

DETERMINAREA STĂRII DE TENSIUNI ȘI DEFORMĂȚII ÎN ASAMBLUL ROAT – ÎN

BADEA Elena, ISPAS Cristian, POPIN Cristinel, ZAINESCU Ionuț
Conducător științific: **Prof. dr. ing. Cristina Pupuș**

REZUMAT: Scopul proiectului este determinarea stării de tensiuni și deformații în ansamblul roat - în timpul deplasării unui tren de călători cu o viteză de 80 km/h. Temperatura mediului ambiant este de 22⁰ C. Roata este fabricată din același material ca și înelul. Coeficientul de frecare este de 0.15. Deformarea elastică permisă în suportul înelului este de 0.01 mm. Ecartamentul este de 1435 mm, iar distanța dintre traverse este de 600 mm.

CUVINTE CHEIE: înel, roata, analiza

1. INTRODUCERE

Alcătuirea suprastructurii căii ferate este bazată pe principiul tehnic al succesiunii unor elemente din ce în ce mai puțin rezistente (inel, traverse, prisma căii), suportând aproximativ aceleași sarcini (din materialul rulant), repartizate pe suprafețe din ce în ce mai mari, astfel încât presiunile reduse corespunzător să nu depășească rezistențele admise de materialele din elementele suprastructurii (oțel, lemn sau beton, piatră spart).

În ansamblul sau, suprastructura căii ferate preia și repartizează pe suprafețe mai mari sarcinile de la materialul rulant pe care le preda infrastructurii, în limita capacității portante a acesteia. De asemenea, suprastructura căii ferate preia și amortizează șocurile și vibrațiile ce se produc în timpul circulației.

2. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRIILOR ÎN DOMENIU

Cea mai documentată lucrare publicată [1] a fost principala sursă de documentare a acestei lucrări de cercetare. Cu toate că materialul conținut în acest tratat este extrem de valoros și complet, progresele realizate în domeniul programelor de analiză structurală cu elemente finite au permis în ultimii ani

abordări noi și din perspective interesante, care vor fi prezentate în continuare.

Analiza stării de tensiuni și deformații care au loc în ansamblul roat - în a fost investigată cu programele SOLIDWORKS și ANSYS Gaurav Saini în lucrarea [2]. Scopul a fost localizarea punctului de tensiune maxim. Studiul este interesant, dar rezultatele se bazează pe o discretizare care introduce posibile erori în analiză.

O altă problemă legată de transportul pe calea ferată o reprezintă uzura care generează costuri ridicate pentru întreținerea și funcționarea la parametri optimi [3]. Nivelul ridicat de uzură reprezintă și o sursă importantă de vibrații. Transmiterea vibrațiilor generate de mijloacele de transport prin infrastructura de căi ferate cladirilor din jur și poluarea fonică reprezintă unele dintre principalele dezavantaje ale acestui mijloc de transport. Lucrarea [3] prezintă o analiză a stării de tensiuni care are loc în ansamblul roat - în, studiul fiind conceput pe baza unui model de calcul cu elemente finite. Rezultatele numerice au fost apoi verificate cu măsurări tensometrice pe înelul de cale ferată, având în vedere diferite valori ale vitezei de rulare a roților. Cu toate că studiul este interesant, el se referă la transportul urban.

DETERMINAREA STĂRII DE TENSIUNI ȘI DEFORMĂȚII ÎN ANSAMBLUL ROATA-SINA

Un colectiv de autori [4] au elaborat un model de predicție a ciclului de viață pentru roțile de cale ferată, ținând seamă de solicitările la oboseală. Lucrarea conține o metodologie de analiză pentru deteriorarea generală datorată fenomenului de oboseală a componentelor mecanice, fiind orientată în special pe contactul dintre roată - în. Pentru analiza de tensiuni este utilizat un model elasto-plastic cu elemente finite 3-D, fiind folosit o tehnică de submodelare pentru eficientizarea calculului și îmbunătățirea preciziei. În final deteriorarea datorată stării de oboseală a roților este evaluată numeric folosind evoluția în timp a tensiunii pe durata unei rotații a roții. De asemenea, sunt analizate efectele diametrului roților, a încărcării verticale, a durității materialului și a modului cum oboseala materialului materialului influențează durata de viață a roților.

