

PROIECTAREA ȘI SIMULAREA UNUI ECHIPAMENT LINIAR MULTITEST

Ing. Tibor-Botond ZÁTYI¹, Prof. univ. dr. ing. Mariana Domnica STANCIU¹,
Prof. univ. dr. ing. Călin ITU¹

¹ Facultatea de Inginerie Mecanică, Universitatea „Transilvania” din Brașov

REZUMAT. Scopul lucrării a fost proiectarea unui dispozitiv care permite testarea îmbătrânirii artificiale a asfaltului și simularea comportării acestuia în diferite condiții de sollicitare. Modelul tridimensional al dispozitivului a fost realizat în programul de proiectare Autodesk Inventor 3D și respectă proporțional condițiile de încărcare prevăzute în literatura de specialitate. Ansamblul proiectat poate fi împărțit în două părți principale: prima parte este structura care asigură încărcarea, care include greutatea și elementele care le susțin, precum și elementele care se deplasează pe pista de testare. A doua parte este responsabilă de deplasarea ansamblului și include un motor electric trifazat, un reductor de viteză și elementele de ghidare. În cadrul analizei statice cu softul SimCenter12, a fost simulat comportamentul elementelor structurale pentru diferite mărimi ale elementelor finite, utilizând două metode de încărcare. Noutatea analizelor structurale a constat în abordarea problemei inverse de sollicitare a structurii de rezistență din cadrul instalației, și anume simularea unei sarcini provenite din denivelările structurii rutiere și analiza efectului asupra stărilor de tensiuni și deformații ale structurii.

Cuvinte cheie: echipament liniar multitest, analiza structurală, metoda elementelor finite.

ABSTRACT. The aim of the paper was to design a device that allows testing the artificial aging of asphalt and simulating its behavior under different loading conditions. The three-dimensional model of the device was made in the Autodesk Inventor 3D design program and proportionally respects the loading conditions provided in the specialized literature. The designed assembly can be divided into two main parts: the first part is the structure that provides the load, which includes the weights and the elements that support them, as well as the elements that move on the test track. The second part is responsible for moving the assembly and includes a three-phase electric motor, a speed reducer and the guide elements. In the static analysis with the SimCenter12 software, the behavior of the structural elements was simulated for different finite element sizes, using two loading methods. The novelty of the structural analyzes consisted in approaching the inverse problem of loading structure within the equipment, namely the simulation of a load originating from the unevenness of the road structure and the analysis of the effect on the stress and deformation states of the structure.

Keywords: linear multitest equipment, structural analysis, finite element method.

1. INTRODUCERE PRIVIND ISTORIA MOTOCICLETELOR

Numeroase studii privind costurile globale alocate întreținerii și reparațiilor infrastructurii rutiere, periodicitatea acestora și perturbațiile care apar pe segmentul de trafic afectat de lucrări, constituie provocări ale timpurilor actuale. Astfel, alegerea unei structuri asfaltice adecvată precum și mentenanța proactivă se dovedește a fi un concept util și necesar în programarea intervențiilor și cash flow-ului agențiilor de transport, capabile să prelungească durata de viață a drumurilor. Acest obiectiv nu poate fi atins decât pe baza unor analize de sensibilitate a modelelor mecanice capabile să captureze răspunsul mecanic al diferitelor materiale folosite pentru a construi structura drumului, în concordanță cu o serie de mărimi determinate experimental. Metodele teoretice, cele de calcul cu element finit s-au dovedit, de-a lungul timpului, că introduc ipoteze simplificatoare ce nu

descriu în totalitate comportamentul neliniar al structurilor rutiere rigide [1].

