A XI-a Conferință Națională multidisciplinară – cu participare internațională,
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești",
SEBEȘ, 2011

ÎNCERCĂRI TENSOMETRICE EFECTUATE LA ŞASIUL LOCOMOTIVELOR CU ABUR

Dinu DRĂGAN, Mircea Cristian ARNĂUTU
Nicuşor Laurențiu ZAHARIA

STEAM LOCOMOTIVE FRAME EXPERIMENTAL STRESS ANALYSIS

Experimental stress analysis with strain transducers bases where discovered by Kelvin in 1850. Wheatstone bridge was already known from 1833 (it was made by Hunter Christie) was developed by Charles Wheatstone in 1843. In Romania experimental stress analysis method for railway vehicles is used from 1960. The first testing laboratory was in now known Romanian Railway Authority.

Keywords: steam engine, vibrates, tensometers
Cuvinte cheie: locomotivă cu abur, frem[1], tensometrie

---

[1] **FRAME** [freim] – limba engleză - **I**.s. 2. cadru, şasiu, carcasă. 3. sistem, structură, formă. s ramă f; cadru n; **Frame**, substantiv - 1. cadru (al unei construcții), 2. constituție**,** 3. structură**,** 4. conformație**,** 5. schelet, 6. osatură**,** 7. organizare**,** 8. sistem**,** 9. *(şi ~ of mind)* dispoziție (sufletească)**,** 10. ramă**,** 11. cadru**.**
ŞASÍU, *şasiuri,* s. n. **1.** Cadru rigid de rezistență care se montează pe osiile unui vehicul cu tracțiune mecanică şi care susține caroseria. **2.** Nume purtat de diferite tipuri de rame sau de cadre, întrebuințate în industrie, în legătoria de cărți, în tipografie etc. – Din fr. **châssis. Şasíu (-íe),** s. n. – Cadru, carcasă, batiu. Fr. *chassis.*
BATÍU, *batiuri,* s. n. Construcție de oțel sau de fontă pe care se montează mecanismele unui sistem tehnic stabil şi prin intermediul căreia acesta se poate fixa pe o fundație, pe un teren etc. – Din fr. **bâti.**
STRUCTÚRĂ *s. f.* I. 1. ansamblu de elemente de construcție solidarizate între ele, care preia toate sarcinile la care este supus acesta şi le transmite la fundație. 2. mod de alcătuire internă a unui corp, a unui sistem. ◊ dispoziție relativă a atomilor în molecula unei substanțe. ◊ mod de grupare a moleculelor într-o substanță minerală. 3. mod de

1. Introducere

La mijlocul secolului trecut, locomotivele cu abur se utilizau încă pe căile ferate româneşti, chiar dacă locomotiva diesel îşi făcuse apariţia. Printre acestea, seria 150.000 (figura 1) îşi făcea serviciul atât la remorcarea trenurilor de marfă cât şi a trenurilor de călători (figura 2).

În România, locomotivele cu abur s-au produs la Uzina din Reşiţa şi la Uzina Malaxa din Bucureşti. Seria 150.000 a fost produsă de Uzinele din Reşiţa între anii 1946 – 1960 (figura 3) şi de către Uzina 23 August Bucureşti între anii 1946 – 1949.

---

aşezare a părţilor corpului animal sau vegetal ori ale ţesuturilor. ◊ (psih.) conformaţie, factură, formaţie. 4. fel de alcătuire a unei compoziţii, a unei opere literare. ♦ ~ gramaticală = mod specific fiecărei limbi de a organiza cuvintele în propoziţii şi fraze. II. mod de organizare a societăţii din punct de vedere economic, social, politic şi cultural; orânduire. ◊ mod de organizare a oricărei ramuri de producţie. (< fr. *structure*, lat. *structura*).

