

CONSIDERAȚII PRIVIND COMPORTAREA REOLOGICĂ A CĂII FĂRĂ JOANTE

Drd. ing. Valentin-Vasile Ungureanu*, ing. Marius Comănici**

Razumat: În această articol sunt prezentați principalii parametri considerați în analiza comportării reologice a căii fără joante, modalitatea de alegere a modelelor reologice de comportare a căii fără joante, un algoritm de stabilire a comportamentului reologic al căii fără joante, precum și câteva elemente referitoare la realizarea experimentelor reologice la calea fără joante.

Abstract: In this paper are presented the main parameters supposed in the analysis of the rheological behaviour of continuous welded rail track, the modality to select of the rheological models of continuous welded rail track, an algorithm from appraisal of the rheological behaviour of continuous welded rail track, as well as some elements with reference to achievement of the rheological tests into continuous welded rail track.

1. INTRODUCERE

Încă de la apariția căilor ferate s-a pus problema reducerii numărului de joante pe șine și sporirii lungimii șinelor, deoarece creșterea solicitărilor dinamice în zona joantelor conduce la intensificarea acumulării deformațiilor remanente și, în consecință, la un volum mai mare de lucrări de întreținere pentru menținerea căii în regim normal de funcționare. Calea fără joante este mai ieftină din punct de vedere al cheltuielilor decât calea cu joante, în principal ca urmare a reducerii chetuielilor de muncă privitoare la menținerea căii, dar și creșterii duratei între reparațiile vehiculelor, reducerii consumului de energie necesară tracțiunii ca urmare a reducerii rezistenței la mers a vehiculelor și exploatării mai sigure a circuitelor de cale, alte avantaje fiind creșterea calității de mers, reducerea zgomotelor și micșorarea poluării mediului înconjurător cu praful din măfuri.

Avantajele evidente ale căii fără joante au condus la generalizarea aplicării căii fără joante la liniile moderne de cale ferată. S-a avut însă în vedere că modul de lucru al căii fără joante conduce la eforturi importante în șine, în principal din variații de temperatură, fapt ce obligă la stabilirea măsurilor necesare pentru asigurarea siguranței circulației în condiții de cheltuieli minime.

Se pune problema îmbunătățirii modelelor de calcul pentru stabilirea legilor de variație a stării de eforturi și deformații în calea sudată, în procesul lucrărilor de reparație și în cazul exploatării îndelungate a căii sudate. Dacă se pleacă de la principiile și metodele de calcul și de construcție ale căii fără joante se pot propune modele de comportare reologică a căii fără joante care au avantajul că iau în considerare factorul timp, deci viteza de producere a deformațiilor și istoria lor anterioară.

Pentru a evita situațiile care conduc la ruperi ale șinelor sau fenomene de pierdere a rezistenței căii fără joante este necesar să fie cunoscute mărimea și caracterul modificărilor care apar în diagramele de eforturi axiale pe întreaga durată de viață a căii, inclusiv în procesul lucrărilor de reparație care presupun utilizarea mașinilor grele de cale. Problemele privind modul în care forțele longitudinale și deplasările se modifică în procesul exploatării îndelungate nu pot fi rezolvate folosind numai Teoria Plasticității, deoarece aceasta cercetează procesele în care deformațiile se produc, practic, instantaneu, pentru procesele de lungă durată fiind necesară considerarea fenomenelor

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

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

reologice.

La baza metodelor aplicate la stabilirea modificării forțelor din calea fără joante și a deformațiilor provocate de ele se află relațiile experimentale de legătură între rezistența traversei și deplasarea ei, care se determină, de regulă, pe o porțiune de linie din exploatare în intervalele de timp dintre trecerile trenurilor.

