УДК 004; 685 DOI https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.2.2.18

Б. М. ЗЛОТЕНКО
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри комп'ютерної інженерії та електромеханіки
Київський національний університет технологій та дизайну
ORCID: 0000-0002-0870-8535

Д. В. СТАЦЕНКО
кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри комп'ютерної інженерії та електромеханіки
Київський національний університет технологій та дизайну
ORCID: 0000-0002-3064-3109

М. І. ГОЛЬДБЕРГ
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри комп'ютерної інженерії та електромеханіки
Київський національний університет технологій та дизайну
ORCID: 0000-0002-9982-7264

СТВОРЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ КОМП'ЮТЕРНОГО МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Розглянуті сучасні тенденції створення об'єктів інтелектуальної власності на основі використання методів комп'ютерного математичного моделювання у легкій промисловості. Наведені результати досліджень у створенні нових технологій лиття під тиском деталей взуття з полімерних матеріалів. Запропоновано метод виготовлення багатоколірних підошов шляхом одночасного упорскування в прес-форму різних полімерних матеріалів. Розроблена комп'ютерна математична модель течії розплаву полімерного матеріалу в прес-формі, яка дозволяє визначити її конструктивні параметри для отримання підошов з заданими властивостями. Досліджено процес затягування верху взуття підвищеної формостійкості з шкіряної сировини, яка пройшла спеціальну обробку з використанням електроактивованого середовища та ензимів. Запропоновано технологію виготовлення комфортного взуття за індивідуальним замовленням, яка включає в себе процеси 3D-сканування стопи людини і 3D-друк накладок на поверхню колодки для врахування анатомічних особливостей замовника. Розроблено експериментальну установку для визначення тиску внутрішньої поверхні взуття на стопу людини, яка складається з персонального комп'ютера, і мікроконтролера Arduino з давачами сили. Впровадження комп'ютерних технологій для проведення теоретичних наукових досліджень у взуттєвій галузі відкриває можливості для здійснення математичного моделювання складних технологічних процесів і прогнозування експлуатаційних властивостей продукції, що випускається. Виготовлення дизайнерського взуття супроводжується створенням деталей складної геометричної форми, використанням нетрадиційних для взуттєвого виробництва матеріалів. Використання у взуттєвому виробництві інноваційних комп'ютерних технологій стало поштовхом для розробки і впровадження креативних і патентоспроможних технологічних, конструкторських і дизайнерських рішень.

Ключові слова: *інтелектуальна власність, математичне моделювання, комп'ютерні науки, легка промисловість, технологія, обладнання.*

B. M. ZLOTENKO
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor at the Department of Computer Engineering and Electromechanics
Kyiv National University of Technologies and Design
ORCID: 0000-0002-0870-8535

D. V. STATSENKO
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Head of the Department of Computer Engineering and Electromechanics
Kyiv National University of Technologies and Design
ORCID: 0000-0002-3064-3109

M. I. GOLDBERG
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Computer Engineering
and Electromechanics
Kyiv National University of Technologies and Design
ORCID: 0000-0002-9982-7264

CREATION OF INTELLECTUAL PROPERTY OBJECTS BASED ON THE USE OF COMPUTER TECHNOLOGIES IN FOOTWEAR PRODUCTION

Modern trends in the creation of intellectual property objects based on the use of computer mathematical modeling methods in light industry are considered. The results of research into the creation of new technologies for injection molding of shoe parts from polymer materials are presented. A method for manufacturing multi-colored soles by simultaneously injecting different polymer materials into a mold is proposed. A computer mathematical model of the flow of the melt of a polymer material in a mold is developed, which allows determining its design parameters for obtaining soles with specified properties. The process of tightening the upper of shoes with increased dimensional stability from leather raw materials that have undergone special treatment using an electroactivated medium and enzymes is studied. A technology for manufacturing comfortable shoes on an individual order is proposed, which includes the processes of 3D scanning of a human foot and 3D printing of overlays on the surface of the insole to take into account the anatomical features of the customer. An experimental setup has been developed to determine the pressure of the inner surface of the shoe on a person's foot, which consists of a personal computer and an Arduino microcontroller with force sensors. The introduction of computer technologies for conducting theoretical scientific research in the footwear industry opens up opportunities for mathematical modeling of complex technological processes and predicting the operational properties of manufactured products. The production of designer shoes is accompanied by the creation of parts of complex geometric shape, the use of materials that are unconventional for footwear production. The use of innovative computer technologies in footwear production has become an impetus for the development and implementation of creative and patentable technological, engineering and design solutions.

