

Circulațiunea mașinilor grele pe liniile căilor ferate române.

VICTOR V. STOICĂ

Încă înainte de război, diverse administrațiuni de cale ferată, începuseră a construi locomotive puternice și grele pentru remorcarea trenurilor și în special pentru trenurile de marfă. În această privință, America ținea recordul, iar azi se găsesc mașini, ce ating sarcini până la 20 tone pe osie.

În Europa, Germania avea asemenea locomotive cu sarcini până la 18 tone pe osie, iar Belgia are azi cele mai grele mașini, care au 19 tone pe osie.

În cele ce voi spune aci, mă refer la sarcinile pe osie, de oarece, atât în calculul liniilor, cât și al construcțiunilor de artă, aceste valori intră în primul rând. Bine înțeles că: distanța între osii, numărul lor, diferite mișcări parazite ale mașinilor, etc. intră și ele în calculele ce se fac, însă, ceea ce primează, este sarcina pe osie.

Mașinile cele mai grele, atât în vechiul regat cât și în Ardeal, înainte de război, aveau 16 tone pe osie. Prin denumirea categoriei, sosotită după numărul de roți cuplate, se putea deduce aproximativ greutatea mașinei, păstrându-se o normă pentru aceste greutateți. Această normă azi nu mai există.

Actualmente, prin varietatea mașinilor rămase după război, dar mai ales printr'o serie de comenzi de locomotive, făcute direct de Minister, fără vreun studiu prealabil al chestiunii și nici măcar să se fi cerut avizul serviciilor competente ale căilor ferate, administrația C. F. R. s'a trezit cu o sumă de mașini de tot felul de tipuri și cu greutatețile cele mai mari, dintre care unele nici nu erau permise a circula în Europa înainte de război. Există astfel la

C. F. R.: locomotive care nu pot fi întoarse pe actualele plăci turnante, așa că trebuie a se construi triunghiuri de întors mașini, prin diferite stațiuni; altele, chiar dacă încap la limită pe aceste plăci, prin descentrarea sarcinilor, strică instalația; alte mașini nu pot fi remizate, fiind prea lungi, sau, dacă intră în remiză, nu se pot potrivi instalațiilor de curățire, revizie, ventilare, etc., așa că aprinde chiar părți din remiză, din dreptul coșurilor; la alte mașini instalațiile de alimentare cu apă nu se potrivesc sau le sfărâmă, etc. Toate acestea au adus o mare perturbațiune în exploatarea căilor ferate și mai ales o mai mare primejdie în ceea ce privește circulațiunea și întreținerea liniilor.

Cum în vechiul regat liniile sunt construite cu șine de profile slabe (cel mai puternic este profilul tip 40, ce se află pus numai pe câteva linii ca Pitești—București—Roman, Constanța—Fetești și alte câteva crâmpoie) se înțelege, că chestiunea circulațiunii mașinilor grele devine foarte gravă. Și aceasta, cu atât mai mult, cu cât, atât în Ardeal cât și în Bucovina, cele mai multe linii sunt cu profile sub tipul 40 și numai prea puține cu tipul 42. Pe de altă parte, astăzi liniile se află, din punct de vedere al întreținerii, într'o stare foarte rea, căci în timpul războiului nu a existat aproape nici o posibilitate de asemenea lucrări, sau foarte slabă, iar după război — din cauza lipsei de traverse, precum și a celuilalt material de cale — liniile nu s'au putut întreține decât foarte slab, necum să se mai readucă la starea de dinainte. Astăzi căile noastre ferate se găsesc cu liniile într'o stare foarte rea, cu șine uzate, cu traverse putrede și aproape 50% rele, fără materiale în depozit pentru reparații și preschimbări și cu o circulațiune cu totul anormală de vagoane și locomotive din cele mai grele și cele mai proaste, din punct de vedere al circulației pe linie.

Dintre mașinile actualmente în circulațiune, cele mai grele și mai rău echilbrate, ce dau mișcări parazite foarte mari și periculoase, sunt cele zise americane, care se pare că au, puse în serviciu, peste 19 tone pe osie. Mișcările de șerpuire și tangaj ale acestor locomotive, deplasează curbile cu câte 10—15 cm., pe liniile cu profile slabe, cum este Câmpina-Predeal, iar *ruperile de șine sunt curențe, producându-se din această cauză chiar deraieri de trenuri*, cum a fost pe linia de mai sus, în stația Buzău, ș. a.

Astfel de mașini, înainte de război, nu au fost admise în Europa; iar în America, unde circulau cele mai grele mașini, liniile erau cu șini de 67.5 kgr. pe m. l. Astăzi, în Belgia, mașini cu 19

tone pe osie circulă pe linii cu șine „Goliat” de 52 kgr. pe m. l., căci „șinele tip 40 sunt prea slabe pentru a suporta circulația acestor motoare”¹⁾).

În Prusia se face următoarea circulațiune :

Pe șine tip 30—37 (fără trenuri accelerate) mașini de 14 tone/osie
 „ „ „ 41—43,4 (cu „ „ „) „ „ 16 „
 „ „ „ 45,05—47,28 (trenuri cu viteze mari) „ „ 18 „

La noi, în situația de azi, după cum se vede, se circulă ca nicăeri, așa că nici întreținerea căii nu se poate face, mai ales cu lipsa completă de mijloace, cum ne găsim.

Ca să se poată face o idee precisă de cele zise mai sus, precum și până unde se poate ajunge cu actuala circulație, redau mai jos rezultatele calculului făcute de Servic. întreținerii din Dir. Gener. C. F. R., pentru tipurile de șine din vechiul regat (v. Tabl. I), însoțit de câteva observațiuni.

Cu circulara No. 61922 din 2911 a Dir. Gener. se stabilește următoarea circulație :

Pe șine tip	17	vor circula locomotive până la	9	tone pe osie
„ „ „	24	„ „ „	13	„ „ „
„ „ „	30	„ „ „	16	„ „ „
„ „ z	32	„ „ „	16	„ „ „
„ „ „	36	„ „ „	17	„ „ „
„ „ „	40	„ „ „	18	„ „ „

Tabloul I ne arată, în acest caz, că șinele de diferite tipuri ar putea suporta, pentru sarcinile indicate mai sus, rezistențele respective următoare :

Șina tip	17	cu sarcina de	9	tone/osie, ar suporta	1752	kgr./cm ²
„ „	24	„ „ „	13	„ „ „	1735	„
„ „	30	„ „ „	16	„ „ „	1712	„
„ „	32	„ „ „	16	„ „ „	1650	„
„ „	36	„ „ „	17	„ „ „	1640	„
„ „	40	„ „ „	18	„ „ „	1600	„

Calculule rezumate în tabloul alăturat, sunt rezultate în ipoteza că sarcinile ce se aplică pe șină, sunt niște forțe statice. În realitate însă, sarcinile ce calcă pe șină, sunt în mișcare și animate de

1) V. *Bulletin de l'Association internationale des chemins de fer*, 1921, p. 21.

