

ACȚIUNEA DINAMICĂ PROVOCATĂ DE ÎNCĂRCĂRILE MOBILE ASUPRA PODURILOR FORESTIERE.

de Ing. V. BIVOL

La construcția podurilor, care deservesc diverse instalații forestiere de transport, aplicarea metodelor exacte de calcul prezintă o mare importanță întrucât permit obținerea unei rezistențe mai mari și implicit posibilități de construcții mai rapide și mai economice.

În aceste calcule, cunoașterea acțiunii dinamice provocate de trecerea peste poduri a încărcărilor mobile se tratează în ce privește intensitatea acțiunii, ca fiind de natură imobilă, statică.

În realitate, podurile lucrează întotdeauna sub influența acțiunilor dinamice, provocate de încărcările mobile, ceea ce este cu totul deosebit de acțiunea statică.

Acestor chestiuni nu li s'a dat până în prezent atenția cuvenită, aplicându-se la întocmirea proiectelor de poduri forestiere numai noțiunile generale de construcții, care nici nu au fost experimentate pentru condițiunile specifice în care funcționează podurile forestiere.

De aici rezultă necesitatea executării cercetărilor teoretice și experimentale asupra acțiunii dinamice la podurile forestiere, în scopul stabilirii unor norme bine precizate pentru calculul acestor lucrări de artă forestieră.

Fondul Bisericesc din Bucovina, având peste 600 de poduri, podețe și diverse lucrări de artă, făcând parte din traseul căilor ferate și drumurilor forestiere de pe proprietatea sa, este nemijlocit interesat în rezolvarea cât mai rațională a problemei ridicării rezistenței la poduri, mai ales că masivele păduroase fiind situate, în majoritate, în regiuni de munte, necesită înființarea unor mijloace de transport cât mai perfecționate.

În prezent, serviciul tehnic al Fondului Bisericesc lucrează la refacerea căilor ferate forestiere, distruse în parte de pe urma

războiului actual, astfel că problema efectelor dinamice constituie un capitol special de studii teoretice și practice.

Considerentele analizate în rândurile, ce urmează, reprezintă cercetări teoretice asupra efectului dinamic, ce au stat la baza calculului pentru întocmirea proiectelor de poduri construite în ultimul timp la Fondul Bisericesc.

* * *

Pentru a se putea aprecia efectul dinamic, la justa lui valoare și nu sub forma unui coeficient empiric, fără nici o justificare rațională, este necesar să ținem seama de următorii 3 factori, cari influențează în mod real asupra mărimii efectului încărcăturilor mobile.

Primul factor este efectul mișcării înseși, care fără să ție seama de defectele căii și a podului, mărește efectul dinamic al încărcării mobile și duce la o simțitoare schimbare a naturii solicitării podului, în comparație cu travaliul său static.

Diferența între efectul la aceeași încărcătură ($Q = 1$ t) în poziția sa statică și în cazul unei mișcări uniforme V , devine foarte remarcabilă, dacă vom cerceta în ambele cazuri schimbarea flexiunii la mijlocul deschiderii podului.

În primul caz se obține linia de influență a flexiunii statice la mijlocul deschiderii, având o formă de curbă regulată, care se poate reprezenta prin următoarea formulă :

$$\eta = \eta_0 \sin \frac{\pi x}{l}$$

unde η_0 este ordonata curbei la mijlocul podului și l deschiderea, efectiv încărcată.

Ecuția mișcării mijlocului podului, când pe el trece încărcătura Q având viteza v , se poate scrie, dacă ne imaginăm masa grinzii în punctul analizat, adică în mijlocul deschiderii, analizând astfel flexiunile unei grinzi fără greutate, încărcată la mijlocul lungimii sale cu o masă concentrată.

Intrucât linia elasticității grinzii coincide, în procesul undulației cu linia elasticității statice, provocate în mijlocul podului de greutatea concentrată, obținem :

$$Y = Y_0 \frac{3 x l^2 - 4 x^3}{l^3}$$

unde Y_0 — reprezintă flexiunea în mijlocul podului.

