

CONTRIBUȚIUNI LA STUDIUL GRINZILOR PRINCIPALE DE LEMN PENTRU PODURILE DE CALE FERATĂ ÎNGUSTĂ (0,760 m.)

de Prof. Dr. D. A. SBURLAN

1. Considerațiuni generale

În studiul căilor ferate înguste, utilizate pe o scară atât de largă în exploatările de păduri dela noi, se întâlnesc anumite dificultăți la stabilirea secțiunii grinzilor principale ale podurilor. Aceste lucrări de artă foarte numeroase la liniile ce străbat regiunile muntoase, constau de regulă, din reazime masive (pile și culee de beton), și din grinzi principale de lemn, simplu, rezemate la capete, pe care sunt fixate traversele ce susțin șinele. Numai podurile cu deschideri mai mari sunt prevăzute uneori și cu alte legături și susțineri (suburși, contravântuiri, clești, etc.).

Propriu zis, nu calculele statice, de altfel destul de simple, sunt cele ce provoacă greutatea celui ce proiectează și construiește asemenea lucrări, ci neclaritatea, ce subzistă și azi, în alegerea convoiului de sarcini, în determinarea prealabilă a sarcinii permanente (greutatea proprie a urșilor), în repartizarea penelor și șuruburilor la grinzele combinate, etc.

După cum se știe, pentru căile ferate normale au fost stabilite, încă de multă vreme, anumite convoiuri de sarcini-tip, servind la dimensionarea pieselor dela podurile respective. Potrivit cu traficul, ce se presupune că se va desvolta pe linia ferată în chestiune, s'au calculat chiar *tabele de momente* ale acestor convoiuri de sarcini-tip, așa încât cel ce proiectează un pod, nu are decât să culeagă din

tabelă, pentru deschiderea liberă ce-l interesează, valoarea momentului corespunzător. Manualele de poduri, precum și unele agende tehnice (HÜTTE, FÖRSTER), conțin asemenea tabele, ale căror valori sunt revizuite periodic, spre a se ține seama de sporul de greutate al convoaielor. Aceste valori alcătuiesc în același timp un ghid și un mijloc de control pentru cei ce întocmesc proiecte de poduri pentru căile ferate normale, astfel că utilitatea lor practică, este necontestată.

Pentru podurile de cale ferată îngustă, o asemenea tabelă de momente ale convoiului de sarcini se află numai în manualul Prof. J. MELAN (9) și se referă la liniile ecart. 0,760 m. Această tabelă ar putea fi utilizată și pentru calculul podurilor de pe liniile noastre înguste, de oarece tocmai acesta este și ecartamentul cel mai des întâlnit și la noi. Convoiu de sarcini pentru care s'a calculat tabela amintită este însă diferit de convoaiele obișnuite în traficul liniilor noastre înguste, în special în acela al căilor ferate folosite în exploatările de păduri. În diagrama indicată în tratatul Prof. MELAN, se arată, că e vorba de un convoiu de forțe, alcătuit dintr'o locomotivă de 45 tone pe 4 osii, urmată de vagoane de 12 tone pe 4 osii. Acest convoiu corespunde probabil situației existente în Austria înainte de 1916, unde, după cum se știe existau numeroase linii ferate înguste, care deserveau și traficul de călători (c. f. bosniace etc.).

Convoaiele de forțe mobile de pe liniile ferate înguste dela noi se deosebesc simțitor de diagrama menționată mai sus și sunt în același timp diferite dela o linie la alta, după modelul de construcție al materialului rulant utilizat. În general, locomotivele de pe căile noastre înguste sunt mai ușoare și mai scurte (spre a putea parcurge trasee cu rampe mari și cu curbe pronunțate), pe când vagoanele corespund dimensiunilor indicate anterior.

2. Convoiu de sarcini

Interese de ordin general au determinat organele competente ale Ministerului de Lucrări Publice și Comunicații dela noi, să prescrie, încă de acum 20 ani, un convoiu de sarcini-tip, care să dea putința de a se utiliza la nevoie parcul de locomotive și de vagoane existent în țară, pe oricare din liniile ferate înguste construite. „Caietul de sarcini pentru concesiunea liniilor ferate de interes industrial”, ecart.

0,760 m, prescrie pentru calculul podurilor, un convoiu de sarcini alcătuit din două locomotive de câte 24 tone greutate în serviciu și de 8 m lungime fiecare, urmate de vagoane de 12 tone și 7 m lungime (fig. 1). Acuplarea a două locomotive în convoiu este necesară, când una din aceste mașini se defectează și trebuie remorcată, sau când e nevoie să se miște pe linii trenuri mai grele, decât cele pe care le poate remorca în mod normal o singură locomotivă. La construcțiile în lemn este de altfel totdeauna necesar, de a supra-

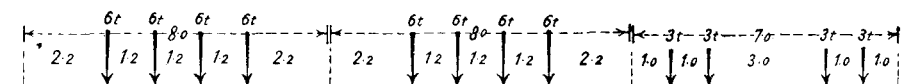


Fig. 1 — Convoiu de sarcini-tip, prezis de M. L. P.

dimensiona piesele de rezistență deoarece în caz contrar, după un număr de ani, din cauza putrezirii lemnului și a slăbirii îmbinărilor, ele n'ar mai oferi suficientă siguranță.

Deși dela apariția acestui caiet de sarcini oficial, au trecut mulți ani, convoiul de sarcini amintit n'a fost admis de toți proiectanții de căi ferate înguste, în unele cazuri, din motive de economie (locomotivele propuse, ar fi prea grele), în altele, din cauza numărului mare de tipuri și modele, ce există în materialul rulant al liniilor ferate înguste. Din această pricină, cei ce au de calculat poduri de cale ferată îngustă, nu dispun azi de tabele de momente, cum există pentru căile ferate normale.

Pentru a împlini în parte această lipsă, precum și spre a verifica unele procedee de calcul utilizate în proiectarea podurilor de lemn pentru căile ferate ecart. 0,760 m, ne-am propus, în cadrul studiului de față, să supunem aceste chestiuni, unor cercetări mai amănunțite. A fost necesar, în prealabil, să culegem informațiuni asupra tipurilor celor mai grele de locomotive, utilizate pe liniile forestiere și industriale din România. Odată acestea cunoscute, am efectuat o serie de calcule preliminare, spre a determina convoiul de sarcini, care dă cele mai mari momente încovoietoare. Am constatat cu această ocazie că locomotiva de 24 tone și 8 m. l., propusă de Caietul de sarcini al M. L. P. dă în convoi, aproape pentru toate deschiderile, momente mai mici de cât convoiul alcătuit cu locomotiva-tip C.A.P.S. de 22 tone și 6.1 m. l., construită de Uzinele Reșița. Tot astfel, locomotiva mai grea, a Soc. „Cloșani”, (23 t; 6,8 m. l.), ea și aceea folosită pe noile linii ale Soc. „Reșița”, (24 t; 6,8 m. l.), dau mo-

mente ale convoiului de sarcini, mai mici decât locomotiva C. A. P. S., aceasta din urmă, având greutatea repartizată pe o lungime mai mică. Pentru aceste considerente, la întocmirea tabloului momentelor încovoietoare ale sarcinilor mobile (v. tab. I) am luat în considerare, atât convoiul indicat de Caietul de sarcini M. L. P., cât și pe acela alcătuit de locomotivele C. A. P. S., de 22 t./6,1 m. l. la ambele convoaie vagoanele având greutatea de 12 tone și lungimea de 7 m. l., pe 4 osii.

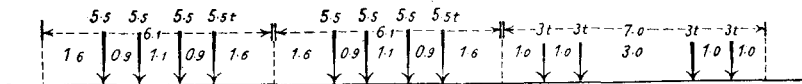


Fig. 2 — Convoiul de sarcini tip C. A. P. S.

Fig. 2 arată convoiul alcătuit cu locomotiva-tip C. A. P. S., de 22 t. și 6,1 m. l.

3 Deschideri libere

Din examinarea a numeroase proiecte de căi ferate înguste, construite în ultimii ani pentru exploatarea de păduri dela noi, am constatat că în aceste proiecte se dau, de regulă, tipuri de poduri pentru anumite deschideri fixe, de ex. de: 1,0; 2,0 12,0 m. Aceste deschideri variază din 1 m în 1 m, până la 5—6 m, apoi din 2 în 2 m, până la deschiderea de 12 m. Cu alte cuvinte, cine are nevoie să construiască de pildă un pod cu deschiderea de 7,60 m (rezultată din calcul, ținând seamă de debitul maxim al râului), găsește în proiect calculat un pod de 8,00 m și e nevoit așa dar, să facă o cheltuială în plus. Dacă ar lua o deschidere mai mică, ar fi expus să construiască un pod, care n'ar avea de bușul necesar trecerii apelor mari.

Am căutat să remediem acest neajuns, la întocmirea tabelii de momente și la celelalte calcule ce urmează, prin aceea că s'au considerat deschideri, ce diferă între ele numai cu 10 cm (între 0,6 și 1,0 m) sau cu 20 cm (peste 1 m deschidere).

S'a mai constatat, din examinarea proiectelor menționate, că la liniile noastre înguste, rare ori se întâlnește poduri cu deschideri libere mai mari de 12 m. Spre a ține totuși seama și de cazurile, când ar fi nevoie să se depășească această limită, tabela de momente amintită este calculată pentru deschideri ce merg până la 16 metri.

Deschiderea cea mai mică, luată în considerare, a fost de 0,6 m, deși după cum se știe, până la 0,8 m și chiar mai mult, pentru scurgerea apelor se pot construi șanțuri transversale fără grinzi longitudinale, șinele putând suporta singure greutatea convoiului. De altfel, în ultima vreme există tendința, de a înlocui podețele mai mici de circa 2 m, prin tuburi de scurgere, din beton simplu sau armat.

În tab. 1 se vede că între 0,6 și 1,0 m momentele convoiului de sarcini sunt calculate pentru deschideri, crescând din 10 în 10 cm, iar între 1,2 și 16,0 m variația deschiderilor este de 20 cm, ceea ce este suficient, pentru aproximația cu care se determină debușul podurilor în practică.

4. Sarcina uniform repartizată

Sarcina uniform repartizată a podurilor de cale ferată îngustă se compune din greutatea suprastructurii (șine, material metalic mărunt, traverse, podini), și din greutatea proprie a grinzilor principale.

Tipul cel mai greu de șine, utilizat actualmente pe liniile ferate înguste, construite recent, este cel de 15 kg/m. l. Legătura șinelor cu traversele se face, de regulă, prin crampoane, iar sub talpa șinelor se pune, pe fiecare traversă, câte o placă metalică. Șinele au mai adesea lungimea de 9 metri.

Ținând seamă de recomandăția Prof. MELAN, ca pe pod traversele să fie plasate la 0,5 m distanță din ax în ax, spre a împiedeca vagoanele deraiate să cadă de pe pod și luând traverse speciale de stejar, de 20/20 cm secțiune și 1,8 m lungime (uneori, de ex., la liniile Soc. „Reșița”, se iau traverse de 3,0 m lungime, pentru ca podul să aibă aceeași lățime, ca și restul căii); în fine, considerând, că pentru circulația personalului de întreprindere al liniei se pun podini de brad, de 5 cm grosime, numai între șine, se poate face următoarea evaluare a greutății suprastructurii, pe metrul liniar de pod:

Șine, 2 bucăți tip 15 kg /m ^l (2 × 15)	=	30,00 kg /ml
Belize și buloane (4 × 3 + 8 × 0,15) 9	=	1,48 „ „
Plăci metalice (14 × 2 × 1) : 9	=	3,10 „ „
Crampoane (14 × 6 × 0,25) : 9	=	1,18 „ „
Traverse de stejar, lemn ud 2 × 0,2 × 0,2 × 1,8 × 1000) =	144 00 „ „	
Podini de brad între șine (0,5 × 0,6 × 1,0 × 600)	=	20,00 „ „
Total	=	199,76 = 200 kg /ml

După cum se vede, podurile sunt considerate fără trotuare și fără parapete. La podurile scurte, aceste anexe nici nu sunt necesare, iar

la cele lungi, (de peste 10 m), chiar dacă s'ar ține seamă și de greutatea lor (circa 80—100 kg/m. l.) sporul de sarcină permanentă respectiv, ar influența prea puțin asupra momentului încovoietor total și deci, asupra secțiunii grinzilor principale (v. tabela II).

De asemenea, s'a neglijat greutatea eventuală a zăpezii, care, la podurile de cale ferată cade printre traverse sau e curățită de grătarul locomotivei. În fine, s'a lăsat la o parte din calcul și presiunea vântului, aceasta, jucând un rol neînsemnat la poduri cu deschideri relativ mici și situate la niveluri joase, cum sunt cele de pe liniile ferate înguste.

Dacă, după cum se vede din cele arătate mai sus, determinarea greutății suprastructurii se poate face fără nicio dificultate, aflarea greutății proprii a urșilor necesită anumite încercări și calcule preliminare. În adevăr se știe, că pentru a afla dimensiunile și deci, greutatea proprie a acestor piese, trebuie să li se dea la început o greutate proprie, luată arbitrar. Pentru calculele preliminare din acest studiu s'au folosit în acest scop, formulele empirice prescrise de Prof. MELAN (9), pentru grinzile principale ale căilor ferate înguste, ecart. 0,760 m, în care l = deschiderea liberă a podului și anume:

a) Greutatea grinzilor simple (până la 7,00 m deschidere):

$$G = 20l + 10,8l^2$$

b) Greutatea grinzilor combinate (peste 7,00 m deschidere):

$$G = 180 + 50l$$

Aceste formule dau greutatea în kg a tuturor grinzilor principale ce alcătuiesc suprastructura podului, indiferent de numărul lor. Trebuie remarcat că MELAN recomandă să se utilizeze pentru poduri de c. f. ecart. 0,760 m, grinzi simple până la deschiderea de 7,80 m. Din calculele noastre s'a dovedit însă, că pentru convoiul de sarcini adoptat, această deschidere este prea mare, deoarece peste 7,00 m ar fi trebuit să se utilizeze mai mult de 4 grinzi așezate alături, sau trei grinzi cu secțiuni de peste 32/45 cm, ceea ce cu greu se pot găsi.

Cifrele rezultate din aplicarea acestor două formule și anume pentru deschideri $l=0,6$, până la 7.0 m pentru grinzile simple și $l=8,2—16,0$ m pentru grinzile combinate, au fost trecute în tabela II. După ce s'a calculat momentul încovoietor total, corespunzător convoiului de sarcini-

tip C. A. P. S., s'a făcut dimensionarea acestor grinzi și apoi cubajul lor, spre a le afla volumul și greutatea reală. Multiplicând volumul unei grinzi de 1 m, cu numărul grinzilor utilizate în suprastructura podului și cu greutatea pe m^3 a materialului utilizat (brad, stejar), s'a putut face o comparație între greutatea reală a acestor grinzi pe m. l. de pod și greutatea rezultată din aplicarea formulelor empirice menționate mai sus.