2. PARAMETRII CONSIDERAȚI ÎN ANALIZA COMPORTĂRII REOLOGICE A CĂII FĂRĂ JOANTE

Pentru calea fără joante de construcție clasică (cu prisma căii din piatră spartă) se pot lua în considerare la analiza comportamentului reologic al acesteia, de regulă, doar rezistențele longitudinale și transversale, neglijându-se efectul reologic al rezistenței la rotire a șinelor în prinderi. Notând cu Δ deplasarea în lungul căii (pe direcția axei x) și cu δ deplasarea în sens transversal căii (pe direcția axei y), rezistențele longitudinale $p(\Delta)$ și transversale $q(\delta)$ se determină funcție de modul experimental de stabilire a expresiilor lor, fie prin rezistențele medii în cazul încercărilor pe un panou de cale, fie prin raportul dintre rezistențele unei traverse și distanța dintre axele a două traverse alăturate, în cazul încercărilor pe traverse izolate. În analiza comportamentului reologic al căii fără joante se consideră expresiile rezistențelor longitudinală și transversală pentru o cale cu prismă a căii consolidată, deoarece aceasta este situația de comportare de lungă durată a căii. Consolidarea prisme se consideră că a fost realizată fie prin trecerea tonajului de stabilizare fie, mai modern, prin utilizarea stabilizatorului dinamic de cale.

Din experimentele efectuate pentru o cale având prisma căii consolidată, curbele caracteristice pentru rezistențele longitudinală și transversală au forma din figura 1, cu o valoare de vârf pentru valori mici ale deplasărilor și o valoare reziduală aferentă deplasărilor însemnate. În cazul căii burate se constată lipsa valorii de vârf pentru rezistențele longitudinală și transversală (figura 1).

Rezistențele longitudinală și transversală ale căii fără joante depind de diverși factori, cei mai importanți fiind tipul traversei, tipul prinderii, forma și dimensiunile prismei căii, distanța dintre traverse, gradul de consolidare a materialului din prisma căii.

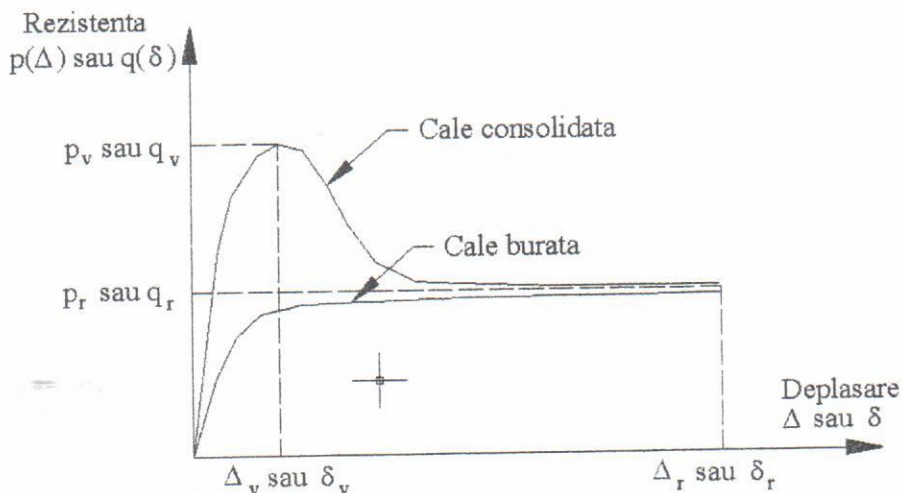


Figura 1 Forma curbelor caracteristice pentru deplasările longitudinale și transversale căii.

3. ALEGEREA UNUI MODEL REOLOGIC DE COMPORTARE A CĂII FĂRĂ JOANTE

Plecând de la cele mai elementare modele reologice, prin combinarea acestora, se ajunge la modele reologice complexe care pot lua în calcul parametri care influențează comportamentul reologic al căii fără joante. De regulă se pleacă de la modelele corpului elastic (Hooke) și lichidului vâscos incompresibil (Newton).

Modelul Hooke se reprezintă schematic printr-un resort (Figura 2) și are legea constituțivă:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (1)$$

unde: σ este efortul unitar normal;
 E este modulul de elasticitate longitudinală;
 ε este deformația specifică liniară.

