de 0,7 pentru siguranța ținerii orarului, aceasta face 85 trenuri pe zi. Scăzând pe cele 24 trenuri de persoane, rămîn 64 trenuri de marfă.

De altă parte tracțiunea dublă electrică permițînd a face trenuri de 380 tone greutate utilă, adică 21 vagoane de 18 tone, aceasta face *1344 vagoane de marfă față de 375 cit permițea tracțiunea cu abur.*

Cu cele 1280 ale liniei sucursale avem o capacitate totală pentru importul de marfă din Genua spre nordul Italiei de 2624 vagoane zilnic față de cele 1655 ale tracțiunii cu vaporii ceea ce va ajunge pentru încă 15 ani de acum înainte. În momentul de față traficul e încă departe de această cifră. De la Ronco înainte, linia fiind aproape în palier, atît spre Milan cît și spre Turin, formarea de trenuri de marfă mult mai grele rărește secționarea lor.

Începute în 1909, lucrările de electrificare ale acestei linii s'au terminat în primăvara anului 1910. La 1 Iunie au început încercările

și la 31 Oct. a aceluiași an a fost dată în exploatare regulată. Azi tot traficul se face numai electric între Pontedecimo și Busalla. <sup>1)</sup>

În urmă s'a decis și electrificarea porțiunii Compasso-Pontedecimo de 9 km. Compasso este gara de triaj a portului Genova.

Lucrările de electrificare erau aproape terminate în toamna trecută. În fine acum de curînd s'a hotărît a se electrifica și Sampierdarena Pontedecimo și e foarte probabil că peste puțin se va merge până la Ronco.

Voiu mai cita un caz în care electrificarea a fost determinată de sporirea traficului, pentru că el ne amintește condițiunile liniei noastre *Ploești-Predeal*. Este linia *Kiruna-Riksgränsen* (129 km.) din nordul Suediei.

Principalul trafic al acestei linii constă în transportul mineurilor de fer a bogatelor mine din Kiruna, pînă în portul norvegian Narvus, la vre o 30 km. depărtare de localitatea de frontieră Riksgränsen. Societatea exploatatoare are încheiat cu statul un contract, prin care acesta se obligă a transporta în fiecare an o mai mare cantitate de minereu.

Linia fiind cu cale simplă s'a văzut că peste cîțiva ani căile ferate nu vor mai putea transporta cantitățile din contract.

În momentul de față, cu cele mai puternice locomotive de aburi, pentru marfă, se fac trenuri de 28 vagoane a 35 tone (vagoane speciale mari) ceea ce reprezintă 1000 tone greutate utilă. Viteza este de 45 km./oră în palier și de 12 km/oră în pante de 1,0‰. Tracțiune dublă cu 2 locomotive în cap nu se poate face pentru că nu permite rezistența atelajelor. Tracțiune dublă cu o locomotivă în cap și alta în coadă iar nu se poate face, întîiu fiindcă s'a dovedit a fi nesigură pentru trenuri prea lungi, și apoi fiindcă din cauza fumului era imposibilă trecerea prin mai multe tuneluri neventilate, de lungimi de peste 1000 m. în rampe de 1,00‰.

La traficul de marfă se mai adaugă, vara timp de 2 luni, un foarte intens trafic de persoane, pe parcursul liniei fiind frumoase localități climaterice și de turism.

Linia simplă, fiind incapabilă a lua traficul ce va fi peste cîțiva

---

1) Pentru descrierea instalațiunilor și a locomotivelor a se vedea : *Il monitore tecnico* anul XVI No. 20, 22, 24, 27 și 32 precum și *Zeitschrift des Vereines, deutscher Ingenieure* 1909 pag. 1249.

ani, s'a studiat de o parte dublarea parțială a ei, cu diversele lucrări de sporiri ce le-ar aduce și cu aprovizionarea de noi locomotive cu abur, de altă parte s'a studiat electrificarea liniei simple și s'a găsit că ultima soluțiune este din toate punctele de vedere mai avantajoasă.

Iată în ce proporție permite tracțiunea electrică sporirea traficului:

Comanda unică de pe o singură locomotivă prin sistemul cu unități multiple (Vielfachsteuerung) permite a face trenuri cu 2 locomotive, una în cap, alta în coadă. Neajunsul fumului în tuneluri a dispărut. Cu dublă tracțiune se vor face trenuri de 1800 tone greutate utilă, din care 1400 tone minereu, restul alte mărfuri; adică cam 40 vagoane de minereu față de cele 28 dela tracțiunea cu abur; deci un prim spor de 45%.

Dacă mai ținem seamă că viteza va fi de 60 km./ora în palier și de 30 în rampa de 1,00%, față de 40 și 12 ale locomotivei cu abur, mai rezultă un spor de peste 50%, la cifra sporită precedentă ceea ce face în definitiv un spor de 118% *deci mai mult de cît dublarea traficului.*

După socotelile căilor ferate suedeze, pentru o producție de 3.800.000 tone, care se va atinge cam în 1918 va rezulta din exploatarea electrică o economie de 525.000 lei anual, față de exploatarea cu abur.

Pentru lucrările de electrificare s'a aprobat în 1910 un credit de 30 milioane lei cari cuprinde și costul locomotivelor, precum și instalația uzinei care va utiliza căderea Luleaf mult la sud de Kiruna, și care s'a prevăzut mult mai mare decît cereau nevoile liniei.