Pentru grinzile de brad s'a luat ca greutate unitară, $600 \text{ kg}/m^3$ iar pentru cele de stejar, $900 \text{ kg}/m^3$, considerând că aceste piese sunt în parte acoperite, astfel că chiar în timpul ploilor de durată, nu se imbibă complet cu apă. După DIN, 1.074, lemnul uscat la aer are $550 \text{ kg}/m^3$ (brad), respectiv $800 \text{ kg}/m^3$ (stejar), iar cel complet imbibat de apă are $700 \text{ kg}/m^3$ (brad) și $1.000 \text{ kg}/m^3$ (stejar).

În tabela ce urmează sunt date comparativ, greutatețile în kg ale grinzilor principale, pe m. l. de pod rezultate pe de o parte din aplicarea formulelor lui MELAN, iar pe de alta, din cubajul grinzilor, ale căror dimensiuni fuseseră stabilite în prealabil prin calcule statice:

a) Grinzi simple :

Deschiderea l (m)	1	2	3	4	5	6	7
Greutatea după MELAN, $\text{kg}/m^3=31$	83	157	253	370	509	669	
„ „ cubaj brad „	34	47	104	166	219	292	346
„ „ „ stejar „	50	87	147	233	302	418	490

b) Grinzi combinate:

Deschiderea l (m)	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Greutatea după MELAN, kg/m^3	580	630	680	730	780	830	880	930	980
„ din cubaje, brad „	328	360	423	480	635	713	787	864	946
„ „ „ stejar „	467	527	583	648	927	1002	1109	1221	1305

Cifrele de mai sus arată, că pentru grinzile simple, formulele prof. MELAN, dau greutateți mult prea mari, în special, pentru cele de brad, a căror greutate este abia $\frac{1}{2}$ din cea dată de formulă. La grinzile combinate, valorile rezultate din formula respectivă depășesc pe cele găsite prin cubaj numai pentru brad, pe când, pentru stejar, ele sunt prea mici, mai ales la grinzile *triple* (din 3 piese suprapuse), având deschideri între 12 și 16 metri.

Făcând o serie de încercări și reprezentând grafic valorile aflate, am adus formulelor MELAN anumite modificări, care le fac să dea valori foarte apropiate de cele reale. Observând diferențele apreciabile de greutate ce există între grinzile de brad și cele de stejar am intro-

după în noile formule și greutatea specifică g (kg/dm^3), a materialului lemnos, din care constă grinda. Formulele astfel modificate, sunt:

a) Pentru grinzi simple: $G = 20 l + g l^2$,

b) Pentru grinzi combinate: $G = 20 l + 0,5 g l^2$, în care $l =$ deschiderea liberă a podului, iar $g =$ greutatea specifică și anume: $g = 5,5 \text{ kg}/\text{dm}^3$ pentru brad și $g = 8 \text{ kg}/\text{dm}^3$ pentru stejar.

Din aplicarea noilor formule, au rezultat valorile ce urmează (în paranteză sunt date greutatețile rezultate din cubajul grinzilor):

a) *Grinzi simple* :

Deschiderea, l (m)	1	2	3	4	5	6	7
Greutatea după formulă, brad	25	62	110	168	237	318	410
„ din cubaj, brad . .	(31)	(83)	(104)	(166)	(219)	(292)	(346)
„ după formulă, stejar	28	72	132	202	300	408	532
„ din cubaj, stejar . .	(50)	(87)	(147)	(233)	(302)	(418)	(490)

b) *Grinzi combinate* :

Deschiderea, l (m)	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Greut. după formulă, brad	326	403	475	553	636	724	819	919	1024
„ din cubaj, brad . .	(328)	(360)	(423)	(480)	(635)	(713)	(787)	(864)	(945)
„ după formulă, stejar	416	504	600	704	816	936	1064	1200	1344
„ din cubaj, stejar . .	(467)	(527)	(583)	(648)	(927)	(1002)	(1109)	(1221)	(1306)

După cum se vede, noile formule dau, chiar în cazurile extreme, valori diferind cu cel mult 10—12% de greutatețile reale (din cubaje) pe când la formulele inițiale ecarterul mergea până la 93% (grindă de brad de 7,0 m deschidere). Aceste valori se apropie și mai mult de cele reale, în special la grinzi cu deschideri mari, unde, după cum se vede în tab. II, momentul greutateții proprii reprezintă o cotă destul de importantă (10—15%), din momentul încovoietor total.

De oarece din cifrele date mai sus rezultă, că prin aplicarea formulelor inițiale ale Prof. MELAN, se obțin pentru greutatețile proprii ale urșilor, valori acoperitoare pentru grinzi de brad de orice deschidere, precum și pentru cele de stejar cu deschideri până la 12 m, n'am mai găsit necesar să recalculăm momentul greutateții proprii și al celui total, spre a introduce valorile rezultate din cubajul acestor grinzi. Spre a ne da seama de eroarea comisă procedând astfel, am luat cazul deschiderii celei mai mari (16 m), la care diferența de moment al sarcinii proprii, uniform repartizate, este (pentru $q = 1.306 - 980 = 326 \text{ kg}$).

$$\frac{1}{8} q \cdot l^2 = \frac{326}{8} 16^2 = 41 \times 256 = 10500 \text{ kgm},$$

cifră care reprezintă numai 5% din valoarea momentului încovoietor total (195.932 kgm) indicată în tab. II. Recalcularea greutateilor proprii ale grinzilor principale și a momentului total ar fi dus deci, în acest caz extrem, la o micșorare a dimensiunilor urșilor, cu cel mult 1 cm de fiecare latură a secțiunii.

Din compararea valorilor înscrise în tabela III pentru secțiunile necesare ale grinzilor de brad și stejar reiese, că acestea din urmă, pentru o rezistență la încovoiere cu numai 10% superioară pe unitatea de suprafață a celor de brad (110 kg/cm² la stejar, față de 100 kg/cm² la brad), au o greutate cu peste 30% mai mare (800 kg/cm³, față de 550 kg/cm³). Cu alte cuvinte, sporul de rezistență pe care îl oferă urșii de stejar este acoperit și chiar depășit de momentul încovoietor suplimentar, datorit greutății proprii mai mari.

Pentru practică aceasta înseamnă, că în construcția unui pod, utilizând grinzi principale de stejar, în loc de brad, nu se obține decât avantajul unei durate mai mari a construcției. Pentru poduri provizorii, bradul este însă de preferat stejarului, fiindcă se lucrează mai lesnicios, este mai ieftin și se poate găsi cu mai multă ușurință buștenii de dimensiuni mari, pentru secțiunile necesare ale grinzilor, mai ales la deschiderile ce depășesc aprox. 5 m. Trunchii groși de stejar au ajuns, chiar la noi, o raritate și sunt scumpi, fiind ceruți pentru alte utilizări mai bine plătite, decât în construcția podurilor.

5. Calculul momentelor

a) *Momentul sarcinii permanente*, uniform repartizată pe lungimea grinzilor, a fost calculat în modul cunoscut, ținând seama de greutatea proprie a urșilor și a căii (q) și de deschiderea l :

$$M = \frac{1}{8} q l^2$$

Rezultatele acestor calcule se găsesc înscrise în coloanele 2, 3 și 4 ale tabelii II, pentru deschideri între 0,6 și 16,0 metri.

b) *Momentul convoiului de sarcini* a fost de asemenea determinat prin calcul, nu pe cale grafică, deși acest din urmă procedeu e atât de expeditiv. Metodele grafice nu pot da o precizie suficientă, când se caută valori pentru deschideri ce diferă atât de puțin între ele, cum e cazul din acest studiu. Din încercările făcute am constatat, că ducerea paralelelor la razele polare, pentru desenarea

poligonului funicular, dă erori destul de importante, chiar dacă se utilizează mijloace moderne de desen (planșeta „Isis”).

S'a procedat deci la determinarea prin calcul a momentului acestor sarcini, așezând convoiul în așa chip, încât sarcinile concentrate cele mai mari să vină către mijlocul deschiderii, în poziția care dă momentul *maximum maximorum*. Teoretic este demonstrat, că pentru deschideri $l < 1.706 a$, o forță concentrată P în mijlocul deschiderii, dă un moment mai mare decât două forțe P , aflate la distanța a între ele, chiar dacă încep amândouă pe grindă și sunt așezate în poziția de moment max. max. La convoiul de sarcini tip C. A. P. S., o sarcină pe o osie de 5,5 tone a locomotivei, așezată la mijlocul deschiderii l , a dat un moment mai mare decât 2 sarcini de câte 5,5 tone, până la deschiderea de 1,6 m (v. tab. I, unde este trecută și rezultanta R a forțelor ce încep pe grindă și dau momentul max. max.; această rezultantă înlesnește de a vedea și modul cum a fost plasat convoiul de forțe).

Două sarcini P de câte 5,5 t, la o distanță $a=0,9$ m una de cealaltă, dau momentul max. max., când rezultanta lor $R = 11$ t, și una din aceste forțe se află în poziție simetrică față de mijlocul deschiderii, astfel că:

$$M_{\max} = \frac{1}{2} P (l - \frac{a}{2})^2$$

În cazul a trei forțe egale și echidistante, momentul max. max., se produce când forța centrală calcă în mijlocul deschiderii. În calculele făcute pentru întocmirea tabelii I, acest caz a fost întâlnit numai la convoiul de sarcini propus prin Caietul de sarcini al M. L. P., unde locomotiva are cele 4 osii echidistante.

În numeroase cazuri a fost necesar să se încerce, pentru aceeași deschidere, diferitele moduri posibile de așezare ale convoiului de sarcini, care începea pe grindă, spre a stabili, care din ele dă M max.

Astfel, la convoiul de sarcini tip M. L. P., pentru deschiderea de 10,4 m, a fost nevoie să se cerceteze cazurile *): $4 \times 6 + 3$ și $4 \times 6 + 6$

*) Acest mod simplificat de notare: $4 \times 6 + 3$, înseamnă că pe pod se află o locomotivă cu 4 osii a 6 tone și o osie a vagonului următor, de 3 tone; $4 \times 6 + 6$ indică o locomotivă întreagă, plus o osie a locomotivei următoare, etc.

Calculul momentelor este făcut pentru podul întreg, cele 2—4 grinzi ce alcătuiesc suprastructura acestuia considerându-se egal încărcate și solidare

și $4 \times 6 + 2 \times 3$, toate încapând pe grinda cu această deschidere. Pentru cazul: $4 \times 6 + 3$, reprezentat în figura 3, poziția rezultantei celor 5 forțe ce încap pe grindă, față de ultima sarcină, este dată de relația:

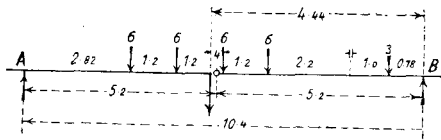


Fig. 3.

$$m = \frac{6(3,2 + 4,4 + 5,6 + 6,8)}{27} = \frac{120}{27} = 4,44 \text{ m}$$

asa dar rezultanta $R = 27 \text{ t}$, a celor 5 forțe se găsește la o depărtare de 4,44 m, de reazimul din dreapta sau la 4 cm spre stânga osiei a treia a locomotivei. În poziția care dă momentul încovoietor max. max., mijlocul grinzii se află la jumătatea distanței între rezultantă și osia a treia, adică la 2 cm în stânga acesteia, astfel că depărtarea primei osii a locomotivei de reazimul A, este de 2,82 m, iar distanța dintre osia vagonului și reazimul B, este de 0,78 m. În stânga primei osii a locomotivei nu mai poate încăpea nici o altă sarcină concentrată, de oare ce după diagramă (v. fig. 1), ultima osie a celorlalte locomotive din convoi ar veni la 3,2 m.

Reacția reazemului A va fi deci:

$$A = \frac{3 \times 0,78 + 6(3,9 + 5,18 + 6,28 + 7,58)}{10,4} = \frac{1404,6}{10,4} = 13,55 \text{ tone}$$

$$\begin{aligned} \text{În consecință, } M_{\max} &= 13,55 \times 5,22 - 6(1,2 + 2,4) = \\ &= 70,73 - 21,60 = 49,13 \text{ tm.} \end{aligned}$$

Calculând în același mod momentul max. max. pentru convoiul $4 \times 6 + 6$, se obține valoarea $M_{\max} = 43,2 \text{ tm}$; iar pentru convoiul $4 \times 6 + 2 \times 3$ (care de asemenea încapă pe pod în poziție ce dă momentul max. max.), se află $M_{\max} = 49,09 \text{ tm}$. S'a luat deci valoarea cea mai mare (49,13 tm), dată de rezultanta $R = 27 \text{ t}$, și s'a trecut în coloana 8 a tabelii I.

În același mod s'a procedat în toate cazurile, când pentru o deschidere dată puteau fi luate în considerare diferite moduri de aran-

jare ale convoiurilor de sarcini M. L. P. sau C. A. P. S. În special a fost necesar să se facă această cercetare comparativă pentru deschiderile mai mari de 14 m. Rezultatele acestor calcule se găsesc înscrise în tabela I, unde s'au trecut numai momentele cele mai mari, precum și rezultanta R , a forțelor care dau această valoare maximă.

Tabela arată în coloanele 3 și 5 respectiv 8 și 10, momentele M_{\max} date de convoaiele M. L. P., și C. A. P. S. Din compararea cifrelor rezultă că valorile produse de convoiul C. A. P. S. sunt mai mari decât cele corespunzătoare convoiului M. L. P., în special la deschiderile mari. Pentru aceste considerente, restul cercetărilor din acest studiu au la bază exclusiv cazul, când acțiunea sarcinilor mobile este dată de convoiul C. A. P. S.;

e) *Momentul total.* Momentul încovoietor total se află din însumarea momentului M al sarcinii permanente și a momentului dat de convoiul de sarcini mobile, M_{\max} . Spre a ține seama și de solicitările dinamice, la care sunt supuse grinziile principale ale podurilor, datorite neregularităților căii, șocurilor la trecerea peste joante, legănării (tangajului) vehiculelor etc., momentul sarcinilor mobile trebuie multiplicat cu un „coeficient de impact”, care la podurile de lemn are valoarea $\varphi = 1,4$ (după DIN, 1.074).

În tabela II s'a trecut momentul total $M_{\text{tot.}} = M + \varphi M_{\max}$ max. corespunzător convoiului de sarcini tip C. A. P. S., spre a servi la dimensionarea grinziilor principale ale tuturor podurilor de cale ferată ecart. 0,760 m, cu deschideri între 0,6 și 16,0 metri. Trebuie observat, că aceste cifre reprezintă valorile momentului total pentru podul întreg, indiferent de numărul grinziilor principale, ce intră în alcătuirea suprastructurii podului. Numărul acestor grinzi a fost ales ulterior, după necesitatea de a găsi pentru secțiunile acestora, dimensiuni acceptabile din punct de vedere constructiv.

Pentru motive ce se vor expune ulterior, valorile momentelor au fost exprimate în tabela III în kgm, nu în tm, ca tabela II.