Key words: *intellectual property, mathematical modeling, computer science, light industry, technology, equipment.*

Постановка проблеми

Сучасна легка промисловість характеризується необхідністю швидкого впровадження інновацій стосовно зовнішнього вигляду та функціональних властивостей продукції, що випускається, відповідно до уподобань споживачів. При цьому постійний попит на новий дизайн і споживчі властивості взуття зумовлений не лише впливом модних тенденцій, а й новими можливостями втілення у практику креативного потенціалу виробників, які створюються розвитком нових, в тому числі комп'ютерних технологій. Мінливі потреби споживачів спонукають зміни на ринку, які все більше прагнуть отримати високотехнологічний продукт з модним дизайном. Це не тільки долає багато обмежень традиційного дизайну, покращуючи як геометричні форми деталей взуття, так і поширення інноваційних виробничих технологій, але й створює можливості для персоналізованих дизайнерських рішень, адаптованих до конкретних вимог (наприклад, розміри виробу, варіанти кольорів, морфологічна форма, залежно від фізичних характеристик користувача). Впровадження у взуттєве виробництво інноваційних технологій і дизайнерських ідей потребує широкого використання сучасних методів комп'ютерного математичного моделювання і призводить до народження нових конструкторських і технологічних рішень у вигляді об'єктів інтелектуальної власності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Значного прогресу у виробництві взуття вдалося досягти завдяки впровадженню нових технологій у галузі комп'ютерних наук (таких як 3D-друк, 3D-сканування, 3D-в'язання та використання сенсорів) на різних етапах проектування та виробництва [1]. Тривимірний друк поступово спрощує виробництво об'єктів зі складною геометрією, яка раніше була недосяжна при виробництві за допомогою традиційних методів, таких як лиття. Деталі взуття складної геометричної форми можна виготовляти щоразу відповідно до запиту з боку ринку та коригувати за потреби, створюючи взуття, яке відповідає специфічним потребам для споживачів [2, 3].Технологія тривимірного друку дозволяє автоматизувати виробництво всього взуття або його частин.

Тривимірне сканування дозволяє створювати цифрові моделі фізичних тіл, фіксуючи антропометричні вимірювання, вирішальні для точного та персоналізованого дизайну взуття [4–6]. Ця технологія спрощує процес пошуку інформації, підвищуючи точність та достовірність, одночасно зменшуючи часові обмеження. Крім того, отримані 3D-моделі можна використовувати для 3D-друку або для проведення випробувань взуття на міцність на етапі його проєктування [7, 8].

Сенсорні технології все частіше інтегруються у взуття, що дозволяє здійснювати більш широкий моніторинг та контроль кроків і рухів, а також оцінювати умови носіння взуття окремими категоріями користувачів, включаючи спортсменів та людей похилого віку. Комп'ютерне математичне моделювання, таке як на основі використання

методу скінченних елементів, служить цінним інструментом для прогнозування властивостей взуття в процесі носіння, задовольняючи основні вимоги до дизайну, довговічності, комфорту та естетики, враховуючи такі фактори, як форма та розмір стопи [9].

Використання комп'ютерно-інтегрованих сенсорних систем дозволяє проводити дослідження та випробування нових видів взуття, які проводяться для запобігання ковзанню, падінням та травмам у різних повсякденних заходах, таких як робота, спорт та ходьба. Сенсорні системи широко використовуються в біомеханіці, яка зосереджується на моніторингу ходи та визначенні фаз ходи для збору інформації про користувача, тим самим сприяючи оптимізації дизайну взуття. Нарешті, самі матеріали відіграють певну роль у створенні більш екологічного взуття, оскільки дослідники досліджують варіанти з меншою кількістю обмежень, таких як жорсткість, та вивчають їх ширше застосування [10].

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є: створення патентоспроможних конструктивних і технологічних рішень у вигляді об'єктів інтелектуального права за результатами інноваційних наукових досліджень у взуттєвій галузі, на основі використання сучасних методів комп'ютерного математичного моделювання.

