

## STUDIUL INTERACȚIUNII NELINIARE CALE FERATĂ SUDATĂ – LUCRARE DE ARTĂ LA VARIĂȚII DE TEMPERATURĂ

Șef lucrări dr. ing. Ionuț Radu Răcănel\*, drd. ing. Valentin-Vasile Ungureanu\*\*,  
drd. ing. Marius Comănici\*\*\*

**Rezumat:** În lucrarea de față subiectul interacțiunii neliniare cale ferată sudată – lucrare de artă la variații de temperatură va fi abordat folosind metoda elementelor finite, utilizând un model discret plan, cu considerarea comportării neliniare a căii pe lucrarea de artă și terasamentele adiacente acesteia.

**Abstract:** In this paper will be approach the subject of the non-linear interaction between the continuous welded rail track and the bridge structure due to thermal loads appealed to Finite Element Method, using a discretely plane model, allowing for the non-linear behaviour of railway track on bridge structure and its adjacent embankments.

### 1. INTRODUCERE

Calea fără joante pe lucrările de artă constituie o problemă foarte actuală în contextul tendinței de sporire a vitezelor de circulație pe calea ferată. Eliminarea neregularităților geometrice scurte (însoțite de șoc) prin trecerea de la calea cu joante la calea fără joante are o serie de avantaje cum ar fi: scăderea coeficientului dinamic, reducerea rezistențelor la mers ale vehiculelor, ușurarea întreținerii căii și a podului, o mai bună și îndelungată exploatare ale căii și podului, cheltuieli de exploatare mai mici.

La variații de temperatură calea și lucrarea de artă au comportări diferite. Astfel, podurile introduc eforturi axiale suplimentare în calea fără joante, deoarece calea sudată împiedică dilatarea sau contractarea liberă a podului, conducând și la creșterea reacțiilor în reazemele fixe ale podului care pot ajunge la valori ce pot pune în pericol stabilitatea la răsturnare a infrastructurii pe care se află reazem fix, mai ales în situația în care această infrastructură are o înălțime mare.

Acese aspecte restrâng domeniul de utilizare a căii sudate pe lucrările de artă. În baza unui studiu amănunțit se sudează calea pe întreaga lungime a lucrării de artă și, dacă este necesar, se introduc aparate de compensare care au rolul de a prelua deplasările relative dintre calea ferată sudată și lucrarea de artă. Un astfel de calcul este complicat și implică un volum mare de calcule, în special datorită comportamentului neliniar al căii pe lucrarea de artă, dar și pe terasamentele adiacente acesteia. Pentru a reduce timpul de calcul, precum și pentru creșterea preciziei acestuia, în contextul dezvoltării mijloacelor moderne de calcul, este foarte utilă folosirea unui program de calcul al structurilor cu elemente finite. În acest scop, pentru modelul discret din prezentul articol a fost utilizat programul de analiză structurală cu elemente finite SAP2000.

### 2. IPOTEZELE DE CALCUL

Modelarea a fost realizată în următoarele ipoteze:

- șinele și podul au secțiuni transversale constante, sunt realizate din materiale

\* Universitatea Tehnică de Construcții București - Facultatea C.F.D.P., E-mail: ionut@cfdp.utcb.ro

\*\* Universitatea TRANSILVANIA Brașov, Facultatea de Construcții, E-mail: vassti@yahoo.com

\*\*\* S.C. PRINFO S.R.L. Brașov, E-mail: mcomanici@yahoo.de

izotrope, omogene și perfect elastice, au aceeași temperatură, același coeficient de dilatare termică liniară  $\alpha = 1.17 \cdot 10^{-5} \text{ mm/mm}^\circ\text{C}$  și același modul de elasticitate longitudinală  $E = 2.1 \cdot 10^7 \text{ tf/m}^2$ ;

- calea sudată pe lucrarea de artă (pe pod) este cale simplă, cu șina tip 49, în aliniament și palier, situată pe zona centrală a căii fără joante și este cale fără balast (cu prindere directă a căii de pod);

- rezistența longitudinală acționează în axa șinei și este proporțională cu deplasarea relativă dintre șină și pod, respectiv cu deplasarea cadrului șine-traverse în prisma căii pe terasamentele adiacente podului, până la mobilizarea integrală a ei, care se produce pentru o deplasare relativă între cale și pod  $\delta_{\text{tablier}} = 0.5 \text{ mm}$ , respectiv pentru o deplasare relativă între cadrul șine-traverse și prisma căii  $\delta_{\text{terasament}} = 5 \text{ mm}$ , după care se menține la o valoare constantă  $p_{\text{tablier}} = 0.6 \text{ tf/m}$ , respectiv  $p_{\text{terasament}} = 1.4 \text{ tf/m}$ .