T A B L O U

de solicitările tipurilor de șine C. F. R. sub diferite greutăți

ȘINA tip	GREUTATEA OSIEI IN TONE												
	6	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
17	170	1560	1752	1950	2145								
24	800	1070	1200	1335	1470	1600	1735	1870	2000				
30	642	856	965	1070	1175	1233	1390	1500	1605	1712	1820	1928	
32	618	824	930	1030	1130	1238	1340	1440	1545	1650	1750	1850	1955
32.75	615	820	925	1025	1125	1230	1330	1435	1535	1640	1740	1840	1945
36.40	580	772	870	965	1060	1160	1255	1350	1425	1545	1640	1740	1832
40	534	713	800	890	980	1070	1156	1245	1335	1422	1512	1600	1690

iuțeli foarte mari, cum sunt la trenurile accelerate, mașinile izolate, etc. În acest caz rezistențele, ce se desvoltă în șină, cresc foarte mult.

După cum se vede mai sus, rezistențele admise pentru circulația actualelor locomotive, pe căile noastre ferate, ating cifre foarte mari, cari în uzul practic, nu se obișnuiesc și nici nu trebuiesc admise decât în mod cu totul excepțional.

În general, *șinele din liniile noastre au*, după caetele de sarcini, *o limită elastică de 3200—3600 kgr/cm²*, iar pentru șinele noi, se prevedea în 1916, *ca limită elastică 3500—4200 kgr/cm²*. Așa fiind, se vede, că circulara Dir. Gener. admite *coeficientul de siguranță 2*, ceea ce pentru o circulațiune normală nu este admisibil, ci ar *trebui să se ia cel puțin coeficientul 3*, cum a fost și mai înainte, revenind astfel la circulația care se face în celelalte țări.

Bine înțeles, că dacă ar fi fost să se aplice azi aceste reguli, în mod strict, *ar fi urmat să se scoată din serviciu mai toate mașinile comandate de Ministerul Comunicațiilor și să nu se mai poată circula*. Din această cauză întreținerea a fost nevoită să admită o circulațiune anormală în detrimentul bunei stări a căii și a siguranței de circulațiune, până ce se va putea reveni treptat la o stare normală, fie prin scoaterea sau modificarea locomotivelor aduse, fie prin refectionarea liniilor cu șine de tip mare.

I. Acțiunea sarcinilor rulante asupra șinelor

Pentru ca să se poată face o idee, de ceea ce însemnează această circulațiune anormală, trebuie examinată acțiunea sarcinilor rulante asupra șinelor.

Deși această chestiune este foarte importantă, totuși până azi ea nu a fost bine studiată și nici complect cercetată. Câteva cercetări și experiențe făcute mai înainte, nu prezintă un studiu de un caracter mai general, ci experiențe mai mult locale. Așa sunt experiențele făcute pe linia *Viena—Varsovia*¹⁾, experiențele făcute în timpul războiului pe linia *Zossen—Berlin*, etc.

Ca regulă generală, se admite în practică, pentru roțile în mișcare pe o șină, ca sarcina statică ce o transmite acea roată, să

1) *Bulletin du Congrès internat. d. chemins de fer.* 1898, Noembrie, de Wasintjnski.

fie multiplicată cu $2-2,35$ ¹⁾, pentru a ne da sarcina efectivă ce lucrează asupra șinei când viteza de circulație este maximă normală.

Acest coeficient este scos din oarecare date practice, referitoare la surplusul de presiune produs prin acțiunea bielelor la roțile motoare, din componentele verticale ale forțelor de inerție a contragreutăților dela roțile locomotivelor, a străngerii resorturilor, etc.

Dacă însă aplicăm acest coeficient de $2,35$, vedem că atingem limitele de elasticitate la toate tipurile de șine, în cazul circulațiunii adoptată astăzi după circulara Direcției Generale. Pentru a compensa în parte acest neajuns, Serviciul de Intreținere a fost nevoit să reducă în aproape toate cazurile iuțelile de circulațiune la trenuri. Dar, *limita până la care se poate merge cu aceste reduceri, precum și relațiunea dintre iuțeala de circulațiune și sarcina statică a roții, pentru a obține pe cea dinamică, ce se aplică efectiv pe șină*, nu s'a putut stabili în mod precis până azi și nici măcar cu aproximațiune. Unele formule ce le-am găsit date în texte, fără a se arăta modul cum au fost stabilite, sunt insuficiente și nici nu se pot aplica în mod general, iar pentru liniile noastre și cu circulația actuală, dau rezultate inadmisibile.

În cele de mai jos voi încerca a găsi oarecare norme și relațiuni mai potrivite condițiunilor liniilor și circulațiunii dela noi.

În ceea ce privește restricțiunile de iuțeală, pe care am spus mai sus că le-a dat Serviciul de Intreținere, aceste sunt niște paleative, în parte iluzorii, căci în practică nu se respectă și nici nu se pot controla. Din această cauză șinele fiind supuse la sarcini ce întrec limita de elasticitate, iau o deformațiune permanentă, producându-se ondulațiuni și coturi la linie, ce nu se mai poate readuce în stare bună. Din această cauză șinele se deformează, în general spre capete, luând o curbură într'un plan intermediar axelor principale de inerție. Cu timpul, deformațiunea se mărește prin trecerea mașinilor grele, provocându-se chiar ruperea șinelor, ca în cazurile citate mai sus, iar readucerea șinelor la starea anterioară nu mai este posibilă.

Obiecțiunile, că dacă s'a circulat până acuma, se mai poate și de-aci înainte, sunt neserioase, admisibile cel mult pentru profani, căci o circulație anormală ca cea de astăzi, se face prin deteriorarea treptată a liniilor, ajungând la un moment dat la imposibili-

1) Foerster.

tatea de a se mai putea întreține linia și chiar de a se mai circula.

Calculule ce le voiu expune mai jos, precum și ipotezele ce le fac în concordanță cu construcțiile noastre de linii, precum și cu oarecare cazuri practice ce am avut ocaziunea să le constat, vor lămurii și mai bine cele zise mai sus relativ la gravitatea situației actuale a căilor noastre ferate.

II. Considerațiuni teoretice

Prin modul actual de eclisare al liniilor, relativ destul de solid și în ipoteză, că linia este într'o perfectă stare de întreținere, așa cum se făcea înainte de război, șinele se pot considera ca o bară de lungime infinită, pusă pe o bază elastică continuă. Această aproximație, deși nu corespunde stărei actuale, totuși nu influențează asupra rezultatelor la care vroi să ajung și pe care le caut pentru o stare normală a căii.