6. Sarcina echivalentă

Pentru aflarea momentului încovoietor total se obișnuiește uneori să se înlocuiască sarcina proprie și aceea datorită circulației, prin tr'o sarcină uniform repartizată (pe m^2 de pod sau pe ml., din deschidere), care să dea același moment total. Acest procedeu de cal-

cul simplificat e utilizat cu deosebire la podurile cu deschideri mari.

În tabela ce urmează s'au calculat, pentru convoiul tip C. A. P. S., sarcinile echivalente Q în tone pe ml de pod, utilizând relațiile:

$$M_{\text{tot}} = \frac{1}{8} Q l^2, \text{ de unde } Q = \frac{8 M_{\text{tot}}}{l^2}$$

în care M_{tot} este momentul încovoetor total în tm, iar $l =$ deschiderea podului în m:

l	=	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
M_{tot}	=	1,96	4,74	10,1	16,8	25,2	34,2	44,0	53,4	64,9	77,1	93,1
Q_{tone}	=	15,7	9,5	9,0	8,1	7,6	7,2	6,9	6,4	6,2	6,2	6,2
l	=	.....		12	13	14	15	16				
M_{tot}}	=	.....		111,8	131,1	149,7	172,5	195,9				
Q_{tone}}	=	.....		6,2	6,2	6,1	6,1	6,1				

Cifrele de mai sus arată, că la deschideri între 1 și 9 m inclusiv greutatea echivalentă pe ml de pod scadește cu deschiderea, scăzând de la 15,7 la 6,2 tone, cu aprox. 0,4 tone/ml, pe când la deschideri între 10 și 16 m, această greutate rămâne aproape constantă și egală cu 6,2 tone/ml.

Urmează deci, că procedeul de calcul al momentului încovoetor total, prin utilizarea unei greutatei echivalente uniform repartizată pe ml, de pod este aplicabil, la podurile de cale ferată ecart. 0,760 m, numai pentru deschideri mai mari de aprox. 8 metri, iar drept greutate uniform repartizată se poate lua aceea de 6,2 tone pe ml, de pod.

7. Dimensionarea grinzilor principale

În completarea studiului de față, spre a răspunde unor cerințe relevate în practică, am procedat în continuare la determinarea secțiunilor *optime* ale grinzilor principale de lemn, utilizabile la podurile de cale ferată ecart. 0,760 m, corespunzător momentelor totale calculat anterior pentru deschideri între 0,6 și 16,0 m, și considerând convoiul de forțe mobile tip C. A. P. S.

Prin secțiune optimă se înțelege aceea, care pentru o suprafață dată, oferă cel mai mare moment rezistent la încovoiere W . Se știe,

că la grinzile cu secțiune dreptunghiulară această condiție e îndeplinită de secțiunea, în care raportul laturilor $b/h = \sqrt{2} : 2 = 0,71$.

Dacă raportul acestor laturi e fixat la valoarea de mai sus aceste dimensiuni se pot afla ușor, utilizând relația lui NAVIER:

$$W = \frac{M_{\text{tot}}}{\sigma_{\text{adm}}}, \text{ în care } W = \frac{bh^2}{6}, M_{\text{tot}} \text{ este momentul încovoietor}$$

total, calculat anterior, iar σ_{adm} este rezistența admisibilă la încovoiere a materialului lemnos, din care e confecționată grinda. După DEN, 1074 $\sigma_{\text{adm}} = 100 \text{ kg/cm}^2$ pentru brad și $\sigma_{\text{adm}} = 110 \text{ kg/cm}^2$ pentru stejar.

În unele lucrări recente privitoare la dimensionarea construcțiilor în lemn, se găsesc descrise diferite procedee simplificate și tabele ajutătoare, care servesc la determinarea mai lesnicioasă a secțiunilor necesare pentru diferitele piese constructive. WILLE (12) recomandă procedeul următor:

Se înseamnă cu ψ raportul b/h , astfel că $b = \psi h$, iar

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{h^3}{6\psi} = \frac{1000 \cdot 100 \cdot M}{\sigma} \text{ (dacă } M \text{ este dat în tm) deci:}$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{600000 M \psi}{\sigma}} = 84,3 \sqrt[3]{\frac{M \psi}{\sigma}} = 44,3 \frac{\sqrt[3]{M} \sqrt[3]{\psi}}{\sqrt[3]{\sigma}}$$

Notând constantele $\frac{84,3}{\sqrt[3]{\sigma}}$ cu s_1 și $\sqrt[3]{\psi}$ cu s_2 , se poate scrie:

$$h = s_1 \cdot s_2 \sqrt[3]{M}, \text{ iar dacă produsul } s_1 \cdot s_2 = s, h = s \sqrt[3]{M} \text{ și } b = \psi h$$

În broșura menționată se dau tabele de valori pentru s_1 , s_2 și s , luând pentru rezistența admisibilă a lemnului, diverse date uzuale în construcții, iar pentru raportul laturilor ψ anumite valori cunoscută. Cu ajutorul acestor tabele, dimensionarea grinzilor se reduce la multiplicarea a 2—3 cifre.

În calculul grinzilor de poduri, procedeului de mai sus i se pot aduce anumite precizări, care simplifică și mai mult dimensionarea acestor piese de lemn. După LASKUS (8) în construcția podurilor nu sunt admise decât lemne de cea mai bună calitate, astfel că pentru rezistența admisibilă a acestora la încovoiere se vor lua valorile

cunoscute: $\sigma_{\text{adm}} = 100 \text{ kg/cm}^2$, pentru brad și $\sigma_{\text{adm}} = 110 \text{ kg/cm}^2$ pentru stejar. Pe de altă parte, trebuie să se aibă în vedere, că aceste grinzi având dimensiuni excepțional de mari, se confecționează de regulă după comandă, în care caz li se pot da secțiuni cu $W_{\text{max.}}$, adică având raportul $b : h = \sqrt{2} : 2 = 0,7071$.

Considerând deci valorile σ și $\varphi' = b/h$ constante (să se re-marece, că în acest caz $\varphi' = b : h = 1/\varphi$ din metoda lui WILLE), proce-deul ce propunem pentru dimensionarea grinzilor de poduri este și mai mult simplificat.

Se poate scri, ca mai sus:

$$b = \varphi' h, \varphi' = \sqrt{2}/2 = 0,7071, \text{ deci } b = 0,7071 h$$

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{\varphi' h h^2}{6} = \frac{\varphi' h^3}{6} = \frac{0,7071}{6} h^3 = 0,11785 h^3$$

După relația lui NAVIER: $W = \frac{M}{\sigma}$, în care M este momentul total

exprimat în kgem; scriind M în kgm, avem: $W = \frac{100 M}{100} = M$, (s'a luat $\sigma =$

100), astfel că: $0,11785 h^3 = M$ sau $h = \sqrt[3]{\frac{M}{0,11785}} = \sqrt[3]{8,484 M}$

Pentru grinzi simple de stejar ($\sigma = 110 \text{ kg/cm}^2$):

$$h = \sqrt[3]{\frac{M}{12963}} = \sqrt[3]{7,714 M}$$

Exemplu: Din tabela II, pentru o deschidere de 4,3 m, avem un moment încovoietor total $M = 18405 \text{ kgm}$. Dacă podul are 3 grinzi în suprastructură, revine asupra fiecăreia $M = 18.405 : 3 = 6.135 \text{ kgm}$. După formula de mai sus, se obține (pentru grinzi de brad):

$h = \sqrt[3]{8,484 M} = \sqrt[3]{8,484 \times 6135} = \sqrt[3]{52049} = 37,4 \approx 38 \text{ cm}$,
deci $b = 0,7071 \times 37,4 = 26,4 \approx 27 \text{ cm}$. Așa dar, secțiunea grinzii va fi:
 $b/h = 27/38 \text{ cm}$.

Relațiunile stabilite mai sus sunt aplicabile ca atare numai grin-zilor *simple* (dintr'o bucată). După MELAN (9), I, pag. 146, dimen-siunile maxime ale grinzilor de lemn simple sunt: $b = 30-35 \text{ cm}$, $h = 35-45 \text{ cm}$. În țara noastră, unde se mai găsește încă multe pă-duri bătrâne, se pot afla și bușteni foarte groși, care să dea grinzi lungi, cu secțiuni chiar mai mari decât cele maxime, indicate de MELAN. În condițiunile dela noi, se poate admite, că se găsește destul de ușor grinzi, cu secțiunea de 35/45 cm și cu lungimi de 15—18 m.

Când însă din calcul rezultă piese cu secțiuni, ce depășesc aceste valori, este nevoie să se recurgă la *grinzi combinate*. Acestea sunt alcătuite, după cum se știe, din 2—4 grinzi simple, suprapuse și solidarizate între ele, după caz, prin dinți, pene, cloțuri sau scoabe și șuruburi, care împiedecă deplasarea longitudinală a pieselor componente și alunecarea lor pe suprafețele de contact.

După încercări făcute până azi, în construcția podurilor de lemn pentru căi ferate înguste, se utilizează de preferință grinzi combinate de brad sau stejar, cu *pene* din lemn tare (stejar) și cu șuruburi între pene. Grinzile cu dinți se confecționează mai greu și dau pierderi mari de material, prin tăieturile pe care le reclamă pentru realizarea îmbinărilor.

Rareori sunt folosite grinzi cu pene cu mai mult de 3 strate suprapuse, de oarece ele ar avea o înălțime prea mare, care ar micșora sensibil spațiul de sub pod, pe unde se scurge apa. La podurile lungi, deschiderea liberă poate fi redusă prin înmulțirea reazimelor intermediare, astfel ca să nu fie necesare grinzi combinate cu mai mult de 3 strate suprapuse.

Trebuie menționat, că ori cât de îngrijit s'ar face îmbinarea pieselor componente, nu se poate conta la aceste grinzi pe o rezistență admisibilă la încovoiere mai mare de 80% din aceea, pe care ar avea-o o grindă simplă cu aceeași secțiune, când grinda combinată constă din 2 strate suprapuse; sau mai mare de 60%, când ea e alcătuită din 3 strate. (Se zice, că *randamentul* grinzii combinate este de 80%, respectiv de 60%). Calculul static la încovoiere al unor asemenea grinzi se face ca și pentru grinzile dintr'o bucată, luând $\sigma'_{adm} = 0,8 \sigma_{adm}$ în cazul grinzilor duble (din 2 strate suprapuse) respectiv $\sigma''_{adm} = 0,6 \sigma_{adm}$ la grinzile triple.

Piese ce alcătuiesc asemenea grinzi combinate e preferabil să aibă secțiunea patrată, de oarece patratul este dreptunghiul cu suprafața cea mai mare înscrisă în cerc. Dând secțiunii grinzilor forma de patrat, se pierde mai puțin lemn în margini, la cioplirea cu toporul sau la tăierea în gațer a bușeanului. Dacă se utilizează astfel de piese, urmează că grinda combinată va avea, la fiecare din piesele componente $b = h$, iar la grinda întregă $H = 2b$, la grinzile duble și $H = 3b$ la cele triple, H fiind înălțimea totală a grinzii combinate.

Relația stabilită anterior pentru determinarea înălțimii secțiunii la grinzile simple, în cazul grinzilor combinate va trebui să fie modificată astfel:

a) *Grinzi duble*: $H = 2 b$, $\sigma'_{adm} = 0,8 \sigma_{adm}$

$$W = \frac{M}{\sigma'_{adm}}; \frac{H}{2} \cdot \frac{H^2}{6} = \frac{H^3}{12} = \frac{M}{0,8 \sigma_{adm}}$$

și când M este exprimat în kgm (v. tab. III):

$$\frac{H^3}{12} = \frac{100 M}{0,8 \cdot 100} = \frac{M}{0,8}, \text{ deci } H = \sqrt[3]{15 M} \text{ pentru brad}$$

$$\text{și } H = \sqrt[3]{13,5 M} \text{ pentru stejar}$$

b) *Grinzi triple*: $H = 3 b$, $\sigma''_{adm} = 0,6 \sigma_{adm}$

$$W = \frac{M}{\sigma''_{adm}}; \frac{H}{3} \cdot \frac{H^2}{6} = \frac{H^3}{18} = \frac{M}{0,6 \sigma_{adm}}$$

$$\frac{H^3}{18} = \frac{100 M}{0,6 \cdot 100} = \frac{M}{0,6}, \text{ deci } H = \sqrt[3]{30 M} \text{ pentru brad}$$

$$\text{și } H = \sqrt[3]{27,3 M} \text{ pentru stejar.}$$

Utilizarea acestor formule este destul de lesnicioasă, dacă se dispune de o tabelă care dă cuburile numerelor între 1 și 1.000.

Exemplu: Pod de stejar cu deschiderea de 12,4 m, având suprastructura din 3 grinzi combinate triple. Din tabela II, rezultă că un asemenea pod e sollicitat de un moment încovoietor total $M = 119.418$ kgm; revine deci unui urs $M = 39.806$ kgm.

Din formula de mai sus rezultă:

$$H = \sqrt[3]{27,3 M} = \sqrt[3]{27,3 \times 39806} = \sqrt[3]{1086704} \approx 103 \text{ cm.}$$

Lățimea secțiunii grinzii $b = H/3 = 34$ cm; așa dar urșii acestui pod vor avea secțiunea totală 34/103 cm, iar fiecare din cele 3 piese componente vor fi de 34/34 cm secțiune.

Utilizând procedeele de calcul descrise mai sus și considerând secțiunea cea mai mare a grinzilor simple la 32/45 cm, iar a celor ce intră în alcătuirea grinzilor combinate la 40/40 cm pentru stejar și 42/42 cm, pentru brad, s'a întocmit tabela III, de secțiunile optime ale urșilor de poduri, pentru căi ferate ecart. 0,760 m, parcurse de convoiul de sarcini tip C. A. P. S.

Tabela conține pentru fiecare din deschiderile considerate (între 0,6 și 16,0 m), momentul încovoietor total, numărul urșilor necesari, momentul rezistent W și secțiunea optimă, determinată prin procedeele de calcul simplificate, descrise anterior.

Numărul urșilor (grinzilor principale) a fost luat de 2 pentru deschideri între 0,6 și 3 m, de 3 între 3,20 și 5 m, și de 4 pentru deschideri între 5,20 și 7 metri.

Pentru alcătuirea suprastructurii podurilor de cale ferată îngustă, nu e recomandabil să se ia mai mult de 4 urși, deoarece nu s'ar putea face o repartizare avantajoasă, în sens transversal, a sarcinilor transmise asupra șinelor.

Când se utilizează 2 urși, aceștia pot fi plasați, fie exact sub axa șinelor, fie ceva mai în afară, spre a realiza o construcție mai elastică și pentru a crea spațiul necesar unor eventuale legături transversale (contravânturi verticale, la grinzile combinate triple).

La calea cu 3 urși, pentru ca sarcinile transmise prin cele 2 șine să se repartizeze în mod egal asupra celor 3 grinzi, e recomandabil, după HAUSKA (6), ca distanța între fețele interioare ale urșilor extremi, să fie de aprox. 0,9 m (v. fig. 4). La calea cu 4 urși, aceștia pot fi dispuși la distanțe egale sau în pereche, câte doi apropiați, sub fiecare șină.