Scopul studiului [5] este tot de a evidenția starea de tensiuni și deformațiile care determină degradarea ansamblului roată - în. Modelul este analizat pentru trei cazuri de încărcare care sunt comparate. Metoda numerică aplicată în acest studiu este tot Metoda Elementelor Finite, care oferă rezultate detaliate pentru zonele în care nivelul de concentrare a tensiunilor, a deformațiilor și a deplasărilor este foarte ridicat. Rezultatele studiului [5] fac posibilă definirea unei strategii de întreținere. Mai mult, lucrarea pune în evidență durata de viață a roții, coeficientul de siguranță și consecințele deteriorării ansamblului.

În zilele noastre multe clădiri rezidențiale sunt construite în zone apropiate liniilor de cale ferată și de tramvai. Prin urmare, există o necesitate de a găsi o metodă care permită luarea în considerare în procesul de proiectare și de construcție a clădirilor a influențelor vibrațiilor cauzate de trecerea trenurilor și de tramvaie. Articolul [6]

prezintă analiza unei propagări a vibrațiilor exercitate prin deplasarea tramvaielor pe solul pe care este plasată construcția de clădiri rezidențiale cu mai multe etaje. Pentru a determina amplitudinea vibrațiilor a fost utilizată Metoda Elementelor Finite. Modelul FEM din [6] ia în considerare proprietățile mecanice eterogene variabile ale solului. Analiza utilizează, de asemenea, rezultatele măsurătorilor amplitudinii accelerației vibrațiilor. Metoda dezvoltată permite determinarea unei vibrații în sol, fără a necesita măsurători complexe. Metoda propusă în [6] poate fi aplicată cu succes în pregătirea documentației de proiect pentru construcțiile publice și reduce costurile analizei preliminare a influenței traficului asupra clădirilor.

Toate cercetările publicate pe acest subiect folosesc Metoda Elementelor Finite pentru a analiza din anumite puncte de vedere contactul dintre calea ferată și în.

3.ELEMENTE DE TEORIE REFERITOARE LA ANALIZA STATICĂ PRIN MEF

Programele de analiză structurală realizează simularea comportării modelelor prin Metoda Elementelor Finite (MEF).

Pentru calculul prin MEF, structura continuă se înlocuiește cu un model de calcul discontinuu, sau discret [7]. Discretizarea reprezintă aproximarea modelului geometric printr-o rețea cu un număr mare, dar finit de elemente cu o configurație geometrică simplă. Intersecția dintre elementele rețelei de discretizare formează noduri. Discretizarea trebuie să se facă cât mai bine pe geometria structurii și să o aproximeze cât mai exact. Elementele prin care se face aproximarea geometriei poartă numele de elemente finite.

Sistemul de ecuații diferențiale care se rezolvă în cazul analizei statice este:

$$\{F\} = [K]\{u\} \quad (1)$$

unde $\{F\}$ este vectorul forțelor exterioare care acționează în toate nodurile structurii și pe toate direcțiile, $[K]$ - matricea de rigiditate a întregii structuri, iar $\{u\}$ este vectorul deplasărilor în toate nodurile structurii. Matricea $[K]$ se numește matrice de rigiditate globală și se formează prin asamblarea matricelor de rigiditate elementare - se adună elementele care se referă la același nod și la același grad de libertate pe nod [7].

Matricea de rigiditate $[K]$ este entitatea fundamentală a calculului prin elemente finite. Ea este o matrice: simetrică - se poate lucra numai cu jumătatea superioară, bandă - elementele nenule se pot grupa în apropierea diagonalei principale, rar - conține un număr relativ mic de elemente nenule, singulară.