Energia cinetică a grinzii întregi o putem reprezenta cu formula :

$$2 \int_0^{l/2} \frac{m v^2}{2} dx = 2 \int_0^{l/2} \frac{p}{2g} \left(y_0 \frac{3x l^2 - 4x^3}{l^3} \right)^2 dx = \frac{17}{35} p l \frac{y_0'^2}{2g}$$

în care m și p = greutatea curentă și proprie a grinzii, iar g = accelerația sub acțiunea gravitației.

Energia cinetică a concentrării condiționate în mijlocul deschiderii, corespunzătoare greutateții p , este egală cu

$$\frac{p}{2g} \cdot y_0'^2$$

egalizând aceste două expresii obținem :

$$P = \frac{17}{35} p \cdot l$$

adică greutatea concentrată, adusă în mijlocul deschiderii este cu puțin mai mică decât jumătatea greutateții efective a aceleiași grinzii.

Pentru aducerea în mijlocul deschiderii a greutateții Q ce se mișcă cu viteza v , vom lua în calcul linia de influență a flexiunii mijlocului grinzii ca sinusoidă și vom obține pentru forța R ce acționează încărcătura, formula :

$$R = Q \sin \frac{\pi x}{l}$$

Introducând forțele de inerție și neglijind forța inerției încărcăturii Q , ecuația vibrațiilor se va putea exprima sub forma

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{K}{M} y + \frac{\gamma}{M} \frac{dy}{dt} - \frac{Q}{M} \sin \beta t = 0$$

unde y este deplasarea verticală a mijlocului grinzii, M masa grinzii, deplasate în acel punct, K puterea ce provoacă flexiunea în mijlocul deschiderii, γ un coeficient de proporționalitate,

$$\text{Luând } \frac{\gamma}{M} = 2\varepsilon \text{ și } \frac{K}{M} = \alpha^2,$$

unde α este numărul de vibrație raportat la 2π secunde, obținem

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + \alpha^2 y + 2\varepsilon \frac{dy}{dt} - \frac{Q}{M} \sin \beta t = 0$$

de unde rezolvarea ecuației ne dă

$$y = \frac{Q}{M V (\alpha^2 - \beta^2) + 4 \beta^2 \varepsilon^2} \left[\sin(\beta t - \gamma_1) - \frac{\beta - \varepsilon t}{\lambda} \cdot e \sin(\lambda t - \gamma_2) \right]$$

în care $\lambda = V \alpha^2 - \varepsilon^2$

$$\gamma_1 = \arctg \frac{2 \varepsilon \beta}{\alpha^2 - \beta^2}; \quad \gamma_2 = \arctg \frac{2 \varepsilon \lambda}{\alpha^2 - \beta^2 - 2 \varepsilon^2}$$

De aici vedem că ε caracterizează mărimea eforturilor externe și interne ce acționează în grindă în timpul vibrațiilor.

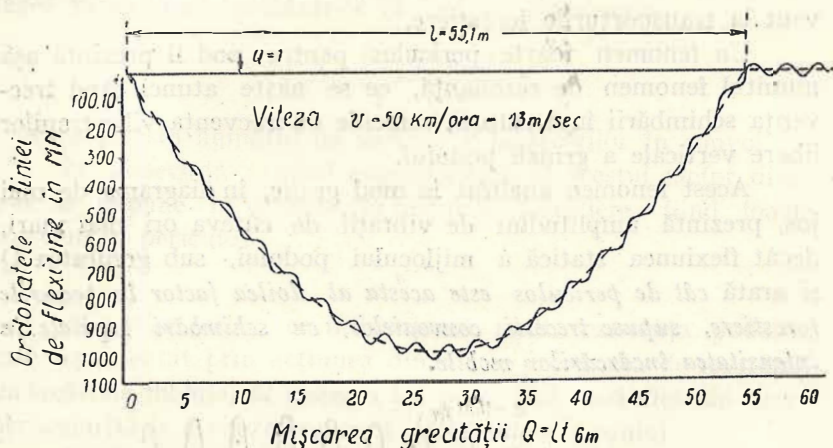


Fig. 1

Din diagrama de mai sus se poate vedea că grinda obține vibrații regulate, a căror amplitudine depinde de viteza mișcării încărcării mobile și anume: cu cât se mărește viteza, se micșorează numărul de vibrațiuni și se mărește amplitudinea.