Combinarea relațiilor de dimensionare teoretice cu rezultatele experimentale au dus la dezvoltarea unor metode semiempirice care prezintă avantajul estimării duratei de viață a structurii rutiere pe baza performanțelor obținute în practică [2; 3]. Cercetătorii [4; 5] au evidențiat principalele etape ale metodelor mecanicist-empirice, iar datele de intrare fac posibilă personalizarea fiecărui caz în parte în funcție de condițiile climatice, condițiile solului, alcătuirea structurii rutiere, încărcările din trafic [6]. Astfel, în literatura pot fi identificate studii comparative privind aplicarea acestor metode, din punct de vedere geografic, topografic [7;8], sau din punct de vedere al optimizării prin recalibrarea modelelor obținute [9; 10; 11].

În Europa există diferite tipuri de stații experimentale pentru testarea structurilor rutiere. Scopul lucrării a fost proiectarea și analiza structurală unui dispozitiv care permite testarea îmbătrânirii artificiale a asfaltului. Stația

pilot proiectată are ca utilitate studiul stărilor de tensiuni și deformații ale structurilor rutiere produse de sarcinile exterioare, viteza de deformare a acestora, testarea diferitelor tipuri de structuri rutiere.

2. PROIECTAREA ANSAMBLULUI

Dispozitivul proiectat pentru îmbătrânirea asfaltului seamănă în mare măsură, din punct de vedere formal și funcțional, cu dispozitivele liniare disponibile pe piață, însă, având în vedere eficiența costurilor, în locul încărcării hidraulice a asfaltului, sarcina de 45kN este asigurată de elemente de beton, așa cum se observă în Figura 2.1.

În funcție de principiul de funcționare al echipamentelor disponibile pe piață, echipamentul de testare a asfaltului proiectat efectuează o mișcare înainte și înapoi pe o bandă de asfalt lungă de 10 m și lățime de 2.5 m în timpul unei încărcări de 45 kN a roții unui camion.

Încărcarea echipamentului este asigurată de 10 elemente din beton, care sunt plasate într-un coș de susținere, care asigură poziția lor constantă în timpul solicitării. Masa este transferată la roată prin două suporturi care susțin partea de jos a coșului de suport. Întreaga încărcare este transferată la două puncte ale axei roții, astfel încât mișcarea roților să fie lină, asigurată de doi rulmenți radiali. Pentru a se asigura că echipamentul se deplasează întotdeauna pe aceeași bandă de asfalt, echipamentul este ghidat de două șine profilate în formă de profil "I", pe care se deplasează role. Rolele vin în contact cu șinele din partea

superioară și inferioară pentru a ghida corect echipamentul. Dispozitivul de testare a asfaltului este alimentat de un motor electric trifazat și de o reducere de viteză. Pentru a se deplasa în aceeași șanț de roată înainte și înapoi, motorul electric trebuie să tragă continuu un cablu de oțel prin structura dispozitivului. Capetele cablului de oțel sunt conectate la cele două părți ale dispozitivului. Odată ce motorul se rotește într-o direcție, trage dispozitivul în direcția sa, apoi, prin schimbarea direcției de rotație, motorul trage dispozitivul în cealaltă direcție. Schimbarea direcției de rotație a motorului și translația a echipamentului este realizată printr-un convertizor de frecvență care este conectat la contactele montate pe șine. Când rola de ghidare a dispozitivului ajunge la contactorul montat pe șina de testare, acesta trimite un semnal convertizorului de frecvență pentru a inversa direcția de rotație a arborelui motorului. Dispozitivul este ghidat prin două șine prinse pe laterale, iar cablul de oțel, montat pe două discuri, este utilizat pentru a muta dispozitivul înainte și înapoi pe suprafața de testare. Cablul de oțel este fixat în partea de jos a structurii dispozitivului pentru a reduce amplitudinea oscilațiilor la schimbarea direcției de rotație. Cele patru amortizoare reduc orice vibrație reziduală. Din punct de vedere constructiv dispozitivul de testare a asfaltului este alcătuit din două componente, una dinamică și una electrică. Componenta dinamică este la rândul ei formată din două subansamble: unul activ, ce transmite sarcina prin solicitare ciclică și unul motor ce asigură mișcarea liniară prin cele 2 bușii de accelerare-decelerare.