- variație monotonă a temperaturii;
- infrastructurile podului sunt perfect rigide;
- se neglijează rigiditatea la încovoiere a tablierului, frecările de la reazemele mobile și excentricitatea transmiterii sarcinilor axiale de la șină la structura podului, respectiv de la șină la prisma căii.

### 3. MODELAREA DISCRETĂ A STRUCTURII ANALIZATE

Ansamblul structural alcătuit pe de-o parte din șină, elementele de prindere și traverse, iar pe de altă parte din suprastructura (tablierul) podului a fost modelat cu elemente finite de bară. Acest tip de element utilizează o formulare generală tridimensională care include efecte de tip încovoiere, torsiune, deformare axială și deformare biaxială rezultată din forță tăietoare. Pentru șină și suprastructura podului au fost utilizate elemente finite de bară încovoiată. Tablierul s-a presupus a fi alcătuit în soluția cu două grinzi cu inimă plină având următoarele dimensiuni (precizate în mm): inima 1Pb 1800x15, talpa superioară 2Pb 350x30 și talpa inferioară 2Pb 300x30. Pentru șină au fost luate în considerare valorile caracteristicilor geometrice ce corespund pentru două șine de tip 49. Ansamblul traverse-elemente de prindere a fost modelat cu elemente de tip **NLLINK** (elemente finite **LINK**, dar cu comportare neliniară) existente în biblioteca de elemente finite a programului de calcul utilizat. Pentru a asigura legătura între elementele ce definesc șina și tablierul, precum și șina și prisma căii au fost utilizate tot elemente finite de bară cu rigiditate axială și la încovoiere foarte mare. Caracteristicile geometrice ale elementelor de bară ce alcătuiesc modelul discret sunt prezentate în Tabelul 1 de mai jos:

**Tabelul 1. Caracteristicile geometrice ale elementelor de bară ce alcătuiesc modelul discret**

Tip secțiune	Aria [m <sup>2</sup> ]	Moment de torsiune J [m <sup>3</sup> ]	Moment de inerție I <sub>3-3</sub> [m <sup>4</sup> ]	Moment de inerție I <sub>2-2</sub> [m <sup>4</sup> ]
1 Tablier	0.0958	1	0.0573	4.66E-4
2 Bare infinit rigide	10	10	10	10
3 Șină tip 49	0.0126	1	3.638E-5	6.4E-6
4 Prinderi pe tablier (penduli)	2.86E-6	-	-	-
5 Prinderi pe terasament (penduli)	6.67E-6	-	-	-

Elementele **NLLINK** au fost utilizate în analiză pentru a modela efectul neliniarității apărute ca urmare a mobilizării integrale a forțelor rezistente dintre șină și tablier pe de-o parte, respectiv dintre cadrul șine-traverse și prisma căii pe de altă parte. Cu alte cuvinte, până la mobilizarea integrală a forței rezistente elementele au o comportare perfect elastică, după mobilizarea acestei forțe ele comportându-se perfect plastic. Elementele finite **NLLINK** pot fi reprezentate schematic printr-un nod conectat cu terenul sau pot lega două noduri existente într-o structură discretă. În prezenta analiză s-au utilizat elemente **NLLINK** conectate între nodurile existente la capetele elementelor finite de bară cu rigiditate foarte mare, ce asigură legătura între șină și tablier, respectiv cadrul șine-traverse și prisma căii.

Un element finit de tip **NLLINK** este alcătuit din șase resorturi independente, câte unul pentru fiecare grad de libertate (forță axială, forță tăietoare, moment încovoietor și moment de torsiune). Fiecare dintre aceste resorturi poate avea un set format din câte două proprietăți caracteristice:

- rigiditate efectivă și amortizare efectivă, utilizate în analizele liniar elastice;
- o relație opțională forță-deplasare ce se poate utiliza doar în analizele ce comportă neliniarități (de tip fizic sau geometric).