În cazul când viteza tinde către 0, adică acțiunea încărcăturii devine numai statică, formula vibrațiilor primește expresia

$$y = \frac{Q}{M \alpha^2} \sin \frac{\pi x}{l} = \eta_0 \sin \frac{\pi x}{l}$$

adică expresia unei flexiuni statice.

Astfel se evidențiază marea importanță a studiului efectelor dinamice, întrucât din expunerile de mai sus se constată că încărcătura statică este numai un caz particular al acțiunii dinamice.

Factorul al doilea al acțiunii dinamice se formează atunci când încărcătura supune podul la o acțiune periodică și regulat schimbătoare, în intensitatea sa.

Acest caz se prezintă atunci, când peste pod trec vagoane încărcate cu lemn de lucru, sprijinit pe două trucuri, sau un convoi de căruțe încărcate, sau dacă roțile trucerilor au defecte la bandaje. Acelaș efect îl produce și locomotiva în timpul mersului prin masa sa neechilibrată.

Astfel acest factor este de mare importanță și foarte frecvent la transporturile forestiere.

Un fenomen foarte periculos pentru pod îl prezintă așa numitul fenomen de rezonanță, ce se naște atunci când frecvența schimbării încărcăturii, coincide cu frecvența vibrațiilor libere verticale a grinzii podului.

Acest fenomen analizat în mod grafic, în diagrama de mai jos, prezintă amplitudini de vibrații de câteva ori mai mari, decât flexiunea statică a mijlocului podului, sub greutatea Q și arată cât de periculos este acesta al doilea factor la podurile forestiere, supuse trecerii convoaielor, cu schimbări regulate în intensitatea încărcărilor mobile.

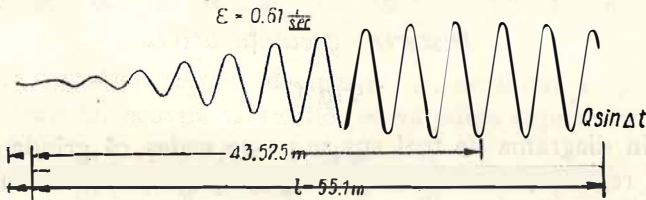


Fig. 2

Pentru a se putea calcula flexiunea probabilă a podului, datorită fenomenului de rezonanță, presupunem că mijlocul podului primește o vibrație de amplitudine y_1 .

Înainte trecerii sistemului al doilea de încărcături, din cauza încetării parțiale a vibrațiunii, amplitudinea va deveni:

$$y_1 e^{-\epsilon T}$$

Sub influența acestui de al doilea sistem de încărcături amplitudinea va fi:

$$y_2 = y_1 e^{-\varepsilon T} + y_1 = y_1 (1 + e^{-\varepsilon T})$$

iar după acțiunea sistemului al treilea:

$$y_3 = y_1 (e^{-\varepsilon T} + e^{-2\varepsilon T}) + y_1 = y_1 (1 + e^{-\varepsilon T} + e^{-2\varepsilon T})$$

Din acestea rezultă că după acțiunea sistemului n , vom avea:

$$y_n = [1 + e^{-\varepsilon T} + e^{-2\varepsilon T} + \dots + e^{-(n-1)\varepsilon T}]$$

Aceasta expresie arată că amplitudinea y_n crește după legea progresiunii geometrice și deci se poate scrie:

$$y_n = \frac{1 - e^{-\varepsilon T n}}{1 - e^{-\varepsilon T}} \cdot y_1$$

în care n , este numărul de sisteme a încărcărilor în convoi.

În consecință studiul experimental al acestui factor dinamic se impune în deosebi la podurile forestiere, fiind foarte frecvent și periculos.

* * *

Al treilea factor, ce influențează mult rezistența podului, este reprezentat prin acțiunea dinamică, provocată de loviturile încărcărilor mobile, la trecerea lor peste pod, mai ales din cauza neregularității a suprastructurii carosabile a podului.

