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

MODIFICAREA STRUCTURII PORTANTE A VAGOANELOR CISTERNĂ ÎN VEDEREA CREŞTERII SARCINII PE OSIE ŞI MICŞORAREA TAREI VEHICULULUI

Nicuşor Laurențiu ZAHARIA, Tiberiu Ştefan MĂNESCU

TANK WAGON BODY CHANGING IN PURPOSE TO INCREASE AXLE LOAD AND TARE VEHICLE DECREASING

Lifetime of a railway wagon is around 30 year. During that time, periodical revisions are made. In some cases, the wagon is subject to modernization programs, which can prolong the lifetime of the wagon to 40 years or more. In some cases the wagon's owner wish to increase wagonload capacity in purpose to transport more, because 1 tone of load can increase exponentially the value of the wagon.

Keywords: tank wagon, finite elements, Ansys, increasing container capacity
Cuvinte cheie: vagon cisternă, elemente finite, Ansys, creşterea capacității recipientului

1. Introducere

Datorită volumului limitat al recipientului, creşterea capacității de încărcare a unei cisterne, în condițiile transportării aceluiaşi produs, este imposibilă.

Lucrarea îşi propune să prezinte studiul efectuat pe un vagon cisternă construit după un proiect vechi şi posibilitățile de creştere a capacității recipientului în cadrul unui program de modernizare ce poate surveni pe durata de viață a vagonului.

Propunerile de modificare, au fost prezentate în teza de doctorat „*Contribuții privind optimizarea structurilor portante ale vagoanelor cisternă de cale ferată în vederea creşterii sarcinii pe osie şi micşorarea tarei vehiculelor*” susținută în data de 30 aprilie 2010 la Universitatea „Eftimie Murgu” Reşița[1]. La baza propunerilor au stat calcule cu elemente finite şi încercări de tensometrie efectuate la un vagon cisternă. Pe baza acestor date preliminare s-a modificat în Ansys geometria structurii de rezistență existente propunându-se o structură nouă.

2. Structura de rezistență inițială

Vagonul cisternă pentru care s-au efectuat studiile inițiale cu metode numerice şi metode experimentale are următoarele caracteristici:

- ecartament: 1435 mm;
- ampatament: 10500 mm;
- lungimea şasiului: 14300 mm;
- înălțimea maximă a vagonului: 4235 mm;
- tara vagonului: m_3= 31,1 t;
- lățimea maximă a şasiului: 3060 mm;
- lungimea cisternei: 13480 ± 40 mm;
- diametrul exterior al cisternei: 2824 mm;
- capacitatea cisternei: 80 m^3;
- sarcina maximă pe osie: 20 t;
- încărcătura transportată: metanol;
- presiunea maximă de lucru: 3 bar;
- presiunea de încercare hidraulică a recipientului: 4 bar;

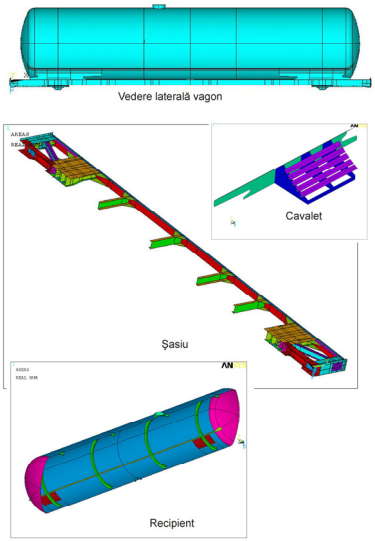

Fig. 1 Modelul geometric al vagonului

[1] doctorand Ing. Nicuşor Laurențiu ZAHARIA, conducător ştiințific Prof.Dr.Ing. Tiberiu Ştefan MĂNESCU – membru corespondent A.S.T.R.

