



A XII-a Conferință Națională multidisciplinară – cu participare internațională
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești",
SEBEȘ, 2012

ÎNCERCĂRILE TENSOMETRICE – CERINȚĂ OBLIGATORIE PENTRU OMOLOGAREA FINALĂ A VAGOANELOR DE MARFĂ

Mircea Cristian ARNĂUTU, Nicușor Laurențiu ZAHARIA

EXPERIMENTAL STRESS ANALYSIS WITH STRAIN GAGES – MANDATORY REQUIREMENT FOR THE FINAL HOMOLOGATION OF THE WAGONS

Experimental stress analysis with strain gages is used all over the world from many years. In Romania we use as testing method from the steam locomotive age. During the time, the standards were changed and the measuring devices are more accurate. It is interested to understand why tests are still necessary during homologation (certification) process.

Cuvinte cheie: tensometrie, încercări, statice, dinamice, vehicule feroviare

Keywords: tensometers, testing, static and dynamic rail vehicles

1. Introducere

Anterior punerii în circulație a unui vehicul feroviar, sunt efectuate încercări pentru verificarea conformității cu documentele de referință.

Prezentul articol prezintă încercările statice și dinamice efectuate la structura de rezistență a vehiculelor feroviare cu ajutorul tensometriei electrice rezistive în cadrul laboratoarelor și al Centrului de Testări Feroviare Făurei ale AFER.

2. Încercările statice de tensometrie

Încercările statice de tensometrie se efectuează pe toate vehiculele prototip noi, sau pe vehiculele care sunt modernizate și cărora în cadrul procesului de modernizare li se modifică structura de rezistență. Aceste încercări sunt efectuate în cadrul AFER pe standul de tensometrie – figura 1 – conform documentelor de referință în vigoare 0-0.

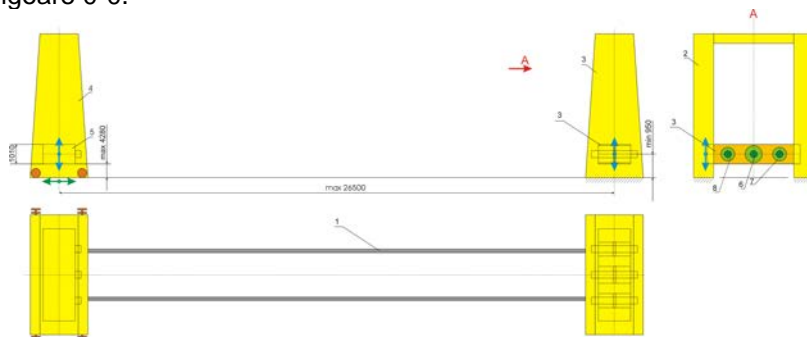


Fig. 1 Standul de tensometrie al AFER

Standul de tensometrie (figura 1) se compune din calea ferată cu ecartament normal 1, cadrul fix 2 pe care poate culisa în plan vertical grinda 3.

În grinda 3 se află montați cilindrii hidraulici 6, 7, 8 cu care se creează forțele orizontale care se vor aplica pe vehicul. Fiecare cilindru poate fi acționat independent iar cilindrii laterali pot lucra independent sau în tandem. La capătul opus al cadrului fix 2, se află cadrul mobil 4 pe care culisează în plan vertical grinda 5 în care iau naștere reacțiunile ca urmare a aplicării forțelor orizontale generate de cilindrii hidraulici 6, 7, 8.

Cadrul mobil 4 se deplasează paralel cu calea de rulare a vehiculului pentru a permite poziționarea sa în funcție de lungimea vehiculului. În plan transversal, prin ridicarea grinzii 5 la partea superioară a cadrului mobil 4 se asigură gabaritul necesar trecerii vagonului. Pe grinda 5 sunt montate 3 tamponi false care pot crea reacțiuni axiale sau pe tamponi în funcție de tipul vehiculului încercat. Prin ridicarea grinzii 5 se asigură gabaritul de trecere pentru vehicul, astfel încât acesta să fie poziționat pe stand. În planul vertical transversal, prin ridicarea grinzii 5 la maxim, se asigură gabaritul static de vagoane.

Standul este echipat cu patru vinciuri electrice de 20 tone fiecare (vinciuri pentru material rulant) care se utilizează pe durata probelor atât în cadrul operațiunilor de pregătire cât și a probelor. Sarcinile verticale necesare sunt aplicate cu lesturi metalice proprietate cu masa de aproximativ 800 kg, cu saci încărcăți cu nisip (la cererea clientului) sau cu apă în cazul vagoanelor cisternă 0.