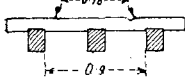


Fig. 4.

Din tabela III, rezultă că, pentru deschideri libere mai mari de 7,0 m. este necesar să se utilizeze grinzi combinate și anume: între 7,2 și 11,0 metri, grinzi *duble* (din 2 strate suprapuse), între 11,2 și 16,0 metri, grinzi *triple*, (din 3 strate suprapuse).

Având în vedere secțiunile mari ale acestor urși și ținând seama de depărtarea mică între șine, nu s'a prepus să se folosească pentru alcătuirea suprastructurii acestor poduri, mai mult de 3 urși așezați alături.

Grinzile combinate având o înălțime mare, sunt necesare și legături transversale, care să împiedece răsturnarea lor pe reazime. O asemenea legătură se obține în parte prin traversele, de care se fixează șinele, însă la grinzile triple sunt necesare și contravânturi verticale, în plan transversal, cel puțin la capete și la mijlocul podului. În acest caz, urșii extremi nu se mai pot plasa la 0,9 m distanță între fețele lor exterioare, deoarece n'ar mai rămâne suficient spațiu

pentru aceste legături. Astfel, la urși de 40/120 cm ar rămâne între urșii extremi și ursul mijlociu numai: 45—20—25 cm, ceea ce e prea puțin. Raportul lungimii laturilor dreptunghiului de contravântuire trebuie să fie cel puțin 8/10, ceea ce la o înălțime a grinzii de 120 cm dă un spațiu între grinzi de 96 cm, iar între fețele interioare ale urșilor extremi, de $2(96+20) = 2,32$ metri.

Din cifrele cuprinse în tabela III, rezultă deosebiri destul de mici între secțiunile necesare ale grinzilor de brad față de cele de stejar. Acest lucru este explicabil, dacă se ține seama, că diferența de rezistență la încovoiere pe cm^2 de secțiune este de numai 10 kg. Pe de altă parte, trebuie ținute în seamă cele spuse anterior, cu privire la greutatea proprie, mult mai mare, a grinzilor de stejar.

Spre a avea în vedere greutatea ceva mai mare, rezultată din cubaj, față de aceea calculată după formulele prof. MELAN dimensiunile trecute în tabelă pentru grinzile de stejar ar trebui majorate cu aproximativ 3%. Prin aceasta s'ar ajunge la dimensiunile găsite pentru brad. Această constatare conduce la observația importantă pentru practică, după care:

grinzile principale ale unui pod de lemn se pot calcula pentru o rezistență admisibilă la încovoiere de 100 kg/cm^2 , indiferent dacă sunt de brad sau stejar;

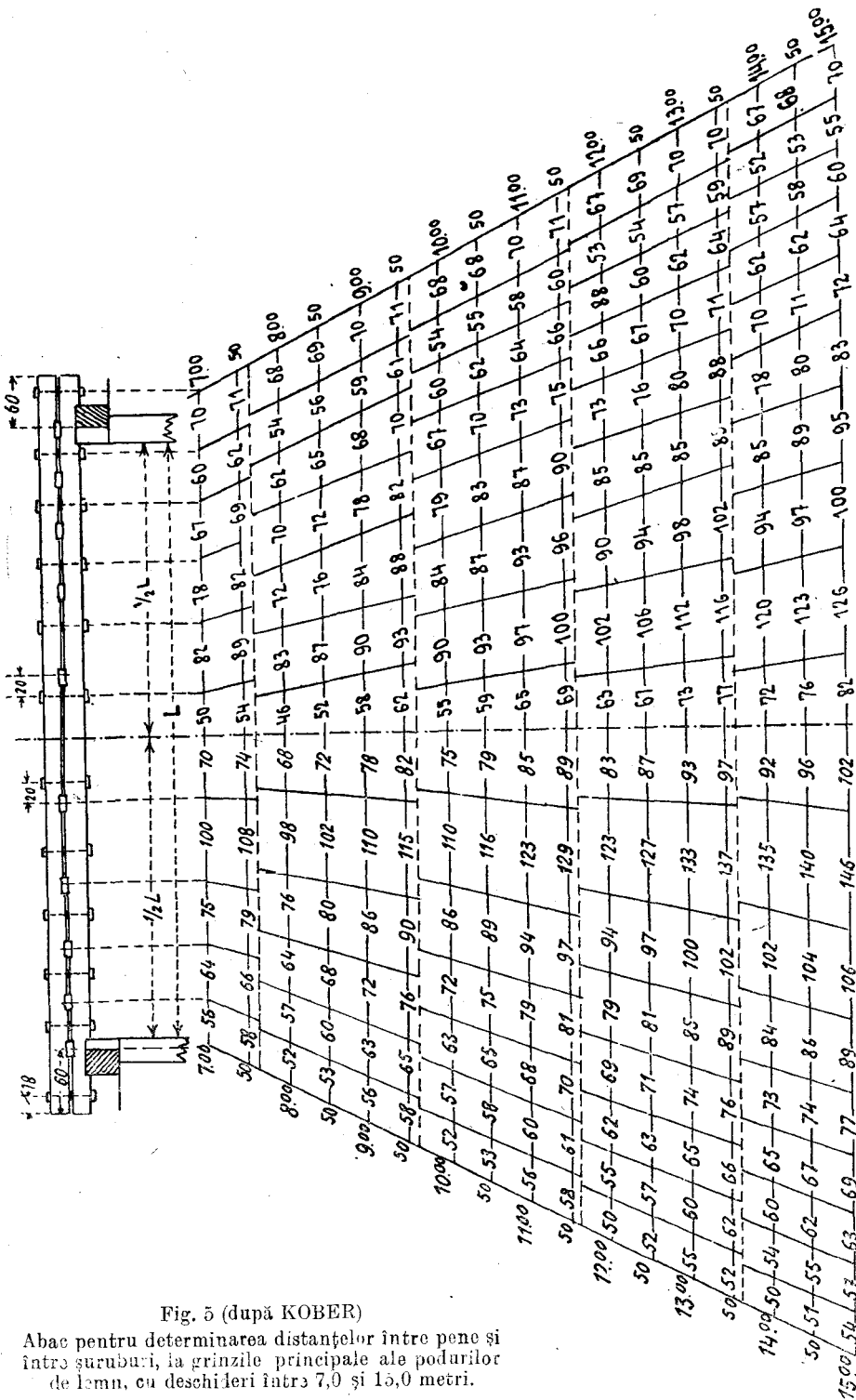
dacă se hotărăște ulterior să se utilizeze de pildă, stejar în loc de brad, dimensiunile rămân neschimbate, deoarece sporul de rezistență ce-l dă această specie este acoperit de greutatea proprie, care, la lemnul de stejar este cu 30% mai mare decât la cel de brad.

8. Distribuția penelor și șuruburilor

La grinzile combinate, pentru fixarea poziției penelor și șuruburilor, se utilizează destul de des în practică, anumite construcții grafice (v. GESTESCHI, 5) sau *abace* (diagrame), care dau direct distanțele din ax în ax, între aceste piese.

Un asemenea abac este cel reprezentat în fig. 5, care în stânga axei indică distanțele între pene, pe jumătate din deschidere, iar în dreapta axei, depărtarea între șuruburi, ambele pentru deschideri între 7,0 și 15,0 metri, (după KOBER, 7).

În lipsa unor instrucțiuni de utilizare, mulți cred că asemenea grafice sunt aplicabile pentru orice fel de urși de poduri (de șosea, de c. f. normală sau îngustă), cu alte cuvinte, pentru orice fel de con-



voiri de sarcini. O asemenea opinie o găsim bunăoară în cunoscuta monografie a lui OPLETAL (11), asupra instalațiilor de transport construite în Bucovina de Fondul Bisericesc Ortodox, unde se arată, că la toate podurile de șosea și de cale ferată îngustă, construite de această instituție, s'a utilizat un abac asemănător celui din fig. 5 și întocmit în 1888 de Ministerul ungar al Lucrărilor Publice.

Cum distanțele între pene și șuruburi ale unei grinzi combinate depind de forțele tăietoare, ce iau naștere în grindă, respectiv de alunecarea longitudinală, care tinde să foarfece penele și pragurile scobiturilor făcute pentru ele în grinzile componente, în cele ce urmează, am căutat să verificăm, întru cât utilizarea unui abac de felul celui din fig. 5, este justificată la grinzile podurilor de cale ferată îngustă, studiate anterior.

Spre a reduce numărul calculelor și pentru a face posibilă o comparație între cifrele înscrise în abacul din fig. 5, distanțele între pene și șuruburi nu s'au mai calculat pentru deschideri crescând din 20 în 20 cm, ci din 50 în 50 cm, rămânând bine înțeles, ca în practică, pentru deschideri intermediare să se interpooleze proporțional.

Ca și în cazul momentelor încovoietoare, determinarea forțelor tăietoare s'a făcut prin calcule numerice, spre a obține diferențele cerute, între deschiderile vecine. Forțele tăietoare utilizate în calculele ce urmează au fost determinate, pentru fiecare deschidere, în 6 secțiuni a-

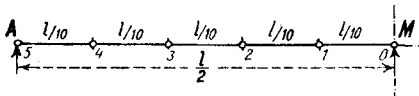


Fig. 6.

flate la o distanță egală de $l/10$ din deschidere, adică (v. fig. 6), în dreptul reazemului A, în axa podului M și în alte 4 secțiuni echidistante. În toate aceste calcule s'a avut în vedere atât convoiul de sarcini (C. A. P. S.) cât și greutatea proprie, uniform repartizată, a podului. Aceasta din urmă a fost luată din tabela II, unde, după cum s'a mai spus, sunt trecute greutatețile proprii determinate prin formula MELAN, nu cele rezultate din cubaje.

Ca exemplu asupra modului de procedare, se dă mai jos calculul forțelor tăietoare în cele 6 secțiuni, pentru deschiderea $l = 10$ m:

Forța tăietoare în A (reacția reazemului), dată de convoiul C. A. P. S. este:

$$Q_5 = A = \frac{5,5}{10} (1,0 + 1,9 + 3,0 + 3,9 + 7,1 + 8,0 + 9,1 + 10,0) = \frac{5,5 \times 44,0}{10} = 24,2 \text{ tone}$$

Greutatea proprie dă o forță tăietoare $q_5 = a = \frac{0,88 \times 10}{2} = 4,4$ tone

Așa dar, forța tăietoare totală în A este: $Q_5 + q_5 = 24,2 + 4,4 = 28,6$ tone (v. tab. 4).

Deplasând convoiul de forțe spre sânga pe distanța $l/10 = 1$ m, până când prima osie calcă în 4, din fig. 6, se obține:

$$Q_4 = \frac{5,5}{10} (0,9 + 2,0 + 2,9 + 6,1 + 7,0 + 8,1 + 9,0) = \frac{5,5 \times 360}{10} = 19,8$$

tone,

iar din greutatea proprie, $q_4 = \frac{4}{5} \times 4,4 = 0,8 \times 4,4 = 3,52$ tone

Deci, $Q_4 + q_4 = 19,8 + 3,52 = 23,32$ tone.

În același mod, prin deplasarea succesivă a convoiului în 3, 2 1, M , din fig. 6 se obține: $Q_3 + q_3 = 18,64$ t; $Q_2 + q_2 = 14,46$ t; $Q_1 + q_1 = 10,89$ t, iar la mijlocul deschiderii (M) $Q_m = 7,81$ tone.

Valorile tuturor forțelor tăietoare, calculate în modul arătat mai sus, pentru toate deschiderile între 7,0 și 16 m, luând de bază convoiul de sarcini C. A. P. S. și greutatea proprie a suprastructurii din tab. II, au fost înscrise în tabela IV, separat pentru grinziile duble, cu deschideri între 7,0 și 11,0 metri și pentru cele triple, cu deschideri între 11,5 și 16,0 metri.

Pentru deschiderea de 7,0 m greutatea proprie a urșilor a trebuit să fie recalculată, utilizând aceeași formulă, ca și pentru restul grinzilor combinate (în tab. II, ea e considerată ca grindă simplă), adică: $u = 180 + 50 l = 530$ kg, astfel că greutatea suprastructurii este:

$$g = 530 + 200 \text{ (calea)} = 730 \text{ kg; deci } M = \frac{1}{8} 730 \times 7^2 = 4.461 \text{ kgm (în$$

loc de 5.323 kgm, cât este trecut în tabela II).

Când se cunosc forțele tăietoare în mai multe secțiuni ale grinzii, pentru stabilirea distanțelor între pene și șuruburi se recurge la anumite procedee numerice și grafice. Pentru simplificare se neglijează spațiul liber dintre piesele suprapuse, ce alcătuiesc grinda combinată, aceasta, socotindu-se alcătuită din piese alăturate. De regulă, se calculează mai întâiu alunecarea specifică pe m. l. (în tone sau kg)

$$\text{utilizând relația cunoscută: } T = k \frac{Q}{H}.$$

în care Q , este forța tăietoare în secțiunea considerată, H = înălțimea

toală a grinzii combinate, iar k e un coeficient numeric, a cărui valoare este:

$k = \frac{2}{3} = 1,5$ pentru grinzi duble și $k = \frac{4}{3} = 1,33$ pentru cele triple. De obicei, se neglijează frecarea F , ce ia naștere prin strângerea șuruburilor, între piesele din care e alcătuită grinda, valoarea acesteia fiind destul de mică $[F = \frac{1}{4} n \pi z d^2 \tau_z f, n$ fiind n -rul șuruburilor dintre 2 pene, de regulă $n=1$, d =diametrul șurubului, $f=0,5$ este coeficientul de frecare al lemnelor între ele și τ_z , rezistența la forfecare a șurubului, 400 kg/cm^2].

Dacă se neglijează frecarea, distanța între fețele interioare a două pene, adică lungimea pragului rămas între creștăturile făcute în grindă pentru pene, (v. fig. 7), poate fi calculată cu ajutorul formulei (după MELAN):

$$t_0 = b \cdot c \cdot \sigma_z / T$$

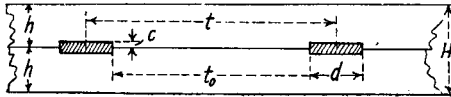


Fig. 7.

în care c este adâncimea creștăturii făcută în grindă pentru pană, b =lungimea penei (lățimea secțiunii grinzii), σ_z = presiunea specifică pe pană și T =alunecarea specifică pe m. l.

Distanța din ax în ax a penelor este, după fig. 7: $t = t_0 + d$, în care d este lățimea secțiunii penei.

Depărtarea între pene și șuruburi poate fi însă determinată și fără a mai calcula alunecarea specifică T , în care caz, se procedează în chipul următor:

Se stabilește mai întâiu adâncimea creștăturii c , în funcție de înălțimea secțiunii grinzii. În practică se ia $c=0,1 h$, până la $0,16 h$. Lățimea secțiunii penei d , variază între $3 c$ și $6 c$, pe când lungimea acesteia este egală cu lățimea secțiunii grinzii combinate (în cazurile considerate în acest studiu, $b=h = \frac{H}{2}$ la grinzile duble și $b = \frac{H}{3}$ la cele triple).