Electrificarea se pune cele mai adesea pentru liniile cu trafic ridicat. Ea permite, cum văzurăm, un spor de trafic, care a fost în totdeauna mai mare decît s'a prevăzut. Aci trebuie căutată, rentabilitatea electrificărilor, dat fiind că cheltuelile de exploatare, proporționale cu traficul, se dovedesc a fi mai reduse în tracțiunea electrică.

În această privință, regule și cifre se pot prevedea, și s'au prevăzut destule în numeroase anteproecte de electrificări, dar temeiul nu pot avea decît cele culese din exploatare deja existente. Și acestea sînt puține. În America unde exploatarea electrică are ve-

chime mai mare, s'au publicat oarecare rezultate, în special de New-York, New-Haven and Hartford R. R. (vezi *Engineering Magazine* din Martie 1907 și altele). În Europa cele mai importante electrificări de căi ferate s'au făcut numai în anul din urmă. Rezultatele exploataării electrice pe câțiva ani ale liniei Dessau Bitterfeld sau ale căilor ferate în curs de electrificare ale Germaniei, Suediei și Franței, vor fi de prima însemnătate.

Azi însă, singură Italia are o exploatare electrică mai îndelungată, pe linia Milan Varese cu curent continuu (din 1901) și pe liniile trifazate ale Valtelinei (din 1902).

În congresul c. f. italiene, ținut în Noembrie 1910 în Genova, d-nul inginer *F. Tajani*, a prezentat rezultatele obținute cu exploatarea electrică pe aceste 2 linii, pe urma cărora guvernul italian hotărîse electrificarea și a altor tronsoane.

Italienii numesc *capital de transformare* surplusul, pe care îl repesintă costul unei căi ferate electrice, coprinzînd construcția liniei și materialul rulant, față de costul aceleiași linii pentru tracțiunea cu abur, în cazul alcătuirii unui proiect. nou, sau în cazul cînd se presintă transformarea unei linii cu abur în alta electrică, cheltuelile necesare pentru această transformare, necesitate de construcția unei uzine centrale de forță, a substațiunilor, a canalisării de înaltă tensiune, a liniei de alimentare aeriană sau cu șina a 3-a, a echipamentului electric în stații și a materialului rulant electric, din care însă se scade valoarea oare căror capitole, cari rămîn disponibile prin suprimarea tracțiunii cu vapori, precum sînt în primul rînd locomotivele.

De altă parte cheltuelile de exploatare coprinde o parte fixă, independentă de trafic, și alta proporțională cu traficul.

Însemnînd pe prima cu  $\alpha$  pentru abur și cu  $\beta$  pentru electricitate, iar pe cea de a 2-a cu  $a$  și cu  $b$  pe unitatea de trafic, însemnînd cu  $N$  numărul de unități de trafic pe an, și bîgînd în cheltuelile de exploatare ale tracțiunii electrice și dobînda și amortismentul capitalului de transformare, pe care să le însemnăm cu  $\Delta$ , avem ca expresie a acestor cheltueli, formulele :

$$C\alpha = \alpha + a N \text{ pentru abur,}$$

și

$$C\epsilon = \Delta + \beta + b N \text{ pentru electricitate.}$$

Traficul,  $N$ , nu îl vom exprima în tone—km., ca în tracțiunea cu



abur, ci în osii-km., care e o unitate mai rațională pentru tracțiunea electrică, unde trenul, din cauză proprietății de trunchiere a convoaanelor, caracteristică tracțiunii electrice, încetează de a mai fi o unitate indecompozabilă.

Pentru ca tracțiunea electrică să fie mai rentabilă decît cea cu abur, trebuie ca traficul să crească suficient pentru a avea :

$$\Delta + \beta - \alpha < (a - l) N.$$

Există în totdeauna o valoare a lui  $N$  care să înceapă a satisface inegalitatea, atîta timp cît  $a > k$ , adică cît osia-km. exploatată electric costă mai puțin decît osia-km. exploatată cu abur. Or, aceasta se adevărește din toate electrificările publicate pînă acum.

Acea valoare a traficului, începînd dela care exploatarea electrică devine mai rentabilă de cît cea cu abur, s'ar putea numi valoarea critică a traficului.

În vederile expuse mai sus sînt prezentate datele de exploatare de pe cele 2 linii menționate la congresul căilor ferate italiene din Genova.

1) *Linia Milano-Varese Porto-Ceresio* de 74 km. lungime are pe porțiunea Milano-Gallarate, pante de 6‰ pe porțiunea Gallarate-Varese pante de 10‰, iar pe porțiunea Varese-Porto-Ceresio pante de 20‰ și curbe de 300 m.

Centrala are 8 căldări de vapori, 3 mașini cu abur de 1400 cai acuplate la 3 alternatori trifazați de 700 kw. sarcină normală fiecare.

Substațiunile, în număr de 5, conțin cîte un transformator, care coboară tensiunea primară dela 12000 v la 420 v, cîte o comutatrice care dă continuu la 650 v pe linia de prisă, și cîte o baterie tampon.

Ca material de cale : 93870 m ; canalisația aeriană de înaltă tensiune ; 114865 m. șina a 3-a (tip. 45).

Ca material rulant era în 1903 : 20 trăsuri automotrice, o locomotivă de 38 tone, 5 vagoane poștă automotrice, și 16 automotrice pentru tracțiunea multiplă cu comandă unică.

În tracțiunea cu vapori înainte de 1901 se întrebuițau 35 locomotive (25 în serviciu, 4 de rezervă și 6 în reparație).