Modelul Newton se reprezintă schematic printr-un piston (vezi figura 3) și are legea constituțivă de forma unei relații tensiune – viteză de deformație: $\sigma = \lambda \cdot \dot{\varepsilon}$ (2)

unde: λ este coeficientul de vâscozitate dinamică;
 $\dot{\varepsilon} = d\varepsilon/dt$ este viteza de deformație, t fiind timpul.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$



Figura 2. Modelul Hooke

$$\sigma = \lambda \cdot \dot{\varepsilon}$$



Figura 3. Modelul Newton

Se consideră ca fenomene reologice elementare fluajul și relaxarea. Fluajul este fenomenul de deformare în timp sub acțiunea unei încărcări constante și la temperatură constantă. Relaxarea este fenomenul de micșorare în timp a tensiunilor sub deformație constantă și la temperatură constantă.

Fenomenul de fluaj poate fi cel mai simplu modelat dacă se leagă în paralel un corp Hooke cu un corp Newton. Se obține astfel modelul Kelvin-Voight. La acest model starea de deformație rezultă din însumarea stării de tensiune a celor două corpuri:

$$\sigma_0 = \sigma_1 + \sigma_2 = E \cdot \varepsilon + \lambda \cdot \dot{\varepsilon} \quad (3)$$

expresia ce caracterizează fenomenul fiind: $\varepsilon = \frac{\sigma_0}{E} \cdot (1 - e^{-\frac{E}{\lambda} t})$ (4)

Reprezentarea schematică a modelului este dată în figura 4, iar curba deformației în timp este cea din figura 5.

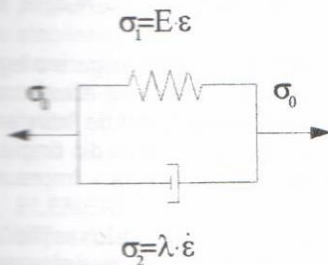


Figura 4. Modelul Kelvin-Voight

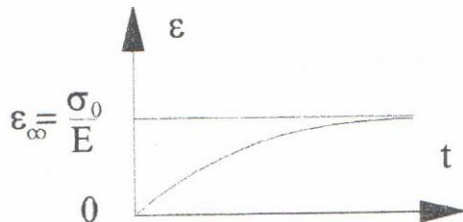


Figura 5. Curba variației deformației în timp pentru modelul Kelvin-Voight

La acest model deformația se amortizează în timp ($\varepsilon = \sigma_0/E$ când $t \rightarrow \infty$).

Dacă este nevoie să se țină seama de deformația instantanee, se leagă modelul Kelvin-Voight în serie cu un corp Hooke ce poate avea o altă constantă E_0 . Pentru acest model reprezentarea schematică este dată în figura 6, iar curba deformației în timp este cea din figura 7 și corespunde expresiei:

$$\varepsilon = \frac{\sigma_0}{E_0} + \frac{\sigma_0}{E} \cdot (1 - e^{-\frac{E}{\lambda} t}) \quad (5)$$

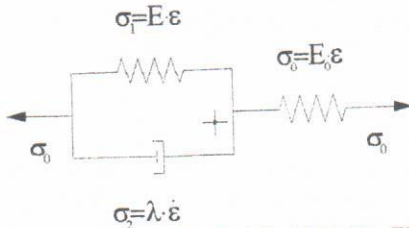


Figura 6. Modelul Kelvin-Voight cu deformație instantanee

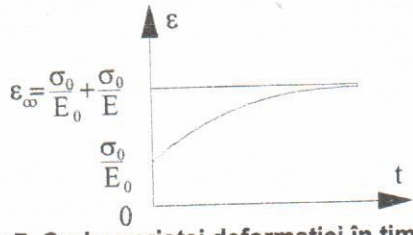


Figura 7. Curba variației deformației în timp pentru modelul Kelvin-Voight cu deformație instantanee

Fenomenul de relaxare poate fi cel mai simplu modelat prin leagarea în serie a unui corp Hooke cu un corp Newton. Se obține astfel modelul Maxwell. La acest model starea de tensiune rezultă din însumarea stării de deformație a celor două corpuri.