De regulă, distanța din ax în ax a două pene vecine t , variază între $8 c$ și $16 c$, ea trebuind să rămână pe cât posibil, mai mică de $1,20 \text{ m}$.

Deoarece alunecarea specifică supune pana la forfecare în sensul lă-
țimii ei, trebuie ca $d \geq \frac{c \sigma_z}{\tau_{adm}}$; iar pentru ca pragul rămas în grindă,
 t_0 să nu se despică, trebuie ca $t_0 < d$.

În relațiunile de mai sus σ_z este sarcina admisibilă pe fața îngustă
a penei și are (după MELAN), valoarea $\sigma_z = 0.3 \sigma_{adm}$, adică 30% din
sarcina admisibilă la încovoiere (pentru pene de stejar $\sigma_z = 33 \text{ kg/cm}^2$);
 τ_{adm} este rezistența admisibilă la forfecare a pragului dintre două
pene vecine ($\tau_{adm} = 10 \text{ kg/cm}^2$).

Înlocuind c , σ_z și τ_{adm} prin valorile menționate se obține:

$$d \geq c \cdot \frac{33}{10} = 3,3 c < t_0$$

Pentru ca o pană de dimensiunile b , c , d , să poată rezista forței T ,
trebuie ca distanța t_0 între fețele interioare a două pene vecine, să
ajbă valoarea:

$$t_0 = \frac{1}{T} c b \sigma_z = \frac{H}{k Q} c b \sigma_z$$

relații în care, după cum s'a arătat mai înainte, H este înălțimea
totală a grinzii combinate, Q e forța tăietoare ce acționează întregul
pod în secțiunea considerată, iar k , este coeficientul numeric men-
ționat anterior ($k = 3/2$, resp. $4/3$).

Deoarece la podurile studiate se utilizează pentru alcătuirea plat-
formei 2 sau 3 grinzi combinate, pentru fiecare din ele revine $Q/2$,
respectiv $Q/3$.

Înlocuind c și b prin valorile uzuale arătate mai sus, și anume:

$c = 0,1 h$ sau $c = 0,1 \frac{H}{2}$ la grinzile duble și $c = 0,1 \frac{H}{3}$ la cele triple, iar

$b = \frac{H}{2}$, respectiv $\frac{H}{3}$ se obține:

$$t_0 = \frac{H \cdot 0,1 \frac{H}{2} \cdot \frac{H}{2} \sigma_z}{\frac{3}{2} \cdot \frac{Q}{3}} = \frac{0,1 \frac{H^3}{4} \sigma_z}{\frac{3Q}{9}} = \frac{0,1 H^3}{3 Q} \sigma_z \text{ pentru grinzi duble și}$$

$$t_0 = \frac{H \cdot 0,1 \frac{H}{3} \cdot \frac{H}{3} \sigma_z}{\frac{4}{3} \cdot \frac{Q}{3}} = \frac{0,1 \frac{H^3}{4} \sigma_z}{\frac{3Q}{4}} = \frac{0,1 H^3}{4 Q} \sigma_z \text{ pentru grinzi triple.}$$

Luând apoi, după cum s'a arătat, pentru pene de stejar $\sigma_z = 0,3 \sigma_{adm}$, adică $\sigma = 0,3 \times 110 = 33 \text{ kg/cm}^2$, se află:

$$t_0 = \frac{3,3 H^3}{3 Q} = 1,1 \frac{H^3}{Q} \text{ pentru grinzi duble și}$$

$$t_0 = \frac{3,3 H^3}{4 Q} = 0,825 \frac{H^3}{Q} \text{ pentru grinzi triple.}$$

Se vede deci, că valorile t_0 se pot ușor calcula, dacă se cunosc înălțimile totale ale secțiunilor grinzilor combinate H și forțele tăietoare Q , ce acționează întregul pod, valori înscrise în tabela IV.

Întru cât însă, la stabilirea valorilor H este necesar să se facă anumite rotunjiri în plus sau în minus, spre a le exprima în cm. întregi, se poate scrie pentru t_0 o formulă, care să facă valorile respective independente de H . În adevăr, după cum s'a arătat la titlul 7, (v. pag. 19) între înălțimea secțiunii grinzii combinate H (cm) și momentul încovoietor total M (kgm), există următoarele relațiuni, în cazul grinzilor de brad:

$H^3 = 15 M$ pentru grinzile *duble* și $H^3 = 30 M$, pentru grinzile *triple*.

Înlocuind deci H^3 în formulele de mai sus, se obține:

$$t_0 = 1,1 \frac{15 M}{Q} = 16,5 \frac{M}{Q} \text{ pentru grinzile duble și}$$

$$t_0 = 0,825 \frac{30 M}{Q} = 24,75 \frac{M}{Q} \text{ pentru grinzile triple.}$$

Cum, însă în tabela II valorile momentului total M , se referă la podul întreg, adică se repartizează asupra a 2, respectiv 3 urși, formulele de mai sus, trebuiesc scrise astfel:

$$t_0 = \frac{1}{2} 16,5 \frac{M}{Q} = 8,25 \frac{M}{Q} \text{ pentru fiecare din cei doi urși dubli și}$$

$$t_0 = \frac{1}{2} 24,75 \frac{M}{Q} = 12,375 \frac{M}{Q} \text{ pentru fiecare din cei trei urși tripli.}$$

După cum se vede, distanța între pene se calculează utilizând aceeași formulă, indiferent că e vorba de o grindă dublă sau triplă, cu condițiunea ca M și Q să se refere la podul întreg.

Cu ajutorul acestei relații și utilizând valorile lui M din tabela II s'a întocmit tabela IV pentru deschideri între 7,0 și 13,0 m, tabelă ce conține valorile M ; $8,25 M$ și Q , ce dau pe t_0 . În fine, folosind aceste date, s'au calculat valorile t_0 , care s'au trecut în tabela V.

Pentru aflarea distanței t din ax în ax a penelor, la valorile t_0 trebuie adăugată (v. fig. 7) lățimea d a penei, $d = t_0 + d$. Cifrele obținute prin această adunare sunt trecute și ele în tabela V.

Dacă se cunosc aceste distanțe, numărul și poziția penelor corespunzătoare fiecăreia din deschiderile arătate în tabelele IV și V se determină utilizând următorul procedeu grafic, descris în diferitele manuale de construcții în lemn:

Valcările găsite pentru t se transpun ca ordonate pe axa grinzii, în secțiunile în dreptul cărora s'a calculat forța tăietoare Q și anume, $\frac{1}{2}$ din aceste valori deasupra și $\frac{1}{2}$ dedesubtul axei.

Se unesc prin două curbe, zise *iperbole de repartiție*, extremitățile acestor ordonate (fig. 8), după aceea, începând dela mijlocul deschiderii, se duce prin extremitatea de sus a primei ordonate (93 cm în

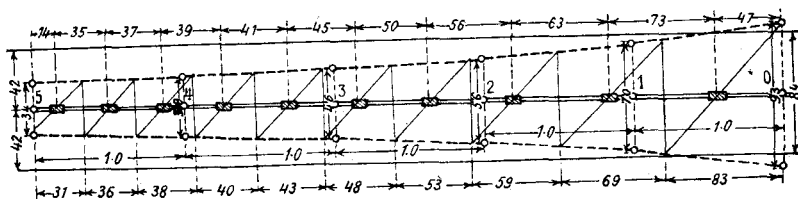


Fig. 8. — Iperbolele pentru repartiția penelor și șuruburilor.

fig. 8), o oblică la 45° , care intersectează curba inferioară într'un punct. Prin acest punct se ridică o nouă verticală, care taie curba de sus, iar din punctul de intersecție se duce o a doua oblică la 45° și așa în continuare, până se ajunge la reazemul din stânga.

Graficul se execută în acest mod numai pe $\frac{1}{2}$ din deschiderea podului, deoarece pozițiile penelor și ale șuruburilor sunt simetrice față de axa acestuia.

Intersjecțiile oblicelor cu axa grinzii dau pozițiile penelor, iar verticalele arată locul șuruburilor.

Fig. 8, reprezintă o aplicație a procedeuului descris, la cazul unei grinzii cu deschiderea de 10 m, iar pentru desenarea ei s'au utilizat valorile t , din tabela V.

Dacă prin procedeu arătat grinda nu este împărțită într'un număr convenabil de spații și se urmărește, de pildă ca ultima pană din etânga să cadă deasupra roazemului, se mărește sau se micșorează puțin înclinarea oblicelor. Abacul reprezentat în fig. 5, corespunde acestui sistem de reprezentare.

Dacă adâncimea c a creștăturii pentru pene rămâne constantă pe toată lungimea grinzii, distanțele t dintre pene descresc către capetele grinzii (v. tab. V). Dacă se iau însă pentru c valori crescătoare către reazime (unde Q și T sunt mai mari), vor rezulta, teoretic, mai multe iperbole de repartiție, fiecare din ele fiind valabile pentru o singură valoare a lui c . În practică se trasează de regulă o singură curbă, pentru valoarea medie a lui c .

Valorile aflate pentru t_0 reprezentând lungimile pragurilor dintre pene, acestea trebuie verificate, spre a vedea dacă rezistă la forfecarea, dată de alunecările specifice, fără a depăși $\tau_{adm} = 10 \text{ kg/cm}^2$ (brad), sau $\tau_{adm} = 12 \text{ kg/cm}^2$ (stejar). Între ultima până și capătul grinzii nu mai e necesar să se facă această verificare, deoarece, pentru considerențe de asigurare contra putrezirii și pentru o mai bună rezemare, capetele din spre culee ale grinzilor depășesc reazimul teoretic cu 30—45 cm (v. fig. 5). Așa dar, verificarea e necesară, în acest caz, numai când grinda se reazemă pe o pilă (palee), mai ales dacă nu se utilizează suburși¹⁾.

La grinzile combinate triple (cu două rosturi de contact), penele trebuie deplasate, cele din stratul superior către axa transversală a podului, iar cele din stratul inferior spre reazime, pentru a nu slăbi toate cele 3 grinzi componente în aceeași secțiune. Deplasarea va fi cel puțin $d+5$ cm (în cazul grinzilor din tab. V circa 15 cm), căutându-se, bineînțeles, ca prin aceasta să nu se schimbe poziția șuruburilor, indicată de grafic.

Spre a obține abacul de repartiție al penelor și șuruburilor, pentru grinzile combinate, utilizate la podurile de cale ferată ecart. 0,760 m, ce formează obiectul acestui studiu, s'au desenat pe hârtie milimetrică, la o scară mare (1/10) grafice de felul celui arătat în fig. 8, pentru toate deschiderile cuprinse în tabela V. Valorile distanțelor t , corespunzătoare momentelor totale M și forțelor tăietoare Q în secțiunile 0—5 ale fiecărei grinzi, au fost luate din tabelele IV și V.

Manualele care descriu procedeul grafic de mai sus, nu dau alte amănunte asupra modului cum trebuie făcută distribuția penelor și șuruburilor, pe deschiderea l a grinzii combinate. Din această cauză am urmat mai întâiu modalitatea descrisă în tratatele de poduri de

¹⁾ Cercetarea teoretică a lățimii secțiunilor penei și a distanței minime între pene ve forma obiectul unui studiu aparte.

lemn ale prof. MELAN (9) și HAUSKA (6), după care primul șurub este situat în axa podului (deschiderii), iar oblicele la 45° sunt trasate începând din dreapta-sus, spre stânga-jos. Procedând în acest fel, s'au determinat toate valorile, ce au servit la desenarea abacului dela pag. 31.

Din acest grafic reiese că ultimele pene din vecinătatea reazimelor nu cad, decât în mod excepțional, pe axa acestor reazime, ceea ce, din punct de vedere teoretic, nici nu e necesar, poziția penelor fiind determinată de mărimea forțelor ce tind să le foarfece. De asemenea, nici ultimele șuruburi dela capetele grinzilor nu pot fi plasate în axele reazimelor, în aceste poziții ele neputând fi montate și strânse, din cauza grinzii transversale (babei).

Deoarece în practică se procedează, de multe ori, și în sens invers la repartizarea penelor și șuruburilor, adică pornind dela reazime către axa deschiderii, am întocmit și abacul dela pag. 32, la care penele dela capetele grinzilor cad pe axa verticală a reazimelor ca și la abacul din fig. 5).

Pentru determinarea poziției penelor și șuruburilor, am utilizat iperbolele de repartiție desenate pentru abacul precedent.

Acest din urmă procedeu de repartiție oferă avantajul, din punct de vedere constructiv, că secțiunea cea mai slăbită a grinzii, unde penele sunt cele mai dese, este situată în apropierea sau în axa reazimului, iar dispozitivul de pene și șuruburi dela capetele grinzilor rămâne invariabil, oricare ar fi deschiderea podului. Acest dispozitiv este recomandabil a fi utilizat, în deosebi, când pentru o mai bună rezemare a capetelor urșilor se utilizează suburși.

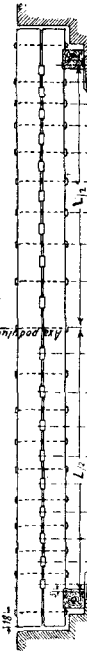
În practică, el este deci preferat celui precedent.

Comparând acum abacul dela pag. 32 cu cel dela pag. 22 care, după cum am spus, a fost utilizat în trecut pe o scară largă la podurile pentru instalații de transport forestiere, se pot constata însemnate deosebiri, atât în privința numărului cât și a distanțelor dintre pene și șuruburi (acestea din urmă, fiind o consecință a celui dintâiu). Astfel, numărul penelor este:

La o deschidere de (m) :	7	10	13	15
După abacul pag. 22, $n =$	5	7	8	9
După abacul pag. 32, $n =$	9	10	10	10

Se vede așa dar, că numărul penelor necesare la grinzile combinate ale podurilor de c. f. îngustă este mult mai mare (aproximativ dublu), la

Distanțele între pene (cm)



Distanțele mult mai mici, decât cele normale, lângă reazime dau de pănarea ultimei pene (surub) de punctul teoretic de sprijin.