În această ipoteză a unei deformațiuni elastice, șina capătă o curbura la trecerea unei sarcini, iar diferitele traverse ce formează razimele elastice, iau și ele parte la această deformațiune, afundându-se mai mult sau mai puțin în patul liniei, după gradul de apă-sare la care sunt așezate acele traverse.

Dacă examinăm mai de-aproape modul cum se produce mișcarea unei sarcini rulante, ținând seamă și de deformațiunea ce se produce sub acțiunea acestei sarcini, atunci vedem că prin curbura pe care o ia șina, o sarcină P , aplicată într'un punct A (vezi fig. 1), va trebui să urce o rampă și deci să învingă o rezistență, care stă în raport direct: cu forța vie de care este animată sarcina P în mișcarea sa și cu curbura de deformațiune a șinei. Vom avea deci, notând cu H această rezistență orizontală și de sens contrariu mișcării, că :

$$H = \xi \frac{m \cdot v^2}{2 \rho} = \xi \frac{P}{g} \cdot \frac{v^2}{2 \rho} \quad (1)$$

În care: $\xi=2$, un coeficient pe care voi arăta mai târziu cum se poate determina.

ρ = raza de curbură a șinei deformată în dreptul sarcinii P ,

g = accelerația gravitației 980 cm/sec^2 ,

v = viteza cu care se mișcă în sens orizontal sarcina P .

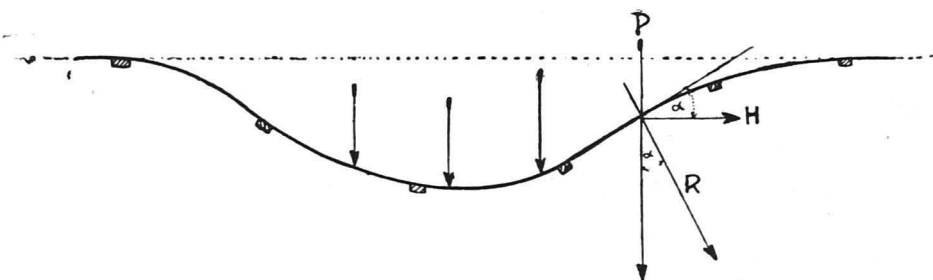
Din practică, H este ceea ce se numește *rezistența căii* și este dat de o expresiune de forma:

$$H = \beta \cdot v^2 \cdot P \text{ sau } H = C + \gamma V^2$$

β , C și γ fiind niște coeficienți.

Intr'un punct A șina va fi solicitată deci de o forță P verti-

FIG. 1.



cală și o altă forță H orizontală. Rezultanta acestora, R , va acționa șina deformată, normal pe axul său în punctul A (v. fig. 1) și va avea valoarea

$$R = \sqrt{P^2 + H^2}$$

$$\text{sau } R = P \sqrt{1 + \frac{H^2}{P^2}} \quad (3)$$

La această forță rezultantă R va trebui să fie calculată șina, forță ce este perpendiculară pe axul șinei.

Dacă M este momentul static maxim dat de forța P pentru șina a cărei rezistență vom a o calcula, după vre-una din formulele obișnuite în general, ca d. ex. după formulele lui *Zimmerman*, atunci am putea scrie:

$$M = A \cdot P \quad (4)$$

A fiind o funcțiune independentă de P .

Ținând seamă că în loc de forța P , în cazul mișcării, trebuie să aplicăm rezultanta R , atunci avem un alt moment încovoetor maxim M , care rezultă prin faptul mișcării, și care va fi dat de formula:

$$M = A \times R \quad (5)$$

și observând formulele (3) avem:

$$M = A \cdot P \sqrt{1 + \frac{H^2}{P^2}} \quad (6)$$

sau introducând valorile lui H din relația (1) și observând și relația (4), găsim:

$$M = M \cdot \sqrt{1 + \left[\frac{v^2}{g\rho} \right]^2} \quad (7)$$

În secțiunea momentului încovoetor maxim, care îl putem presupune că se produce chiar la trecerea sarcinii P, deși în realitate se produce ceva mai târziu, conform legii lui Maxwell, avem însă că:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{E \cdot J} \quad (8)$$

în care:

E = modulul de elasticitate al materialului din care este formată șina,
J = momentul de inerție al secțiunii șinei.

În acest caz însă:

$$M = M \sqrt{1 + \frac{v^4 M^2}{g^2 E^2 J^2}} \quad (10)$$

de unde:

$$M = \frac{M}{\sqrt{1 - \frac{M^2 v^4}{g^2 E^2 J^2}}} \quad (11)$$

Dacă: W = modulul de rezistență al secțiunii șinei

σ = rezistența sau efortul la care este supusă șina pe unitatea de suprafață, atunci:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{M}{W} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{M^2 v^4}{g^2 E^2 J^2}}} \quad (12)$$

Deci, pentru a găsi efortul dinamic produs de o sarcină P ce rulează pe o șină, trebuie ca efortul provenit din sarcina aplicată static $\sigma_1 = \frac{M}{W}$, să fie înmulțit cu un coeficient:

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{M^2 v^4}{g^2 E^2 J^2}}} \quad (13)$$

Dacă ținem seamă, că pentru anume sarcini P în circulație, și pentru anume poză de cale

$$\frac{M}{E \cdot J \cdot g} = C_{\text{const.}} = k \quad (14)$$

atunci :

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{1 - k^2 v^4}} \quad (15)$$

iar :

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{1 - k^2 v^4}} \cdot \frac{M}{W} \quad (16)$$

Relațiunea (12) sau prescurtat (16), este aceia care ne dă variațiunea eforturilor în șine, pentru diferitele viteze v pe care le ia o sarcină P ce rulează pe șină.

Este de văzut acuma, cum se poate adapta această formulă în practică, până unde se poate aplica, precum și în ce mod, iar de acolo de unde nu mai corespunde rezultatelor practice să analizăm cauza și să vedem cu ce se poate înlocui.

La acest coeficient mai trebuie de adăugat încă sporul δ pe care îl aduce la sarcina statică, apăsarea produsă din jocul bielelor, pistoanelor, contragreutăților dela roți, etc. Aceste sporuri δ se pot lua, în mediu, 0,6 din sarcina P a roții în repaos și adăogate la greutatea P în cazul unei mișcări cu viteză maximă de circulațiune.