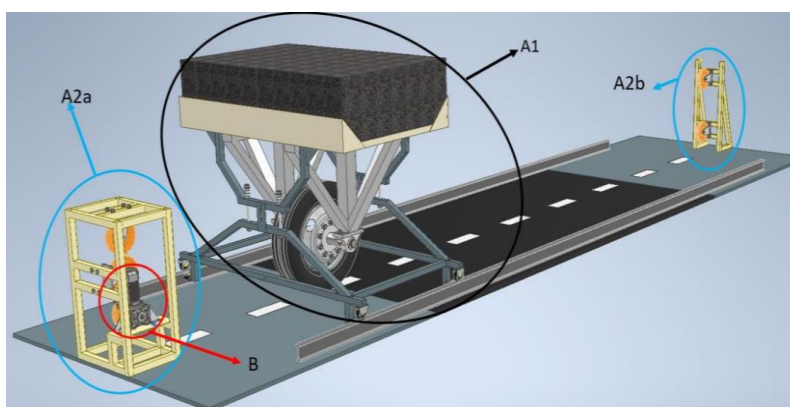


Fig. 2.1. Modelul 3D al echipamentului proiectat:
A1 - componenta mecanică; A2a – componenta mecanică 1; A2b – componenta mecanică 2;
B – componenta electrică.

3. ANALIZA STATICĂ STRUCTURALĂ

3.1. Pregătirea modelului

Pe baza funcționării și încărcării echipamentului de testare a asfaltului, în scopul modelării cu elemente

finite, a fost selectat detaliul de ansamblu, care este prezentat în Figura 3.1.

Selecția a fost realizată având în vedere componentele supuse celor mai mari solicitări, inclusiv coșul care susține greutatea, cele două elemente de fixare ale coșului și axului. Elementele ansamblului sunt fabricate din profile închise de formă pătrată, cu

PROIECTAREA ȘI SIMULAREA UNUI ECHIPAMENT LINIAR MULTITEST

dimensiunile de $50 \times 50 \times 5 \text{ mm}^3$ și $120 \times 60 \times 5 \text{ mm}^3$, așa cum sunt prezentate detaliat în capitolul 2.

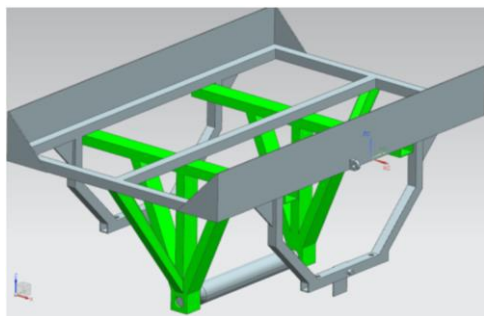


Fig. 3.1. Ansamblul cărucior de susținere a sarcinii..

Diametrul capetelor axului este de 57.15 mm, corespunzător diametrului bușei de rulment utilizat. Elementele ansamblajului sunt fabricate din două materiale diferite: oțelul structural S235JR utilizat pe scară largă în construcția structurilor de mașini și oțelul tip EN 1.0050, care datorită proprietăților mecanice bune rezistă la încărcări mari, utilizat pentru axul echipamentului.

În Tabelul 3.1 sunt prezentate principalele proprietăți fizice și mecanice ale acestor materiale.