În analiza efectuată pe modelul discret prezentat s-a utilizat cel de-al doilea set de proprietăți pentru elementele de tip **NLLINK**. Relația forță-deplasare utilizată corespunde comportării plastice uniaxiale multiliniare cu efecte de tip consolidare, observate mai ales în comportarea metalelor. Pentru tipul de element finit ales, toate deformațiile interne sunt independente, ceea ce înseamnă că deformația pe o anumită direcție nu afectează deformațiile pe celelalte direcții.

Relațiile forță-deplasare pentru elementele **NLLINK** ce asigură legătura între șină și tablier, respectiv între cadrul șine-traverse și prisma căii au următoarea formă:

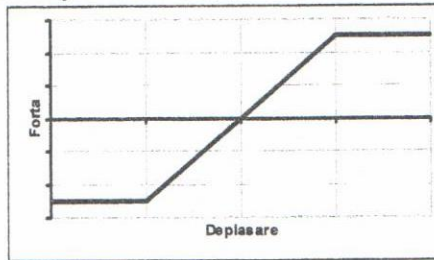


Figura 1 – Funcția forță-deplasare utilizată în definirea comportării elementelor finite **NLLINK**

Pentru definirea funcției ce caracterizează comportarea elementelor **NLLINK** utilizate s-a pornit de la considerentul că până în momentul mobilizării integrale a forței rezistente, relația existentă între rezistența longitudinală  $p$  mobilizată între șină și sistemul de prindere și deplasarea relativă  $u$  a șinei față de tablier, respectiv a cadrului șine-traverse față de prisma căii este liniară și variază după legea:  $p = ku$ ,  $k$  fiind constanta elastică a resorturilor. După mobilizarea integrală a forței rezistente s-a ținut cont de comportamentul plastic al elementelor de legătură.

Ținând seama de lungimea elementelor finite utilizate pentru discretizarea șinei (2 m pe zona terasamentului și 1 m pe zona tablierului) și de valorile maxime ale rezistențelor longitudinale ce corespund celor două tipuri de elemente finite  $p_{\text{tablier}}$ , respectiv  $p_{\text{terasament}}$ , au putut fi stabilite valorile forțelor din curba forță-deplasare.

Încărcarea exterioară considerată a constat într-o variație monotonă de temperatură  $\Delta T = -55^\circ C$  aplicată atât pentru tablier cât și pentru șină. O variație de

temperatură atât de mare este acoperitoare corespunzând unor condiții climatice severe, ce apar relativ rar în practică.

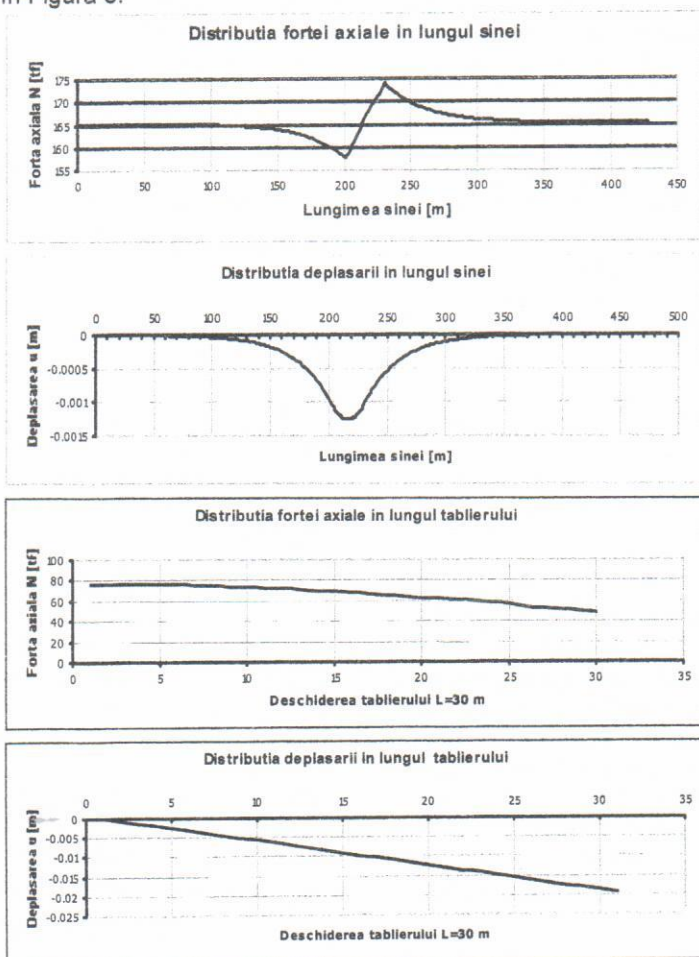
Lungimea șinei de-o parte și de alta a podului a fost considerată suficient de mare (200 m), la capete șina fiind considerată încastată perfect. Astfel s-a ținut seama de valabilitatea principiului lui Saint Venant.