Forțele acestea, provenite din mișcarea diverselor piese ale mașinei, formează niște forțe de inerție, animate în timpul mersului de niște viteze ce sunt în raport direct cu viteza de circulațiune V sau v a trenului sau a locomotivei. Creșterea acestor forțe va fi deci în raport cu patratul vitezei cu care se circulă. — Dar, de îndată ce piesele încep să se miște cu o viteză cât de mică, diferitele lor greutăți încep să se adăoge, la greutatea pe roată prin presiunile ce se exersează asupra acestor piese de către diferitele organe ale mașinei. În loc dar să considerăm că sporul acestor sarcini ar fi în raport cu v^2 , se poate admite, că este numai cu v , acesta dându-ne dela început valori sensibil aplicabile și fiind și o simplificare în calcul. În acest caz se poate admite, ca sporirea δ să se facă proporțional cu mărirea vitezei până la viteza maximă de circulație, pe care o putem considera azi de 100 klm pe oră. La valoarea lui α se va mai adăoga deci încă o valoare δ dată de formula :

$$\delta = 0,006 \times V, \quad (17)$$

V fiind viteza în klm pe oră.

Aplicațiune pentru șinele tip 30 și tip 40 C. F. R.

Vom lua ca aplicațiune calea normală cu șine tip 30 (cu distanța între traverse $a=0,60$) și calea normală cu șine tip 40 ($a=0,85$), acestea fiind cele mai răspândite în vechiul regat.

Calculând cu formulele de mai sus și cu următoarele date:

Pentru șina tip 30: $M = 186.608$ kgr. cm., corespunzător circulării Direcțiunii generale C. F. R.
 $J = 632$ cm⁴.

Pentru șina tip 40: $M = 275.200$ kgr. cm., corespunzător circulării Direcțiunii generale C. F. R.
 $J = 1144$ cm⁴.

$E = 2000000$ kg/cm² pentru ambele tipuri de șină, găsim următoarele rezultate puse în tabloul de mai jos:

La viteza $V =$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	kkm. oră									
$\delta = 0,06$	0.12	0.18	0.24	0.30	0.36	0.42	0.48	0.54	0.60	—
La șina tip 30 $\alpha + \delta = 1,06$	1.122	1.186	1.260	1.350	1.460	1.626	1.970	3.390	—	—
La șina tip 40 $\alpha + \delta = 1,06$	1.120	1.180	1.250	1.330	1.424	1.545	1.736	2.095	3.670	—

Considerând aceste rezultate, se pot scoate următoarele concluziuni practice, care să ghideze restricțiunile de circulațiune ce urmează a se da, privitoare la micșorarea iuțelilor la trenuri și locomotive, pe linii cu șine tip 30—tip. 40:

„1^o) **Vitezele până la 25 kkm./oră nu au vre-o influență importantă asupra majorării rezistenței la care este supusă șina. Aceste viteze sporesc eforturile statice în șine cu circa 10^o/_o — 15^o/_o.**

2^o) **Viteza de 40 kkm./oră sporește efortul static în șine cu circa 25^o/_o.**

3^o) **Viteza de 65 kkm./oră sporește efortul static în șine cu circa 50^o/_o.**

Peste aceste viteze eforturile sporesc foarte repede, cu peste 100^o/_o, intrând în faza vitezelor mari, cam pe la viteza 80 kkm./oră pentru șinele tip 30 și 90 kkm./oră pentru șinele tip. 40.

Cu asemenea reduceri de viteză, pe care C. F. R. sunt obligate să le facă în interesul siguranței circulațiunii și posibilității de întreținere a căii, se înțelege că nu mai este cu putință o exploatare rațională și economică.

Randamentul unei căi este funcțiune de numărul de trenuri, ce poate circula, iar randamentul maxim al locomotivelor este în general utilizarea vitezelor mari și chiar maxime. Atât în primul caz ca și în ultimul, vitezele mari la trenuri formează condiția de căpetenie a unei bune exploatarei. Astăzi acest factor, atât de important în randamentul și economia unei căi ferate, lipsește aproape cu desăvârșire căilor noastre ferate.

Serviciul de întreținere C. F. R., din Regionala de București, bazat pe o serie de calcule și considerațiuni ca cele expuse aci, a dat o circulară în sensul de mai sus, pentru a se aplica pe diferitele linii unde nevoia va cere.

III. Discuțiunea formulei (15):

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{1 - k^2 v^4}}$$

Această formulă ne dă legea de creștere a efortului dinamic în funcțiune de viteză. Examinând această formulă, pentru diferite valori crescânde ale lui v , găsim că :

1^o) Dacă $v = 0$, adică sarcina este aplicată static, atunci $\alpha = 1$ iar formula (16) se reduce la forma sa simplă, statică.

2^o) Când viteza v începe să crească, α crește și el într'un raport mult mai mare, până când $v = \frac{1}{\sqrt{k}}$ în care caz $\alpha = \infty$.

3^o) Indată ce v trece de această valoare critică :

$$v = \frac{1}{\sqrt{k}} \quad (18)$$

α devine o funcțiune imaginară și tot așa devin M și σ .

Să examinăm realitatea pentru a vedea ce explicațiune se poate da.

Când un vehicul sau un mobil este animat de o viteză mare, el nu mai urmărește curba pe care i-am destinat-o noi, adică șina, de cât în baza forței de gravitație. Această forță însă fiind mică, față de forța orizontală, ce imprimă viteze mari mobilului, acesta va putea descrie o traiectorie deosebită de șină, în care direcția vitezei primează față de direcțiunea gravitațiunii.

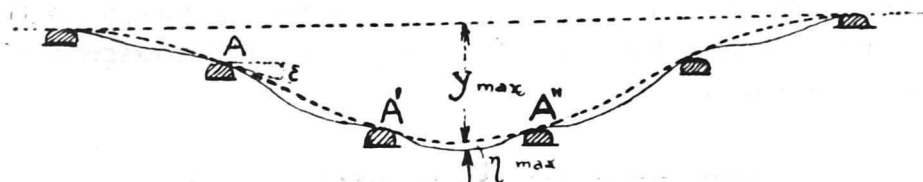
Așa că, dacă dintr'o cauză oarecare, șina ia o deformațiune, ce imprimă mobilului la un moment dat, o direcțiune înclinată în

sus, cu tangentă, d. ex. $\frac{dy}{dx} = +\varepsilon$, (v. fig. 2), atunci mobilul va descrie o traiectorie balistică oare-care de o formă de ex. $y = f(x)$.

Să examinăm ce se petrece cu reazemele șinei, în momentul circulației mobilului. Am zis că șinele sunt puse pe o bază elastică. Fie D forța necesară pentru a apăsa traversa cu 1 cm. în jos. Dacă a este distanța dintre axele a două traverse consecutive, atunci rigiditatea bazei elastice va fi determinată de valoarea :

$$R = \frac{D}{a} \quad (20)$$

FIG. 2.