Виклад основного матеріалу дослідження

Покращення комфортності та довговічності взуття нерозривно пов'язане з пошуком нових матеріалів з покращеними фізико-механічними властивостями і застосуванням нових технологічних процесів і обладнання для їх переробки у взуттєві деталі. Однією з таких технологій стало лиття під тиском деталей взуття з полімерних матеріалів, що дало можливість отримувати підошви з шарами різного кольору і вставками з підвищеною гнучкістю та зносостійкістю. Виготовлення багатошарових підошов відбувається шляхом почергового прилиття різних частин підошви до попередньо сформованого шару, або верху взуття.

Математичне моделювання процесу лиття, зокрема течії розплаву полімерного матеріалу при заповнення прес-форми дозволили визначити необхідні технологічні параметри такі, як температура розплаву, тиск лиття, тривалість охолодження виробу. Останнім часом використання комп'ютерних технологій відкрило можливості для дослідження процесу лиття на основі числового моделювання, що значно підвищило точність розрахунків і безпосередньо вплинуло на якість виробів. Використання числового моделювання дозволяє розглянути можливість впровадження інноваційного методу лиття підошов з одночасним упорскуванням розплаву різних полімерних матеріалів в прес-форму для формування її частин, що відрізняються кольором або фізико-механічними властивостями. Для цього створена числова модель заповнення розплавом прес-форми у вигляді ізотермічної плоскої течії розплаву з декількох впускних отворів на основі використання рівнянь руху Нав'є–Стокса (1, 2), нерозривності (3) і Лапласа (4):

$$-\frac{\partial \phi}{\partial x}+\upsilon\cdot\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right)=0; \quad (1)$$

$$-\frac{\partial \phi}{\partial y}+\upsilon\cdot\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right)=0. \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}=0. \quad (3)$$

$$\nabla^2\phi=0. \quad (4)$$

де u, v – складові швидкості, м^2/с; P – тиск, Па; ρ – густина розплаву м^3/с; υ – кінематичний коефіцієнт в'язкості розплаву, м^2/с; $\phi=\frac{P}{\rho}$.

В результаті числового моделювання процесу заповнення прес-форми отримано розподіл полімерних матеріалів у виробі при їх одночасному литті.

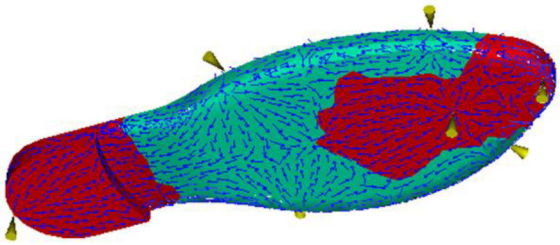


Рис. 1. Результати математичного моделювання процесу заповнення прес-форми

Використовуючи числове моделювання, можна визначити конструктивні параметри прес-форми і технологічні характеристики процесу лиття для забезпечення заданої конфігурації складових частин підошви з різних полімерних матеріалів, що дає можливість покращити експлуатаційні властивості і дизайн взуття. Крім того, одночасне формування частин підошви зменшує тривалість технологічного циклу і витрати енергії на охолодження розплаву. В результаті проведених досліджень розроблена конструкція машини для лиття підошов при одночасному заповненні прес-форми різними полімерними матеріалами і отримано деклараційний патент України № 7815 «Машина для лиття багатоколірної підошви взуття», опублікований 15.07.05 р. в Бюлетені № 7.

Результати комп'ютерного моделювання за допомогою програмного забезпечення Mathcad дозволили визначити технологічні параметри процесу затяжки на колодці заготовок верху взуття із шкурок кроля, замочування яких відбувалось у електроактивованому середовищі. При цьому були враховані особливості хутрового матеріалу, які полягають у підвищенні його формостійкості за рахунок збільшення еластичної і пластичної складової деформації в процесі затягування заготовки верху взуття на колодці. На основі отриманих результатів досліджень було отримано патент на корисну модель України № 60836 «Спосіб відмочування хутрової сировини», опублікований 25.06.2011 у бюлетені № 12. Використання цього способу зволоження дозволило на 30 % збільшити вологовміст шкіряної сировини в процесі замочування, що дозволяє удосконалити процес формування верху і формостійкість взуття в процесі носіння.

Комп'ютерне числове моделювання процесу затяжки верху взуття на колодці здійснювалось також для розрахунку напружень і деформацій у шкіряному матеріалі із великої рогатої худоби, фізико-механічні властивості якого були модифіковані під дією ензимів. Це дозволило спроєктувати технологічний процес затяжки і визначити геометричні параметри заготовки верху для забезпечення заданих умов формування (рис. 2).