#### 4. SITUAȚII ANALIZATE ȘI REZULTATELE OBTINUTE

Au fost considerate 5 scheme statice ale lucrării de artă:

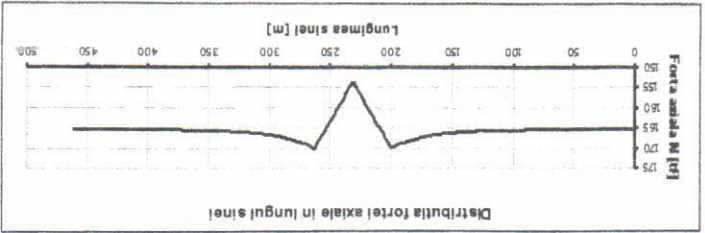
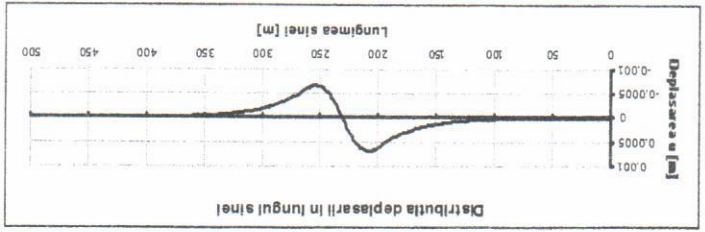
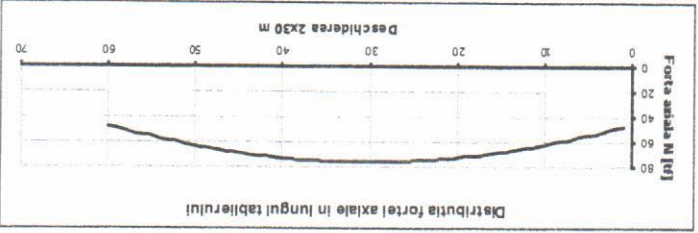
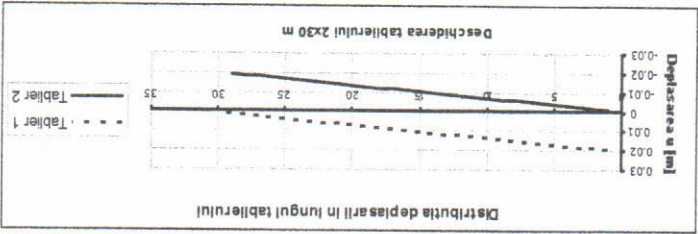
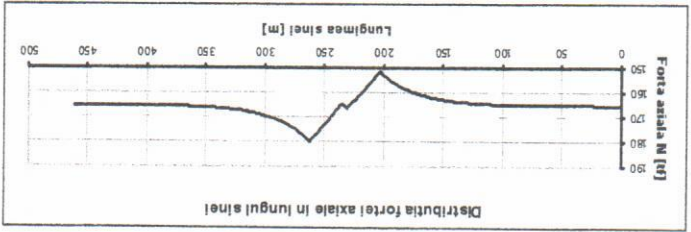
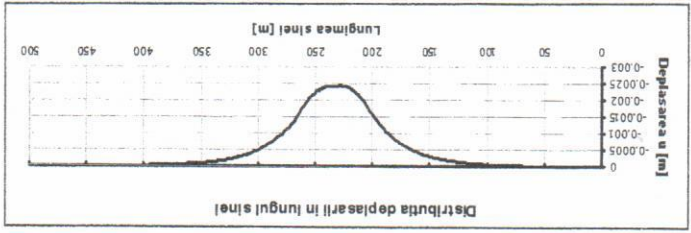
- o grindă simplu rezemată;
- două grinzi simplu rezemate, cu reazemele fixe pe pila centrală;
- două grinzi simplu rezemate, cu un reazem fix și un reazem mobil pe pila centrală;
- două grinzi simplu rezemate, cu reazemele mobile pe pila centrală;
- trei grinzi simplu rezemate, cu un reazem fix și un reazem mobil pe pile.