Când traversele sunt apăstate în jos și aduse, prin reacțiunile momentului M la un nivel oare-care, ele formează atunci niște reazeme fixe, iar șina se prezintă atunci ca o bară pe reazeme fixe, așa că șina se va deforma pe spațiul dintre două traverse consecutive, după legile grinzilor continue cu mai multe reazeme.

Luând ca axă a x^{lor} , direcția axului șinei, iar ca axă a y^{lor} , direcția forței P , în ipoteza șinei așezate pe o bază elastică, vom avea ca expresiune a liniei elastice, ecuația cunoscută :

$$y = \frac{P}{2R} e^{-cx} (\cos cx + cx) \quad (21)$$

în care :

$$C = \sqrt[4]{\frac{R}{4EJ}} \quad (22)$$

iar momentul static în covoetor :

$$M = -EJ \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{P}{4c} e^{-cx} (\cos cx - \sin cx). \quad (23)$$

Presiunea maximă a șinei pe traversă se poate calcula cu formula aproximativă:

$$S_{\max} = c. a. J_{\max} \quad (24)$$

și dacă facem calculul pentru o singură sarcină, atunci:

$$J_{\max} = \frac{P \cdot c}{2 R} \text{ și } M_{\max} = \frac{P}{4 \cdot c} \quad (25)$$

așa că:

$$S_{\max} = \frac{P \cdot c \cdot a}{2} = \frac{P}{2} \sqrt[4]{\frac{D \cdot a^3}{4 E \cdot J}} \quad (26)$$

Dacă, atingând aceste rezultate ale unei deformațiuni elastice, examinăm o porțiune de șină cuprinsă între două traverse vecine, vedem atunci că în afară de săgeata maximă y_{\max} , dată de formula (21) sau (25) mai există o săgeată η_{\max} locală, provenită din deformația șinei pe spațiul dintre două traverse. Șina ia astfel o formă sinusoidală, căreia în mod impropriu i-am putea zice, asimptotică la curba de deformațiune elastică, în genul cum, în mod exagerat, se arată pe fig. 2.

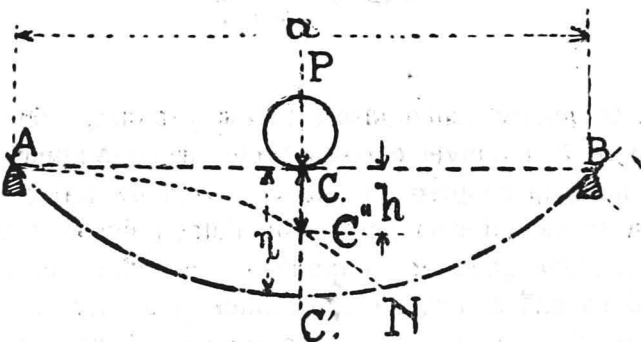


FIG. 3.

Când mobilul sau sarcina P , care rulează pe șină, a ajuns în dreptul unei traverse, ex. în A , atunci mobilul se dirije după tangenta la șina deformată, în dreptul punctului A . Cum aceste deformațiuni η sunt mici, dacă notăm ecuațiunea exactă a fibrei deformată cu $\eta = f(x)$ atunci într'un mod general direcțiunea tangentei în A , va fi:

$$\frac{d\eta}{dx} = + \varepsilon \approx 0$$

Plecând din acest punct A (v. fig. 3), mobilul va descrie o

traietorie parabolică, după legile căderii corpurilor, cu direcție inițială $\frac{d\eta}{dx} = \pm \epsilon$, iar dacă $\epsilon = 0$ direcția va fi orizontală.

Mobilul, descriind curba de cădere, întâlnește șina ce se află deformată, fie din cauza sarcinilor vecine în mișcare, fie din cauza mobilului în circulație, deformație ce caută a reveni la starea anterioară, printr'o mișcare simplă sau vibratorie.

Fie A și B (fig. 3) punctele de razim ale șinei în dreptul traverselor, puse la distanța a din ax în ax. Mobilul P parcurgând acest spațiu a într'un timp t și cu o viteză v , vom avea că :

$$a = v \cdot t \quad (28)$$

În acest caz, sarcina P, ajungând în dreptul mijlocului C al distanței A B, vine în punctul C''; fie :

$$CC'' = h$$

legile căderii corpurilor ne dau însă :

$$h = \frac{g}{2} \left(\frac{t}{2} \right)^2 \quad (29)$$

și ținând seamă de ecuația (28), avem :

$$h = \frac{g^2}{8} \cdot \frac{a^2}{v^2} \quad (30)$$

Comparând această valoare a lui h cu aceea a lui η pentru punctul C, dedusă din relațiunea (21) sau altă relație mai exactă, atunci avem următoarele cazuri :

- I) $h < \eta$, în acest caz mobilul intră în acțiune numai parțial, cât poate provoca o săgeată $\eta_1 = h < \eta$.
- II) $h = \eta$ sarcina P sau R se aplică dinamic.
- III) $h > \eta$, sarcina intră în acțiune cu întreaga sa valoare, producând o apăsare și mai mare asupra șinei, prin aplicarea cu șoc a sarcinei P sau R.

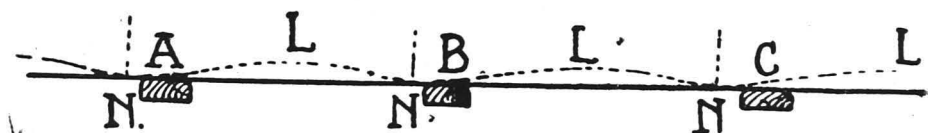
Dacă ținem seamă de mișcarea vibratorie a șinei și dacă timpul t de mai sus este sincron cu acela al vibrațiunii șinei, atunci șocurile devin foarte puternice, dând niște sdruncinături puternice verticale, care sunt reperкусиunile acestor izbituri. Când se circulă des pe mașini cu viteze mari, atunci se simte în mod foarte distinct aceste sdruncinături violente și foarte repezi și dese, ce se produc din când în când pe unele porțiuni de linie. Aceste lovituri pot fi fatale diferitelor organe ale mașinilor și în special arcurilor și apa-

ratelor de suspensiune; mecanicii buni — în mod instinctiv — domolesc iușeala în aceste cazuri.

Ecuatiunea (30) arată că traiectoria parabolică descrisă de P este curbată în jos, pe când fibra deformată acuză o curbură inversă în jurul punctului C . Intersecțiunea N a acestor curbe dă punctul unde se produce șocul în momentul aplicării sarcinii P . — Cu cât viteza este mai mare, cu atât punctul N se depărtează de C în spre reazimul B ; sarcina P se aplică atunci în dreptul traversei pe porțiunea NB și cu câte $\epsilon > 0$ cu atât aplicarea este mai puternică și mai apropiată de B , așa că la limită se poate asemana cu o săritură din traversă în traversă, care dacă se sincronizează și cu mișcarea vibratorie a șinei, atunci iarăși se capătă fenomenul sdruncinăturilor arătate mai sus, dar cu o violență și mai mare.