● Prima locomotivă livrată de Krauss în 1867 a fost destinată Căilor Ferate de Stat Oldenburg şi s-a numit “Landwührden”. Numele ei a fost dat la cererea beneficiarului şi reprezenta denumirea liniilor regionale din Germania de Nord. Înainte de a începe serviciul activ, locomotiva “Landwührden” a fost trimisă la Expoziţia Mondială de la Paris, unde a obţinut medalia de aur. Acest succes a însemnat pentru Krauss impunerea definitivă pe piaţa construcţiei de material rulant. ”Sistemul Krauss” consta în dispunerea rezervorului de apă între fremul locomotivei şi se preta îndeosebi pentru locomotivele mici.

● Locomotivele seriile CFR 2200 şi 231.000. Prima locomotivă Pacific europeană, realizată de către Societatea Alsaciană de Construcţii Mecanice Grafenstaden (Franţa) îşi face apariţia pe liniile reţelei feroviare "Orleans" (Franţa) în luna iulie 1907. Denumirea de "Pacific" a fost adoptată pentru prima dată de către fabrica ALCO (American Locomotive Company), denumire dată unei serii de locomotive tip 2-C-1 construite de către atelierele sale din Brooks pentru reţeaua de căi ferate Missouri Pacific în anul 1902. Livrarea acestui tip de locomotive va cuprinde un lot de 70 exemplare.

● Locomotiva pentru Căile Ferate Române a fost realizată ţinând seama de necesităţile reţelei de căi ferate din România fiind complet diferită faţă de cele din producţia curentă a fabricii din Munchen. Printre caracteristicile constructive proprii locomotivei pentru CFR menţionăm: şasiul (fremul) din bare, de o soliditate remarcabilă şi care permitea un acces uşor la toate organele interne, pentru prima dată aplicat la o locomotivă CFR, patru cilindrii gemeni, înclinaţi, care acţionează asupra primei osii cuplare, care este de forma unui arbore cotit.

● În total, în România au fost construite un număr de 282 locomotive seria 150, având la bază seria germană 50. Dintre aceste, 31 au fost construite la Uzinele N. Malaxa (după 1947 devenite 23 August). Trebuie menţionat că lucrările de construcţie a locomotivelor CFR seria 150.000 au început la Reşiţa în anul 1944, iar la Malaxa în anul 1945. Prima locomotivă a seriei, 150.001, al cărei cazan a fost construit în anul 1944 la Reşiţa, iar fremul în anul 1946, a fost distrusă în urma exploziei cazanului la data de 13.03.1948 în timpul remorcării trenului de persoane nr. 1003, la ieşirea din staţia Prunişor, spre Turnu Severin. Locomotiva aparţinea depoului Turnu Severin şi a fost casată imediat după accident, dar tenderul mai exista încă în anii '90, cuplat la altă locomotivă.

Lucrarea îşi propune să prezinte încercările tensometrice efectuate la locomotiva cu abur seria 150239 în anul 1962 de către Ing. Mihai Buga şi Ing. Constantin Georgescu, rolul autorilor fiind doar acela de a propune cititorului o mică călătorie în timp.

Fig. 1 Locomotiva 150.1114, exponat în gara Braşov

Fig. 2 Locomotiva 150.167, remorcând un tren de persoane pe ruta Oradea - Cluj

Fig. 3 Locomotiva 150.1000, fabricată la Reşița

Constându-se apariția unor fisuri la lonjeroanele locomotivelor seria 150.000 construite la Uzinele Reşița şi aflate în exploatare numai de câțiva ani, Direcția Tracțiune şi Vagoane prin actul nr. 90/116 col.1962, Direcția Material Rulant din M.T.Tc prin actul nr. 250/874 col.1962 au solicitat Institutului de Cercetări Transporturi şi Telecomunicații efectuarea unor încercări tensometrice la lonjeroanele acestor locomotive atât în timpul reparării lor în atelier cât şi în timpul exploatării locomotivei în condiții normale de încărcare şi solicitare.

Aceste încercări s-au cerut în scopul determinării solicitărilor reale ale lonjeronului în regiunea unde au apărut defectele (fisurile) urmând ca pe baza rezultatelor încercărilor să se stabilească soluțiile de remediere, respectiv consolidarea lonjeronului în zona respectivă. Pentru aceste încercări a fost

pusă la dispoziție în atelierele Reparație Material Rulant „16 Februarie” Cluj cu ocazia reparației capitale, locomotiva 150239.