În figura 1 este prezentat modelul geometric al vagonului cisternă studiat. Deoarece vagonul admite un plan de simetrie (planul vertical longitudinal), geometria a fost modelată numai pe jumătate. Se poate remarca şasiul de tip cadru închis format din lonjeroane laterale şi traverse. Tot la nivelul şasiului se pot remarca diagonalele care preiau o parte din forța exercitată pe tampoane şi o transmit la traversa crapodinei[2] (spre centrul acesteia), fără ca din această forța să fie preluată de un lonjeron central aflat pe direcția forței ci de către lonjeroanele laterale ceea ce conduce la necesitatea unor ranforsări suplimentare ale traverselor crapodinelor. Existența traverselor intermediare introduce o rigiditate suplimentară în şasiu (care în anumite situații poate fi defavorabilă vagonului) şi conduc la o creştere a tarei vagonului. La nivelul recipientului, tensiunile obținute sunt mai mici decât limitele admisibile ceea ce conduce la concluzia că grosimea materialului este mai mare decât ar fi necesar.

3. Modalități de creştere a capacității recipientului

În scopul creşterii sarcinii pe osie de la 20 t la 22,5 t, tara vagonului trebuie micşorată concomitent cu o creştere a capacității recipientului deoarece gradul de încărcare al acestuia nu poate fi mai mare de 78 %. Recipientul are masa de 14200 kg – aproximativ jumătate din tara vagonului. Orice modificare a dimensiunilor recipientului conduce la modificarea tarei vagonului. Modificarea volumului recipientului se poate face prin:

1. mărirea diametrului cu respectarea înscrierii în gabarit;
2. micşorarea grosimii materialului;
3. mărirea lungimii recipientului.

4. Rezultate obținute

4.1. Mărirea diametrului cu respectarea înscrierii în gabarit

Capacitatea părții cilindrice a recipientului este:

$$V_{cil} = \pi \cdot 1{,}4^2 \cdot 12{,}370 = 76{,}129928 \cong 76{,}13 \ \text{m}^3 \qquad (1)$$

Pentru a creşte sarcina pe osie la 22,5 t, volumul cisternei trebuie mărit cu:

---

[2] **CRAPODÍNĂ** *s.f.* Accesoriu care se pune la gura unei țevi pentru a nu se astupa. ♦ Lagăr al unui arbore vertical, servind drept ghid pentru mişcarea de rotație şi ca sprijin pentru eforturile verticale. [< fr. *crapaudine*]. Sursa: Dicționar de neologisme. **CRAPODÍNĂ** *s. f.* lagăr (II) axial în care se poate roti pivotul unui arbore. (< fr. *crapaudine*).

$$V_1 = \frac{m}{\rho_1} = \frac{10000}{764} = 13{,}09 \ \ m^3 \qquad (2)$$

pentru $\rho_1 = 764 \ \ kg/m^3$ densitatea metanolului la 15 ^{0}C şi

$$V_2 = \frac{m}{\rho_2} = \frac{10000}{796} = 12{,}56 \ \ m^3 \qquad (3)$$

pentru $\rho_1 = 796 \ \ kg/m^3$ densitatea metanolului la 50 ^{0}C.

Dar, ținând cont de gradul de încărcare al recipientului de 78 % şi luând în considerare numai volumul V_1, rezultă volumul necesar:

$$V_1^{'} = \frac{V_1}{0{,}78} = \frac{13{,}09}{0{,}78} = 16{,}78 \ \ m^3 \qquad (4)$$

Volumul final al recipientului redimensionat va fi:

$$V_{nec} = V_{cil} + V_1^{'} = 76{,}13 + 16{,}78 = 92{,}91 \ \ m^3 \qquad (5)$$

Dacă se păstrează constantă lungimea cisternei (12,370 m) şi se modifică diametrul cisternei, rezultă raza necesară:

$$R = \sqrt{\frac{V_1^{'}}{\pi \cdot l}} = \sqrt{\frac{92{,}91}{\pi \cdot 12{,}37}} = 1{,}55 \ \ m \qquad (6)$$

sau un diametru al recipientului *D = 3,1 m*. Cu acest diametru, cisterna se înscrie în gabarit dar este aproape de limită.