Metoda de rezolvare a sistemului de ecuații (1) este determinantă pentru performanțele programului de analiză structurală prin elemente finite. Din sistemul de ecuații (1) se calculează deplasările nodale $\{u\}$, pe baza cărora se stabilesc deformațiile specifice $\{\varepsilon\}$ (2) și tensiunile $\{\sigma\}$ (3). La fel ca și în cazul deplasărilor, ultimele două sisteme de ecuații se obțin prin generalizarea sistemului de ecuații care se referă la un element finit

$$\{v\} = [B] \cdot \{u\} \quad (2)$$

$$\{\tau\} = [D] \cdot \{v\} \quad (3)$$

Metoda frontului de undă

În ANSYS rezolvarea sistemului de ecuații (1) se face prin Metoda frontului de undă [2]. Prin *front de undă* se înțelege numărul de ecuații care sunt active la un moment dat

$$F_k = \sum_{j=1}^L k_j u_j \quad (4)$$

unde k - este numărul ecuației, j - coloana, iar L - numărul total de ecuații.

Timpul de rezolvare este proporțional cu pătratul valorii medii a frontului de undă. Fiecare nod care se rezolvă este eliminat din matrice prin metoda de eliminare Gauss. Matricea de rigiditate se expandează sau se contractă după prima, respectiv ultima apariție a unui nod pe un element.

Tensiunea echivalentă Von Mises τ_e se determină pe baza relației [8]:

$$\tau_e = \sqrt{\frac{1}{2}[(\tau_1 - \tau_2)^2 + (\tau_2 - \tau_3)^2 + (\tau_3 - \tau_1)^2]} \quad (5)$$

Tensiunea echivalentă și deformația von Mises se găsesc în relația:

$$\tau_e = 2Gv_e \quad (6)$$

Unde G reprezintă modulul de elasticitate transversal.

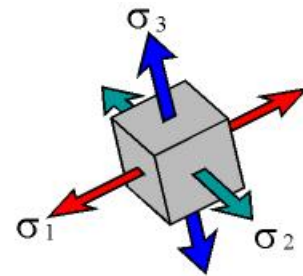


Fig. 1. Tensiuni principale [8]

Un volum de material infinitesimal într-un punct material sau în interiorul solidului poate fi rotit astfel încât să rămână numai tensiunile normale, iar cele tangențiale să fie 0. Tensiunile normale în acest caz se numesc tensiuni principale.

DETERMINAREA STĂRII DE TENSIUNI ȘI DEFORMĂȚII ÎN ANSAMBLUL ROATA-SINĂ

4. STUDIUL DE CAZ

4.1 Date tehnice inițiale

Diametrul roții: $\phi = 464 \text{ mm}$;

Viteza unghiulară: $\omega = 15.3 \text{ rot/s}$;

$$v = \omega \cdot R \quad (7)$$

$$v = 15,3 \cdot 0,464 = 7,09 \text{ m/s} \quad (8)$$

$$v = 7,09 \cdot 3,6 = 25,5 \text{ km/h} \quad (9)$$

Pentru un tren de c 1 tori rapid viteza considerat este de 80 km/h, iar $\omega \approx 50 \text{ rot/s}$.

$$F_{\max} = 159358,0625 \approx 1,5tf$$

Durata de viață estimat : 3,8 ani de funcționare.

Scheme de calcul considerate:

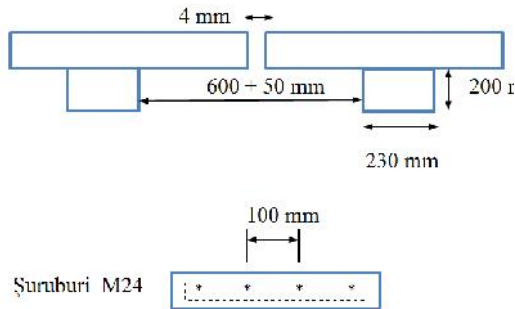


Fig.2. Joanta izolata

Rigiditatea fundației:

$$K_{R \text{ fundatie}} = 0,05039 \text{ N/mm}^2$$

4.2 Caracteristici de material

Materialul considerat este oțel cu următoarele caracteristici:

- Tensiunea limită maximă : $\sigma_{\max} = 8804 \text{ MPa}$
- Tensiunea de curgere: $\sigma_c = 540 \text{ MPa}$;
- Deformația specifică = $8.632 \cdot 10^{-4}$;
- Densitatea $\rho = 7.800 \text{ kg/m}^3$;