Tabelul 3.1. Proprietățile mecanice ale materialelor utilizate în analiza FEA

Material	EN 1.0050	S235 JR
Modulul de elasticitate longitudinală	190 GPa	210 GPa
Coefficientul lui Poisson	0.29	0.3
Modulul de elasticitate la forfecare	73 GPa	81 GPa
Densitate	7.9 g/cm ³	7.85 g/cm ³
Rezistență la rupere	280 MPa	185 – 235 MPa
Rezistență la tracțiune	450-610 MPa	360-510 MPa

3.2. Sarcini aplicate

Deformarea statică și încovoierea elementelor ansamblajului au fost simulate în timp ce elementele structurii au fost supuse unei forțe de 45 kN. În timpul simulării, deformațiile elementelor structurale pot fi observate în raport cu magnitudinea încărcării. Analiza statică liniară cuprinde două scenarii:

a) Primul caz: Pe mijlocul axului ansamblului se aplică o constrângere pe toate cele 3 direcții (rotire și translație), care reprezintă roata. În plus, greutatea blocurilor de beton este înlocuită cu un sistem de sarcină distribuite uniform de 45 kN (0.082 N/mm^2). Studiul de caz este prezentat în Figura 3.2a.

b) Al doilea caz: Pe mijlocul axului de susținere al ansamblajului acționează o sarcină uniform distribuit pe suprafața de contact dintre roată și butuc cu valoare de 45 kN (0.81 N/mm^2), care simbolizează încărcarea

cauzată de elementele de beton. În plus, o condiție de fixare este aplicată în punctele de contact ale elementelor de beton, în zona coșului care susține greutatea. Studiul de caz este prezentat în Figura 3.2b. Analiza FEA s-a realizat cu programul SIMCENTER 12 (versiunea student).

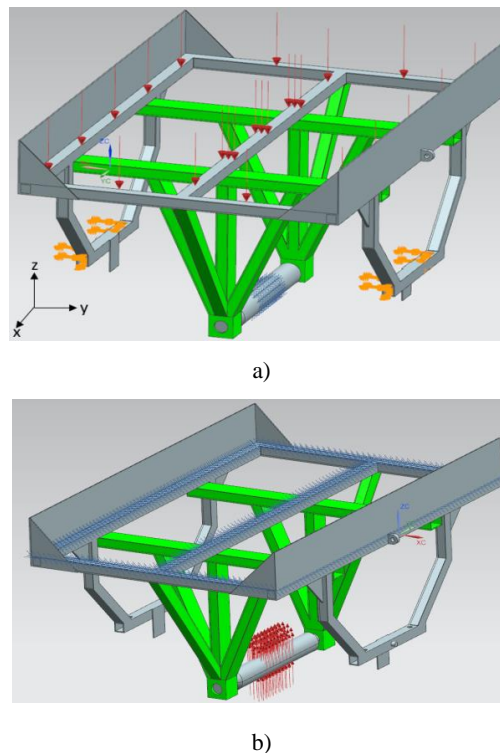


Fig. 3.2. Cazurile analizei statice:
a) cazul I - sarcina generată de încărcarea pe roată (gavitațional);
b) cazul II - sarcina generată de contactul dintre roata și asfalt.

3.3. Discretizarea modelului

Elementele ansamblului studiat au fost discretizate cu o rețea elemente finite tridimensionale de tip Tetraedric, de două tipuri: CTETRA(4) și CTETRA(10), în timp ce dimensiunea elementelor a fost redusă. În studiul prezent, au fost analizate 10 cazuri diferite ca tip de element și mărime (Tabelul 3.2).

Tabelul 3.2. Modificarea tipul meșhului și a dimensiunii elementului

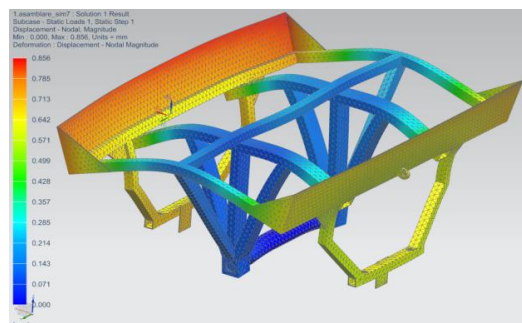
Nr. crt.	Tipul meșhului	Dimensiunea elementelor [mm]
1	CTETRA(4)	30
2		20
3		15
4		10
5		7.5
6	CTETRA(10)	30
7		20
8		15
9		10
10		7.5

Scopul experimentului a fost de a determina modificările în flexibilitate și deformare în funcție de îmbunătățire a calității rețelei. Evaluarea elementelor componente ale structurii a fost efectuată conform Tabelului 3.2.