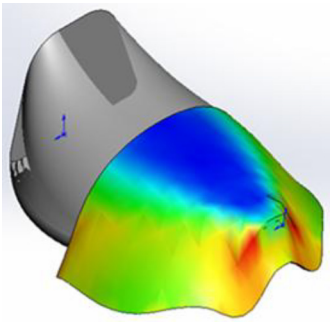


Рис. 2. Результати математичного моделювання процесу затягування заготовки верху взуття на колодці

В результаті проведених досліджень вдалося забезпечити формостійкість взуття з верхом із шкіри великої рогатої худоби, пом'якшеної за рахунок використання спеціальних препаратів, що містять відповідні ензими. Отримано деклараційний патент України № 77317 «Спосіб визначення пластичності шкіряної голини», опублікований 11.02.2013 р. в Бюлетені № 3.

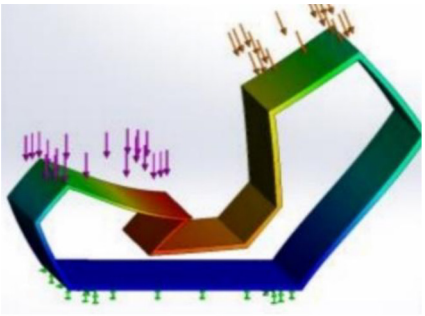
Поширення інформаційно-комп'ютерних технологій у взуттєвому виробництві призвело до появи таких інноваційних засобів, як 3D-сканування стоп людини і 3D-друк взуттєвих деталей та елементів взуттєвого обладнання. 3D-сканування було використане для визначення індивідуальних особливостей стоп людини в процесі виготовлення взуття за індивідуальним замовленням. В результаті аналізу отриманих даних було розроблено спосіб коригування поверхні колодок шляхом використання спеціальних накладок, отриманих шляхом 3D-друку (рис. 3).

Рис. 3. Вигляд модифікованої колодки з накладкою

При цьому під час проєктування внутрішньої форми взуття забезпечувались комфортні величини тиску на стопу, які визначались за допомогою спеціально розробленої установки. Вимірювальна система включає у себе персональний комп'ютер і мікроконтролер Arduino з системою давачів сили. Далі, базуючись на результатах оцінювання замовником ступеню комфорту, були розраховані основні геометричні параметри внутрішньої

форми взуття, з урахуванням силової взаємодії заготовки верху з модифікованою колодкою в процесі затягування. В результаті досліджень було отримано патент України на корисну модель № 148995 «Макет-трансформер взуття», опублікований 05.10.2021 р. в Бюлетені № 40.

Числове комп'ютерне моделювання процесу навантаження елементів при носінні дизайнерського взуття дозволило забезпечити необхідну жорсткість і міцність елементів конструкції, враховуючи особливості складної геометричної форми низу. На основі використання засобів трансформації та гармонізації розроблено структуру етапів формоутворення художніх об'єктів для отримання сучасних форм, що дозволило реалізувати новий підхід до художнього проектування взуття. На основі розроблених підходів до вибору форм та методів формоутворення було створено ескізи та розроблено 3D-моделі деталей низу взуття з подальшим програмним аналізом навантаження на підошву. Розроблено нові форми деталей низу взуття за допомогою принципів трансформації та створено автоматизованими методами проектування модель, яка може бути використана в технологічній підготовці до виготовлення продукції легкої промисловості. Встановлено закономірності процесів трансформації для вдосконалення художнього проектування взуття на принципах біоніки та стилізації. Враховуючи, що складність конструкцій та поява нових просторових рішень ставлять перед дизайнерами складніші технічні завдання для реалізації дизайнерських проектів, було запропоновано метод розрахунку міцності та стійкості виробів складних геометричних форм з урахуванням матеріалів, з яких вони виготовлені. В результаті виконаної роботи було розроблено жіноче взуття конструкції «човник» з припуском на задній шов (рис. 4).