2. Pregătirea şi efectuarea măsurătorilor sub sarcina statică

S-au aplicat în total 43 traductori în regiunea cu defecte indicate de beneficiar şi anume pe lonjeronul drept în regiunea cuprinsă între cilindru şi fereastra osiei 2 cuplară; dintre aceşti traductori 15 au fost de tip M 120 – cu lungimea activă de 10 mm – aplicați în special la racordurile ferestrelor şi restul 28 traductori tip C 120 cu lungimea activă de 20 mm.

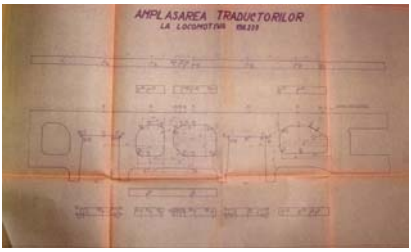

Fig. 4 Amplasamentul traductorilor (planşă ozalid - foto)

Amplasarea şi numerotarea traductorilor este arătată în planşa I (figura 4).

2.1. Măsurători la ridicarea fremului liber în macara

În timpul reparației capitale a locomotivei, fremul se aşează liber pe 3 capre, punctele de sprijin în care iau naştere reacțiunile V_A, V_B şi V_C fiind plasate astfel cum se arată în planşa 2 (figura 5).

Fremul este fără cazan, dar are montați ambii cilindri; în această situație, în care s-a făcut de fapt aplicarea traductoarelor, lonjeronii se află în starea inițială de solicitare la încovoiere datorită greutății

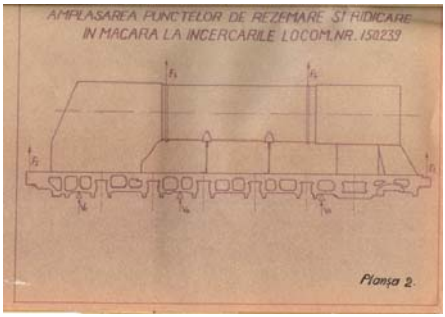

Fig. 5 Amplasarea punctelor de rezemare şi ridicare

cilindrilor, a tuturor traverselor şi pendularelor fremului precum şi datorită greutății proprii a lonjeronilor. La ridicarea în macara, fremul se prinde de la capete, astfel că lonjeronii lucrează la încovoiere ca grinzi simplu rezemate la capete (unde apar reacțiunile F_1 şi F_2) încărcate cu sarcinile amintite mai sus.

Prin măsurătorile efectuate s-au stabilit diferențele tensiunilor, în punctele măsurate, ce apar datorită solicitărilor de încovoiere a lonjeronilor în cele două situații de rezemare a fremului (inițial pe cele 3 capre şi apoi în cârligele macaralei).

Se remarcă următoarele:

- la ridicarea în macara, în punctele de măsurate, în afară de racordările ferestrelor, eforturile unitare rămân sub valoarea rezistenței admisibile;

- modul de fixare a legăturilor ferestrelor influențează mărimea tensiunilor în lonjeron; în cazul fixării cu buloane a legăturilor, tensiunilor, mai ales în regiunile de racordare ale ferestrelor, sunt sensibil mai mici decât în cazul fixării provizorii (fără buloane) a acestor legături;

- la racordările ferestrelor, în special la fereastra primei osii cuplare, apar tensiuni de valori periculoase; astfel, la prima fereastră, cu legătura nefixată în buloane, apar tensiuni de circa 3550 kg/cm^2 la una din racordări (traductorii 12 şi 13) şi de circa 3950 kg/cm^2 la cealaltă racordare (traductorul 16), tensiuni ce scad în cazul fixării cu buloane a legăturii, la circa 3200 kg/cm^2; la fereastra celei de a doua osii cuplare, tensiunile sunt mai mici ridicându-se la circa 2500 kg/cm^2 (traductorii 41 şi 45).

Deşi o determinare exactă a solicitării inițiale a lonjeronilor este, după cum am spus, greu de realizat, totuşi se poate stabili prin calcul un raport aproximativ între mărimile solicitărilor ce apar în cele două situații de rezemare a fremului, raport care să conducă la evaluarea cu o oarecare aproximație a valorilor absolute a tensiunilor produse în lonjeron la ridicarea fremului în macara.