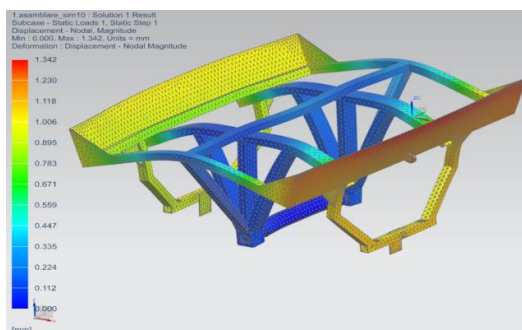
3.4. Rezultate și discuții – varianta în care sarcina este generată de încărcarea pe roată (gavitațional)

În Figura 3.4. sunt prezentate comparativ rezultatele analizei structurale în cazul discretizării modelului cu cele două tipuri de elemente finite, cu mărimea de 30 mm. Se poate observa că distribuția deplasărilor este similară, însă magnitudinea diferă, fiind obținute valori mai mari cu 50% în cazul discretizării cu elemente tip CTETRA(10). Astfel, în urma varierii mărimii elementelor finite pentru fiecare din cele două tipuri, s-a constatat că valorile deplasărilor maxime scad cu creșterea mărimii elementelor finite. Astfel, pentru o rețea de 3 ori mai fină, valorile deplasărilor au crescut cu aproximativ 36.2% (Fig. 3.4). Cele mai mari valori ale deplasărilor se înregistrează pe direcția de aplicare a forței.

Pentru încărcarea aplicată, valorile tensiunilor obținute în simulare sunt sub valorile rezistenței oțelului introdus ca material în preprocesare, acestea înregistrând valori de aproximativ 3 ori mai mici (Fig. 3.5).



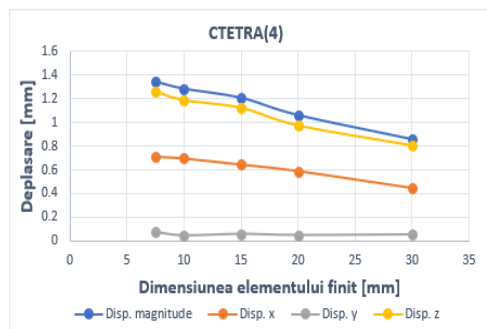
a)



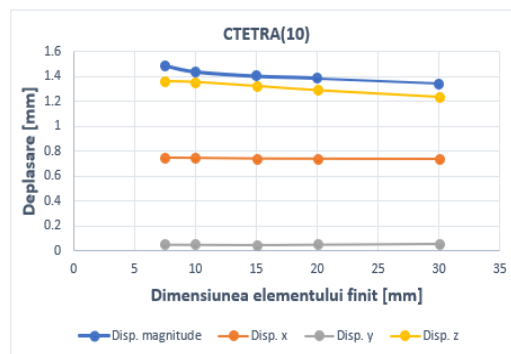
b)

Fig. 3.3. Variația deplasării totale pentru cazul I de aplicare a sarcinii:

a) modelul discretizat cu CTETRA(4) ; b) modelul discretizat cu CTETRA(10).



a)



b)

Fig. 3.4. Variația deplasărilor în funcție de mărimea elementelor finite (cazul I de încărcare): a) modelul discretizat cu CTETRA(4); b) modelul discretizat cu CTETRA(10).