а ***б***

Рис. 4. Результати проєктування взуття: *а*) математичне моделювання; *б*) зовнішній вигляд

Складна форма деталей взуття вимагає відповідального підходу до забезпечення їхньої працездатності. Загальновідомо, що взуття в процесі носіння отримує різні навантаження, і зазнає різних видів деформації його деталей. У заданих межах ці деформації є корисними та необхідними для комфортного самопочуття власника взуття. При жорсткій конструкції взуття швидко виникає відчуття дискомфорту та втоми. І навпаки – гнучка та еластична конструкція допомагає підтримувати комфорт протягом тривалого часу. Однак, занадто гнучке взуття також швидко викликає втому, а недостатня фіксація стопи може призвести до травм. Крім того, у разі значних деформацій у матеріалах деталей взуття можуть виникнути напруження, що перевищують їхню міцність і спричиняють руйнування цих деталей. Тому на етапі проектування взуття дуже важливим є його розрахунок на міцність.

Для аналізу навантажень, які виникатимуть в елементах взуття під час його носіння, було використано програмне забезпечення SolidWorks. На рис. 4, *а*) показано нерівномірний розподіл тиску на поверхню підошви з урахуванням кута нахилу стопи. В результаті моделювання було виявлено, що найслабшою частиною конструкції є її середня частина. Саме ця область отримує найбільші деформаційні навантаження. Для її посилення було запропоновано використовувати додатковий елемент армування. Особливістю низу розробленого взуття є наявність платформи: дизайн класичної платформи перетворено на геометричний об'єкт, який має не лише функціональне призначення, а й виступає декором. Модель базується на контрастних кольорах, що надають взуттю більш естетичного, яскравого вигляду. Всі деталі верху виготовлені з натуральних матеріалів. Вузол устілки складається з основної устілки, напівустілки та металевої устілки; підкладка, яка заповнює простір між контурами краю лопатки. Платформа виготовлена методом штампування з прокатаної металевої стрічки товщиною 2 мм (сталь СТ-3).

Висновки

Впровадження комп'ютерних технологій для проведення теоретичних наукових досліджень у взуттєвій галузі відкриває можливості для здійснення математичного моделювання складних технологічних процесів і прогнозування експлуатаційних властивостей продукції, що випускається. Комп'ютерне математичне моделювання дозволяє врахувати велику кількість виробничих факторів, взяти до уваги і задовольнити вимоги споживачів, забезпечити конкурентоспроможність виробів. Використання комп'ютерних апаратних і програмних засобів для створення експериментального обладнання, обробки результатів експериментів і перевірки ефективності

впровадження результатів досліджень підвищує ступінь обґрунтованості запропонованих технологічних і конструкторських рішень.

Виготовлення дизайнерського взуття супроводжується створенням деталей складної геометричної форми, використанням нетрадиційних для взуттєвого виробництва матеріалів, що ускладнює розрахунки для забезпечення необхідної міцності та комфортності виробів і вимагає використання можливостей комп'ютерного математичного моделювання.

Використання у взуттєвому виробництві інноваційних комп'ютерних технологій стало поштовхом для розробки і впровадження креативних і патентоспроможних технологічних, конструкторських і дизайнерських рішень, що свідчить про перспективність подальшого розвитку у сфері створення об'єктів інтелектуальної власності.

Список використаної літератури

1. Rivera, M. L.; Moukperian, M.; Ashbrook, D.; Mankoff, J.; Hudson, S. E. Stretching the Bounds of 3D Printing with Embedded Textiles. In Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems, Denver Colorado, CO, USA, 6–11 May 2017; Association for Computing Machinery: New York, NY, USA, 2017; pp. 497–508. https://doi.org/10.1145/3025453.3025460

2. Davia-Aracil, M.; Hinojo-Pérez, J. J.; Jimeno-Morenilla, A.; Mora-Mora, H. 3D printing of functional anatomical insoles. Comput. Ind. 2018, 95, 38–53. https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.12.001

3. Xiuqin Shang, Zhen Shen, Gang Xiong, Fei-Yue Wang, Sheng Liu, Timo R. Nyberg, Huaiyu Wu & Chao Guo (2019) Moving from mass customization to social manufacturing: a footwear industry case study, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 32:2, 194–205, DOI: 10.1080/0951192X.2018.1550675

4. Allan, J. J., Munteanu, S. E., Bonanno, D. R. et al. Methodological and statistical approaches for the assessment of foot shape using three-dimensional foot scanning: a scoping review. J Foot Ankle Res 16, 24 (2023). https://doi.org/10.1186/s13047-023-00617-z