În practică bine înțeles că aceste curbe $AC''N$ și $AC'B$ nu sunt perfect distincte ca în forma lor teoretică, căci prin elasticitatea liniei și a resorturilor dela roți, bandajele acestora stau în contact permanent cu fața superioară a șinii, presiunea P sau R a roților se face însă, în oare-care limită, după aceste norme.

FIG. 4



În acest caz, deformațiunea șinei, la viteze mari, când $h > \eta$, se va face după ecuațiunea exponențială (21) a fibrei elastice, modificată prin modul de aplicare al sarcinii, care nu rămâne în contact cu șina, decât pe porțiunea NB , unde se aplică cu maximum de intensitate. Presiunea sarcinii P asupra șinei va avea o alură sinusoidală în forma liniei NL (fig. 4), care ar reprezenta, față de șina AB , o curbă izobară a mobilului în circulațiune.

Din cele de mai sus rezultă următoarele concluzii practice:
La viteze mari de circulațiune este absolut necesar:

1) *Traversele să fie dese și solide, pentru ca unda sinusoidalei să fie cât mai mică și șocul ce se produce prin aplicarea sarcinii P cât mai redus.*

Îndeșirea traverselor are ca limită o reducere a săgeții η .

la o valoare inapreciabilă, de aci înainte o îndeșire mai mare nu mai are importanță, căci prin reacțiunile șinei pe traverse, acestea sunt antrenate în deformațiunea generală elastică a șinei.

2) Patul traverselor să fie cât mai rezistent, pentru ca deformațiunea șinelor să fie cât mai mică și să avem astfel $h - \eta < 0$.

3) Legătura dintre traversă și șină cât mai solidă, căci aceste puncte primesc reacțiunile cele mai mari, prin aplicarea dinamică a sarcinei P , aproape în întregime și cu efectul unui șoc.

Dacă vre-una din aceste condițiuni nu este îndeplinită, atunci se produc sdruncinături mari la vehicule, eventual chiar accidente, ca ruperi de osii, etc. și în afară pe aceasta se provoacă uzarea mare atât a vehiculelor, cât și a căii, care nu se mai poate menține în bună stare.

La noi nici una din condițiunile de mai sus nefiind îndeplinite, rezultă că nu este posibilă o circulație cu viteză mare pentru sarcinile limite prevăzute de actuala circulară C. F. R.

Să vedem dar ce înțelegem prin **viteza mare** și care este aceasta.

Calculând diferitele valori ale lui h , date de ecuațiunea (30) pentru vitezele obicinuite la trenuri găsim că:

Pentru viteza $V \frac{\text{km}}{\text{oră}} =$	20	30	40	50	60	70	80	90	100
dacă $a = 60 \text{ cm}, h^{\text{mm.}} =$	14	7	4	2	<u>1.5</u>	1,2	1	—	—
„ $a = 80 \text{ cm}, h^{\text{mm.}} =$	—	—	—	—	—	2	<u>1.5</u>	1,2	0,9
„ $a = 90 \text{ cm}, h^{\text{mm.}} =$	32	14	8	4	3	2,5	<u>2</u>	—	—

Săgețile η le-am putea considera o funcție de y , după cum deformațiunea șinei antrenează un număr mai mare sau mai mic de traverse, spre a atrage la limită pe y_{max} . Dacă de pildă deformațiunea elastică se produce în ipotezele admise de *Zimmerman*, pe trei deschideri, putem scrie atunci în mod aproximativ:

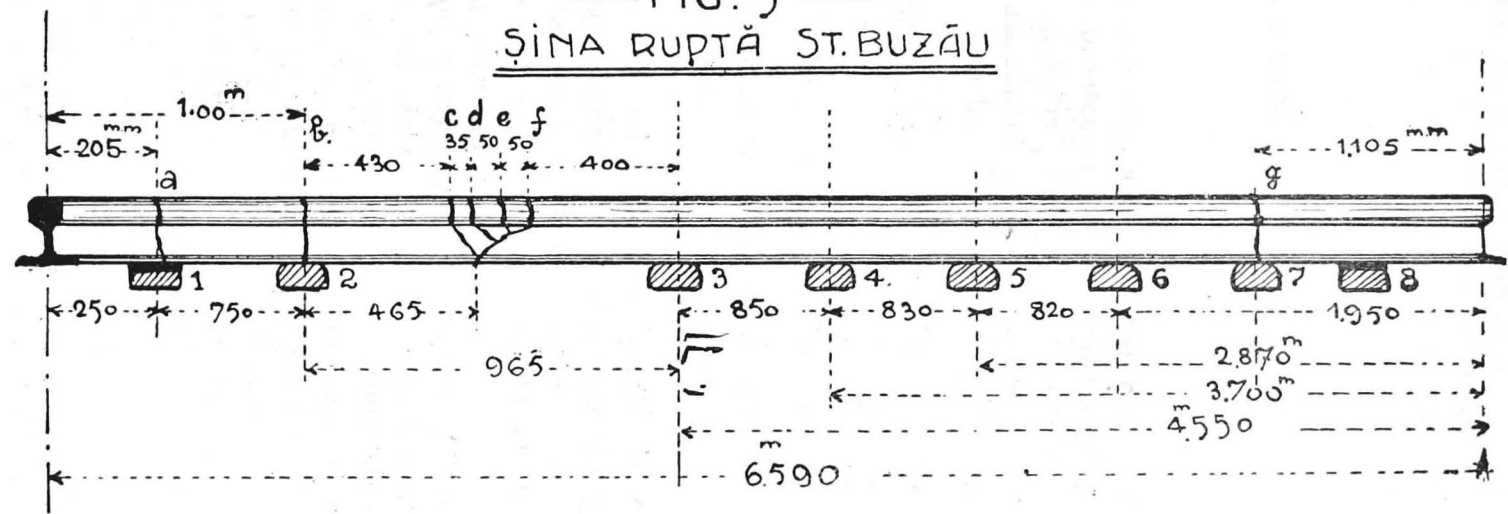
$$\eta = \frac{1}{2} y_{\text{max}}. \quad (31)$$

și atunci rămâne a cerceta cazurile.

$$h \begin{matrix} \geq \\ < \end{matrix} \frac{1}{2} y_{\text{max}}. \quad (32)$$

Referindu-ne dar la cele zise cu privire la valorile lui h față de η și discuțiunile făcute mai sus, vedem atunci că există o viteză critică pentru care formula (12) și respectiv (15) nu se mai aplică,

— FIG. 5 —
ȘINA RUPTĂ ST. BUZĂU



ci trebuie să fie redusă. Această viteză critică V , corespunde la cazul pentru care:

$$h \approx \frac{1}{2} y_{\max}. \quad (33)$$

Pentru liniile noastre cu șine dela tipul 30 până la tipul 40, cu poza normală și cu patul de pietriș de râu pus pe pământ natural, viteza V critică poate fi considerată că merge *dela 80 klm, pe oră* și crește pe măsură ce tipul de șină crește, așa că la tipul 40 se poate lua $V = 90$ klm. pe oră.