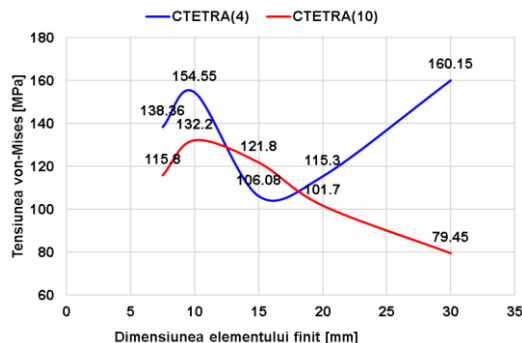


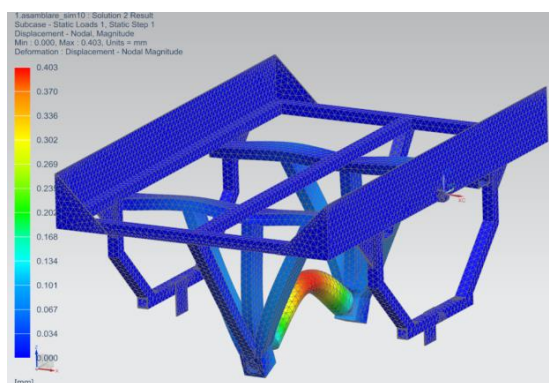
Fig. 3.4. Variația tensiunilor normale echivalente, cu mărimea elementelor finite pentru cazul I.

Se observă că există diferențe notabile între cele două cazuri de discretizare cu elemente finite: în cazul CTETRA(4), începând cu mărimea de 15 mm a elementelor, tensiunile crește cu 50% comparativ cu cazul CTETRA(10), unde acestea scad cu aproximativ 11% (Fig. 3.5).

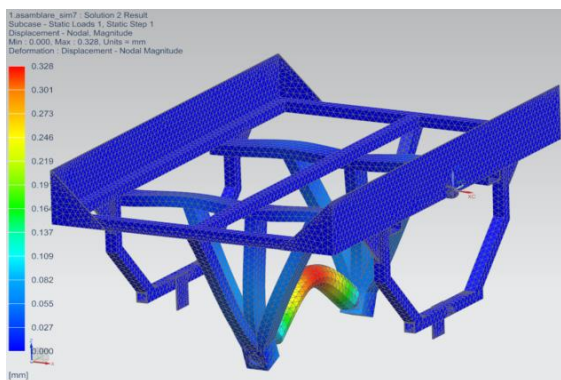
3.5. Rezultate și discuții – varianta în care sarcina este generată de contactul dintre roata și asfalt

În cadrul celui de-al doilea studiu de caz, au fost simulată structura de susținere a dispozitivului

de testare a asfaltului sub sarcină, scopul simulării fiind de a analiza situația în care roata dispozitivului de testare a asfaltului se confruntă cu șocuri din cauza denivelărilor stratului de asfalt parcurs (Fig. 3.2,b). În mod similar primului caz, au fost analizate stările de tensiune și câmpul de distribuție al deplasărilor pentru diferite mărimi ale elementelor finite așa cum sunt definite în Tabelul 3.2. În Fig. 3.5 sunt prezentate distribuțiile deplasărilor pentru cazul II de aplicare a sarcinilor, acestea având valori maxime pe porțiunea axei care se conectează cu suprafața interioară a butucului roții.



a)



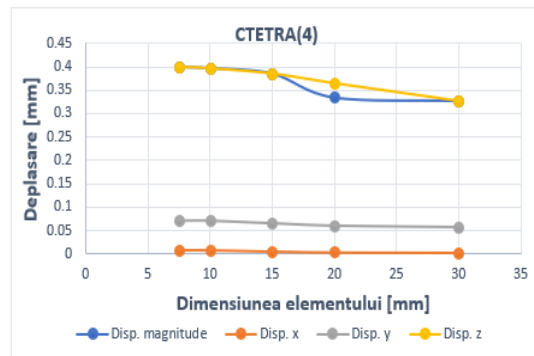
b)

Fig. 3.6. Variația deplasării totale pentru cazul II de aplicare a sarcinii: a) modelul discretizat cu CTETRA(4) ; b) modelul discretizat cu CTETRA(10).