4.2. Micşorarea grosimii materialului

Pentru cilindrul reprezentat de acestea, volumul materialului mantalei cilindrului al cisternei este:

$$V_{manta} = 12{,}370 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 1{,}4 \cdot 12 \cdot 10^{-3} = 1{,}30508448 \cong 1{,}31 \ \ m^3 \qquad (7)$$

unde lungimea virolelor este 12,370 m, raza cisternei 1,4 m şi grosimea de $12 \cdot 10^{-3}$ m.

Masa mantalei cilindrului este:

$$m_{manta} = 1{,}31 \cdot 7850 = 10283{,}5 \ \ kg \qquad (8)$$

Din rezultatele de mai sus, se poate observa că din recipient, partea cilindrică deține ponderea ca greutate proprie şi volum pentru marfă şi de aceea primele modificări s-au efectuat pe zona virolelor.

O scădere cu 50 % a grosimii mantalei conduce la micşorarea greutății mantalei la 5141,75 kg şi creşterea capacității recipientului 76,78 kg ceea ce este total nesemnificativ din punct de vedere al capacității recipientului.

4.3. Mărirea lungimii recipientului

Dacă se menține diametrul inițial de 2,8 m, cisterna trebuie lungită pentru a asigura un volum mai mare. Lungimea cu care trebuie modificat recipientul este:

$$l_1 = \frac{V_1^{'}}{\pi \cdot R^2} = \frac{16,78}{\pi \cdot 1,4^2} \cong 2,72 \text{ m} \qquad (9)$$

Creşterea lungimii şasiului implică şi creşterea lungimii şasiului cu aceeaşi lungime. Astfel lungimea şasiului devine 17020 mm, respectiv un ampatament de 13220 mm. Fişa UIC 573 reglementează ca şasiul unui vagon cisternă poate avea un ampatament de maxim 15800 mm. Dacă se ține cont că lungirea vagonului are consecințe asupra creşterii greutății se poate observa că este aproape imposibil să se realizeze o creştere a capacității cisternei fără o scădere a tarei vagonului dacă se menține vagonul cu structura actuală.

Verificarea înscrierii în gabarit a vagonului modificat

La creşterea lungimii recipientului, obligatoriu creşte şi lungimea şasiului (la un vagon cisternă întotdeauna recipientul este mai scurt decât şasiul). Ideal ar fi ca mărirea lungimii recipientului să nu afecteze ampatamentul vagonului, dar un recipient mai lung decât şasiul poate crea următoarele probleme:

- imposibilitatea înscrierii în gabarit la circulația în curbe;
- imposibilitatea cuplajului între vagoane prin intermediul tampoanelor;

Când un vehicul circulă pe un traseu curb, axa sa longitudinală îşi schimbă mereu poziția față de axa căii. Axa curbă a căii se intersectează cu proiecția orizontală a axei longitudinale a vehiculului (figura 2), rezultând că:

- pe porțiunea dintre pivoții boghiurilor axa vehiculului se deplasează spre interiorul curbei, apropiindu-se de centrul acesteia. Deplasarea axei la mijlocul vehiculului se numeşte *deplasare interioară* e_i;
- pe porțiunea din afara pivoților boghiurilor axa vehiculului se deplasează spre exteriorul curbei. Deplasarea axei la capetele vehiculului se numeşte *deplasare exterioară* e_e.

Considerente geometrice arată că aceste deplasări sunt cu atât mai mari cu cât raza curbei parcurse de vehicul este mai mică şi vehiculul este mai lung, respectiv dacă lungimea consolelor (sau

ampatamentul) este mai mare. Într-o curbă cu raza mică, un vehicul lung ar putea intra cu colțurile sale în gabaritul de liberă trecere. La partea superioară a vehiculului, situația este agravată de faptul că, în curbe firul exterior al liniei este supraînălțat față de firul interior, pentru a compensa efectele forței centrifuge. Dacă pe liniile în palier şi aliniament spațiul de siguranță dintre gabaritul de liberă trecere şi gabaritul de material rulant ar putea fi destul de mic, pe porțiunile curbe ale liniilor, acest spațiu trebuie să fie suficient de mare.