Cu aceste instalațiuni, capitalul de transformare rezultă din următorul tablou al cheltuelilor generale de instalație :

NATURA CHELTUELILOR	Costul	Perioada de amortisment în ani	Dobîndă <sup>1)</sup> și amortisment
1) Clădirea centralei și accesorii	418000	60	17883
2) Mașini în centrală	1227600	20	92352
3) Canalisația aeriană de înaltă tensiune	262924	60	11625
4) Stîlpii precedentei	230250	10	28389
5) Substațiunile. Clădiri	109900	60	4808
6) Mașini în substațiuni	839904	20	61817
7) Bateria de acumulatori în substațiuni	171469	10	21142
8) Linia de tensiune joasă	165913	60	7886
9) Stîlpii precedentei	113896	10	14043
10) Șina a 3-a	1412600	60	63792
11) Conexiuni, cable, etc.	1046800	20	77044
12) Conexiunile șinelor de cale	205000	20	15088
13) Echipamentul electric al trăsurilor automotrice	1102314		81129
Total chelt. de prima instal.	7386570		496448
De scăzut :			
1) Locomotivele cu vapori pentru trenuri de călători	4284000	20	315302
2) Mărirea depozitelor de mașini	200000	60	8844
3) Castele de apă și coloane hidraulice.	100000	30	5780
4) Plăci turnante	50000	60	2211
Total de scăzut	4634000		332137

Capitalul de transformare este deci  $7386570 - 4634000 = 2752570$  iar dobînda și amortismentul acestui capital este  $\Delta = 164311$  lei.

Comparația este făcută pe anii de exploatare : 1897 pentru tracțiunea cu vapori și 1902-1903 pentru tracțiunea electrică. În primul traficul de persoane a fost de 5640000 osii—km., în al doilea de 10330000 osii—km. anual. (Comparația e făcută numai pe traficul

1) Dobînda calculată cu 4%.

de persoane căci în 1902-903 traficul de marfă se făcea cu locomotive cu vapori).

Cheltuelile de exploatare sînt împărțite pe cele 3 servicii : de întreținere, de mișcare și de tracțiune.

1) *Cheltueli de întreținere* : 83094 pentru exercițiul 1897 și 143832 pentru 1902-1903.

2) *Cheltueli de mișcare* : 177970 pentru 1897 și 339656 pentru 1902-1903.

3) *Cheltueli de tracțiune* : acestea le reproduc pe capitole, fiind cele mai interesante.

*Exploatarea cu vapori (1897.)*

Personal în centrală și biurouri	7315 lei
Întreținerea materialului rulant	103643 »
Conducerea trenurilor	57341 »
Combustibil pe locomotivă	105923 »
Apa	2588 »
Unsoare pentru locomotive	4115 »
Unsoare, verificare și curățitul vagoanelor	5039 »
Total	285964 lei

*Exploatarea electrică (1902-903).*

Personal în centrală și biurouri	16505 lei
Întreținerea materialului rulant	59743 »
Conducerea trenurilor electrice	36964 »
Producerea, transformarea și distribuirea energiei electrice	402329 »
Unsoarea și verificarea trăsurilor electrice	1676 »
Total	517217 lei

Din aceste 2 serii de cifre e interesant de remarcat că cu un număr mai ridicat de unități motrice cheltuelile de întreținere ale materialului rulant au devenit de 2 ori mai mici, iar cheltuiala conducerii (mașiniști, fochiști) s'a redus în raportul de 57/36.

În fine cheltuelile de unsoare, verificare, curățire cari la urmă s'ar fi putut băga în cheltuelile de întreținere ale materialului rulant s'au redus de la 10 la 1.

O parte din cheltuelile de mai sus sînt fixe, alta e funcțiune de trafic. Separația nu e precisă.

D-nul ing. *F. Tajani* o face astfel :

1) Cheltueli de întreținere. După oare care considerații, găsește : 74477 pentru vapori și 128111 pentru electricitate ca cheltueli fixe. Restul variabile.

2) Pentru cheltuelile de mișcare dă ca foarte aproape de adevăr proporția de 1 cheltueli fixe la 3 cheltueli variabile.

3) Cheltuelile de tracțiune sînt toate variabile, funcțiune de trafic, pentru tracțiunea cu abur. In cea electrică însă sînt oare care cheltueli ca cele de personal și întreținere in uzină și consumația de energie în uzină, care reprezintă, o parte fixă, independentă de trafic. Cu o bună statistică în uzină, ele s'ar fi putut evalua exact. Autorul le ia a 4-a parte din cele totale, cifră pe care o crede foarte aproape de adevăr.

Impărțind pe cele 3 capitole aceste cheltueli fixe și variabile avem tabloul următor.

Natura cheltuelilor	Cheltueli fixe		Cheltueli variabile	
	Tracțiunea cu vapori	Tracțiunea electrică	Tracțiunea cu vapori	Tracțiunea electrică
De întreținere	74477	128111	8617	15721
De mișcare	44492	84914	133478	254742
De tracțiune		129304	285964	387913
	$a =$	$B =$	$aN =$	$iN =$
Total în lei	118969	342329	428059	658376

Cu traficul dat de 5640000 și 10330000 osii-km, avem ca cheltueli variabile pe osia-km. pentru abur :

$$a = 0,076$$

iar pentru electricitate :

$$b = 0,064$$

Aplicînd pentru anul 1902—903 cu traficul de 10330000 osii-km. formulele date pentru cheltuelile anuale de exploatare, avem :

$$Ca = 118969 + 0,076 \times 10330000 = 903969 \text{ lei}$$

$$Ce = 164311 + 342329 + 658376 = 1165016.$$

Se vede că în 1902—903 tracțiunea electrică costa pe linia Milan-Varese cu 262047 lei mai scump decît cea cu abur. Este întrebarea: Cît de mare ar fi trebuit să fie traficul pentru ca exploatarea electrică să revie mai ieftin ca cea cu abur ?