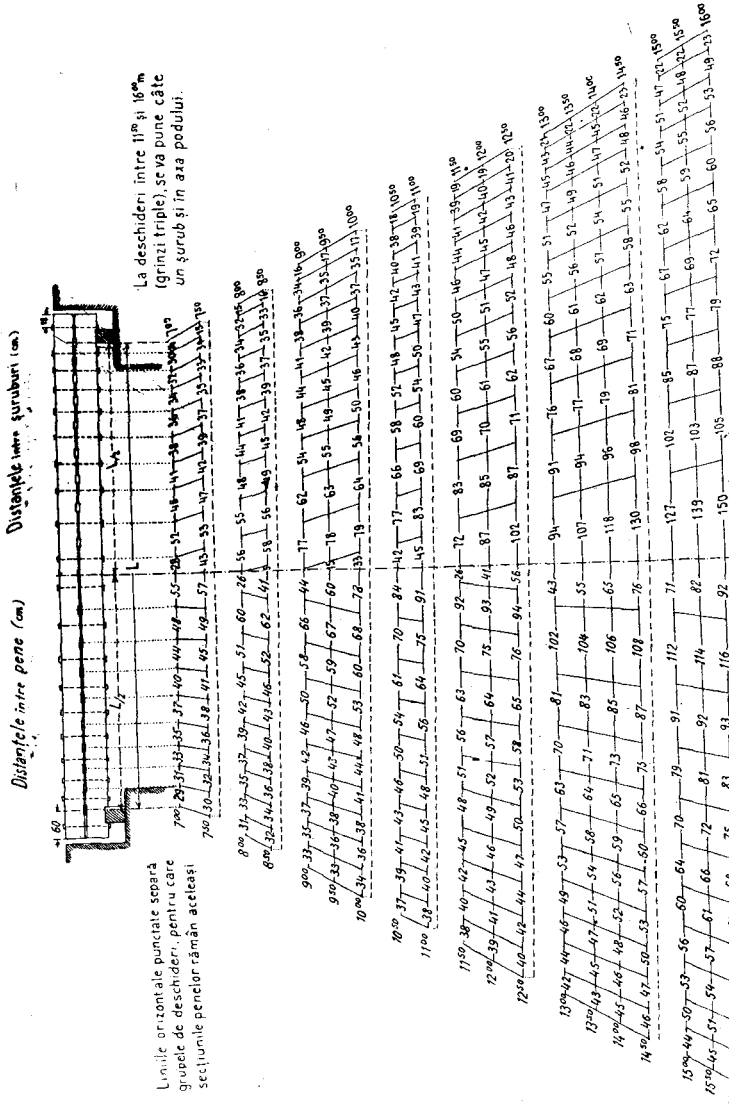
Linile orizontale punctate separă grupele de deschideri, pentru care dimensiunile secțiunilor penelor rămân neschimbate

Distanțele între șuruburi (cm)



800	27	12	34	36	38	42	45	58	57	58	37	66	54	48	44	40	37	25	23	21	800
850	31	11	35	37	40	43	47	53	62	39	71	58	50	46	41	38	30	30	27	20	850
900	35	37	39	42	46	50	59	66	63	76	63	55	48	44	40	38	36	32	29	24	900
950	35	37	38	41	44	49	53	60	70	80	64	56	52	46	43	40	38	35	31	26	950
1000	36	37	38	41	45	50	56	63	73	83	69	59	53	48	43	40	38	36	31	26	1000
1050	38	40	41	45	49	54	60	67	77	88	71	61	55	50	46	43	41	39	31	26	1050
1100	41	43	44	48	52	58	65	75	85	99	75	65	57	53	48	45	42	39	31	26	1100
1150	43	46	48	52	57	64	74	85	97	111	81	71	61	54	51	48	45	42	39	31	1150
1200	46	49	51	56	63	74	85	99	115	131	84	74	63	56	53	49	45	42	38	30	1200
1250	48	52	55	62	73	85	98	114	131	151	86	76	63	56	52	49	47	45	42	38	1250
1300	51	55	60	68	80	93	108	126	144	166	88	78	63	56	52	49	47	45	42	38	1300
1350	54	59	65	74	87	101	118	137	157	181	91	81	63	56	52	49	47	45	42	38	1350
1400	57	62	70	80	94	109	128	148	170	196	94	84	63	56	52	49	47	45	42	38	1400
1450	60	66	75	87	102	118	138	160	183	211	97	87	63	56	52	49	47	45	42	38	1450
1500	64	70	80	92	108	126	146	170	196	226	100	90	63	56	52	49	47	45	42	38	1500
1550	67	74	85	98	115	134	156	181	208	243	103	93	63	56	52	49	47	45	42	38	1550
1600	71	78	90	104	122	142	166	192	221	261	106	96	63	56	52	49	47	45	42	38	1600

Schema repartiției penelor și șuruburilor la grinzile combinate de poduri pentru căi ferate înguste (ecart. 0,76 m) cu deschideri între 7,00-11,00 m (gr.double) și 11,50-16,00 m (grinzi triple).



Schema repartiției penilor și șuruburilor la grinzile combinate de poduri pentru căi ferate înguste (ecart. 0.76m) cu deschideri între 7m și 11m (grinzile duble) și între 16m și 20m (grinzile triple).

deschiderea de 7 m și în toate cazurile, superior, după noul abac, față cu cel vechiu. În consecință și distanțele între pene (șuruburi), vor fi altele și anume, mai mici, după abacul pag. 32, decât cele arătate la pag. 22.

Concluzia practică, ce se desprinde din compararea acestor două grafice este că, distribuind penele și șuruburile unei grinzi de pod, acționată de convoiul de sarcini C. A. P. S., după cifrele indicate în abacul pag. 22, este nu vor putea rezista convenabil solicitărilor cauzate de forțele transversale. Ele ar putea totuși face eventual față acestor forțe, dacă s'ar spori corespunzător dimensiunile peneilor și diametrul șuruburilor. Cum, însă cei ce recurg la asemenea abace caută să evite tocmai calculele privitoare la dimensiunile și repartiția acestor piese, înseamnă că utilizarea lor fără alt control al rezistenței, nu poate fi decât arbitrară.

Imbinarea grinzilor combinate e întărită prin șuruburi, al căror diametru mediu este, după GESTESCHI (5): $\delta = 0,12 b$ (la capete $\delta = 0,13 b$, iar la mijloc $\delta = 0,10 b$), b fiind lățimea secțiunii grinzilor componente.

Sub capetele și piulițele șuruburilor trebuie puse plăcuțe de 8—12 mm grosime, cu un diametru cel puțin de 3—4 ori cât al șurubului.

La mijlocul podului, dacă grinda nu are pană centrală, distanța între șuruburi este egală cu spațiul între 2 pene. În restul deschiderii șurubul e plasat totdeauna la jumătatea distanței între două pene:

$$t_s = \frac{1}{2} (t_n + t_{n+1})$$

lucru ce reiese ușor din examinarea abacelor.

La deschideri între 7 și 10 metri șuruburile vor fi distribuite așa cum arată abacul dela pag. 32, adică la mijloc vor veni 2 șuruburi, câte unul de o parte și de alta a axei podului. La deschiderile de 10 și 11 m, în axa podului se va pune o pană centrală. La grinzile cu deschideri între 11,5 și 16 metri (grinzi triple) este necesar să se pună un șurub în axa podului, deoarece la distanțele atât de mari, indicate în abac, grinzile componente s'ar putea desface prin uscare, iar penele din partea centrală n'ar mai da siguranță imbinării.

La abacul pag. 22, cele 2 șuruburi de lângă axa podului sunt plasate inevitabil la 20 cm în stânga și în dreapta ultimelor pene.

Trebuie adăugat, că grinzilor cu pene li se dă și o *boltire* corespunzătoare unei săgeți $x = l/400$, l fiind deschiderea liberă a grinzii. Această boltire se obține așezând grinzile componente suprapuse. Se înseamnă și se scobește locul penei centrale (când există) și se pun șuruburile din dreapta și din stânga ei, strângându-le puternic. După aceea se curbează grinzile, rezemându-le fix la mijloc și trăgând capetele în jos cu ajutorul unor lanțuri, greutăți sau șuruburi de presiune, până când se obține săgeata corespunzătoare deschiderii. În această poziție se notează locul penelor, apoi se scot grinzile componente și se înalță găurile respective. În fine se assemblează din nou piesele și se curbează la loc, se dau găuri pentru toate șuruburile, se introduc acestea și se strâng puternic. La sfârșit se pun penele, care se bat bine, apoi se îndepărtează dispozitivele de curbare.

9. Grinzi metalice I în locul grinzilor combinate.

Față de scumpirea din ce în ce mai accentuată a lemnului, în special a trunchiilor de stejar de mari dimensiuni, se pune adesea întrebarea, dacă nu este avantajos, ca în locul grinzilor combinate, să se utilizeze grinzi de fier I. Acestea au înălțimea de construcție mult mai mică decât cele de lemn, au o rezistență la încovoiere și o durabilitate mult superioară și se pot monta mai repede și mai simplu.

Ceea ce rămâne de stabilit este, dacă și din punct de vedere al costului ele sunt de preferat. Pentru aceasta, ele ar trebui să fie de 5—6 ori mai ușoare, pentru aceeași rezistență la încovoiere necesară, decât grinzile combinate de lemn.

Pentru a răspunde la această din urmă întrebare, s'a întocmit tabela dela pag. 35, care arată comparativ, pentru deschiderile de 7,0—11,0 m (grinzi *double*) respectiv de 11,5—16 m (grinzi *triple*) ale podurilor de cale ferată îngustă studiate anterior: lățimea și înălțimea secțiunii, volumul și greutatea, precum și momentul rezistent W al grinzilor combinate de lemn și al celor metalice, toate aceste dimensiuni fiind cele necesare pentru susținerea convoiului de sarcini C. A. P. S.

În tabelă, datele referitoare la grinzile combinate de lemn au fost extrase din tabela III, interpolând pentru valori intermediare. Dintre grinzile metalice I s'au luat în considerare numai grinzile *Grey* (Differdinger) cu tălpi late, care în construcția podurilor sunt preferabile celor cu inimă înaltă, deoarece au o mai mare stabilitate pe reazime.

Ele au însă, pentru un moment rezistent dat, o greutate cu 10—15% mai mare decât grinzile I propriu zise, însă acest fapt nu modifică sensibil concluziile ce rezultă în general, pentru cazul ce ne interesează.

La grinzile de lemn, pentru stabilirea momentului rezistent necesar W_{nec} din momentul încovoietor total M_{tot} (exprimat în kgm) s'au folosit relațiile:

$$W_{nec} = \frac{100 M}{2 \times 80} = \frac{M}{1,6} \text{ pentru grinzile duble și } W_{nec} = \frac{100 M}{3 \times 60} = \frac{M}{1,8} \text{ pentru cele triple. S'a luat o rezistență admisibilă a lemnului de brad } \sigma_{adm} = 100 \text{ kg/cm}^2.$$

În cazul grinzilor metalice ($\sigma_{adm} = 1.000 \text{ kg/cm}^2$) relațiile care dau valorile momentului rezistent necesar sunt:

$$W_{nec} = \frac{100 M}{2 \times 1000} \text{ pentru podurile cu 2 urși și } W_{nec} = \frac{3 \times 1000}{100 M} \text{ pentru cele cu 3 urși.}$$

Deschiderea l m	M_{tot} kgm	Nr. de urși n	Grinzi combinate de lemn					Grinzi Differdinger				
			W_{nec}	b	H	V	G	W_{nec}	b	H	G	$W_{ef.}$
			cm ³	mm	mm	m ³ ml	kg/ml	cm ³	mm	mm	kg/ml	cm ³
7,00	43.143	2	26.965	340	700	0.238	143	2.157	300	360	143	2.360
7,50	48.116	2	30.072	360	720	259	155	2.406	300	380	150	2.605
8,00	53.420	2	33.388	370	740	274	164	2.671	300	400	160	2.892
8,50	58.827	2	36.767	380	760	286	173	2.941	300	425	168	3.212
9,00	64.887	2	40.553	390	790	308	185	3.244	300	425	168	3.212
9,50	70.868	2	44.299	400	810	324	194	3.544	300	450	180	3.595
10,00	77.066	2	48.166	420	840	353	212	3.853	300	475	190	3.992
10,50	83.440	2	52.150	430	860	370	222	4.172	300	500	206	4.451
11,00	93.110	2	58.194	450	890	400	240	4.652	300	550	226	5.308
11,50	102.880	3	57.156	340	1.010	313	206	3.429	300	450	180	3.595
12,00	111.776	3	62.097	350	1.040	364	218	3.726	300	475	190	3.992
12,50	121.842	3	67.690	360	1.060	382	229	4.061	300	500	206	4.451
13,00	131.057	3	72.809	370	1.100	407	243	4.369	300	500	206	4.451
13,50	141.766	3	78.760	380	1.130	429	257	4.726	300	550	226	5.308
14,00	149.688	3	83.160	380	1.150	437	262	4.989	300	550	226	5.308
14,50	161.001	3	89.500	390	1.160	452	271	5.367	300	550	226	5.308
15,00	172.481	3	95.883	400	1.200	480	288	5.749	300	600	236	5.977
15,50	184.119	3	102.288	410	1.230	504	302	6.137	300	650	247	6.690
16,00	195.932	3	108.851	420	1.250	525	315	6.531	300	650	247	6.690

Din tablou rezultă că grinzile metalice au lățimi și mai ales înălțimi ale secțiunilor, mult mai mici decât cele de lemn (cam $\frac{1}{2}$). În ce

privește însă greutatea unei grinzi pe ml, diferența este abia sensibilă în cazul grinzilor duble, iar la cele triple, economia de greutate, prin utilizarea de grinzi metalice este în cazul extrem ($l=16$ m):

$$\frac{(315-247) \times 100}{315} = 22\%$$

Rezultă deci, că afirmația după care grinzile metalice ar avea o greutate proprie mult mai mică decât aceea a grinzilor combinate de lemn, cu o egală rezistență la încovoiere, nu este întemeiată.

Înainte de războiul din 1939, un kg lemn, ecarisat și prelucrat în formă de grindă combinată, costa aprox. 2,50 lei, pe când un kg grindă metalică Differdinger era evaluat la circa 12 lei. Raportul prețurilor celor două materiale era deci de 1:5. Cu alte cuvinte, folosind grinzi metalice în locul grinzilor combinate de lemn, se făcea o cheltuială de 5 ori mai mare, scontând bineînțeles avantajele menționate pentru cele dintâiu: durabilitatea mai mare, montajul mai simplu și mai rapid etc.

În cazul special al podurilor pentru exploatarea forestieră, inconvenientul utilizării lemnului este mult diminuat prin aceea, că la asemenea întreprinderi se pot găsi cu destulă ușurință trunchii de mari dimensiuni, pentru a confecționa din ei grinzi combinate, pentru orice deschideri uzuale. Pe de altă parte, în țara noastră grinzile metalice sunt destul de greu de obținut, deoarece lipsesc industrii metalurgice de specialitate, iar comenzile în străinătate se execută destul de greu, când sunt de mică importanță.

Dacă totuși în practică se pot întâlni destule cazuri, de poduri pentru căi ferate înguste cu grinzi metalice, acestea provin probabil din demontarea unor poduri dezafectate de cale ferată normală sau din alte construcții industriale (poduri rulante). Asemenea grinzi vechi, dacă sunt în stare bună și se pot procura la prețuri convenabile (fier vechiu), pot înlocui cu deosebit succes grinzile combinate din lemn.

10. Concluziuni

Scopul studiului de față a fost de a stabili normele de încărcare (greutatea proprie și convoiul de sarcini) și procedeele de calcul pentru dimensionarea grinzilor principale de lemn ale podurilor de cale ferată îngustă.

