

STUDIUL PRIVIND ANALIZA ELEMENTELOR FINITE ÎN CAZUL PROTOTIPULUI BRANȚ-TALPĂ

Dr. ing. Mariana COSTEA, Dr. ing. Aura MIHAI

Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași,
Facultatea de Textile Pielărie și Management Industrial

REZUMAT. Metoda elementelor finite este des utilizată pentru studierea modului de comportare a unui produs în condiții de solicitare mecanică sau solicitare termică. În cadrul prezentului studiu au fost create modele 3D cu elemente finite pentru un branț și o talpă individualizată și apoi, pe baza acestor modele, au fost efectuate analize asupra modului de deformare și distribuire a câmpului de eforturi pe suprafața acestora, în diferite condiții de utilizare. A fost analizat un model de talpă și au fost determinate eforturile rezultante de tip von Mises. Scopul principal a fost cel de a determina eficiența componentelor inferioare a încălțăminteii în funcție de materialele din care sunt realizate.

Cuvinte cheie: picior, prototip, branț, talpă.

ABSTRACT. The finite element method is widely used to study the behavior of a product under mechanical stress or thermal stress conditions. In the present study, there were created 3D models with finite elements for a shoe insole and a shoe sole, based on these models, analyzes were made in order to obtain the distribution of strain and effort on their surfaces, in different conditions of use. The shoe sole base model was analyzed and Von Mises equivalent stress was determined. The goal was to determine the effectiveness for the bottom part of footwear, for certain materials.

Keywords: foot, prototype, insole and sole materials.

1. INTRODUCERE

Metodele de analiză în element finit (Finite Element Analysis-FEA) oferă multiple soluții de simulare în diferite domenii de aplicații [1]. Analiza în element finit (FEA) poate fi un instrument foarte puternic în studiile de biomecanica piciorului, precum și pentru optimizarea formei calapodului și a produsului de încălțăminte. Modul complex de comportare a încălțăminteii la solicitările mecanice care apar în timpul mersului, precum și necesitatea obținerii unor rezultate care să fie apoi validate experimental, implică o modelare adecvată a formei tridimensionale a acestora și a structurilor de materiale ce intră în componența ei [2].

2. PRORIEȚĂȚILE MATERIALELOR

Pentru realizarea modelului au fost utilizate elemente finite de tip « plate ». S-a adoptat ipoteza conform căreia materialele au comportament elasto-plastic, isotropic și omogen. Pentru acest studiu au fost selectate următoarele categorii de materiale: EVA (etilen-vinil acetat), PVC (policlorură de vinil) și PU (poliuretanic).

Materialele de tip EVA pot fi folosite la realizarea tălpilor, a branțurilor și a tălpilor intermediare.

Proprietățile de atenuare a șocurilor depind în mare parte de densitatea acestora. Deformarea la solicitarea de comprimare a spumei EVA folosită la realizarea componentelor ansamblului inferior al încălțăminteii la comprimare respectă o lege de variație liniară, iar din studiile efectuate de Tsuyoshi Nishiwaki, Junichiro Tateishi în 2011, se demonstrează că odată cu creșterea densității, scade efortul de deformare. Conform acestor cercetări, o densitate medie a dus la amortizarea cea mai bună a șocurilor, fiind astfel recomandată la realizarea branțurilor de încălțăminte [3].

După Aoife Healy 2011, presiunile se reduc la nivelul călcâiului interior și exterior la utilizarea componentelor ansamblului inferior pe bază de PU densitate medie, EVA densitate medie și EVA densitate mică. De asemenea, ei au stabilit că în zona metatarsienelor, presiunile sunt reduse la folosirea PU, dar cresc la utilizarea EVA de densitate medie, motiv pentru care recomandă la realizarea branțurilor folosirea PU de densitate medie [4].

Cercetările realizate de Karoline Brueckner, 2011, au condus la rezultate ce demonstrează că tălpile intermediare din PU nu prezintă schimbări ca urmare a procesului de îmbătrânire, au o durabilitate și o rezistență mai mare, iar în cazul celor din EVA s-a înregistrat o rigidizare accentuată a acestora după o anumită perioadă de utilizare [5].

STUDIUL PRIVIND ANALIZA ELEMENTELOR FINITE ÎN CAZUL PROTOTIPULUI BRANȚ-TALPĂ

Grosimea materialelor influențează comportarea acestora la diferite solicitări mecanice, astfel folosirea branțurilor cu o grosime de cel puțin 5 mm conduce la reducerea presiunilor sub capetele metatarsienelor [6].