Relația care guvernează fenomenul este:

$$\sigma = \sigma_0 \cdot e^{-\frac{E}{\lambda} t} \quad (6)$$

Reprezentarea schematică a modelului este dată în figura 8, iar curba modificării efortului în timp este cea din figura 9.

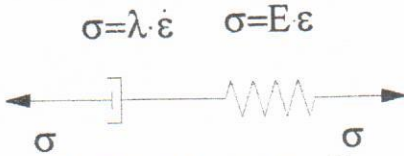


Figura 8. Modelul Maxwell

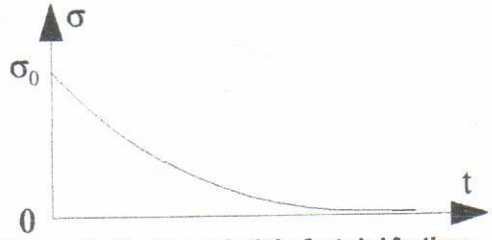


Figura 9. Curba variației efortului în timp pentru modelul Maxwell

Pentru alegerea modelului reologic al comportării căii fără joante pe direcția axei căii se determină gradul de corespondență reciprocă a relației $\Delta(t)$ pentru $p = const.$ și a relației $p(t)$ pentru $\Delta = const.$ - obținute pe cale experimentală - cu relațiile etalon teoretice.

Calea fără joante trebuie să aibă prindere intermediară, care să asigure o legătură sigură a traversei cu șina, iar prinderile indirecte nu răspund întotdeauna acestei cerințe din cauză că, în procesul de exploatare, se produce reducerea forței de întindere din șuruburile verticale ale prinderii. Totuși, se acceptă că, pentru condițiile din timpul verii, nu se produce deplasarea șinei în raport cu traversa, dar traversele - împreună cu șinele - se pot deplasa în prisma căii.

Deoarece șina cu suprafața secțiunii transversale A , în limitele deformațiilor reale, este un element elastic al căii fără joante, forțele din șină, în funcție de deformații, se modifică după legea lui Hooke:

$$F = EA \frac{dp}{dx} \quad (7)$$

Din condiția de echilibru pentru un element "dx" din șină, în lungul căruia are loc creșterea forței longitudinale cu "dF" iar rezistența longitudinală este p , se poate scrie egalitatea:

$$p = dF/dx \quad (8)$$

Dacă se consideră ca model reologic de comportare a căii fără joante pe direcția axei căii un model Kelvin-Voight cu deformație instantanee, acestui model îi corespunde următoarea ecuație diferențială: $p + \dot{p}z = \lambda \dot{\Delta} + E_d \Delta$ (9)

unde: $z = \lambda/D_x$ - reprezintă durata relaxării;

E_d - modulul de elasticitate de lungă durată;

D_x - modulul de elasticitate instantaneu, în lungul căii.

Din relațiile (7), (8) și (9), se obține ecuația diferențială de variație a forțelor longitudinale cu luarea în considerare a factorului timp: $\frac{\partial^2 \Delta}{\partial x^2} = \frac{p(\Delta, \dot{\Delta})}{EA}$ (10)

Cunoscând condițiile inițiale și condițiile de margine, prin rezolvarea ecuației (10) se determină legile de deformare longitudinală pentru orice porțiune de cale sudată sub forma relației $\Delta(x, t)$ sau $F(x, t)$.

Similar se determină deplasările cadrului șine-traverse, în direcție perpendiculară pe axa căii, sub acțiunea forțelor longitudinale. Ecuația diferențială a axei deformate ia în considerare, în acest caz, următoarele elemente:

- rigiditatea EI a cadrului șine-traverse în planul de încovoiere;
- efortul axial F din șine;
- rezistența laterală a căii $q(\delta, \dot{\delta})$ funcție de deplasarea laterală și viteza de deplasare a căii pe direcție perpendiculară pe axa căii.