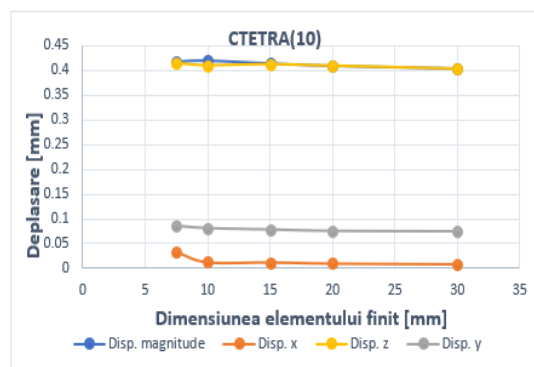
Odată cu creșterea dimensiunilor elementelor, valoarea deplasării scade. Valoarea maximă a deplasării este întâlnită la o dimensiune de 7,5 mm. În cazul CTETRA(4), se observă deplasări cu 18,7% mai mici în comparație cu utilizarea aceleiași dimensiuni de element ca și în cazul CTETRA(10). În ambele cazuri deplasarea maximă pe axa Z este aproape egală cu deplasarea maximă generală, din care se poate deduce că elementele echipamentului se deplasează doar în direcția verticală.

Analiza comparativă a valorilor tensiunilor normale echivalente pentru cazurile analizate au evidențiat că odată cu creșterea dimensiunii elementului, valorile

tensiunilor generate în elementele finite scad proporțional, iar sistemul de rețea CTETRA(10) furnizează valori mai mici cu 10,5% decât sistemul de rețea de tip CTETRA(4), deoarece numărul de noduri pe element este mai mare, permițând astfel sistemului să efectueze calcule mai precise (Fig. 3.8).



a)



b)

Fig. 3.7. Variația deplasărilor în funcție de mărimea elementelor finite (cazul II de încărcare): a) modelul discretizat cu CTETRA(4); b) modelul discretizat cu CTETRA(10).

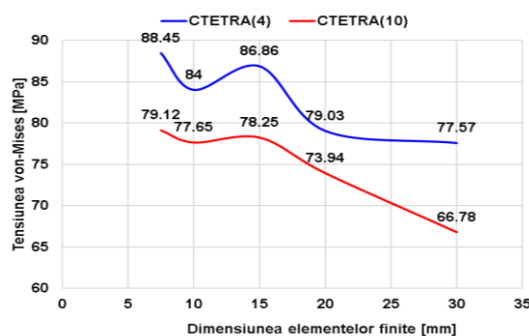


Fig. 3.8. Variația tensiunilor normale echivalente, cu mărimea elementelor finite pentru cazul II.

CONCLUZII

Studiul a urmărit analiza a două cazuri de solicitare a structurii de rezistență aplicând metoda elementelor finite – analiza structurală. Analiza s-a realizat cu

softul Simcenter 12. Noutatea analizelor structurale a constat în abordarea problemei inverse de solicitare a structurii de rezistență din cadrul instalației, și anume simularea unei sarcini provenite din denivelările structurii rutiere și analiza efectului asupra stărilor de tensiuni și deformații ale structurii. Din această simulări a rezultat că structura analizată în al doilea caz a avut aceeași variație a tensiunilor cu creșterea mărimii elementelor finite atât pentru CTETRA(4) și cu CTETRA(10).