Un alt material recomandat de literatura de specialitate pentru realizarea ansamblului inferior al încălțămintei este PVC-ul moale cu densitate medie [7].

Noutatea adusă de cercetările de față constă în combinarea materialelor în obținerea modelului branț-talpă și urmărirea influenței pe care o are variația grosimii branțului. În baza datelor din literatura de specialitate s-au selectat următoarele grupuri de materiale și proprietățile acestora:

Tabelul 1. Caracteristici ale materialelor [8, 9]

Caracteristici/ Materiale	EVA densitate redușă	EVA densitate medie	PVC moale	PU flexibil
Densitate (g/cm ³)	0,923	0,941	1,245	1,250
Modulul lui Young (MPa)	11	60	20 - 50	60
Coefficientul Poisson	0,49	0,49	0,40	0,40
Tensile Yield Strength (MPa)	2,5	7,31	20	-
Tensile Ultimate Strength (MPa)	1,9	12,5	15,8	20 - 30

3. ANALIZA ANSAMBLULUI BRANȚ-TALPĂ

Formele 3D pentru branț și talpă au fost construite utilizând aplicații software DELCAM, respectiv Crispin ShoeDesing și PowerShape [10, 11]. Aceste forme au fost exportate și analizate cu ajutorul aplicației ANSYS [12].

Pentru a pregăti aceste modele și a le transforma în modele specifice analizei prin metoda FEA trebuie adăugate informații privind unitățile de măsură, proprietățile fizico-mecanice, tipurile de element finit utilizate

Pentru interpretarea desenului de tip CAD și transformarea acestuia, se parcurge o primă etapă de transformare a formatului utilizând interfața soft-ului ANSYS. Principala problemă constă în faptul că la ora actuală, în acest domeniu, nu s-a ajuns la o uniformitate privind formatele fișierelor utilizate de programele CAD. Există mai multe tipuri de formate și nu toate pot fi recunoscute de către interfața unui alt program, în cazul de față ANSYS. Datorită varietății formatelor (extensiilor), această operație de transformare/interpretare poate eșua, fiind necesare de multe ori transformări succesive cu ajutorul așa numitelor softuri tip „exchange” (de exemplu, Power Shape Exchange Delcam). De asemenea, foarte important în recunoașterea acestor fișiere este și modul

de creare a solidelor, de acoperire a golurilor și de verificare a mesh-urilor.

Pentru a putea fi analizat modelul talpă-branț, între cele două componente trebuie stabilite puncte de conexiune [13], de tangentă, fig. 3.1.

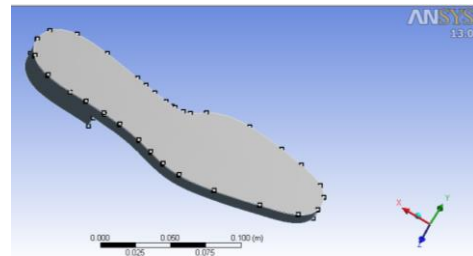


Fig. 3.1. Stabilirea conexiunilor între branț și talpă.

Fiind o analiză în statică, întreaga greutate a corpului se repartizează în mod egal pe cele două picioare și pentru că în capitolul 3, la analiza statistică din punct de vedere antropometric, nu au rezultat diferențe considerabile între stângul și dreptul, analiza elementului finit se va face pentru un singur picior [14]. Forța de încărcare este calculată cu relația 7.1:

$$G = m * g \quad (3.1)$$

unde: G este forța de greutate; m – masa corpului (în cazul acestui studiu, masa subiectului este de 50 kg); g – accelerația gravitațională, 9.81 m/s².

4. REZULTATE

Modelul supus analizei elementului finit este format dintr-o talpă monolit cu grosimea de 10 mm și înălțimea tocului de 20 mm și un branț a cărui grosime a fost variată la 1, 3, 5 și respectiv 7 mm.

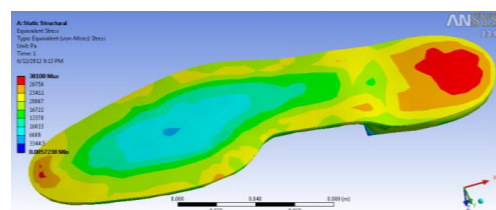


Fig. 4.1. Câmpul eforturilor echivalente Von Mises pentru varianta experimentală branț EVA densitate redusă+ talpă EVA densitate medie, branț grosime 1 mm.