Cu formula  $\Delta + \beta - \alpha \leq (a-b) N$  avem :

$$N \geq \frac{387761}{0,012} = 32306000 \text{ osii km.}$$

Deci abia la un trafic de 3 ori mai mare, de cît în 1902—903 tracțiunea electrică ar fi devenit mai rentabilă ca cea cu abur <sup>1)</sup>.

Dar această concluzie trasă numai din cifre e greșită fundamental.

Mai întii asupra cifrelor chiar pe care se bazează comparația e de observat că atît cheltuelile de întreținere cît și cele de mișcare, acuză în exploatarea electrică o creștere, pe care numai cauze cu totul speciale, datorite de sigur și neexperienței în un sistem cu totul nou, o pot explica. Nici în exploatarea liniilor Valteline nici în proiectele germane sau austriace nu găsim această mare creștere.

Apoi dacă tracțiunea electrică a atins traficul critic foarte ridicat, în anii următorii, cu instalațiile pe cari s'a făcut comparația, (afară de material rulant, firește), oare tot așa ar fi fost dacă s'ar fi ținut tracțiunea cu abur? Hotărît nu. Ar fi trebuit sporiri de stații, de ateliere, castele de apă, plăci turnante, etc. ; mai mult încă, la un trafic relativ scăzut, ar fi trebuit dublată porțiunea cu cale simplă: Varese-Porto Ceresio. Asta însămnă că capitalul de transformare ar fi scăzut considerabil, ba ar fi devenit chiar negativ.

Traducînd în cifre aceste considerațiuni s'ar vedea atunci că tracțiunea electrică e în realitate mai rentabilă de cît cea cu vapori pentru un trafic mult mai scăzut de cît cel dat în mod absolut de cifre.

În fine trebuie să mai ținem seamă, că electrificarea acestei

---

1) Acest trafic a fost ajuns și chiar întrecut în anii următori. Linia Milan-Varese e de altfel una din liniile pe care traficul a acuzat cea mai extraordinara creștere, la care a contribuit pe lîngă dezvoltarea industrială a localităților deservite, și faptul că după introducerea tracțiunii electrice, căile ferate italiene au redus în mod simțibil tariful de persoane pe această linie. În 1906 traficul era deja așa de ridicat că nici tracțiunea electrică cu cale simplă nu mai făcea față, și a trebuit să se dubleze porțiunea Varese-Porto Ceresio.

linii s'a făcut în condițiuni foarte puțin avantajoase, atât prin producerea prea scumpă a energiei în centrala cu abur, cât și prin forma de distribuție sub curent continuu transformat din trifazat, care nu poate fi economică pe lungimi mari.

Din examinarea tablourilor date rezultă că combustibilul întrebuințat pe locomotivă costa în 1897, 0,018 lei pe osie-km, iar în 1902—903 energia produsă în uzină costă 0,039 lei pe osie—km. Kw—oră costă după datele căilor ferate italiene 0,108 lei la tabloul centralei. Or asta e mult pentru o instalație de tracțiune mare. Cauza stă în faptul că centrala construită acum 10 ani întrebuințează cărbunele, relativ scump în Italia, și în cazul de față încă și mai scump prin faptul că uzina este așezată în o localitate (Tornavento) departe de calea ferată și deci greu de deservit.

De remarcat e că soc. Mediterană care a început linia, proiectase o uzină hidraulică în care energia revenea la 0,045 lei kw—oră

Pentru a ne da seamă de valoarea acestor cifre, să mai adaug că pe baza rezultatelor obținute pe linia Dessau-Bitterfeld, statul prusiac în noile proiecte de electrificare evaluează la 2,75 pfenigi kw oră, costul energiei electrice în centralele ce vor fi alimentate ca cea de la Muldenstein cu lignit din localitate.

2) *Liniiile Valtelini.* Pe aceste linii problema electrificării se pune cu totul altfel de cât pe liniile varesine. Linia Lecco-Colico cu cele 2 ramuri la Chiavenna și la Sondrio este o linie cu trafic relativ redus. În schimb electrificarea este făcută în condițiuni foarte economice. Centrala hidroelectrică de la Morbegno utilizează o cădere de 30 m, luată din o derivație a râului Adda, și produce 5300 C. P. sub formă de curent trifazat, sub 20000 V. și 15 perioade pe secundă pe care îl trimite în linia de tensiune înaltă, care alimentează 11 substațiuni, din care curentul este trimis în firele de prisă sub 3000 volți.

De o lungime totală de 105 km, această linie prezintă pante pînă la 2,2‰ și raze de 300 m.

S'au comparat anul 1897 pentru exploatarea cu abur cu un trafic total de 6258208 osii—km., și anul 1902—903 cu 11538092 osii—km, pentru exploatarea electrică.