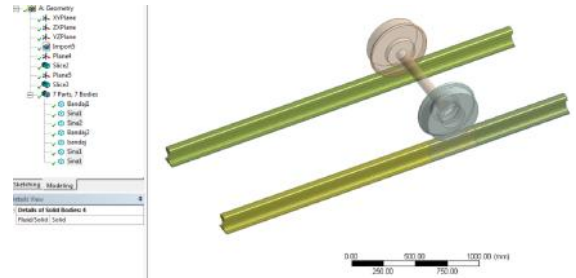


Fig. 3. Geometria importată din Autocad

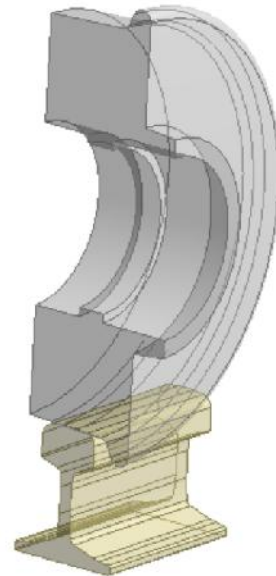


Fig. 4. Modelul de calcul

4.3 Rezultate MEF

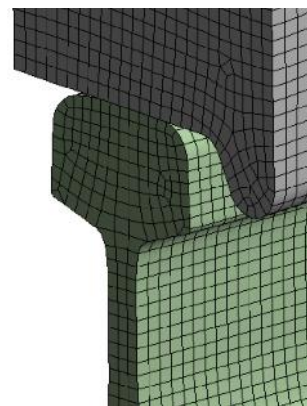


Fig. 5. Discretizarea - 307902 noduri, 80851 elemente

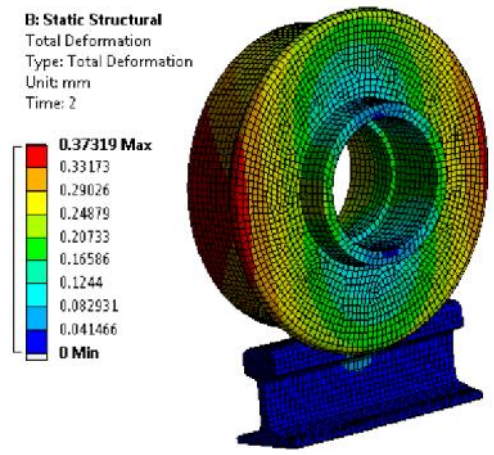
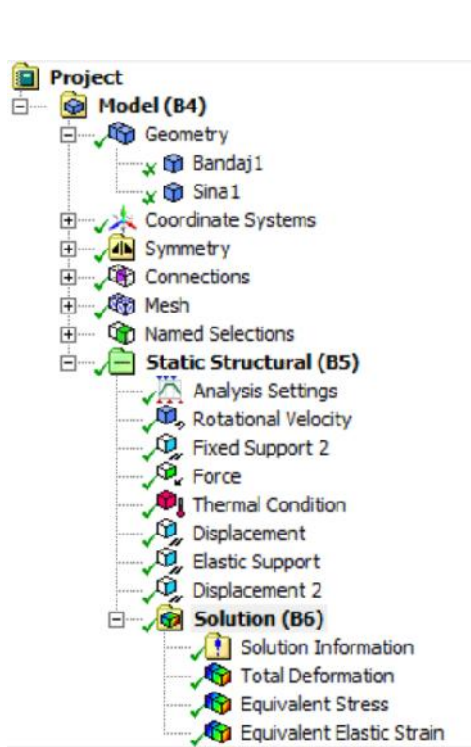