2.1 Pregătirea structurii de rezistență a vehiculelor feroviare

Structura de rezistență a vagoanelor de călători este trimisă fără ferestre, uși și instalații auxiliare montate pentru a permite lipirea traductoarelor tensometrice rezistive 0. În cazul vagoanelor de marfă, acestea sunt trimise la probe complet echipate.

Pentru starea monoaxială de tensiuni se utilizează traductoare Hottinger 1-LY11-10/120. Pentru starea plană de tensiuni și deformații se utilizează rozete pe trei direcții Hottinger, tipul 1-RY11-6/120 (rozete $0^{\circ}/45^{\circ}/90^{\circ}$) fie 1-RY41-6/120 (rozete $0^{\circ}/60^{\circ}/120^{\circ}$).

Pregătirea structurii de rezistență a vehiculelor feroviare se realizează etapizat astfel:

1. se demontează aparatele de legare și de tamponare pentru a permite montarea dispozitivelor de compresiune/tracțiune axială și tampoane false (tampoane fără elemente elastice) care permit aplicarea forțelor orizontale;
2. se marchează amplasamentul punctelor de măsură pe structura de rezistență;
3. se lipesc traductoarele tensometrice rezistive în conformitate cu specificațiile producătorului. Adezivul utilizat: Z70;
4. se lipesc cablurile de măsură la traductoare prin intermediul conectorilor aplicați în vecinătate. Traductoarele se vor proteja cu cauciuc siliconic Hottinger SG250 pentru a fi protejate de variațiile de umiditate;
5. cablurile se conectează la aparatura de măsură (sistem Hottinger Centipede 100). Achiziția de date se realizează pe un laptop ce are instalat programul Catman.

2.2 Încercări efectuate

Vehiculele sunt solicitate cu forțe orizontale și sarcini verticale. Încercările efectuate la structura de rezistență a vehiculelor sunt:

1. Încercări de compresiune axială cu 2000 kN. Deși vagoanele nu sunt solicitate axial în exploatare, toate sunt pregătite pentru montarea cuplei automate care ar solicita vagonul la

- compresiune axială (deoarece s-ar renunța la tampoane) dacă ar fi luată o astfel de decizie la nivel european;
2. Încercări de compresiune în axa tampoanelor cu 1000 kN/tampon (figura 2, a). Această probă simulează efectul exercitat de restul trenului asupra vagonului, ca urmare a unei frânări (figura 2, b);
 3. Încercări de compresiune la 50 mm sub axa tampoanelor cu 750 kN/tampon. Această probă simulează cazul circulației vagonului între două vagoane cu grade de încărcare diferite, situație în care peste forța de compresiune se suprapune și un moment încovoietor;
 4. Încercări de compresiune în diagonală cu 400 kN fenomen ce se poate produce la circulația vagonului pe linie șerpuită ce are curbe și contracurbe (zone montane);
 5. Încercarea de tracțiune axială cu 1500 kN. Este proba ce simulează efectul tracțiunii ca urmare a forței de remorcare în timpul circulației;
 6. Încercarea cu sarcina verticală de probă cu un efort $F_z = (m_1+m_4) \cdot g$ în care m_1 reprezintă tara vehiculului apt de circulație iar m_4 este sarcina utilă. Această probă simulează circulația vagonului cu sarcina prevăzută în caietul de sarcini;
 7. Încercarea cu sarcina verticală maximă de exploatare cu un efort $F_z = 1,3 \cdot (m_1+m_4) \cdot g$. Această probă urmărește comportamentul vehiculului la o suprasarcină cu 30 % mai mare decât sarcina nominală;
 8. Încercarea de ridicare de la un capăt (figura 2, b). Vagonul este încărcat cu sarcina verticală $F_z = 1,1 \cdot (m_1+m_2) \cdot g$ în care m_2 este masa boghiului sau aparatului de rulare care este ridicat. Se aplică forțe de ridicare sub traversa frontală în dreptul tampoanelor. Proba simulează deraierea unui boghiu al vagonului și se încearcă repunerea pe linie a vagonului cu ajutorul unor vinciuri;
 9. Încercarea de ridicare din patru puncte, cu vagonul încărcat cu aceeași sarcină ca și la proba anterioară. În acest caz vagonul este ridicat din patru puncte situate pe lonjeroanele exterioare în dreptul pivoților. Ridicarea se produce ca urmare a deraierii totale caz ce necesită repunerea pe linie cu ajutorul unei macarale;
 10. Combinații ale încercărilor 1, 2, 8 cu 9. Referitor la aceste încercări cu sarcini combinate, documentele de referință permit combinarea matematică a rezultatelor.