Iată tabloul cheltuelilor de electrificare ale liniilor Valtelinei, din care voi deduce capitalul de transformare :

Natura cheltuelilor	Costul	Perioada de amortizare	Dobânda și amortisment
Clădiri și lucrări de artă hidraulice	1234000	ani 60	54543
Expropieri	50000	—	2000
Turbine și conducte	383320	30	22068
Mașinăria și aparate electrice	457200	30	26380
Stâlpi de lemn	330308	10	40728
Stâlpi de fer	2460	60	109
Canalisațiunea primară	338380	60	14954
Canalisațiunea secundară și accesorii electrice de cale	457200	30	26380
Substațiuni. Clădiri și transformatori	366526	60	16199
Remiză de lemn și diverse lucrări mici	39400	30	2217
Mașini pentru atelier de reparat	41700	30	2406
Telefoane	26956	25	1725
Lucrări pentru înlăturarea perturbațiunilor telegrafice	225000	—	9000
Material mobil ; Echipamentul electric a 12 automotrice.	809200	20	59577
3 locomotive electrice.	415598	20	30372
<i>De scăzut</i>	5432463	ani	323595
Mărirea remiselor de locomotive din Lecco și Chiavenna	79650	60	3520
Lucrări pentru instalații telegrafice	42000	—	1680
Suma anuală destinată a mări capacitătea coloanei hidraulice din Colico	2160000	20	158976
Locomotive 27 a lei 80000.	—	—	—
<i>Total</i>	2281650		164176

Raportorul dă cheltuelile anuale de întreținere, mișcare și tracțiune, pe capitole, le desparte pe fiecare în parte fixă independentă

de trafic și alta variabilă, proporțională cu traficul, după aceleași norme ca mai înainte, și alcătuește cu acestea următorul tablou :

Natura cheltuelilor	Cheltueli fixe		Cheltueli variabile	
	Tracțiunea cu vapori	Tracțiunea electrică	Tracțiunea cu vapori	Tracțiunea electrică
Intreținere . . . . .	211925	276953	—	—
Mișcare . . . . .	92805	134322	278413	402964
Tracțiune . . . . .	—	41253	266866	288770
<i>Total</i> . . . . .	$\alpha =$ 304730	$\beta =$ 452528	$a N =$ 545279	$b N$ 691734

Din primul tablou calculăm capitalul de transformare : 2055963 ; iar dobînda și amortismentul lui este :

$$\Delta = 158419 \quad \text{sau } 1518 \text{ lei pe Km de cale.}$$

Din al 2-lea tablou obținem, ținînd seamă de numărul de osii — Km. al celor 2 ani comparați :

$$a = 0,087 \frac{\text{lei}}{\text{osia - Km}} \quad \text{și} \quad b = 0,060 \frac{\text{lei}}{\text{osia - Km.}}$$

Pentru anul 1902—903 cu traficul de 11538092 osii - Km, cele 2 feluri de exploatare ar fi costat :

$$C_e = \Delta + \beta b + N = 158419 + 452528 + 691734 = 1302681$$

$$C_a = \alpha + a N = 304730 + 0,087 \times 11538092 = 1309730.$$

Iar valoarea traficului critic :

$$N = \frac{\Delta + \beta - \alpha}{a - b} = \frac{30 \cdot 217}{0,027} = 11341000 \text{ osii-Km.}$$

Deci la traficul din 1902—903, aproape dublu cît cel din 1897, tracțiunea electrică este mai rentabilă de cît cea cu vapori.

Traficul critic de 11341000 osii—Km reprezintă cam 8 perechi de trenuri de cîte 20 osii pe zi ; acesta reprezintă un trafic mai scăzut de cît al liniei noastre Cîmpina—Predeal în timpul iernei, și nici jumătate din traficul porțiunii Ploești—Cîmpina.

În definitiv din rezultatele exploatării electrice pe cele 2 linii italiene putem trage concluziunile următoare :



Un trafic întins face rentabilă electrificarea unei linii, chiar când această electrificare se face în condițiuni puțin favorabile (cazul liniilor Varesine); și din contra o electrificare făcută în condițiuni economice de producere și distribuire de energie, este rentabilă chiar pentru o linie cu trafic mai scăzut (cazul liniilor Valtelinei).

În urma rapoartelor prezentate la congresul al IX al căilor ferate italiene, s'a votat următoarea ordine de zi :

«Tracțiunea electrică alterînd cheltuelile de exploatare ale «căilor ferate în sensul că cele fixe se măresc, iar cele variabile se micșorează, convine cu atît mai bine, cu cît traficul este mai ridicat.

«Limita de trafic dela care începe să convie transformarea «electrică, atîrnă de sistemul de electrificare, și de condițiile pro-«ducerei de energie; pare totuși că chiar în bune condițiuni de «electrificare, nu convine transformarea pe liniile de lungime ceva «mai mare, dacă traficul nu prezintă șease la opt perechi de trenuri «pe zi».

Elementul principal în cheltuelile variabile, și tot deodată și cel mai supus al discuții, este acel al consumației de energie.

În această privință s'au făcut măsuri interesante pe linia Giovei în cursul anului de exploatare 1910—11. Iată cîteva din aceste :

În ziua de 30 Noembrie 1910 s'a măsurat energia consumată în cele 2 locomotive de cap și de coadă, în cursul traseului complet Pontedecimo—Busalla, cu un tren cu cărbuni de 380 tone greutate utilă (32 osii), cu viteza de 45 Km/oră.

Locomotiva din cap a consumat :

În primele 94 sec. ale pornirei . . . . . 70103 Kw-sec.