Analiza teoretică a trecerii unei roți (fără arcuri), de rază R , peste un obstacol de rază r și înălțime S , aflat în mijlocul podului, ne va da pentru raportul $(1 + \mu)$ între flexiunile dinamică și cea statică:

$$1 + \mu = 1 + \sqrt{1 + \frac{v^2 \operatorname{tg}^2 \alpha_0}{\left(1 + \frac{1}{3} \frac{P}{Q}\right) y_{st} \cdot g}}$$

μ = coef. dinamic

P = greutatea plină a podului

Q = presiunea ce revine la roată

g = accelerația gravitației

v = viteza mișcării roții

y_{st} = flexiunea statică a podului

α_0 = unghiul de înclinare al tangentei în locul de atingere a roții de obstacol.

Studiind aplicarea acestui factor în cazul podurilor forestiere, vedem că este unul din cele mai frecvente, la podurile de șosele și indică importanța ce trebuie să dăm pentru întreținerea părții carosabile în bună stare, spre a se asigura rezistența și durata podului.

La căi ferate forestiere, existența acestui factor indică necesitatea de a evita cu orice preț joncțiunile de șine pe pod, iar în caz de imposibilitate de a le evita, se impune montarea unei singure șine, sau sudarea joncțiunilor.

Astfel, analiza teoretică a fenomenului de lovituri, provocate de sarcinile mobile, ne duce la următoarele concluziuni:

1. Efectul dinamic se mărește cu micșorarea greutateii P a podului, adică cu micșorarea deschiderii și cu majorarea sarcinii mobile și vitesei mișcării, v .

2. Cu micșorarea flexiunii statice se majorează efectul dinamic.

3. Cu majorarea razei R a roții și razei r a obstacolului efectul dinamic se micșorează.

* * *

Din cele expuse mai sus rezultă, cu destulă evidență, complexitatea evaluării teoretice a efectelor dinamice, produse de încărcările mobile, asupra podurilor,

Spre a se găsi o soluție, practica construcției podurilor, în toate țările, a căutat să aplice așa numiții coeficienți dinamici, având un caracter empiric.

Istoria construcției podurilor ne arată o mulțime de formule empirice, foarte mult întrebuițat în secolul trecut.

Astfel avem formula Pencoyd (Melan)

$$\mu = 1 + \frac{91}{1 + 91}$$

Apoi formula inginerului Waddel (Mellan)

$$\mu = 1 + \frac{120}{1 + 150}$$

American Railway Eng. Assoc. a întrebuițat formula :

$$\mu = 1 + \frac{2787}{2787 + l^2}$$

În Anglia se întrebuițează formula :

$$\mu = 1 + \frac{36}{27 + l}$$

În Elveția :

$$\mu = \frac{18,25}{l}$$

Rezumând cele mai moderne studii, făcute asupra coeficientului dinamic, am rezumat în diagrama de mai jos, înfățișând în mod plastic, toate cazurile ce se pot ivi în practică și care interesează în deosebi construcția podurilor forestiere.