Calculul deplasării interioare

Pentru calculul deplasării interioare a unui punct de pe cutia vagonului aflat spre interiorul curbei, deplasarea interioară se calculează cu relația:

$$e_i = \frac{n \cdot (a - n)}{2R} + \frac{e_s - d}{2} + \frac{p^2}{8R} + q + w - k = 34{,}03 \text{ mm} \qquad (10)$$

În relația (10) s-au utilizat următoarele notații: n = a/2 = 6610 este semi-ampatamentul vagonului, R = 250 m este raza curbei, e_s= e+S = 1460 mm – ecartamentul liniei în curbă, S = 25 mm – supralărgirea maximă în curbă, d = 1420 – distanța dintre suprafețele exterioare ale buzelor de ghidare, q = 0,03 – jocul fus-lagăr, k = 75 mm – coeficient şi w = 0 (boghiul nu are traversă dansantă). Scăzând din gabaritul de material rulant dublul valorii deplasării interioare, rezultă lățimea maximă pe care o poate avea vagonul:

$$l_{max} = 3150 - 2 \cdot 34{,}03 = 3081{,}94 \text{ mm} > l_{vagon} = 3060 \text{ mm} \qquad (11)$$

Trebuie avut în vedere că lățimea maximă a vagonului este dată nu de lățimea şasiului (2400 mm) sau de diametrul recipientului (2824 mm) ci de consolele pe care se află montate cârligele pentru transbordoare. Aceste cârlige puteau fi reamplasate la o cotă convenabilă în cazul în care vagonul nu se putea înscrie în gabarit (se poate observa diferența dintre lățimea dată de structura de rezistență a vagonului şi lățimea dată de cârligele pentru manevră).

Calculul deplasării exterioare

Pentru un punct oarecare P (figura 3) situat în afara distanței dintre pivoți la distanța n cea mai apropiată, se utilizează relația de calcul:

$$e_e = \frac{n \cdot (a + n)}{2R} + \left[\frac{e_s - d}{2} + q + w\right] \cdot \frac{2n + 2a}{2a} - \frac{p^2}{8R} - k = 30{,}34 \text{ mm} \qquad (12)$$

Distanța n din relația (12) reprezintă lungimea consolei (1900 mm) la care se adaugă lungimea tampoanelor (620 mm). Rezultă n = 2520 mm. Pentru n = 2520 mm (distanța peste tampoane) rezultă deplasarea exterioară $2 \cdot e_{emax}$ = 60,68 mm. Prin urmare, lățimea maximă în această zonă trebuie să fie de cel mult:

$$l_{max} = 3150 - 2 \cdot 30,34 = 3089,32 \text{ mm} > l_{vagon} = 3060 \text{ mm} \qquad (13)$$

Din relația (13) se poate observa că vagonul se încadrează integral în gabarit, dar trebuie ținut seama de faptul că această lățime a fost calculată peste fețele tampoanelor. Dar ținând seama că distanța normală dintre axele tampoanelor este de 1750 mm şi că diametrul discului tampon are valoarea de 450 mm, rezultă că din construcție, distanța necesară între marginile exterioare ale discurilor tampoanelor este 1750+225+225 = 2200 mm care este mult mai mică decât lățimea maximă admisibilă de 3089,32 mm calculată cu relația (13). Dacă din calcul reieşea că vehiculul nu se poate înscrie în gabarit la circulația în curbă, exista pericolul ca unul din colțurile sale să atingă gabaritul. În aceste condiții apărea necesitatea de a se da capetelor vagonului formă trapezoidală. Forma trapezoidală a părții frontale a şasiului se regăseşte la vagoanele de călători, la tramvaie dar şi la unele vagoane cisternă. Din rezultatele anterioare, reiese că parametrii care au cea mai mare pondere în stabilirea retragerilor exterioare şi interioare sunt raza curbei şi lungimea totală a vehiculului.Raza curbei este o caracteristică fixă a curbelor liniilor de cale ferată. Tendința modernă este de mări razele curbelor, pentru a permite circulația cu viteze mari, favorizează proiectarea vehiculelor feroviare cu retrageri cât mai mari. În schimb, se tinde să se mărească lungimea vagoanelor pentru cauze de economie, capacitate de transport etc. Dar, creşterea lungimii vagonului poate conduce în anumite situații la necesitatea micşorării lățimii acestuia pentru a se asigura înscrierea în gabarit. Există deci o limită a sporirii lungimii, astfel ca să nu se ajungă la micşorarea lățimii vagonului, ceea ce ar putea conduce la scăderea capacității de transport. Soluția *optimă* a variației lungimii şi lățimii vagonului se poate obține prin încercări.