Dacă viteza v crește peste valoarea V , atunci momentul M încovoetor începe să descrească. Viteza critică V corespunde dar acelei valori v , ce am văzut la discuția formulei (15) punctul 2) și 4) (deși nu are exact aceeași valoare) și pentru care α trece dela $+\infty$ la $-\infty \times i$.

În acest caz reacțiunile șinei pe traversă se măresc considerabil, sarcina P aplicându-se dinamic, ca la șocuri, cu forța vie respectivă lungimei $a = AN$ (fig. 5). Sarcinile celorlalte roți în mișcare aplicându-se și ele în același mod, vor apăsa asemenea pe traverse cu o putere foarte mare, așa că la un moment dat toate traversele se găsesc apăstate pe toată întinderea convoiului de sarcini, care sosesc cu aceeași viteză, provocând oscilațiuni în linie numai cu diferența dintre sarcinile succesive. Tasarea liniei devine astfel generală pe toată întinderea convoiului de sarcini în mișcare, iar fenomenul de încovoere aproape nu mai are loc sau într'un mod cu totul redus. Astfel se poate explica că la cercetările de circulație rapidă „pe linia Berlin-Zossen, s'a atins viteza de 160 klm / oră, producându-se numai o tasare a căii numai de 3 mm. fără însă să se fi constatat vre-o încovoere“.

IV. Observațiuni și concluziuni

Am zis în cele de mai sus, că moleșirea traverselor are o limită dela care nu mai prezintă vre-o importanță pentru rezistența șinei și a căii. Aceasta este atunci când săgeata η ce o ia șina pe distanța dintre două traverse, sub acțiunea sarcinei R , devine inapreciabilă. Aceasta se poate considera pentru η mai mic de 1^{mm} — $1,5^{\text{mm}}$. Din practică, pentru liniile noastre, se poate spune că distanța dintre traverse $a = 60$ cm., este o limită inferioară suficientă, chiar pentru șinele tip 30. Sub această limită nu trebuie trecut nici

din alte considerațiuni practice, căci nu se va mai putea face bu-
rajul traverselor, dacă acestea sunt mai apropiate.

Fără a intra în analiza calculului șinelor, care nu intră în ca-
drul acestui studiu sumar, totuși sunt necesare câteva observațiuni
asupra acestei chestiuni, ca lămurire mai bună asupra circulațiunii
mașinilor grele.

În datele de mai sus de rezistență și momente încovoetoare
șinele au fost calculate cu formula *Zimmerman* ¹⁾ în care coeficien-
tul patului de așezare al traversei $C=3$. Dacă punem acest coefi-
cient $C=5$, cum este mai natural să se ia pentru o linie veche
circulată, și dacă calculăm și pentru șinele uzate, cum este cazul
nostru, atunci luând:

- 1) pentru traverse, lungimea $l=2,60^m$
lățimea $b=0,28$
grosimea $h=0,15$

găsim pentru șinele tip 30 și tip 40 următoarele rezultate ale efor-
turilor unitare statice σ la care este supusă șina:

*Tabloul cuprinzând efortul unitar τ în kgr./cm² la șinile
C. F. R. tip 30 și tip 40*

Greutate p. osie		10 t	11 t	12 t	13 t	14 t	15 t	16 t	17 t	18 t	19 t	20 t
Tip 30 poza 11 tra- verse	fără uzură	896	986	1076	1165	1255	1345	1434	1524	1614	1703	1793
	uzura 10 m/m	1086	1195	1304	1412	1521	1630	1739	1847	1956	2065	2173
Tip 40	fără uzură	710	781	852	923	994	1065	1136	1207	1278	1349	1420
	uzura 10 m/m	817	895	981	1063	1145	1226	1308	1390	1472	1554	1635

În calculul deformațiunii șinelor, în afară de aplicarea dinamică
a diferitelor sarcini, mai trebuie a se ține seamă de uzurile banda-
jelor roților, șinelor, vibrațiunile lor, etc. Acestea intră cu un coe-
ficient destul de mare și sunt în funcție de viteza cu care se circulă,
tradusă în perioadă de timp. Acestea fac, ca săgeata statică a șinei
deformate să se mărească, iar coeficientul α dat de noi în formula
(15) să se amplifice și cu aceste valori.

1) *Die Berechnung des Eisenbahnoberbaues.*

Dacă se consideră și uzura șinelor, cum este în general cazul liniilor noastre, atunci rezistența șinelor se reduce foarte mult prin reducerea momentului de inerție al secțiunii șinei și în acelaș raport va crește și efortul unitar specific al șinei. — În tabloul dat mai sus se poate vedea, pentru uzura de 10 mm., cu cât se sporesc aceste eforturi care merg până la 20 0/0.

Gropile ce se fac din cauza patinajului, atât la roți cât și la șine, mărește și mai mult intensitatea de aplicațiune a sarcinei P.

Insumând toate aceste cauze, se vede că chiar pentru o linie în bune condițiuni de întreținere, un coeficient de siguranță egal cu trei, abia este suficient pentru a garanta siguranța de circulație.

Cele zise la început cu privire la valoarea sarcinei P, ca prim factor în determinarea eforturilor în șine, este relativ, căci diagrama de sarcini a unei mașini poate fi astfel combinată că deși diversele sarcini luate în mod izolat, să fie sub valoarea lui P, totuși să producă momente mult mai mari decât cele date de diferitele formule (*Zimmerman, Engesser, etc.*) pentru valoarea P. De ex. osiile apropiate vor provoca momente mai mari decât aceleași sarcini pe osii mai depărtate. O repartițiune rea a sarcinilor, ca de ex. sarcinile maxime concentrate la mijloc sau la extremități, dau momente maxime pozitive sau negative cu mult superioare celor calculate cu formulele obișnuite.

În adevăr, ipoteza generală ce se face în calculul deformațiunii și rezistenței șinei este, că trasarea traverselor se face proporțional cu săgețile produse în șini și în așa mod ca două sau cel mult trei deschideri ale șinei să fie antrenate în această deformațiune (ipoteza *Winkler* și *Schwedler*).