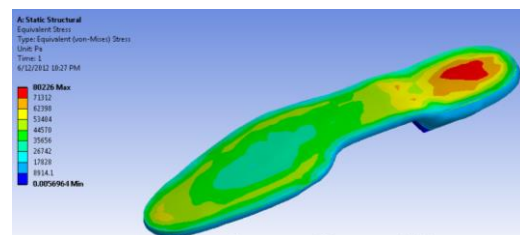


Fig. 4.2. Câmpul eforturilor echivalente Von Mises pentru varianta experimentală branț EVA densitate medie + talpă PU flexibil, branț grosime 1 mm.

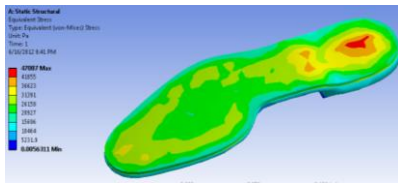


Fig. 4.3. Câmpul eforturilor echivalente Von Mises pentru varianta experimentală branț PVC moale + talpă PU flexibil, branț grosime 3 mm.

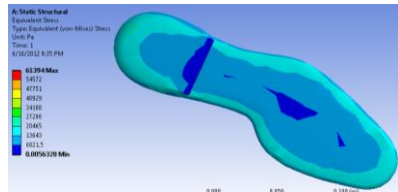


Fig. 4.4. Câmpul eforturilor echivalente Von Mises pentru varianta experimentală branț EVA densitate medie+ talpă PU flexibil, branț grosime 3 mm.

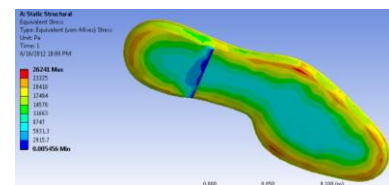


Fig. 4.5. Câmpul eforturilor echivalente Von Mises pentru varianta experimentală branț EVA densitate redusă + PU flexibil, branț grosime 5 mm.

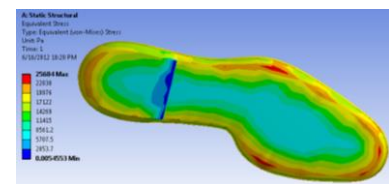


Fig. 4.6. Câmpul eforturilor echivalente Von Mises pentru varianta experimentală branț EVA densitate redusă+ talpă PVC moale, branț grosime 5 mm.

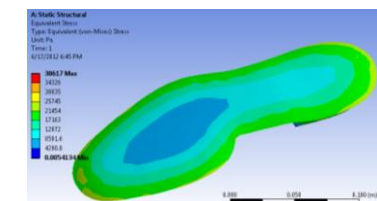


Fig. 4.7. Câmpul eforturilor echivalente Von Mises pentru varianta experimentală branț EVA densitate redusă+ talpă PVC moale, branț grosime 7 mm.

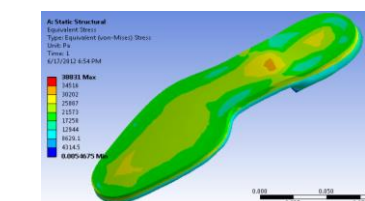


Fig. 4.8. Câmpul eforturilor echivalente Von Mises pentru varianta experimentală branț PVC moale+ talpă PU flexibil, branț grosime 7 mm.

Câmpul deformației rezultante Von Mises conduce la prognozarea valorilor corespunzătoare situațiilor constatate în practică, atunci când se observă că după o anumită perioadă de purtare a unui produs de încălțăminte în aceste regiuni se identifică un grad de uzură a materialului mai pronunțat, câteva exemple prezentate în figurile 4.1-4.8.

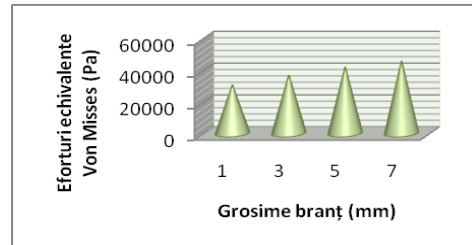


Fig. 4.9. Rezultatele eforturilor echivalente Von Mises (Pa) în funcție de grosimea branțului (mm) – Branț din EVA densitate redusă + talpă din EVA densitate medie

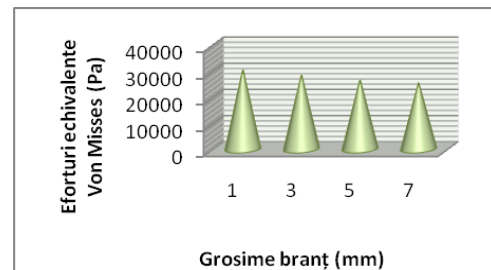


Fig. 4.10. Rezultatele eforturilor echivalente Von Mises (Pa) în funcție de grosimea branțului (mm) - Branț din EVA densitate redusă + Talpă din PU flexibil