Pe restul parcursului . . . . . 761781 »

Total . . 831884 »

Locomotiva din coadă :

În primele 108 sec. ale pornirei . . . . . 66884

Pe restul parcursului . . . . . 792312

Total . . 859236

Egalitatea consumației în cele 2 locomotive dovedește perfectă realizare a tracțiunii duble cu unități independente, care se contesta, mai ales trifazatului, din cauza rigidității sistemului în ce privește viteza. S'a dovedit însă că numai cu puțină atenție la ampermetru cei 2 mecanici conduc în perfect acord locomotivele lor.

Totalul KW-sec consumați în cele 2 locomotive este de 1691120 KW-sec., sau 469,75 K-W ore.

Cu 10,4 Km avem 520 tone-Km reale, deci :

$$\frac{469750}{5200} = 90,33 \text{ wați-oră pe tonă-Km reală.}$$

Sau :  $\frac{469750}{500 \times 65} = 14,5 \text{ wați-oră pe tonă-Km virtuală.}$

Aceste sînt consumațiile măsurate pe locomotivă. Cu un randament de 0,66, revine 22 wați-oră pe tonă-Km virtuală la barele tabloului.

Consumația medie în uzină s'a găsit :

16 Kgr. de cărbune pe Kw-oră ; asta face 35 Kgr. de cărbune pe 1000 t-Km virtuale :

Cîteva cuvinte asupra calității demarajului :

El reprezintă o accelerațiune de :

$$\frac{45000}{3600 \times 94} = 0,13 \text{ m/sec}^2.$$

pe cînd în tracțiunea cu abur nu se depășea 0,07. Energia măsurat, de pildă pe prima locomotivă, se descompune precum urmează :

1) Energia necesară pentru învingerea rezistențelor în mers ; demarajul se face pe plan orizontal, deci cu o rezistență totală la mers de 500 tone  $\times 4 \frac{\text{Kgr.}}{\text{tonă}} = 2000 \text{ Kgr.}$

Iar energia va fi :  $\frac{2000 \times 28}{270 \times 1,36} \times 94 \text{ sec.} = 14700 \text{ KW-sec.}$

deci 21% din energia totală consumată în timpul demarajului. În formula de mai sus nu am luat valoarea medie a vitezei (22,5 Km/oră), ci ceva mai mult  $\left(28 \frac{\text{Km}}{\text{oră}}\right)$  din cauza că creșterea vitezei în timpul demarajului nu se face linear, ci aproape parabolic.

2) Energia consumată în reostatul de demaraj al motorului ; s'a măsurat pe locomotivă și s'a găsit 20000 KW-sec adică cam 29% din total ; aceasta reprezintă o pierdere.

3) Energia necesară demarajului propriu zis  $\left(\frac{1}{2} m v^2\right)$  este restul de 35000 KW-secunde adică cam 50% din energia totală consumată în timpul demarajului.

O încercare interesantă de demaraj s'a făcut cu un tren de 190 tone cu simplă tracțiune, în rampa maximă de 3,5% și în niște condițiuni atmosferice cu totul defavorabile.

Punerea în viteză s'a făcut în 3' și 10", cea ce reprezintă o accelerațiune medie de :

$$\frac{45000}{3600 \times 190} = 0,066 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}.$$

Consumația de energie în uzină și diferitele faze ale demarajului. se văd foarte clar în planșa No. XXIX.

În planșa No. XXX sunt 3 diagrame extrem de interesante din care rezultă *avantajul recuperării în sistemul trifazat*. Se vede că cu un tren identic cu precedentul, care urcă cu  $45 \frac{\text{Km}}{\text{oră}}$ , s'a găsit o consumație în uzină de  $22,3 \frac{\text{wați-oră}}{\text{tonă-Km-virtual}}$ .

Cînd însă în același timp un tren de aceeași compoziție coboară dela Busalla la Pontedecimo cu aceeași viteză și cu motorii inserați, deci recuperînd energie, (diagrama a 2-a) consumația se coboară în uzină dela 550 la 335 KW-oră sau dela 22,2 la 13,6 Kw-oră pe tonă-Km virtual de tren ce urcă.

Deci trenul ce coboară lucrează ca o adevărată uzină ambulantă contribuind cu 40% la producerea energiei.

Nu e locul aci a studia mult discutata valoare a acestei recuperări de energie, caracteristică sistemului trifazat și trecută pe nedrept cu vederea în Germania de partizanii monofazatului.

Cea ce trebuie să reținem este că factorul cel mai important în rentabilitatea unei electrificări, adică costul energiei produse este considerabil redus în sistemul trifazat prin efectul recuperării de energie.

Aceasta se poate privi ca o bună compensare a faptului că cheltuelile de prima instalație sunt mai ridicate în sistemul trifazat de cît în cel monofazat prin costul mai ridicat al canalizației primare și secundare și prin numărul ceva mai mare al substațiilor necesitate de faptul că în primul sistem nu se pot întrebuița voltaje de linii atît de ridicate ca în cel de al 2-lea.

Pentru a ne da mai bine seamă de valoarea cifrelor date pînă acum le voi compara cu cele relative la tracțiunea cu abur, pe care le iau din o comunicare făcută la Institutul american al inginerilor electricieni de către *A. N. Armstrong* în Noembrie 1907.