Acest calcul, ştiind că greutatea unui cilindru este P =1500 kg şi că greutatea unui lonjeron este G ≈ 3100 kg, se poate face în două variante, considerând că inițial lonjeronul reazemă în 3 puncte sau în 2 puncte.

2.1.1. Lonjeronul considerat ca grindă continuă pe 3 reazeme

Schema de încărcare şi rezemare a lonjeronului se prezintă ca în figura 1 (figura 6).

După cum se vede s-a considerat că lonjeronul este încărcat cu o sarcină concentrată P =1500 kg, distribuită p ce reprezintă greutatea proprie a lonjeronului şi greutatea celorlalte elemente ale fremului ce revine unui lonjeron, dacă greutatea acestora se aproximează 25 % din greutatea lonjeronilor se obține:

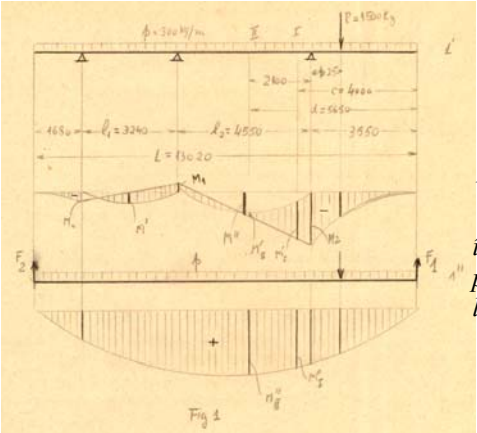

Fig. 6 Lonjeronul considerat ca grindă continuă pe 3 reazeme

$$p = 1{,}25 - \frac{G}{L} = 1{,}25 - \frac{3100}{13020} \approx 300 \ kg/m$$

în care: G – reprezintă greutatea proprie a lonjeronului şi L – lungimea totală a lonjeronului.

Cu datele şi notațiile din figura 1 (s-a notat cu c = 4,00 m şi d = 5,65 m distanțele până la axa ferestrei I respectiv II) pentru cazul rezemării pe cele 3 capre (figura 6) *se obțin:*

- *momentele pe reazemele extreme:*

$$M_0 = -p \cdot \frac{1{,}682}{2} = -1{,}41 \cdot p$$

$$M_2 = -1{,}025P - \frac{3{,}55^2}{2} \cdot p = -1{,}025 \cdot P - 6{,}3 \cdot p$$

- *momentele maxime de deschidere:*

$$M' = \frac{p \cdot l_1^2}{8} = p \cdot \frac{3{,}24^2}{8} = 1{,}31 \cdot p$$

$$M'' = \frac{p \cdot l_2^2}{8} = p \cdot \frac{4{,}55^2}{8} = 2{,}58 \cdot p$$

- *momentul M_1 pe reazemul mijlociu, dedus din ecuația celor 3 momente* $(M_0 \cdot l_1 + 2M_1 \cdot (l_1 + l_2) + M_2 \cdot l_2 = -6A_0)$:

$$M_1 = 0{,}3 \cdot P + 0{,}1 \cdot p$$

- *momentele în secțiunile I şi II:*

$$M'_I = -0{,}89 \cdot P - 4{,}75 \cdot p = -0{,}89 \cdot 1500 - 4{,}75 \cdot 300 = -2760 \ kgm$$

$$M'_{II} = -0{,}41 \cdot P - 0{,}78 \cdot p = -0{,}41 \cdot 1500 - 0{,}78 \cdot 300 = -840 \ kgm$$

În cazul ridicării în macara, lonjeronul reprezintă o grindă simplu rezemată la capete şi de obține:

$$M'_I = 18{,}04 \cdot p + 1{,}75 \cdot P = 18{,}04 \cdot 300 - 1{,}75 \cdot 1500 = 8040 \ kgm$$

$$M'_{II} = 20{,}8 \cdot p 1{,}43 \cdot P = 20{,}8 \cdot 300 + 1{,}43 \cdot 1500 = -8385 \ kgm \cdot$$