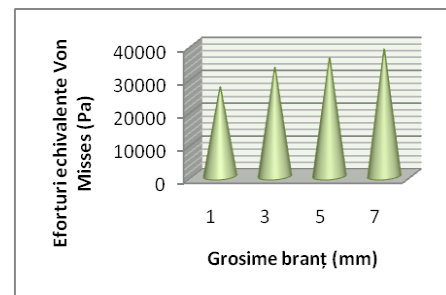


Fig. 4.11. Rezultatele eforturilor echivalente Von Mises (Pa) în funcție de grosimea branțului (mm) - Branț din EVA densitate redusă + talpă din PVC moale

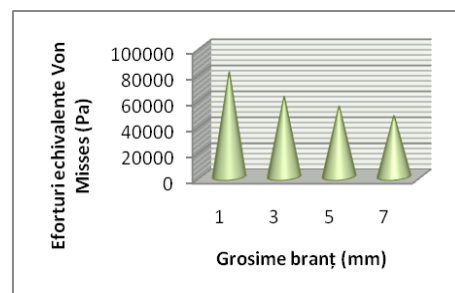


Fig. 4.12. Rezultatele eforturilor echivalente Von Mises (Pa) în funcție de grosimea branțului (mm) - Branț din EVA densitate medie + talpă din PU flexibil

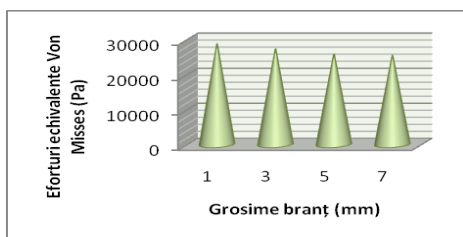


Fig. 4.13. Rezultatele eforturilor echivalente Von Mises (Pa) în funcție de grosimea branțului (mm) - Branț din EVA densitate medie + Talpă din PVC moale.

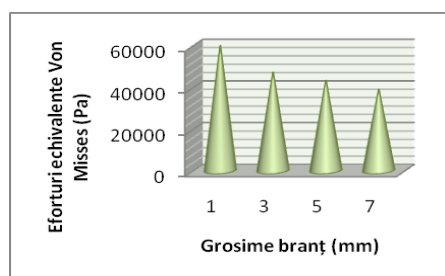


Fig. 4.14. Rezultatele eforturilor echivalente Von Mises (Pa) în funcție de grosimea branțului (mm) - Branț din PVC moale + Talpă din PU flexibil.

O scădere semnificativă a eforturilor asupra tălpii, la creșterea grosimii branțului, care ulterior se transmit asupra piciorului sunt înregistrate pentru două combinații de materiale, EVA densitate redusă + PU flexibil și EVA densitate medie + PVC moale, figurile 4.9-4.14. Astfel ele se recomandă la realizarea ansamblului inferior pentru încălțăminte personalizată. În cazul combinației EVA densitate redusă + EVA densitate medie se înregistrează o creștere a eforturilor odată cu creșterea grosimii branțului. În cazul PVC moale + PU flexibil se observă scăderi ale eforturilor, la creșterea grosimii branțului, doar că valorile sunt mai mari decât în cazurile prezentate anterior.

5. CONCLUZII

Modelul FEA creat permite obținerea unor rezultate care pot fi folosite la evaluarea confortului la purtare și pentru studierea altor aspecte referitoare la biomecanica piciorului și a încălțăminte, cum ar fi, de exemplu, simularea și evaluarea vârfurilor de presiune plantară care apar în statică și în timpul mersului. Sunt necesare, în acest sens, studii care să permită validarea modelului FEA printr-o serie de cercetări cu caracter experimental.

La creșterea grosimii branțului, s-au obținut scăderi semnificative ale eforturilor asupra tălpii și branțului pentru două asocieri de materiale: EVA densitate redusă + PU flexibil și EVA densitate medie + PVC moale. S-a demonstrat prin acest model că aceste două combinații de materiale conduc la scăderea efortului transmis prin reazem asupra piciorului și le recomandă la obținerea componentelor branț și talpă pentru încălțăminte personalizată.