Expresia ecuației diferențiale a axei deformate a căii este:

$$EI \frac{\partial^4 \delta}{\partial x^4} + F \frac{\partial^2 \delta}{\partial x^2} + q(\delta, \dot{\delta}) = 0 \quad (11)$$

Rezistența laterală a căii $q(\delta, \dot{\delta})$ se determină experimental, iar apoi se găsește soluția pentru ecuația (11).

4. ALGORITMUL DE STABILIRE A COMPORTAMENTULUI REOLOGIC AL CĂII FĂRĂ JOANTE

Algoritmul de stabilire a comportamentului reologic al căii fără joante este următorul:

- se determină experimental curbele caracteristice ale elementelor din alcătuirea căii, obținute în urma încercărilor la curgere lentă și la relaxare;
- se propune un model reologic funcție de forma curbelor anterior determinate;
- se stabilesc relațiile etalon teoretice pentru modelul reologic propus;
- se analizează gradul de corespondență reciprocă între caracteristicile reologice la curgere lentă și la relaxare determinate experimental și cele deduse din relațiile etalon teoretice și se validează sau nu modelul reologic.

5. ELEMENTE REFERITOARE LA REALIZAREA EXPERIMENTELOR REOLOGICE LA CALEA FĂRĂ JOANTE

Modelul empiric pentru traversa care suferă deplasări în lungul (sau transversal) axei căii se obține prin efectuarea încercărilor reologice în condițiile reale de lucru. Astfel se acționează asupra traversei cu o forță constantă P care corespunde rezistenței longitudinale $p = const.$ și se fixează legea de deformare $\Delta(t)$. Similar se verifică sau se

pune la punct modelul experimental prin care se crează deformata $\Delta = const.$ și se fixează legea de variație $p(t)$.

Pentru realizarea experimentului în condiții reale de exploatare a căii, pe tronsonul experimental de cale trebuie să circule trenuri în perioada determinării legilor $\Delta(t)$ și $p(t)$. În perioada de timp t este necesar să treacă un număr suficient de mare de trenuri pentru a fie posibilă efectuarea mediei pentru acțiunea acestora asupra căii. Fiecare tren influențează în mod diferit asupra deplasării capătului porțiunii sudate, aflate sub acțiunea forțelor longitudinale din variațiile de temperatură. Deplasările mai depind de timpul scurs de la trecerea trenului anterior, precum și de modificarea forțelor ce acționează în cale și asupra căii.

Dacă numărul de trenuri care trec pe porțiunea analizată este suficient de mare este indiferent dacă, ca argument, se consideră numărul " n " de treceri sau se consideră timpul scurs " t ". Coeficientul de corelație a legăturii dintre " n " și " t ", la creșterea lui " n " sau a lui " t ", tinde spre unitate.

Condițiile de exploatare se caracterizează prin intensitatea traficului, numărul și masa trenurilor, tipul de construcție a suprastructurii căii și starea suprastructurii căii.

Se va avea în vedere că starea suprastructurii căii este determinată și de compactarea, gradul de acumulare a impurităților, umiditatea și temperatura materialului din prisma căii. Diferențierea caracteristicilor mecanice pentru diferite condiții, privind efectul lor este foarte greoaie. De aceea se impune realizarea de încercări în volum cât mai mare, pentru o porțiune stabilizată de cale, cu minim 3 ani de exploatare după refacție, la o intensitate relativ medie de trafic. Pentru cazurile care diferă prin alt grad de stabilizare de după refacție, precum și pe porțiunile cu prisma a căii puternic colmatată sau înghețată, precum și pentru altă intensitate de trafic, este necesar să se facă încercări cu scopul comparării calitative și cantitative.