În prima parte a studiului, după ce s'a cercetat convoiul care dă momentul încovoietor cel mai mare, s'a stabilit că acesta este con-

voiu alcătuit din 2 locomotive tip C. A. P. S. de 22 tone greutate în serviciu, pe 4 osii și cu 6,1 m lungime, urmate de vagoane de 12 tone pe 4 osii și 7 ml. S'au verificat și corectat apoi formulele ce dau greutatea proprie a urșilor, astfel încât să dea valori cât mai apropiate de acelea rezultate prin cubajul acestor grinzi.

S'a întocmit o tabelă de momente pentru convoiul de sarcini mobile (v. tabela I) așa cum există pentru podurile de cale ferată normală. Intr'o altă tabelă s'au trecut momentele încovoietoare totale, pentru deschideri între 0,6 și 7,0 m (grinzi simple) și 7,2—16,0 m (grinzi combinate). Determinarea momentelor s'a făcut prin calcul, metodele grafice neputând asigura precizia necesară studiului.

Datele astfel adunate au servit la stabilirea secțiunilor *optime* ale grinzilor principale de brad și stejar, de utilizat la podurile pentru și ferate înguste. La grinzile simple raportul laturilor secțiunii optime este $b/h = \sqrt{2}/2$ iar la grinzile combinate s'a prevăzut, ca piesele componente să aibă secțiunea patrată, fiindcă prin aceasta se pierde mai puțin material lemnos la ecărisare. În consecință grinzile combinate optime din 2 piese (duble) au $H=2 b$, iar grinzile triple $H=3 b$, relații în care b =lățimea și H =înălțimea secțiunii acestor grinzi.

Aceste relațiuni simple între laturile secțiunii au permis să se găsească formule deosebit de comode pentru dimensionarea grinzilor, în funcțiune de momentul încovoietor total exprimat în kgm:

Pentru grinzile simple, brad $h^3 = 8,484 M$; stejar $h^3 = 7,714 M$; pentru grinzile combinate duble, brad $H^3 = 15 M$; stejar $H^3 = 13,1 M$; pentru grinzile combinate triple, brad $H^3 = 30 M$; stejar $H^3 = 27,3 M$.

Rezultatul acestor calcule se află înscris în tabela III, care poate servi la dimensionarea directă a grinzilor de brad și stejar pentru poduri de cale ferată ecart. 0,760 m, parcurse de convoiul de sarcini tip C. A. P. S. și anume, pentru deschideri libere între 0,6 și 16,0 m. Cu această ocazie s'a evidențiat, că utilizând lemn de stejar, în loc de brad, nu se obțin grinzi cu secțiuni mai mici, deoarece acestea au o greutate proprie cu 30% mai mare decât cele de brad, pe când rezistența lor este numai cu 10% mai mare.

A doua parte a studiului a avut drept obiect verificarea unui abac folosit adeseori în practică (v. pag. 22) pentru fixarea locului pe-

nelor și șuruburilor la grinzile combinate de poduri. Prin utilizarea unor asemenea grafice se caută să se evite calculele statice, privitoare la forțele transversale, ce se dezvoltă în aceste grinzi, distribuția penelor făcându-se după cifrele indicate în abac.

Pentru cercetarea acestei chestiuni s'au calculat forțele tăietoare Q și lungimea pragurilor t_0 în diferite secțiuni echidistante ale grinzilor, utilizându-se în acest scop valorile calculate anterior, ale momentului încovoietor total M .

Între aceste mărimi s'a putut stabili o relație simplă ($t_0 = 8,25 \frac{M}{Q}$) ușor de aplicat în practică și care evită anumite erori de calcul (v. tabela IV).

În tabela V se găsesc înscrise rezultatele calculelor privitoare la lungimea pragurilor t_0 și la distanțele dintre pene t , pentru grinzile combinate, cu deschideri libere între 7,0—11,0 m (grinzi duble) și 11,5—16,0 m (grinzi triple).

S'au desenat apoi graficele care dau poziția penelor și șuruburilor pe jumătate din lungimea tuturor deschiderilor libere menționate mai sus. În acest fel s'a ajuns la constatarea, că folosirea abacului dela pag. 22 pentru grinzile combinate ale podurilor de c. f. ecart. 0,760 m este arbitrară și poate duce la erori importante. Pentru nevoile practice s'au întocmit abacele dela pag. 31 și 32, care dau distanțele între pene și șuruburi pentru toate deschiderile libere înscrise în tabelele IV și V.

În fine s'a cercetat oportunitatea înlocuirii grinzilor combinate din lemn prin grinzi metalice Differdinger, sub raportul greutateii proprii, stabilindu-se că grinzile de fier I sunt numai cu puțin mai ușoare, dar de 4—5 ori mai scumpe decât cele de lemn.

CONTRIBUTIONS À L'ÉTUDE DES POUTRES PRINCIPALES EN BOIS POUR LES PONTS DE CHEMIN DE FER A VOIE ÉTROITE (0,760 m)

R É S U M É

Le but de la présente étude est d'établir les normes de chargement (le poids propre et le train des charges) et les procédés de calcul pour fixer les dimensions des poutres principales en bois, pour les ponts de chemin de fer à voie étroite.

Dans la première partie de l'étude, après avoir examiné le train de forces qui donne le moment fléchissant maximum, on a établi que ce train est celui composé de deux locomotives du type C. A. P. S., du poids de 22 tonnes en service, sur 4 essieux et de 6,1 m longueur, suivies de wagons de 12 tonnes en service sur 4 essieux et 7 m. Ensuite on a vérifié et corrigé les formules qui donnent le poids propre des poutres principales, afin qu'elles soumissent les valeurs les plus rapprochées de celles résultées du cubage de ces poutres.

On a dressé le tableau Nr. 1 des moments du train des charges mobiles, tel qu'il existe pour les ponts de chemin de fer normaux.

Dans un autre tableau II on a inscrit les moments fléchissants totaux pour les portées entre 0,6 et 0,7 m (poutres simples) et 7,2—16,0 m (poutres chevillées). La détermination des moments a été faite par calcul, les méthodes graphiques ne pouvant assurer la précision nécessaire à l'étude.

Les données ainsi rassemblées ont servi à la détermination des sections optimales des poutres principales en sapin et chêne à utiliser aux ponts de chemin de fer à voie étroite. Pour les poutres simples, le rapport des

cotés des sections optimales est: $\frac{b}{h} = \frac{\sqrt{2}}{2}$, pour les poutres chevillées on

a prévu, que les pièces composantes aient la section carrée, parce que de cette façon on perd moins de matériel ligneux pendant le façonnage. Par conséquence les poutres chevillées optimales, formées de 2 pièces (doubles) ont $H = 2b$, et les poutres triples $H = 3b$, relations dans lesquelles $b =$ la largeur et $H =$ la hauteur de la section de ces poutres.

Ces relations simples entre les cotés de la section ont permis de trouver des formules particulièrement commodes pour fixer les dimensions des poutres, en fonction du moment fléchissant total, exprimé en kgm:

Pour les poutres simples, en sapin $h^3 = 8,484 M$; en chêne $H^3 = 7,714 M$.

„ „ „ chevillées, doubles, en sapin $H^3 = 15 M$; en chêne $H^3 = 13,1 M$.

„ „ „ „ triples en sapin $H = 30 M$; en chêne $H^3 = 27,3 M$.

Le résultat de ces calculs se trouve inscrit dans le tableau III qui peut servir à la détermination directe des dimensions des poutres en sapin et en chêne pour les ponts de voie ferrée à écartement 0,760 m, parcourus par le train des charges type C. A. P. S. précisément pour les portées libres, variant de 0,6 à 16,0 m.

A cette occasion on a mis en évidence qu'en utilisant le bois de chêne à la place du sapin, on ne peut pas obtenir des poutres à des sections plus petites, parce que le bois de chêne a un poids propre supérieure seulement de 10%.

La seconde partie de l'étude a comme objet la vérification d'une abaque utilisée souvent en pratique pour la détermination des poutres

chevillées des ponts. Par l'utilisation de tels graphiques on cherche à éviter les calculs statiques relatifs aux forces transversales qui se développent dans ces poutres, la distribution des goujons devant se faire d'après les chiffres indiqués dans l'abaque.

Pour l'examen de cette question on a calculé les efforts tranchants et la longueur des seuils dans différentes sections équidistantes des poutres, en utilisant dans ce but les valeurs calculées antérieurement pour le moment fléchissant total M . Entre ces grandeurs on a pu établir une relation simple $t = 8,25 M/Q$ facile à appliquer en pratique et qui peut éviter certaines erreurs de calcul (tab. IV). Dans le tableau V on trouve inscrit les résultats des calculs en ce qui concerne la longueur des seuils t_s et la distance entre les goujons t , pour les poutres chevillées à portées libres variant de 7,0 à 11,0 m (poutres doubles) et 11,5 — 16,0 m (poutres triples).

On a dessiné ensuite les graphiques qui donnent la position des goujons et des boulons sur la moitié de la longueur de toutes les portées libres mentionnées plus haut. De cette manière on est arrivé à la constatation que l'utilisation de l'abaque „universale“ (page 22) pour les poutres chevillées des ponts de chemin de fer à l'écartement 0.760 m est arbitraire et peut mener à des erreurs importantes. Pour les besoins de la pratique on a établi les abaques de la page 31 et 32 qui donnent les distances entre les goujons et les boulons pour toutes les portées libres inscrites dans le tableaux IV et V. Enfin, on a examiné l'opportunité du remplacement des poutres chevillées en bois par des poutres métalliques Differding, sous le rapport du poids propre et on a établi que les poutres en fer I sont à peine plus légères, par contre 4—5 fois plus chères que celles en bois.

BIBLIOGRAFIE

1. BRONNECK H.: Holz im Hochbau, 1931.
2. FILIPESCU G.: Statica și rezistența materialelor, 1935.
3. GANE N.: Construcțiuni din lemn, 1931.
4. HALASZ R.: Holzbau—Taschenbuch, 1942.
5. GESTESCHI T.: Grundlagen des Holzbaues, 1930.
6. HAUSKA L.: Brücken aus Holz, 1927.
7. KOBER R.: Güterwegbau, 1935.
8. LASKUS O.: Hölzerne Brücken, 1942.
9. MELAN J.: Brückenbau, I, 1942.
10. MITTASCH-BRAUNIG: Bau und Berechnung von Brücken, 1933.
11. OPLETAL J.: Das forstliche Transportwesen, 1913.
12. WILLE F.: Neue Bemessungsverfahren für Holzbauwerke, 1942.

Tabela I Momentele încovoetoare ale convoaielor de sarcini

Deschiderea <i>l</i> m	Convoiu M. L. P.		Convoiu C. A. P. S.		Deschiderea <i>l</i> m	Convoiu M. L. P.		Convoiu C. A. P. S.	
	<i>R</i> t	<i>M</i> _{max} tm	<i>R</i> t	<i>M</i> _{max} tm		<i>R</i> t	<i>M</i> _{max} tm	<i>R</i> t	<i>M</i> _{max} tm
0,6	6	0,90	5,5	0,82	8,2	24	35,16	25	34,95
0,7	6	1,05	5,5	0,96	8,4	24	36,26	25	36,20
0,8	6	1,20	5,5	1,10	8,6	24	37,40	25	37,45
0,9	6	1,35	5,5	1,24	8,8	24	38,65	28	38,81
1,0	6	1,50	5,5	1,38	9,0	24	39,84	28	40,20
1,2	6	1,80	5,5	1,51	9,2	27	41,04	28	41,60
1,4	6	2,10	5,5	1,65	9,4	27	42,39	28	43,00
1,6	6	2,40	5,5	2,27	9,6	27	43,74	28	44,40
1,8	6	2,70	11	2,80	9,8	27	45,09	28	45,80
2,0	6	3,00	11	3,30	10,0	27	46,44	28	47,19
2,2	12	3,48	11	3,83	10,2	27	47,79	28	48,59
2,4	12	4,05	11	4,36	10,4	27	49,13	28	49,99
2,6	18	4,50	16,5	5,29	10,6	30	50,58	28	51,39
2,8	18	5,40	16,5	6,11	10,8	30	52,07	28	52,79
3,0	18	6,30	16,5	6,93	11,0	30	53,57	44	56,46
3,2	18	7,20	16,5	7,76	11,2	30	55,07	44	58,61
3,4	18	8,10	16,5	8,58	11,4	30	56,56	44	60,77
3,6	18	9,00	16,5	9,41	11,6	30	58,06	44	62,93
3,8	18	9,90	22	10,24	11,8	30	59,56	44	65,08
4,0	18	10,80	22	11,32	12,0	30	61,05	44	67,24
4,2	18	11,70	22	12,40	12,2	30	62,55	44	69,41
4,4	24	12,60	22	13,48	12,4	30	64,04	44	71,57
4,6	24	13,68	22	14,57	12,6	30	65,40	44	73,73
4,8	24	14,85	22	15,65	12,8	30	67,04	44	75,90
5,0	24	16,03	22	16,73	13,0	30	68,54	44	78,07
5,2	24	17,20	22	17,82	13,2	30	70,04	47	80,24
5,4	24	18,38	22	18,91	13,4	30	71,54	47	82,57
5,6	24	19,60	22	20,00	13,6	30	73,04	47	84,90
5,8	24	20,78	22	21,09	13,8	30	74,54	47	87,24
6,0	24	21,96	22	22,18	14,0	42	76,25	50	88,02
6,2	24	23,15	22	23,27	14,2	48	78,49	50	90,52
6,4	24	24,35	22	24,36	14,4	48	80,87	50	93,01
6,6	24	25,53	22	25,46	14,6	48	83,18	50	95,50
6,8	24	26,71	22	26,54	14,8	48	85,82	50	98,00
7,0	24	27,90	22	27,63	15,0	48	87,87	50	100,50
7,2	24	29,10	22	28,72	15,2	48	90,22	50	102,99
7,4	24	30,30	25	29,95	15,4	48	92,27	50	105,49
7,6	24	31,57	25	31,20	15,6	48	94,92	50	107,98
7,8	24	32,69	25	32,45	15,8	48	97,28	50	110,48
8,0	24	33,77	25	33,70	16,0	48	99,63	50	112,98

Tabela II

Suma momentelor (Convoiul C. A. P. S.)