Acknowledgement

This work was supported by UEFSCDI Bucharest under the Partnership Programme project MOBILITY: Preventing gait deficiencies and improving biomechanical parameters for the elderly population by designing and developing customized footwear – code PN-II-II-PT-PCCA 2013-4, contract 122/2014.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Kai T., Cheng-tao W., Dong-mei W., Xu W., *Primary Analysis of The First Ray Using a 3-Dimension Finite Element Foot Model*, in proc. of the 27th Annual International Conference of the Engineering in Medicine and Biology Society, IEEE-EMBS 2005, pag.2946 – 2949, DOI 10.1109/IEMBS.2005.1617091.
- [2] Jong-Peel J., *Prediction Of Cycle Shoe Performance In Relation To Outsole Materials Based On Biomechanical Testing And Finite Element*, Analysis ISB XXth Congress - ASB 29th Annual Meeting 2006, Cleveland, Ohio.
- [3] Nishiwaki T., Tateishi J., *Basic research on midsole material designing*, Footwear Science, vol. 3, nr. S1, 2011, pag. 122-123, disponibil la www.informaworld.com.
- [4] Healy A., Dunning D., Chockalingam N., *Effect of insole material on plantar pressure*, Footwear Science, vol. 3, nr. S1, 2011, pag. 69-70, disponibil la www.informaworld.com
- [5] Brueckner K., Heidnefelder J., Odenwald S., Milani T. L., *Mechanical and biomechanical characterization of running shoes with different midsole materials before and after aging*, Footwear Science, vol. 3, nr. S1, 2011, pag. 18-19, disponibil la www.informaworld.com.
- [6] Chen W.-M., Shim V.P. W., Park S.B., Lee T., *Three-dimensional finite element analysis of modified foot-supporting interface for unloading metatarsal heads*, Footwear Science, vol. 3, nr. S1, 2011, pag. 29-31, disponibil la www.informaworld.com.
- [7] Cheung J. T.-M., Yu J., Wong D. W.-C., Zhang M., *Current methods in computer-aided engineering for footwear design*, Footwear Science, vol. 1, nr. 1, 2009, pag. 31-45.
- [8] <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=4b7b95cbde99452b9ed3eb71db6e34f0>
- [9] <http://www.matbase.com/material/polymers/commodity/soft-pvc/properties>
- [10] Mihai A., Păștină M., Harnagea M.C., *Designing and rapid prototyping shoe lasts using CAD/CAM technologies*, AGIR Bulletin, no. 4/2010, ISSN 1224-7928.
- [11] Sarghie B., Costea M., Mihai A., *3D modelling of shoe lasts using templates based on anthropometrical measurements of the foot – case study*, Leather and Footwear Journal, vol. 13, no.3, Certex Publishing House, 2013, ISSN 15834433,pg. 221-234.
- [12] Păștină (Costea) M., Mihai A., Bilalis N., *Finite element analysis for insole-sole prototypes*, Proceedings of "The 4th International Conference on Advanced Materials and Systems", ICAMS 2012, Bucuresti, 2012, ISSN 2068-0783, pg. 359-364.
- [13] Cheung J. T.-M., Yu J., Zhang M., *Computational simulation of high heeled shoe fitting and walking*, Finite element landing impact simulation using a 3D coupled foot-shoe model, Footwear Science, vol.1, nr. S1, 2009, pag. 53-55.
- [14] Cho J.-R., Park S.-B., *Finite element landing impact simulation using a 3D coupled foot-shoe model*, Footwear Science, vol.1, nr. S1, 2009, pag. 97-98.

Despre autori

Dr. ing. Mariana COSTEA

Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași, Facultatea de Textile Pielărie și Management Industrial

Șef lucrări universitar în cadrul specializării Tehnologia și designul confecțiilor din piele și înlocuitori; absolvent al Școlii doctorale a Facultății de Textile Pielărie și Management Industrial, titlul tezei: „Contribuții la modelarea 3D și prototiparea rapidă a încălțămintei profilactice destinate persoanelor cu nevoi speciale”. Autor și coautor a 51 de articole și 7 cărți.

Dr. ing. Aura MIHAI

Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași, Facultatea de Textile Pielărie și Management Industrial

Profesor universitar în cadrul specializării Tehnologia și designul confecțiilor din piele și înlocuitori. Principalele direcții de cercetare sunt: designul și dezvoltarea produselor de încălțămintă, studii antropometrice, studii de biomecanică și E-learning. Autor și coautor a peste 140 articole și 8 cărți. Coordonator a 13 granturi naționale și internaționale în domeniul încălțămintei.