Fig. 7. Deplasari

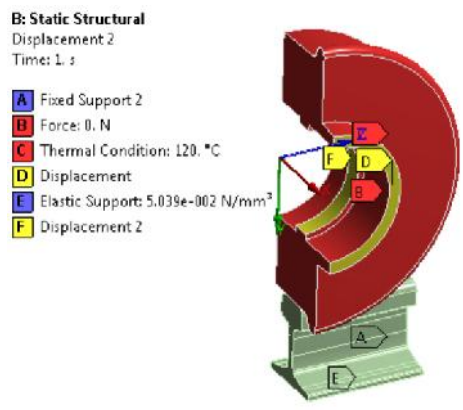


Fig. 6. Structura proiectului, nc rc ri i restricții

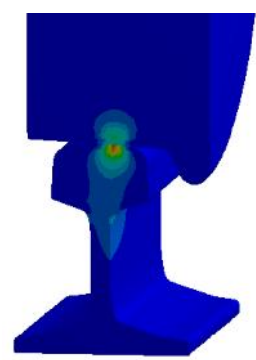
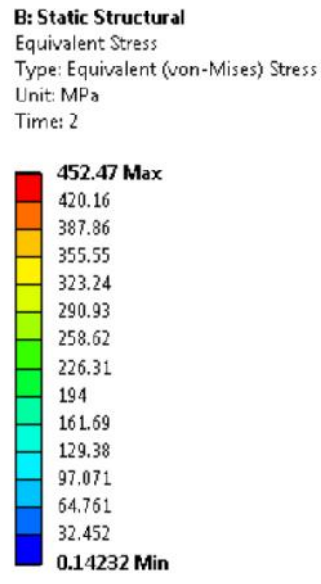


Fig. 8. Tensiuni echivalente

5. EFECTELE CONTACTULUI NECORESPUNZĂTOR ROATA-SINA



Fig. 9. Sina cu defect



Fig. 10. Roata cu defect

6. CONCLUZII

Studiul de caz a demonstrat o distribuție corectă a tensiunilor în zona de contact cale ferată - în , cu evidențierea clară a contactului Hertzian. Linia de contact înclinată față de verticală corespunde teoriei [1]. Valorile deplasărilor, tensiunilor și deformațiilor sunt comparabile cu cele cunoscute din tratatele de specialitate [1].

Cercetarea cuprinde animații și un portofoliu de imagini salvate pentru o prezentare în PowerPoint.

Lucrarea va fi continuată cu măsurări experimentale referitoare la autovibrațiile produse de contactul neuniform dintre în și calea de rulare. Simulările pot/vor fi

continuate cu un studiu în regim tranzitoriu, care va include informații de natură experimentală .

7. BIBLIOGRAFIE

[1] Esvelde Coenraad - Modern Railway Track, Second Edition, Delft, 2001

[2] Saini, G., Raj, T., Sharma, A. - Design and Contact Analysis of Rail Track using Solidworks and ANSYS, International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science, Volume No 03, Special Issue No. 01, April 2015, ISSN (online): 2348 – 7550

[3] Faur, N., Goia, I., Culea, L., Cernescu, A., Negru, R. - Stress-Strain Analysis for the Wheel-Railtrack Assembly at Urban Passenger Train, 5th Conference on Structural Integrity of Welded Structures (ISCS2007), Timișoara, Romania, Nov 2007, <http://www.ndt.net/search/docs.php3?MainSource=56>

[4] Liu, Y., Stratman, B., Mahadevan, S. - Fatigue Crack Initiation Life Prediction of Railroad Wheels, International Journal of Fatigue, Volume 28, Issue 7, July 2006, p. 747-756

[5] Roundi, W., El Gharad, A. - Fatigue Behavior And Damage Modeling Of Train Wheels In Different Cases Of Loading, International Journal of Scientific & Technology Research, Volume 3, Issue 7, July 2014, ISSN 2277-8616, p. 296-301

[6] Bednarczyk, J., Targosz, J. – Finite Elements Method in Analysis of Propagation of Vibration Wave in Soil, Journal of KONES, Institute of Aviation, Vol. 8, No. 3, 2011, p.19-25

[7] Pupaș, C., Părpălău, R.C. - Modelare și analiză structurală cu ANSYS Workbench, Editura Politehnică Press, București, 2011

[8] ANSYS Workbench - User's Manual, ANSYS Inc, 2016