El compară una din locomotivele cu vapori americane, întrebuițate în Statele Unite cu 149,7 T. greutate totală cu tender, 84,4 T. greutate aderentă, cu o locomotivă electrică cu curent

continuu de 113,5 tone, din care 90,7 tone greutate aderentă, a uneia din liniile electrice americane. El dă ca consumație de cărbune în locomotiva cu abur 2,5 Kgr. pe Kw. oră la janta roții, iar ca consumație de cărbune în uzină 1,66 Kgr. pe Kw-oră la janta roții sau 1,12 Kgr. pe Kw. oră la tablou. Cu această consumație de cărbune, cu un preț de 17,40 lei tona, prețul Kw-oră la tablou revine la 3,95 bani/Kw-oră, țifra ce coprinde pe lângă cheltuelile curente de exploatare ale uzinei și dobînda și amortismentul capitalului de transformare.

Cu țifrele de mai sus, în urma unei serii de măsuri cu ambele locomotive și cu date din exploatarea anterioară cu vapori și cea din 1907 electrică, autorul alcătuește un tablou comparativ cam cum urmează :

### TRACȚIUNEA CU VAPORI

Consumație și cheltueli pe 1000 tone-Km.	Rampa de 1/2 %	Rampa 1%	Rampa 1 1/2 %	Rampa 2%
Cărbuni, consumație	31 bani	53 bani	78 bani	110 bani
Cărbuni, cost (în bani)	54	92	136	190
Serviciul pe locomotive și tren	48,5	86	130	180
Intreținerea mat. rulant	37,7	64	94	130
Total în bani	140,2	242	360	500

### TRACȚIUNEA ELECTRICA

Consumație și cheltueli pe 1000 tone-Km.	Rampa 1/2 %	Rampa 1%	Rampa 1 1/2 %	Rampa 2 %
K. W.-oră pe 1000 tone-km.	18	30,6	45	63
Cărbuni, consumație (în kgr.)	20,2	34,5	50,5	71
Costul energiei în uzină (în bani)	72	127	181	237
Serviciu pe locomotive și tren (în bani)	25,8	44	65	86,2
Intreținerea mat. rulant (în bani)	13	22,4	32,5	43,3
Total în bani	110,8	193,4	278,5	35
Economie pentru 1000 tone-km. în exploatarea electrică, în bani.	29,4	48,6	81,5	133,5

Ca cost scăzut al energiei electrice este de remarcant acel din instalațiile existente sau proiectate din Prusia.

Pentru linia Dessau-Bitterfeld se prevăzuse 3, 5 kgr. de lignit pe K. W-oră; în măsurile făcute anul acesta s'a găsit 2, 8 kgr. pe K. W-oră, cea ce face 0,616 pfenigi costul combustibilului pe K. W-oră la tablou sau aproximativ 0,9 pfenigi pe K. W-oră la locomotivă.

Pe tonă Km. s'a găsit 29,5 wați-oră pentru trenuri de persoane și 16,5 pentru cele de marfă.

În proiectul de electrificare al liniei Lauban Königszelt (Prusia) se prevede 35 wați-oră pe tonă-Km. de tren de persoane și 22,5 wați-oră pe tonă-Km. de tren de marfă.

Pe toate aceste linii prețul K. W-oră la tablou s'a socotit la 2,75 pfenigi.

**Conclușiuni.** Din cifrele și exemplele citate se degajă următoarele conclușiuni și învățăminte, ce trebuiesc avute în vedere în electrificarea ori cărei căi ferate.

1) Capitalul de transformare al căii ferate cu abur în cale ferate electrică e de cele mai multe ori considerabil.

El încarcă cheltuelile anuale de exploatare cu dobânda și amortismentul său. Sumele alocate în acest scop de diversele administrațiuni ce au făcut sau fac asemenea lucrări, ne arată importanța acestui capital. Mai adaug aci că cele 25 mil. mărci pentru linia Magdeburg-Halle-Leipzig (154 Km.) se împart în 19,5 milioane pentru uzină, substațiuni și conducte și 55 mil. pentru locomotive. Cele 23 mil. la care s'a evaluat electrificarea liniei Lauban-Königszelt (139 km.) se împart în 10 mil. pentru canalizații și substațiuni, 7,4 mil. pentru locomotive (20 de persoane și 41 de marfă) și 5,5 mil. reprezintă instalația de forță, ce va furnisa și energie pentru diferite scopuri la particulari. <sup>1)</sup> În ce privește prețul locomotivelor, mai remarc că pentru Midi français se prețuesc cam la 2,50 lei k gramul față 1,70 — 2 lei cît se plătesc cele cu vapori; statul prusiac le plătește mai puțin.

Pentru a avea adevărata valoare a capitalului de transformare trebuie, cum am mai spus. a descărca sumele de mai sus de va-

---

1) Dacă ținem seamă că electrificarea liniei Dessau-Bitterfeld (26 km. cale dublă, ca și cele de mai sus) a costat numai 2 mil. de mărci, cuprinzînd și locomotivele, cifrele prevăzute pentru liniile citate par cam ridicate.

loarea locomotivelor cu vapori și a tuturilor instalațiilor cari rămân disponibile pentru alte linii prin suprimarea tracțiunii cu vapori.

Foarte adesea electrificarea se presintă ca una din soluțiile unei transformări indispensabile, și ca atare poate să apară ca soluțiunea cea mai economică. Așa ar fi cazul cînd sporirea traficului ar cere dublarea unei linii grele (ca la linia Kiruna-Riksgränsen) sau cînd sporirea greutateii locomotivelor cu abur ar cere consolidări costisitoare de poduri, cari se pot înlătura pe linia electrificată cu locomotive mai ușoare și mai puternice. Menționez în trecut că linia *Cimpina-Doftana* (5.2 km.) cu rampe de 3%, cu trenuri grele și cu 240 m. lungime de poduri de consolidat, ar da un exemplu tipic pentru acest caz.