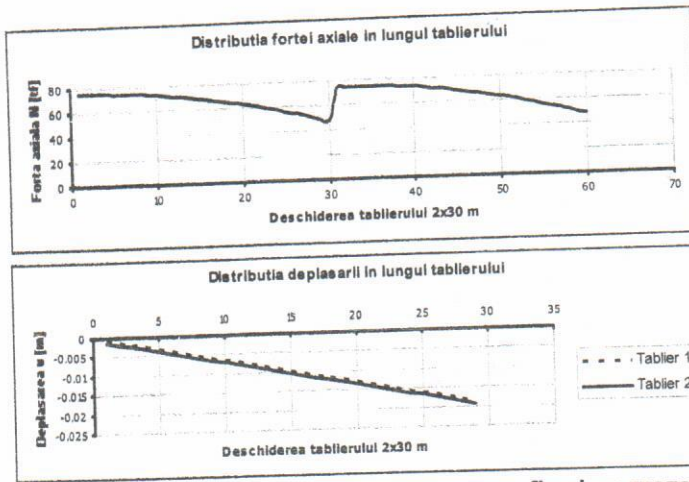
Deschderile sunt toate egale, fiind de 30 m fiecare, diagramele de eforturi și deplasări rezultate sunt prezentate în Figura 2, iar schemele de discretizare sunt prezentate în Figura 3.