În realitate faptele nu se produc exact astfel, sau, dacă aceste ipoteze sunt destul de bune pentru cazurile obișnuite, poate să nu fie aplicabile în alte cazuri. Nu voiu intra în analizarea acestei chestiuni ce ar prezenta un deosebit interes, mai ales când s'ar face concomitent cu experiențe științifice practice, spre a lămurii și preciza unele puncte teoretice. — Important este faptul și trebuie reținut, că *formulele cu care se calculează șinele (Zimmerman, Engesser, etc.) nu sunt aplicabile, dacă în diagrama unei mașini sarcinile sunt apropiate la mai puțin ca 3a sau 2a, adică mai aproape, ca de trei sau două ori distanța dintre traverse. În acest caz, calculul deformațiunii considerând șina pusă pe reazeme elastice, complectat cu ipoteza suprapunerii efectelor, este mai*

aproape de adevăr și urmează să se aplice mai bine. (Formulele (20)–(26).

Astfel, există azi la C. F. R. mașini categoria 6-a (locomotivele *Malet*) cu osii la distanța de 1 m. 30 și 1 m. 70 unele de altele. Deși sarcinile pe osie nu sunt decât 12 tone la primele și 16 tone la cele din urmă, totuși provoacă momente de încovoare în șine mai mari decât mașinile cu 18 tone pe osie. Urmează dar, că din varietatea de mașini ce avem, să se înceapă cu cele dela 16 tone în sus și să se calculeze șinele, spre a se vedea, care tipuri de șine le pot suporta și ce poză de cale, precum și cu ce viteze. Cuplarea actualelor mașini grele de peste 17 tone pe osie, provoacă momente negative, în șină, superioare momentelor pozitive, așa că avem de multe ori șine rupte în dreptul traverselor, prin asemenea momente.

Ca un caz tipic avem ruperile de șine din stația Buzău, care este toată cu șine tip 30 și poza incompletă; aci se circulă cu tot felul de mașini grele, de toate categoriile și cuplate în toate modurile posibile. În figura 5 se vede schițată o șină ruptă în opt bucăți prin trecerea a trei locomotive americane cuplate și cu o viteză de circa 30 klm. Numai secțiunile c, d, e și f, provin din strivirea în zonă de compresiune, provocată de momentul încovoetor pozitiv, care s'a mărit excesiv din cauza distanței prea mari dintre traversele 2 și 3. Avem cazuri de șine complet sfărâmate (în 24 bucăți), sau pe distanțe mai lungi și la rând. Numai pe distanța Breaza-Predeal, în luna Februarie 1922 au fost găsite rupte 67 șine uzate tip 32, ceea ce în timp de circulație normală, în cursul unui an întreg, nu se găsea decât 5—6 șine. Din această cauză s'au produs două deraieri și numai mulțumită unei vigilențe mari s'au putut evita accidente și mai mari.

Dacă astăzi punerea în circulație de mașini grele, pe liniile noastre, este o greșeală gravă, inadmisibilă și care periclitează siguranța circulațiunii, în situația în care ne aflăm, aceasta nu înseamnă însă, că nu vor trebui introduse aceste mașini, ulterior, cu timpul și în concordanță cu dezvoltarea traficului, refecționării liniilor și consolidării podurilor și a celorlalte instalațiuni.

Față de scumpirea crescândă a materialelor, manoperei și mai ales a combustibilului, este evident, că se va ajunge un moment când randamentul mașinilor actuale normale, să devină prea mic și nerentabil pentru trafic, cerând sporire de tonaj și greutate. Deja înainte de război unele țări începuseră pe această cale și bine înțe-

les că nici noi nu vom putea rămâne anchilozați în actualele tonage ale mașinilor noastre și la tipurile liniilor actuale. Această transformare va trebui însă să fie făcută treptat și bine cumpănită cu nevoile și mijloacele noastre.

Este posibil și chiar probabil, că cu timpul să fie nevoie de o lărgime mai mare a liniilor de cale ferată, ceea ce se preconiza și înainte de război. Lărgimea actuală a liniei normale de 1^m,435, dacă a fost mai mult sau mai puțin bine stabilită acum o sută de ani, nu tot astfel se poate spune și azi, căci condițiunile de construcțiune și exploatare sunt așa de deosebite între ce a fost și ce este acuma, încât această cifră 1^m,435 devine azi o cifră cabalistică sau o amintire istorică.

Bine înțeles, nu noi vom avea să începem transformările în această privință; însă țările industriale, cu trafic mare, vor fi în curând nevoite a-și revedea bazele de construcție și de exploatare ale căilor ferate. Progresia în care crește mai ales prețul combustibilului, este destul de amenințătoare și este posibil, ca mult timp încă, să rămâie în faza ascendentă. Propunerile de tracțiune electrică, captarea energiei hidraulice, etc., nu sunt decât tatonări și paliative, născute din nevoile mari ale tracțiunii de cale ferate. Acest mijloc de comunicație, indispensabil azi omenirii, este în primul rând o problemă de tracțiune, care la rândul său este o funcțiune de combustibil. De aceea este posibil și chiar probabil ca cu timpul să fie nevoie, atât de sporirea greutateșilor mașinilor ca și de mărirea lărgimii și solidității liniilor. Rușii își propun a spori sarcinile de încărcare până la 25 tone pe osie ¹⁾.

Din aceste motive, pentru un moment, refectionarea liniilor noastre se impune. Asupra tipurilor de șine ce sunt de ales, aceasta depinde de nevoile și cerințele tracțiunii, care trebuie a ne da datele necesare. — Din punct de vedere însă constructiv, cum și al situației actuale, după cât se pare, pentru liniile noastre, *va fi necesar înlocuirea șinelor tip 35 — tip 36, pe liniile principale, cu șine tip 40 sau 42. Tipul minim de șine, chiar pe liniile secundare, nu va trebui să fie sub tipul 30. Ca deziderat pentru viitor, ar fi, ca pe liniile principale cu trafic intens și greu, să se pună șine în jurul șinei tip 50 (sau 52), iar pe cele secundare să rămână tipul 40 sau 42.*

1) V. *Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens* din 1 Februarie 1922 : *Neue 47 kg./m. schwere Schiene d. russischen Staatsbahnen.*

Nici prea departe nu se pot împinge aceste sporiri, căci pentru calitatea materialului metalic de azi, șinele prea rigide sunt dăunătoare, atât căei cât și materialului rulant, ceea ce s'a constatat prin practică. O rigiditate prea mare a căei este în detrimentul atât al materialului rulant cât și al căei.

În congresul inginerilor americani de căi ferate din 1915 s'au propus șine de tipuri între 49,61—69,46 kgr. pe m. l.; bineînțeles va trebui însă ca să se mai cerceteze și de către alții aceasta, formând o chestiune ce ar putea face obiectul unor congrese mai mari de cale ferată, având un caracter mai general.