Analizând situațiile de mai sus, se poate observa că:

■ mărirea diametrului cisternei deşi conduce la creşterea greutății recipientului, menține constantă greutatea şasiului (teoretic);

■ micşorarea grosimii mantalei are implicații directe asupra scăderii greutății recipientului precum şi o uşoară mărire a volumului. Nu trebuie neglijat nici aspectul că, scăderea greutății recipientului conduce la modificarea centrului de masă al cisternei către şine ceea

ce este favorabil vagonului (trebuie ținut cont de faptul că cisternele sunt printre vehiculele cu cel mai înalt centru de masă);

■ mărirea lungimii recipientului/şasiului deşi duce la creşterea greutății vagonului, poate reprezenta o soluție pentru o mărire a volumului util al recipientului;

■ pentru vagonul mai lung, calculul de înscriere în gabarit a dovedit că soluția propusă este fezabilă.

Din rezultatele anterioare se poate observa că o soluție optimă ar fi modificarea recipientului ca diametru, lungime şi grosime.

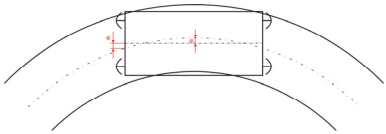

Fig. 2 Poziția unui vehicul feroviar la circulația în curbă

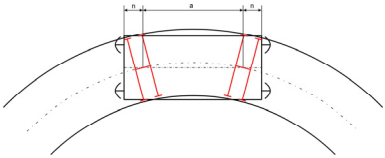

Fig. 3 Calculul deplasării exterioare

BIBLIOGRAFIE

[1] Zaharia, N.L., *Contribuții privind optimizarea structurilor portante ale vagoanelor cisternă de cale ferată în vederea creşterii sarcinii pe osie şi micşorarea tarei vehiculelor,* Teză de doctorat, Universitatea „Eftimie Murgu" Reşița, 2010.

[2] Mănescu, T.Ş., Jiga, G.G., Zaharia, N.L., Bîtea, C.V., *Noțiuni fundamentale de rezistența materialelor şi teoria elasticității,* Editura „Eftimie Murgu", ISBN 978-973-1906-67-6, Reşița, 2010.

[3] Mănescu, T.Ş., Jiga, G.G., Zaharia, N.L., Bîtea, C.V., *Noțiuni fundamentale de rezistența materialelor,* Editura „Eftimie Murgu" Orizonturi tehnice, ISBN 973-8286-79-4, Reşița, 2008.

[4] Mănescu, T.Ş., Nedelcu,D., *Analiza structurală prin metoda elementului finit,* Editura Orizonturi Universitare, ISBN 973-638-217-6, Timişoara, 2005.

[5] Mănescu, T.Ş., Copaci, I., Olaru, S., Creangă, F., *Tensometria electrică rezistivă în cercetarea experimentală,* Editura Mirton, Timişoara, 2006.

[6] * * * *EN 12663 – Structural requirements of railway vehicle bodies,* 2010.

[7] * * * Fişa UIC 573 *Technical conditions for the construction of tank wagons*, 2008.

Dr.Ing. Nicuşor Laurențiu ZAHARIA
Autoritatea Feroviară Română – AFER Bucureşti
Calea Griviței nr. 393, sector 1, 010719, Bucureşti
rentizaharia@yahoo.com
Prof.Dr.Ing. Tiberiu Ştefan MĂNESCU
Universitatea „Eftimie Murgu" Reşița, Piața Traian Vuia nr. 1-4, 320082, Reşița
t.manescu@uem.ro