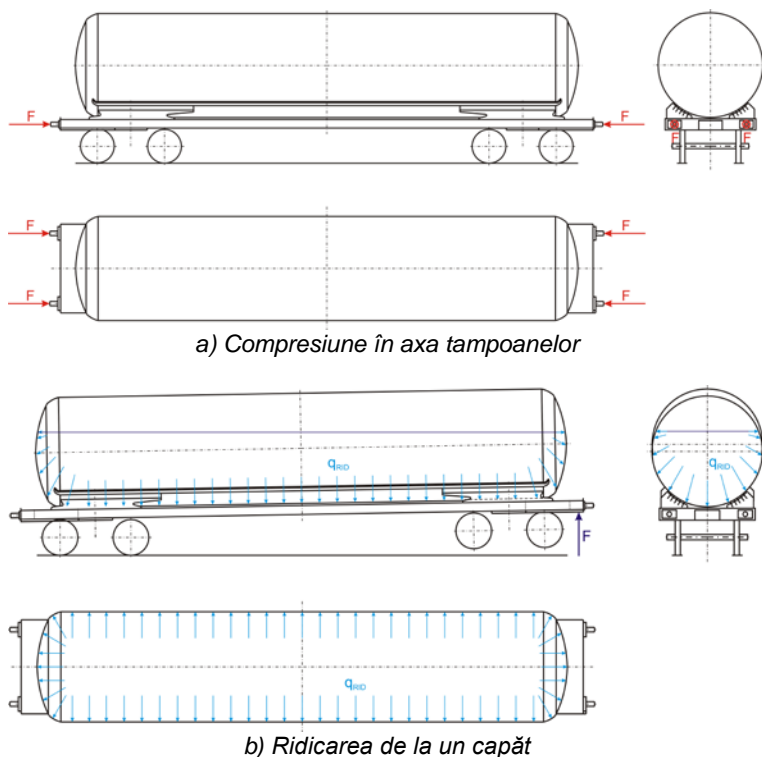


Fig. 2 Încercări statice de tensometrie 0

2.3 Limite admisibile

Documentele de referință recomandă limite admisibile diferite în funcție de încercarea efectuată. Pentru încercările cu forțe orizontale, ridicări și sarcini combinate sunt recomandate limitele 0:

Tabelul 1

Oțel S355		
	Zonă fără sudură	Zonă cu sudură
Tensiuni admisibile σ_{aH} [N/mm ²]	355	323
$\sigma_{aH} = R_{p0,2} = 355 \text{ N/mm}^2$ pentru zone fără sudură		
$\sigma_{aH} = R_{p0,2}/1,1 \cong 323 \text{ N/mm}^2$ pentru zone cu sudură		

iar pentru probele cu sarcina verticală sunt recomandate limitele 0:

Tensiuni admisibile σ_{av} [N/mm ²]	Clasa de încrestare	A	277
		B	150
C	133		
D	110		

Prin clasă de încrestare documentele 0 și 0 definesc tipul îmbinării dintre două elemente structurale (de exemplu sudura în colț dintre un lonjeron și o traversă este clasa de încrestare D).

3. Încercări de tamponare

Încercările de tamponare sunt încercări la șoc care urmăresc comportamentul structurii datorită tamponărilor ce apar în triaje ca urmare a compunerii trenurilor. Aceste teste, nu sunt „crash test” efectuate în domeniul auto (intens popularizate). În figura 3 este prezentat modul de efectuare al încercării de tamponare. În cadrul acestor teste se urmăresc următoarele:

- determinarea tensiunilor maxime în timpul tamponărilor;
- determinarea deformațiilor specifice remanente cumulate;
- măsurarea vitezei de tamponare;
- măsurarea forțelor pe tampoane;
- măsurarea accelerațiilor;
- verificarea stării structurii de rezistență și a echipamentelor vagonului în timpul și după tamponări.