Diferența de solicitare între cele două situații de rezemare, pentru care s-au efectuat măsurătorile este:

$$M_I = M_I'' - M_I' = 8040 + 2760 = 10800 \ kgm$$

$$M_{II} = M_{II}'' - M_{PI}' = 8385 + 840 = 9225 \ kgm \cdot$$

Raportul dintre solicitarea reală şi cea măsurată este:

- *pentru fereastra I:*

$$r_I = \frac{M_I''}{M_I} = \frac{8040}{10800} = 0{,}745 = 74{,}5 \ \%$$

- *pentru fereastra II:*

$$r_I = \frac{M_{II}''}{M_{II}} = \frac{8385}{9225} = 0{,}91 = 91 \ \%$$

Înmulţind valorile tensiunilor măsurate cu aceste rapoarte se obţin eforturile unitare absolute de întindere: circa 2400 kg/cm^2 pentru fereastra I şi circa 2300 kg/cm^2 pentru fereastra II.

2.1.2. Lonjeronul considerat ca grindă continuă pe 2 reazeme

Deoarece în general nu se poate asigura buna sprijinire a fremului pe cele 3 capre, se poate considera că în majoritatea cazurilor, fremul se sprijină numai pe cele două capete extreme, astfel că lonjeronul se poate considera ca o grindă simplu rezemată pe două reazeme ca în figura 2 (figura 7).

În această situaţie, se obţin următoarele valori pentru momentele din secţiunile I şi II:

$$M_I' = -0{,}97 \cdot P - 4{,}37 \cdot p =$$
$$-0{,}97 \cdot 1500 - 4{,}37 \cdot 300 =$$
$$-2766 \ kgm$$

$$M_{II}' = -0{,}75 \cdot P + 0{,}97 \cdot p =$$
$$-0{,}75 \cdot 1500 + 0{,}97 \cdot 300 =$$
$$-834 \ kgm$$

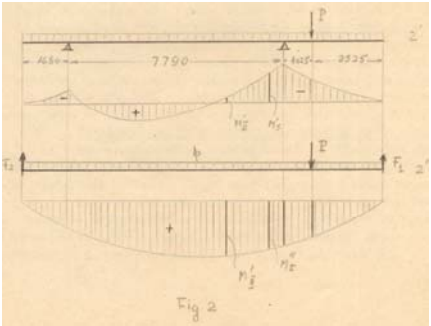

Fig. 7 Lonjeronul considerat ca grindă continuă pe 2 reazeme

După ridicarea în macara se produc momentele încovoietoare M_I' şi M_{II}' de aceleaşi valori ca în cazul precedent astfel că diferenţele de solicitare sunt:

$$M_I = M_I'' - M_I' = 8040 + 2766 = 10806 \ kgm$$
$$M_{II} = M_{II}''' - M_{II}' = 8385 + 834 = 9219 \ kgm$$

Se observă că se obțin aproximativ aceleaşi valori pentru momentele M_I şi M_{II} ca în cazul precedent, astfel că valorile rapoartelor r_I şi r_{II} vor fi aceleaşi şi prin urmare tensiunile (eforturile unitare) de întindere vor fi şi ele de aceleaşi valori ca mai sus: circa 2400 kg/cm^2 pentru fereastra I şi circa 2300 kg/cm^2 pentru fereastra II.

2.2. Măsurători la ridicarea cu macaraua a fremului cu cazanul montat

După aşezarea şi prinderea cazanului de fremul rezemat pe cele 3 capre s-au efectuat măsurători la ridicarea fremului în macara în două variante şi anume:

a) prinderea în macara s-a făcut la capetele fremului (forțele F_1 şi F_2, planşa 2); această măsurătoare s-a efectuat pentru a stabili influența prinderilor fremului de cazanul locomotivei.

b) prinderea în macara s-a făcut de cazan (forțele F_3 şi F_4, planşa II); această prindere se face în mod obişnuit la manevrarea în atelier a fremului cu cazanul montat pe el.