MULȚUMIRI

Analiza cu elemente finite s-a realizat cu software-ul SIMCENTER 12, pus la dispoziție de către Siemens Industry Software Romania, Brașov, Nine, Bulevardul Gării 13A, Brașov 500227, Romania, în cadrul masteratului Simlare și Testare în Inginerie Mecanică.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Plescan C., Plescan E, Stanciu M.D., Botis M.F., Taus D, Sensitivity Analysis of Rigid Pavement Design Based on Semi-Empirical Methods: Romanian Case Study, *SYMMETRY-BASEL*, 2021, 13(2), 168,
- [2] Timm, D., Birgisson, B., Newcomb, D. Development of mechanistic-empirical pavement design in Minnesota, *Transportation Research Record* No 1626. Washington D.C., 1998.
- [3] Yu Thomas H., *Updates on Mechanistic Empirical Pavement Design Guide* (MEPDG), 2006 .
- [4] Ameri, M., Khavandi A., Development of Mechanistic-Empirical Pavement Design in Iran, *Journal of Applied Sciences* 9(2):354-359, 2009.
- [5] Bordelorn, J., Roesler, A., Mechanistic-Empirical design concept for jointed plain concrete pavements in Illinois, *Research Report* ICT-09-052, University of Illinois at Urbana-Champaign, 2005.
- [6] Li, Q., Xiao, D., Wang, K.C.P., Hall, K. & Qiu, Y. Mechanistic-empirical pavement design guide (MEPDG): a bird's eye view. *Journal of Modern Transportation* (J. Mod. Transport) (2011) 19: 114. <https://doi.org/10.1007/BF03325749>
- [7] Gaspar, L., Veeraragavan, A., Bako, A. Comparison of road pavement performance modeling of India and Hungary, *Acta Technica Jaurinensis* 2(1):35-55, 2009.
- [8] Plescan, E.L., Plescan, C., Implementation of Mechanistic-Empirical pavement design guide ME-PDG in Romania, *Bulletin of the Transilvania University of Brașov*, 7(56):323-328, 2014.
- [9] Haider, S. W., N. Buch, W. Brink, K. Chatti, and G. Baladi, "Preparation for Implementation of the Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide in Michigan Part 3: Local Calibration and Validation of the Pavement - ME Performance Models Final Report," 2014
- [10] Zhong, J., *Rigid pavement: Ontario Calibration of Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide Prediction Models*, PhD Thesis 2017, Waterloo, Ontario, Canada.
- [11] Zătyi, T.B. *Proiectarea și simularea unui echipament liniar multitest* – lucrare de disertație, Universitatea „Transilvania” din Brașov, 2023.

Despre autori

Ing. Tibor-Botond ZÁTYI

Universitatea „Transilvania” din Brașov

Absolvent în 2023 a Universității „Transilvania” din Brașov, Facultatea de Inginerie Mecanică, programul de master– Simulare și Testare în Inginerie Mecanică: Proiectarea și simularea unui echipament liniar mul-titest.

Prof. hab. dr. ing. Mariana Domnica STANCIU

Universitatea „Transilvania” din Brașov

Cadru didactic la Facultatea de Inginerie Mecanică a Universității „Transilvania” din Brașov, doctor în domeniul ingineriei mecanice din 2009, membru AGIR din 2006, membru al SRR; membru al SRMTA; membru al EAA; Membru SIAR., mariana.stanciu@unitbv.ro. Domenii de cercetare: mecanica, dinamica și reologia lemnului și a materialelor compozite lignocelulozice, rezistența materialelor. Director de proiect la 4 contracte de cercetare de tip: TD 2009, BG2016, PED2020, PCE2022.

Prof. hab. dr. ing. Călin ITU

Universitatea „Transilvania” din Brașov

Cadru didactic la Facultatea de Inginerie Mecanică a Universității „Transilvania” din Brașov, Doctor în domeniul ingineriei mecanice , calinitu@unitbv.ro. Domenii de cercetare: rezistența materialelor, sistemele multi-corp, vibrațiile sistemelor mecanice, structuri și materiale compozite, metoda elementului finit.