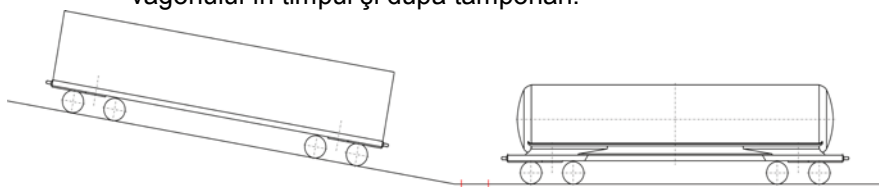


Fig. 3 Tamponarea unui vagon cisternă 0

Proba se efectuează astfel:

- vagonul cisternă, aflat în palier și aliniament este tamponat de către un vagon berbec, amenajat în conformitate cu prevederile raportului ERRI B12/RP17, cap. 3.1 – vagon descoperit cu pereți înalți încărcat cu balast special și prevăzut cu pereți despărțitori pentru a păstra balastul uniform răspândit pe podeaua vagonului;
- vagonul berbec este lansat de pe un plan înclinat, conform figurii 3. Lansarea vagonului tamponator de pe planul înclinat asigură aceeași viteză de tamponare pentru toate tamponările efectuate;

- vitezele se determină pe baza timpului pe care prima osie a vagonului tamponator parcurge distanța de 1 m dintre micro întrerupătoarele a și b (figura 3).

4. Încercarea în mers

Încercările se desfășoară în regim dinamic la viteza maximă de circulație a vehiculului încercat.

În timpul încercărilor se fac înregistrări pentru toate punctele de măsură.

Etapele de desfășurare a încercărilor și de prelucrare a datelor sunt:

1. măsurarea componentelor statice σ_{st} în timpul încărcării vagonului;
2. înregistrarea variațiilor tensiunilor (componentelor dinamice) $\Delta\sigma_+$ și $\Delta\sigma_-$ apărute în timpul circulației cu viteza de 100 km/h;
3. calcularea valorilor extreme ale tensiunilor după cum urmează:

$$\sigma_{max} = \sigma_{st} + \Delta\sigma_+$$

$$\sigma_{min} = \sigma_{st} + \Delta\sigma_-$$

4. calcularea valorilor medii ale tensiunilor:

$$\sigma_m = (\sigma_{max} + \sigma_{min})/2$$

5. calcularea amplitudinilor tensiunilor:

$$\sigma_v = (\sigma_{max} - \sigma_{min})/2$$

6. compararea amplitudinilor σ_v cu cele date în diagramele Goodman – Smith din anexa F.3 a raportului ERRI B12/RP17; condiția de admisibilitate este:

$$\sigma_v \leq \sigma_{vadm}$$

5. Concluzii

■ Încercările efectuate la vagoanele de marfă rămân principalul instrument de validare a prototipului chiar dacă proiectarea și execuția a fost efectuată prin metode avansate ce cuprind aplicații CAD-CAM (proiectare și realizare componente), CAE (verificare prin metode numerice). Încercările efectuate la structura de rezistență a vagoanelor de marfă sunt obligatorii pentru omologarea finală a produsului.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Drăgan, D., Arnăutu, M.C., Călin, M.M., *Încercări statice și dinamice de tensometrie la un vagon cisternă de 95 mc*, Simpozionul Național de Material Rulant, Ediția a VIII-a, ISSN 1893-9888, București, 26-27 noiembrie 2010.
- [2] Mănescu, T.Ș., Copaci, I., Olaru, S., Creangă, F., *Tensometria electrică rezistivă în cercetarea experimentală*, Editura Mirton, Timișoara, 2006.
- [3] Sebeșan, I., *Dinamica vehiculelor de cale ferată*, Editura tehnică, ISBN 973-31-0919-3, București 1996.
- [4] Zaharia, N.L., *Contribuții privind optimizarea structurilor portante ale vagoanelor cisternă de cale ferată în vederea creșterii sarcinii pe osie și micșorarea terei vehiculelor*, Teză de doctorat susținută, Universitatea „Eftimie Murgu” Reșița, 2010.
- [5] * * * Fișa UIC 566/1990 *Sollicitations des caisses de voitures et de leurs éléments accessoires*, 1990.
- [6] * * * Fișa UIC 577 *Wagon stresses*, 2005.
- [7] * * * Raportul ERRI B12/RP17 *Programme des essais à faire subir aux wagons à châssis et superstructure en acier (aptés à recevoir l'attelage automatique de choc et traction) et à leurs bogies à châssis en acier (8ème édition)*, 1997.
- [8] * * * Raportul ERRI B12/RP60 *Prescriptions de réalisation et contraintes limites (2 ème édition)*, 2001.
- [9] * * * SR EN 12663-1 „Aplicații feroviare – Cerințe de dimensionare a structurilor vehiculelor feroviare, Partea 1: Locomotive și vagoane de pasageri (și metodă alternativă pentru vagoane de marfă)”, 2010.
- [10] * * * SR EN 12663-2 „Aplicații feroviare – Cerințe de dimensionare a structurilor vehiculelor feroviare, Partea 2: Vagoane de marfă”, 2010.

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

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