2.3. Măsurători la ridicarea locomotivei de pe osii

Aceste măsurători s-au efectuat la ridicarea fremului (cu cazanul montat) de pe osii în două variante: ridicarea cu osiile montate şi ridicarea de pe osii (legăturile fiind demontate).

3. Pregătirea şi efectuarea măsurătorilor în parcurs

Programarea parcursurilor de probă s-a făcut astfel ca să se realizeze regimul de funcționare la care este supusă în mod normal în exploatare locomotiva de acest tip; astfel locomotiva a fost programată la trenuri de marfă pe distanța Ploieşti-Triaj – Feteşti (de menționat că după introducerea locomotivelor diesel electrice, locomotivele seria 150.000 nu mai sunt programate la trenuri de marfă pe linia Ploieşti – Braşov, unde s-ar fi realizat condiții mai grele de exploatare).

4. Concluzii şi propuneri

4.1. Concluzii

În urma constatărilor făcute la măsurătorile în regim static şi dinamic, se pot trage concluziile şi face propunerile următoare:

a) În locurile unde s-au produs fisuri în lonjeron, se produc atât la solicitarea statică cât şi în mers, tensiuni de valori periculoase; astfel atât la racordările ferestrelor (la solicitarea statică, în special la fereastra I) cât şi în secţiunea slăbită de găurile buloanelor de prindere ale suportului port-saboţi dintre fereastra I şi II, tensiunile ating valori mari şi chiar foarte mari, ceea ce explică apariţia fisurilor în secţiunile respective;

b) Solicitările periculoase constatate se datorează, unei forme necorespunzătoare a lonjeronului în locurile respective, din care cauză apar puternice concentrări de tensiuni; acest lucru este confirmat de faptul că tensiunile scad repede la distanţe mici de locul concentratorului;

c) Cele mai periculoase solicitări apar la manevrarea fremului liber în macara, când se poate produce ruperea sau fisurarea lonjeronilor.

4.2. Propuneri

De aceea este necesar să se ia următoarele măsuri:

1. Să se elimine cauzele ce duc la concentrarea puternică a tensiunilor, consolidându-se secţiunile slăbite şi mărindu-se razele de racordare la ferestrele osiilor; trebuie menţionat că lonjeronii locomotivei seria 150.1000, au racordări cu raze mult mai mari la ferestre, iar decupările practicate între ferestre sunt mult mai mici şi de formă circulară, astfel că slăbirile de secţiune şi concentrările de tensiuni sunt mult mai mici;

2. Manevrarea fremului cu macaraua să se facă cu deosebită atenţie, evitându-se şocurile şi numai după ce s-au fixat bine legăturile la ferestre. Este indicat ca manevrarea fremului liber (fără cazan) cu macaraua, să nu se mai facă prin prinderea de la capete; un efect foarte favorabil prezentându-l prinderea de sub blocul cilindrilor ceea ce ar evita acţiunea greutăţii acestora asupra restului fremului.

În prezent, Laboratorul Material Rulant din cadrul Organismului Notificat Feroviar Român al Autorităţii Feroviare Române, dispune de

aparatură modernă pentru achiziția de date în regim static şi dinamic pentru probele tensometrice:

- Hottinger Centipede cu 180 canale,
- Hottinger MGCplus cu 32 canale şi
- Spider8 cu 8 canale.

BIBLIOGRAFIE

[1] Buga M., Georgescu C., *Încercări tensometrice la fremul locomotivei 150239,* (temă de cercetare), 1962.

Ing. Dinu DRĂGAN,
dinud@afer.ro
Autoritatea Feroviară Română – AFER Bucureşti
Calea Griviței nr. 393, sector 1, 010719, Bucureşti

Ing. Mircea Cristian ARNĂUTU,
marnautu@afer.ro
Autoritatea Feroviară Română – AFER Bucureşti
Calea Griviței nr. 393, sector 1, 010719, Bucureşti

Dr. Ing. Nicuşor Laurențiu ZAHARIA,
rentizaharia@yahoo.com
Autoritatea Feroviară Română – AFER Bucureşti
Calea Griviței nr. 393, sector 1, 010719, Bucureşti