Pentru eliminarea la maxim a influenței deplasărilor longitudinale din temperatură ale cadrului șine-traverse, experimentările privind traversele izolate trebuie făcute la mijlocul tronsonului. Prezintă interes diferența, în ceea ce privesc caracteristicile mecanice ale traversele, între traversele din zona centrală și traversele din zona de respirație și din deschiderile de egalizare. În aceste cazuri este necesar să se aleagă perioada de efectuare a experimentărilor cu cele mai mici variații ale temperaturii șinelor și încercările cu fiecare traversă să fie făcute de un număr par de ori, schimbând de fiecare dată sensul de aplicare a forțelor. Schimbarea succesivă a sensului forțelor este în legătură cu nevoia de eliminare a influenței forțelor de fugire, provocate de trecerea trenurilor.

Cercetări experimentale speciale au scos în evidență că, în cazul fixării normale a șinelor de traverse, forțele de fugire nu au o influență importantă asupra modificării stării de eforturi și deformații a șinelor în procesul exploatării de lungă durată.

Este necesar să fie utilizate dispozitive de încercare care să asigure acționarea cu o forță relativ constantă asupra traversei, în perioada de trecere a trenului. Acestea trebuie să ia în considerare următoarele aspecte:

- distanța redusă dintre traverse impune dimensiuni reduse pentru dispozitivul de măsurare;
- vibrațiile terasamentelor, din timpul trecerii trenurilor, pot produce forțe de inerție suplimentare, care denaturează rezultatele;
- la deformații longitudinale remanente ale traversei, ce apar în timpul trecerii trenurilor, forța pe care o crează dispozitivele de încercare să se reducă cu o valoare neînsemnată.

Pentru obținerea unui număr suficient de mare de date experimentale - într-un interval relativ scurt de timp - se pot utiliza simultan câteva perechi de dispozitive de încercare.

Trebuie avut în vedere faptul că durata încercării privind determinarea legii de deformare $\Delta(t)$ pentru $p = \text{const.}$ este limitată de timpul necesar atingerii deplasării maxime.

Pentru precizarea legii de deformare în cazul rezistențelor p mici este necesar să se efectueze încercări de relaxare, adică este necesar să se determine $p(t)$, pentru $\Delta = \text{const.}$ Experiențele la relaxare sunt necesare și pentru găsirea relației experimentale pentru valoarea timpului de relaxare "z". Din graficele $\Delta(t)$ pentru Δ_0 și $p = \text{const.}$, nu se obțin valori credibile pentru modulul de elasticitate instantaneu D_x dacă încărcarea inițială a traverselor s-a făcut fără luarea în considerare a acțiunii trenurilor. Prin urmare valoarea timpului de relaxare, după datele încercărilor la fluaj, nu trebuie niciodată să se stabilească din raportul $z = \lambda/D_x$. Dacă z s-a obținut din încercarea la relaxare, efectuată cu luarea în considerare a acțiunii trenurilor, se poate găsi valoarea D_x din acest raport.

BIBLIOGRAFIE

1. D202 ERRI COMMITTEE, Report 3: Improved Knowledge of Forces in CWR Track (Including Switches) - Theory of CWR Track Stability, Utrecht, 1995
2. Vyalov, S.S., "Rheological Fundamentals of Soil Mechanics", Elsevier Science Publishing Company Inc., 1986
3. НОВАКОВИЧ, В.И., ВЕССТЫКОВОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПУТЬ С РЕЛЬСОВЫМИ ПЛЕТЯМИ НЕОГРАНИЧЕННОЙ ДЛИНЫ, ЛВОВ, ИЗДАТЕЛЬСТВО ПРИ ЛЬВОВСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ ИЗДАТЕЛЬСКОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ «ВИЩА ШКОЛА», 1984
4. VIA, C., ILLE, V., SOARE, M.V., Rezistența Materialelor și Teoria Elasticității, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983, pag. 537-541
5. PONOMARIOV, S.D. ȘI ALȚII, "Calculul de rezistență în construcția de mașini", vol. II, Editura Tehnică, București, 1963, pag. 814-948
6. Holtendorff, K., "UNTERSUCHUNG DES SETZUNGSVERHALTENS VON BAHNSCHOTTER UND DER HOHLLAGENENTWICKLUNG AUF SCHOTTERFAHRBAHNEN", Universitatea Tehnică din Berlin, 2003