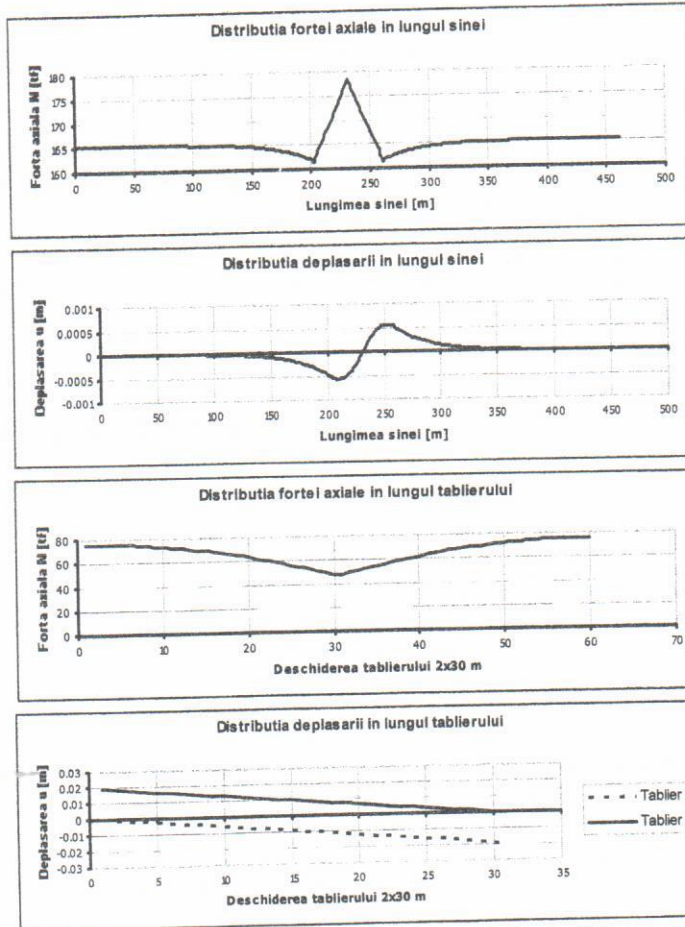
Cazul a) – o grindă simplu rezemată

Cazul b) – două grinzi simplu rezemate, cu reazemele fixe pe pila centrală

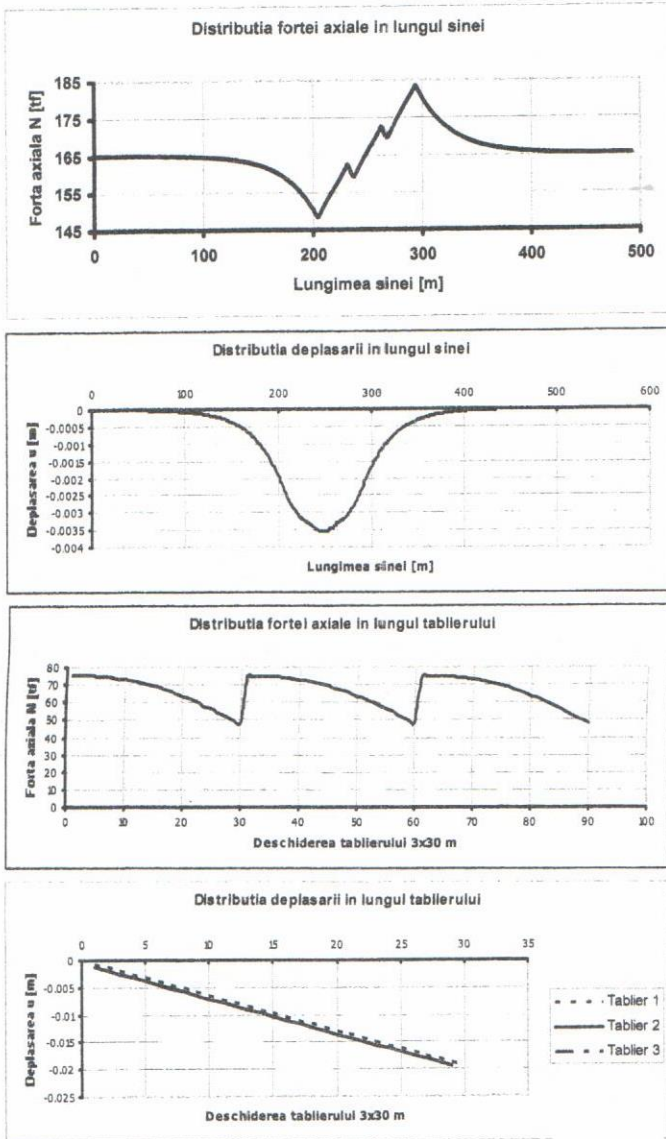




**Cazul c) – două grinzi simplu rezemate, cu un reazem fix și un reazem mobil pe pila centrală**



**Cazul d) – două grinzi simplu rezemate, cu reazemele mobile pe pila centrală**



Cazul e) – trei grinzi simplu rezemate, cu un reazem fix și un reazem mobil pe pile

Figura 2. Diagrame de eforturi și deplasări în șină și în tablier



Cazul a)



Cazul b)

**Cazul c)**

**Cazul d)**

**Cazul e)**

**Figura 3 Scheme de discretizare**

## 5.CONCLUZII

Din analiza rezultatelor se desprind următoarele concluzii:

- atât eforturile unitare din tablier, cât și deplasările acestuia sunt puțin afectate de modul de dispunere a reazemelor, având valori foarte apropiate în toate cele cinci cazuri analizate;
- marimile eforturilor și deplasărilor din calea sudată depind de dispunerea reazemelor, deci de lungimea dilatabilă a podului;
- eforturile unitare din calea sudată de pe pod, precum și deplasările relative între șină și pod au valori maxime deasupra reazemelor mobile ale podului;
- în reazemele fixe ale lucrării de artă apar reacțiuni importante ce trebuie luate în calcul la proiectarea podului.

## BIBLIOGRAFIE

1. Esveld, C., R.C.M. Delhez, P. Godart and J. Mijs, "Avoidance of expansion joints in high-speed CWR track on long bridges.", Rail Engineering International, 1995, nr. 3, pag.7-9;
2. Ungureanu, V. V., Răcănel, I. R., Comănici, M., "Model discret pentru studiul interacțiunii cale ferată sudată – lucrare de artă", Zilele Academice Timișene", Ediția a VIII-a, Simpozion "Infrastructuri eficiente pentru transporturi", Editura SOLNESS Timișoara, 2003, pag. 478 – 485.
3. Manual de referință SAP 2000;
4. Radu, C., "Realizarea și întreținerea liniilor și aparatelor de cale sudate (II)", 1993, Institutul de construcții București, pag. 27-42;
5. STAS 2953-80, "Șine grele de cale ferată tip 49. Dimensiuni."