Deschiderea l m	Greutatea proprie			Convoiul de sarcini			$M_{tot} = M + \varphi M_{max}$ kgm	Deschiderea l m	Greutatea proprie			Convoiul de sarcini			$M_{tot} = M + \varphi M_{max}$ kgm							
	Greutatea urşilor kg/m. 1	Greutatea urşilor + calea kg/m. 1	$M = \frac{1}{8} q l^2$ kgm	M_{max} kgm	φM_{max} kgm	$M_{tot} = M + \varphi M_{max}$ kgm			Greutatea urşilor kg/m. 1	Greutatea uşilor + calea kg/m. 1	$M = \frac{1}{8} q l^2$ kgm	M_{max} kgm	φM_{max} kgm	$M_{tot} = M + \varphi M_{max}$ kgm		$M_{tot} = M + \varphi M_{max}$ kgm						
																	M_{max} kgm	φM_{max} kgm	$M_{tot} = M + \varphi M_{max}$ kgm	M_{max} kgm	φM_{max} kgm	$M_{tot} = M + \varphi M_{max}$ kgm
A. Grinzi simple																						
0,6	16	216	10	820	1.148	1.158	8,2	590	790	6.640	34.950	48.980	55.670									
0,7	19	219	13	960	1.344	1.357	8,4	600	800	7.056	36.200	50.680	57.736									
0,8	23	223	18	1.110	1.540	1.553	8,6	610	810	7.488	37.450	52.430	59.018									
0,9	27	227	22	1.240	1.736	1.753	8,8	620	820	7.938	38.810	54.384	62.272									
1,0	31	231	29	1.380	1.932	1.961	9,0	630	830	8.401	40.200	56.280	64.884									
1,2	40	240	43	1.510	2.114	2.157	9,2	640	840	8.887	41.600	58.240	67.127									
1,4	49	249	61	1.650	2.310	2.371	9,4	650	850	9.388	43.000	60.200	69.583									
1,6	60	260	83	2.270	3.178	3.261	9,6	660	860	9.987	44.400	62.160	72.147									
1,8	71	271	110	2.800	3.920	4.030	9,8	670	870	10.444	45.800	64.120	74.564									
2,0	81	283	141	3.300	4.620	4.761	10,0	680	880	11.000	47.190	66.066	77.066									
2,2	96	296	179	3.830	5.362	5.541	10,2	690	890	11.574	48.590	68.026	79.600									
2,4	110	310	223	4.360	6.104	6.327	10,4	700	900	12.168	49.990	69.986	82.154									
2,6	125	325	275	5.280	7.406	7.681	10,6	710	910	12.781	51.390	71.946	84.727									
2,8	141	341	334	6.110	8.554	8.888	10,8	720	920	13.414	52.780	73.808	87.222									
3,0	157	357	402	6.930	9.702	10.104	11,0	730	930	14.066	54.190	75.044	93.110									
3,2	175	375	480	7.760	10.864	11.344	11,2	740	940	14.739	55.610	82.034	96.739									
3,4	193	393	568	8.590	12.012	12.582	11,4	750	950	15.433	57.070	85.078	100.511									
3,6	212	412	667	9.410	13.174	13.841	11,6	760	960	15.147	62.930	88.102	104.249									
3,8	232	432	780	10.240	14.336	15.116	11,8	770	970	16.883	65.080	91.112	107.995									
4,0	253	453	906	11.920	15.848	16.754	12,0	780	980	17.840	67.940	94.136	111.776									
4,2	274	474	1.145	13.400	17.860	18.405	12,2	790	990	18.419	69.410	97.174	115.593									
4,4	297	497	1.303	13.480	18.872	20.075	12,4	800	1.000	19.220	71.570	100.198	119.418									
4,6	320	520	1.373	14.570	20.395	21.773	12,6	810	1.010	20.043	73.730	103.222	123.265									
4,8	345	545	1.560	15.650	21.910	23.489	12,8	820	1.020	20.859	75.990	106.260	127.119									
5,0	370	570	1.781	16.730	23.422	25.203	13,0	830	1.030	21.759	78.070	109.298	131.057									
5,2	396	596	2.014	17.820	24.948	26.962	13,2	840	1.040	22.651	80.340	112.336	134.937									
5,4	423	623	2.271	18.910	26.474	28.745	13,4	850	1.050	23.567	82.570	115.598	139.165									
5,6	451	651	2.532	20.000	28.000	30.562	13,6	860	1.060	21.507	84.900	118.860	143.367									
5,8	479	679	2.855	21.090	29.526	32.381	13,8	870	1.070	25.471	87.240	122.136	147.607									
6,0	509	709	3.190	22.180	31.052	34.242	14,0	880	1.080	26.460	88.020	123.228	149.688									
6,2	539	739	3.551	23.270	32.578	36.129	14,2	890	1.090	27.473	90.520	126.728	154.201									
6,4	570	770	3.942	24.360	34.104	38.046	14,4	900	1.100	28.512	93.010	130.214	158.726									
6,6	602	802	4.367	25.450	35.630	39.997	14,6	910	1.110	29.576	95.500	133.700	163.276									
6,8	635	835	4.826	26.540	37.156	41.932	14,8	920	1.120	30.666	98.000	137.200	167.866									
7,0	669	869	5.323	27.630	38.632	44.005	15,0	930	1.130	31.781	100.590	140.700	172.481									
B. Grinzi combinate																						
7,2	540	740	4.795	28.720	40.208	45.003	15,2	940	1.140	32.781	102.990	144.186	176.967									
7,4	550	750	5.124	29.950	41.930	47.064	15,4	950	1.150	34.092	105.490	147.689	181.778									
7,6	560	760	5.437	31.200	43.680	49.167	15,6	960	1.160	35.287	107.980	151.172	186.451									
7,8	570	770	5.856	32.450	45.430	51.285	15,8	970	1.170	36.510	110.480	154.672	191.182									
8,0	580	780	6.240	33.700	47.180	53.420	16,0	980	1.180	37.760	112.980	148.172	195.932									

Tabela III

Secțiunile optime ale grinzilor principale

Deschiderea l m	M_{tot} kgm	Nr. grinzilor podului n	$W = \frac{M_{tot}}{\sigma_{adm}}$ (cm ³)		Secțiunea urșilor $b : h$ (cm)		Deschiderea l m	M_{tot} kgm	Nr. grinzilor podului n	$W_{nec.} = \frac{M_{tot}}{\sigma_{adm}}$ (cm ³)		Secțiunea urșilor $b : h$ (cm)	
			Brad	Stejar	Brad	Stejar				Brad	Stejar	Brad	Stejar
A. Grinzii simple													
0,6	1158	2	579	527	12 : 17	11 : 17	8,2	55.670	2	31.794	31.630	37 : 75	36 : 73
0,7	1357	2	679	617	13 : 18	12 : 18	8,4	57.736	2	36.085	32.805	38 : 76	37 : 74
0,8	1538	2	779	703	13 : 19	13 : 18	8,6	59.918	2	37.419	34.044	38 : 77	37 : 75
0,9	1738	2	879	799	14 : 20	13 : 20	8,8	62.272	2	38.920	35.382	38 : 78	38 : 76
1,0	2061	2	982	892	15 : 20	14 : 20	9,0	64.884	2	40.563	36.866	38 : 79	38 : 77
1,2	2157	2	1079	881	15 : 21	15 : 20	9,2	67.127	2	41.955	38.140	39 : 80	39 : 77
1,4	2371	2	1186	1078	15 : 22	15 : 21	9,4	69.588	2	42.943	39.539	40 : 81	39 : 78
1,6	3261	2	1637	1483	17 : 24	17 : 23	9,6	72.147	2	45.092	40.993	41 : 81	40 : 79
1,8	4030	2	2015	1832	18 : 26	18 : 25	9,8	71.564	2	46.603	42.366	41 : 82	40 : 80
2,0	4761	2	2381	2161	19 : 28	18 : 27	10,0	77.066	2	48.166	43.787	42 : 84	40 : 81
2,2	5541	2	2771	2519	20 : 29	20 : 28	10,2	79.600	2	49.750	45.227	42 : 85	41 : 82
2,4	6327	2	3164	2876	21 : 31	21 : 29	10,4	82.154	2	51.316	46.678	43 : 85	41 : 83
2,6	7681	2	3841	3497	22 : 33	22 : 31	10,6	84.727	2	52.955	48.140	43 : 86	42 : 83
2,8	8888	2	4444	4040	23 : 34	23 : 33	10,8	87.222	2	54.514	49.558	43 : 87	42 : 84
3,0	10101	2	5252	4593	24 : 36	24 : 34	11,0	93.110	2	58.194	52.903	45 : 89	43 : 86
3,2	11344	3	3732	2138	23 : 32	22 : 31	C. Grinzii combinate triple						
3,4	12580	3	4190	3812	23 : 34	23 : 32	11,2	96.739	3	53.744	48.858	33 : 99	32 : 99
3,6	13811	3	4614	4191	24 : 34	23 : 33	11,4	109.511	3	55.839	50.763	34 : 100	32 : 97
3,8	15116	3	5039	4581	24 : 36	24 : 34	11,6	104.249	3	57.916	52.651	34 : 101	33 : 98
4,0	16754	3	5585	5077	25 : 37	24 : 36	11,8	107.905	3	59.997	54.542	34 : 103	33 : 99
4,2	18405	3	6133	5577	26 : 38	26 : 36	12,0	111.776	3	62.097	56.453	35 : 104	34 : 101
4,4	20075	3	6692	6083	27 : 39	27 : 37	12,2	115.593	3	64.218	58.380	35 : 105	34 : 102
4,6	21773	3	7258	6595	28 : 40	27 : 38	12,4	119.418	3	66.343	60.312	35 : 106	34 : 103
4,8	23489	3	7827	7115	29 : 41	28 : 39	12,6	123.265	3	68.481	62.255	36 : 107	35 : 104
5,0	25203	3	8401	7637	29 : 42	23 : 40	12,8	127.119	3	70.621	64.200	36 : 108	35 : 105
5,2	26962	4	6741	6128	27 : 39	26 : 38	13,0	131.057	3	72.809	66.190	37 : 110	35 : 106
5,4	28745	4	7186	6533	28 : 40	27 : 38	13,2	134.987	3	74.721	68.175	37 : 111	36 : 107
5,6	30532	4	7838	6944	28 : 41	28 : 39	13,4	138.165	3	77.314	70.285	37 : 112	36 : 108
5,8	32381	4	8098	7359	29 : 41	28 : 40	13,6	143.367	3	79.648	72.408	38 : 113	36 : 109
6,0	34242	4	8561	7782	29 : 42	29 : 40	13,8	147.607	3	82.002	74.549	38 : 114	37 : 110
6,2	36129	4	9032	8211	30 : 43	29 : 41	14,0	149.638	3	83.160	75.600	38 : 115	37 : 111
6,4	38046	4	9512	8647	31 : 43	30 : 42	14,2	154.201	3	85.667	77.880	39 : 116	37 : 112
6,6	39977	4	9999	9090	31 : 43	30 : 43	14,4	158.725	3	88.181	80.165	39 : 117	38 : 113
6,8	41982	4	10496	9542	32 : 45	31 : 44	14,6	163.276	3	90.709	82.463	39 : 118	38 : 114
7,0	44005	4	11001	10001	32 : 45	31 : 45	14,8	167.866	3	93.259	84.791	40 : 119	38 : 115
7,2	45.003	2	28.127	25.570	35 : 70	34 : 68	15,0	172.481	3	95.833	87.112	40 : 120	39 : 116
7,4	47.064	2	29.415	26.741	35 : 71	35 : 68	15,2	176.967	3	98.315	89.378	40 : 121	39 : 117
7,6	49.167	2	30.729	27.939	36 : 72	35 : 70	15,4	181.778	3	100.983	91.808	41 : 122	39 : 118
7,8	51.286	2	32.054	29.140	36 : 73	35 : 71	15,6	186.489	3	103.588	94.172	41 : 133	40 : 119
8,0	53.420	2	33.388	30.352	37 : 74	36 : 72	15,8	191.182	3	106.212	96.558	41 : 144	40 : 120
							16,0	195.932	3	108.851	98.957	42 : 155	40 : 121

Tabela IV

Forțele tăietoare

Deschiderea l m	M_{tot} kgm	$8,25 M_{tot}$ kgm	Q_5 t	Q_4 t	Q_3 t	Q_2 t	Q_1 t	Q_m t
7,0	43.143	345.931	19,10	15,60	13,10	10,80	8,60	6,40
7,5	48.116	396.957	21,97	17,13	15,12	12,35	9,59	6,82
8,0	53.420	440.715	23,13	19,21	15,81	12,66	9,83	6,94
8,5	58.827	485.323	24,55	20,29	16,42	13,06	10,10	7,18
9,0	64.884	535.293	25,73	21,19	17,09	13,47	10,40	7,33
9,5	70.868	584.661	27,21	22,27	17,90	13,98	10,65	7,43
10,0	77.066	635.795	28,60	23,52	18,64	14,46	10,89	7,81
10,5	83.440	688.380	29,89	24,54	19,50	15,10	11,21	7,96
11,0	93.110	768.157	31,11	25,69	20,36	15,69	11,57	8,10
11,5	102.880	848.750	32,27	26,77	21,19	16,26	11,91	8,23
12,0	111.776	922.152	33,46	27,80	22,23	16,93	12,32	8,34
12,5	121.842	1.005.196	34,66	28,78	23,17	17,63	12,74	8,51
13,0	131.057	1.081.220	35,88	29,56	24,01	18,25	13,14	8,71
13,5	141.766	1.169.652	37,08	30,98	24,85	18,97	13,52	8,90
14,0	149.688	1.234.926	38,23	31,72	25,60	19,68	13,95	9,08
14,5	161.001	1.328.258	39,35	32,76	26,34	20,41	14,36	9,36
15,0	172.481	1.422.869	40,42	33,79	27,16	20,99	14,69	9,57
15,5	184.119	1.518.982	41,44	34,72	27,95	21,61	15,42	9,80
16,0	195.932	1.616.439	43,60	35,64	28,75	22,21	15,92	10,00

Tabela V

Distanțele între pene

$$t_0 = 8,25 M_{tot}/Q; t = t_0 + d$$

Deschiderea l m	$t_0 5$ cm	$t_0 4$ cm	$t_0 3$ cm	$t_0 2$ cm	$t_0 1$ cm	t_{0m} cm	d cm	t_5 cm	t_4 cm	t_3 cm	t_2 cm	t_1 cm	t_m cm
7,0	18	22	26	32	40	54	10	28	32	36	42	50	64
7,5	18	23	26	32	41	58	10	28	33	36	42	51	69
8,0	19	23	28	35	45	63	11	30	34	39	46	56	74
8,5	19	24	29	37	48	68	11	30	35	40	48	59	79
9,0	20	25	31	40	51	73	12	32	37	43	52	63	85
9,5	22	26	33	42	55	78	12	34	38	45	54	67	90
10,0	22	27	34	44	58	81	12	34	39	46	56	70	93
10,5	23	28	35	46	61	86	13	36	41	48	59	74	99
11,0	24	29	37	48	66	95	13	37	42	50	61	79	98
11,5	26	32	40	52	71	103	10	36	42	50	62	81	113
12,0	28	32	41	54	75	121	10	38	42	51	64	85	121
12,5	29	35	43	57	78	118	10	39	45	53	67	88	128
13,0	30	36	45	59	82	124	11	41	47	56	70	93	135
13,5	31	38	47	62	86	131	11	42	49	58	73	97	142
14,0	32	39	48	63	88	136	11	43	50	59	74	99	147
14,5	34	41	50	65	92	142	11	45	52	61	76	103	153
15,0	35	43	52	68	95	149	12	47	55	64	80	107	161
15,5	37	44	54	70	98	155	12	49	56	66	82	110	167
16,0	37	45	56	73	101	162	12	49	57	68	85	113	180