Tot așa ar fi cazul cînd sporirea traficului ar cere construcții de noi remise, ateliere, castele de apă sau plăci turnante. Ultimile 2 sunt inutile în exploatarea electrică.

Cît despre primele, dimensiunile mult mai mici ale locomotivelor electrice precum și curățirea și repararea mult mai redusă pe care o comportă acestea, fac că ele se reduc considerabil ca număr și ca mărime.

La aceasta contribuie și faptul că pentru acelaș trafic e nevoie de mult mai puține locomotive electrice de cît cu abur, din cauză că locomotiva electrică e mai puternică, are o manevră mult mai ușoară, e totdeauna gata de plecare, și ceea ce mai ales este important, e capabilă a sta un timp mult mai îndelungat în serviciu neîntrerupt, fiind scutită de periodicile și oneroasele scoateri din serviciu, care încarcă atît de mult parcul locomotivelor cu vapori.

2) Cheltuelile de întreținere ale materialului rulant se reduc considerabil. Locomotiva electrică este un aparat mai robust și mai durabil decît cea cu abur. Periodicile revizuirii și reparații, necesitatea în special de curățirea căldărei tubulare și a tenderului, dispar la locomotivele electrice, care și au din această cauză o mult mai îndelungată funcționare neîntreruptă. Apoi și felul reparațiilor sunt de așa natură că importanța atelierilor scade. Această economie în cheltuelile de întreținere, pe care am întîlnit-o și în citatele linii italiene, este destul de ridicată pentru a compensa cu mult surplusul care apare în cheltuelile de întreținere ale căii, prin întreținerea liniilor de curent sau a șinei a 3-a, care de altfel reprezintă puțin lucru. Menționez în această ordine de idei, că în proiectul de electrificare al liniei prusiene Laubar-Königszelt, s'a prevăzut 231405

mărci pentru întreținerea locomotivelor electrice (9,33 mărci pe 1000 loc.-km. în mers și 58 mărci pe 1000 loc. km. în atelier.)

Dacă se adaugă la această cifră încă 68455 mărci pentru întreținerea celor 130 km. de conducte aeriene se obține 300.000 mărci anual.

Iar întreținerea locomotivelor cu vapori pe această linie, este socotită azi la 615910 mărci, ceea ce reprezintă 28 mărci pe 1000 loc.-km. în mers și 151,2 mărci pe 1000 loc. km. în atelier. Deci exploatarea electrică reprezintă o economie de mai mult ca jumătate.

3) Cheltuielile personalului de tracțiune se reduce în exploatarea electrică, prin ușurarea serviciului de conducere și suprimarea fochiștilor. Locomotiva electrică cere mai puțină pricepere, mai puțină muncă și mai puțină atenție decât cea care trebuie să o conducă. Mecanicul încetează de a mai fi un meseriaș scump plătit și greu de înlocuit. Experiența în această privință o avem și la noi în țară cu locomotivele electrice cu acumulatori care fac manevra la silo-surile portului Constanța.

Acest avantaj este bine apreciat pe toate liniile electrice ce am avut ocazia să vizitez.

4) Cheltuielile de întreținere ale căii propriu zise, se reduc, mai exact se vor reduce, cu timpul, calea fiind mult mai puțin ostenită în tracțiunea electrică.

5) Cheltuielile de producere ale energiei sunt cele care își spun ultimul cuvânt, când privim problema electrificării prin prisma rentabilității. Cu centrale hidraulice, costul energiei este totdeauna așa de ieftin, în cât electrificarea devine rentabilă chiar pentru linii cu trafic scăzut.

Cu centrale termo-electrice, rentabilitatea afacerii atârână de calitatea și felul instalațiilor, și mai ales de felul utilizării centralei; pare hotărât că cu toate pierderile ocazionale de transport și de numeroasele transformări iminente sistemului electric, consumația de combustibil pe cal-ora la janta roții, sau pe tonă-km., este mai scăzută în tracțiunea electrică decât în cea cu vapori; afară doar de cazul unei instalații cu pierderi prea mari în linie și cu mașini proaste sau prost utilizate. În condiții normale de electrificare se poate spune că există totdeauna o intensitate de trafic, începând de la care exploatarea electrică să fie mai rentabilă decât cea cu abur.

Firește, cu cât se va alege un sistem de tracțiune electrică care să corespundă mai bine condițiilor speciale ale cazului, cu

cît voltajul de transport și de linie, frecvență, numărul stațiilor și alegerea sistemului de motor, vor fi mai adînc gîndite, cu cît centrala de forță va fi mai bine studiată și cu un mai bun coeficient de utilizare, cu atît va fi și tracțiunea electrică mai rentabilă față de cea cu abur, și mai proprie de aplicat pentru orice cale.

Instalarea și echiparea unei linii electrice poate cere, azi cel puțin, cînd în multe privințe, nici practica nu și-a spus ultimul ei cuvînt, un capital de cunoștințe și o consumație de gîndire mai mare decît acele cerute la construcția unei căi ferate pentru tracțiunea cu abur; în schimb însă și posibilitatea de «mai bine» apare cum am văzut, extinsă în limite cu totul neașteptate.

Este și aceasta o aplicare a principiului conservării energiei.