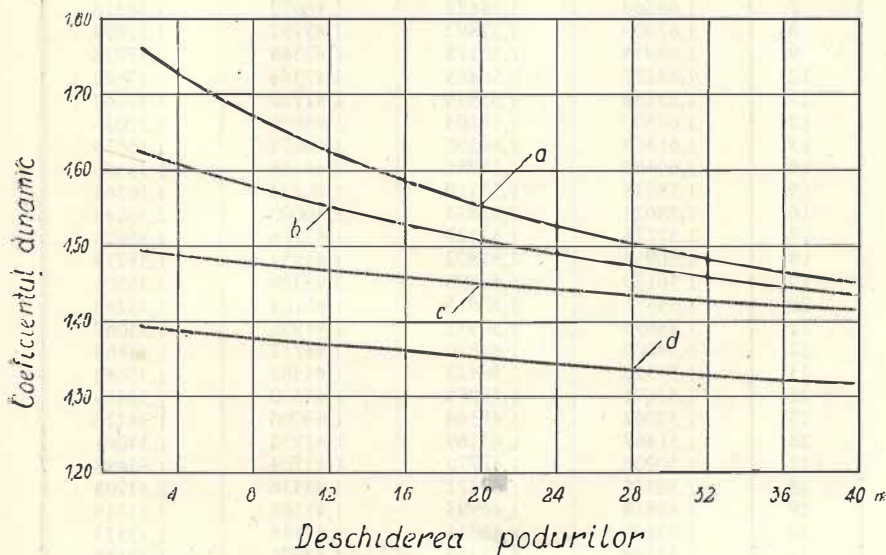


Fig. 3

În această diagramă semnificația curbelor este următoarea :

Curba a. se referă la poduri, cu șinele aplicate direct pe grinzi și legate cu eclise.

Curba b. prezintă cazul, când șinele sunt așezate direct pe grinzi, însă cu joncțiuni sudate, precum și la poduri cu șinele așezate pe traverse și legate cu eclise.

Curba c. se referă la poduri cu șinele așezate pe traverse și legate prin sudare, precum și la poduri cu balast și cu șinele legate prin eclise.

Curba d. prezintă poduri cu balast și șine sudate.

Pentru uzul practic, dăm mai jos valorile numerice ale coeficientului dinamic, pentru fiecare caz în parte :

Deschiderea podului efectiv încărcată	SPECIFICAREA VALORII COEFICIENTULUI DINAMIC			
	a.	b.	c.	d.
2	1,76661	1,62443	1,49360	1,39474
3	1,74825	1,61861	1,49080	1,39216
4	1,73125	1,61000	1,48800	1,38952
5	1,71510	1,60181	1,48576	1,38710
6	1,69997	1,59383	1,48296	1,38461
7	1,68569	1,58627	1,48072	1,38216
8	1,67209	1,57892	1,47792	1,37974
9	1,65934	1,57178	1,47568	1,37736
10	1,64727	1,56485	1,47344	1,37500
11	1,63588	1,55834	1,47120	1,37267
12	1,62500	1,55204	1,46896	1,37036
13	1,61463	1,54595	1,46672	1,36810
14	1,60460	1,53986	1,46448	1,36585
15	1,59525	1,53419	1,46224	1,36363
16	1,58624	1,52873	1,46000	1,36144
17	1,57774	1,52327	1,45776	1,35928
18	1,56958	1,51802	1,45552	1,35714
19	1,56159	1,51298	1,45328	1,35503
20	1,55411	1,50815	1,45104	1,35294
21	1,54695	1,50332	1,44936	1,35087
22	1,54000	1,49870	1,44772	1,34884
23	1,53320	1,49429	1,44612	1,34682
24	1,52691	1,48988	1,44452	1,34483
25	1,52062	1,48568	1,44296	1,34286
26	1,51467	1,48169	1,44144	1,34091
27	1,50906	1,47770	1,43996	1,33898
28	1,50345	1,47371	1,43852	1,33708
29	1,49818	1,46993	1,43712	1,33519
30	1,49308	1,46615	1,43576	1,33333
31	1,48798	1,46258	1,43444	1,33148
32	1,48322	1,45922	1,43316	1,32967
33	1,47863	1,45586	1,43192	1,32787
34	1,47421	1,45250	1,43072	1,32609
35	1,46979	1,44914	1,42956	1,32432
36	1,46528	1,44594	1,42844	1,32220
38	1,45762	1,43993	1,42736	1,31913
40	1,45031	1,43407	1,42632	1,31588

Din examinarea acestui grafic rezultă că pe măsură ce crește deschiderea podului, coeficientul dinamic, în general, se micșorează.

În ceea ce privește coeficientul Minist. L. P. C.

$$C = 1 + 2 \frac{15 - L}{100}$$

care devine subunitar dela o deschidere mai mare de 15 metri, credem necesar a fi modificat în ce privește calculul podurilor forestiere.

* * *

În tot cazul, problema aceasta cere a fi experimentată ținând seama de importanța ce o prezintă pentru rezistența și economia podurilor forestiere, a căror construcție urmează a fi pusă la curent cu cerințele științei moderne.