5. Telfer, S., Woodburn, J. The use of 3D surface scanning for the measurement and assessment of the human foot. J Foot Ankle Res 3, 19 (2010). https://doi.org/10.1186/1757-1146-3-19

6. Papuga MO, Burke JR. The reliability of the Associate Platinum digital foot scanner in measuring previously developed footprint characteristics: a technical note. J Manipulative Physiol Ther. (2011) Feb;34(2):114-8. doi: 10.1016/j.jmpt.2010.12.008. PMID: 21334543

7. Li, J., Jung, I. & Lee, S. Analysis of midsole gait in running shoes with various 3d printed biomimetic structure. Sci Rep 15, 8399 (2025). https://doi.org/10.1038/s41598-025-92235-x

8. Fadeel, A., Abdulhadi, H., Newaz, G., Srinivasan, R., & Mian, A. (2022). Computational investigation of the post-yielding behavior of 3D-printed polymer lattice structures. Journal of Computational Design and Engineering, 9(1), 263–277. https://doi.org/10.1093/jcde/qwac001

9. Leshchyshyn M., Zlotenko B., Synyuk O, KuleshovaS, Onofriichuk V., Mykhailovskyi Y. 3D printing of pads on lasts utilized in the production of custom-made comfortable footwear // Leather and Footwear Journal 23 (2023) 4, pp. 231–240. DOI: https://www.revistapielarieincaltaminte.ro/vol23_4.html

10. Zhang, J. et al. Efficacy of auxetic lattice structured shoe sole in advancing footwear comfort – From the perspective of plantar pressure and contact area. Front. Public Health 12, 1412518. https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1412518 (2024)

References

1. Rivera, M. L.; Moukperian, M.; Ashbrook, D.; Mankoff, J.; Hudson, S.E. Stretching the Bounds of 3D Printing with Embedded Textiles. In Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems, Denver Colorado, CO, USA, 6–11 May 2017; Association for Computing Machinery: New York, NY, USA, 2017; pp. 497–508. https://doi.org/10.1145/3025453.3025460

2. Davia-Aracil, M.; Hinojo-Pérez, J.J.; Jimeno-Morenilla, A.; Mora-Mora, H. 3D printing of functional anatomical insoles. Comput. Ind. 2018, 95, 38–53. https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.12.001

3. Xiuqin Shang, Zhen Shen, Gang Xiong, Fei-Yue Wang, Sheng Liu, Timo R. Nyberg, Huaiyu Wu & Chao Guo (2019) Moving from mass customization to social manufacturing: a footwear industry case study, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 32:2, 194-205, DOI: 10.1080/0951192X.2018.1550675

4. Allan, J. J., Munteanu, S. E., Bonanno, D. R. et al. Methodological and statistical approaches for the assessment of foot shape using three-dimensional foot scanning: a scoping review. J Foot Ankle Res 16, 24 (2023). https://doi.org/10.1186/s13047-023-00617-z

5. Telfer, S., Woodburn, J. The use of 3D surface scanning for the measurement and assessment of the human foot. J Foot Ankle Res 3, 19 (2010). https://doi.org/10.1186/1757-1146-3-19

6. Papuga MO, Burke JR. The reliability of the Associate Platinum digital foot scanner in measuring previously developed footprint characteristics: a technical note. J Manipulative Physiol Ther. (2011) Feb;34(2):114-8. doi: 10.1016/j.jmpt.2010.12.008. PMID: 21334543

7. Li, J., Jung, I. & Lee, S. Analysis of midsole gait in running shoes with various 3d printed biomimetic structure. Sci Rep 15, 8399 (2025). https://doi.org/10.1038/s41598-025-92235-x

8. Fadeel, A., Abdulhadi, H., Newaz, G., Srinivasan, R., & Mian, A. (2022). Computational investigation of the post-yielding behavior of 3D-printed polymer lattice structures. Journal of Computational Design and Engineering, 9(1), 263–277. https://doi.org/10.1093/jcde/qwac001

9. Leshchyshyn M., Zlotenko B., Synyuk O, KuleshovaS, Onofriichuk V., Mykhailovskyi Y. 3D printing of pads on lasts utilized in the production of custom-made comfortable footwear // Leather and Footwear Journal 23 (2023) 4, pp. 231–240. DOI: https://www.revistapielarieincaltaminte.ro/vol23_4.html

10. Zhang, J. et al. Efficacy of auxetic lattice structured shoe sole in advancing footwear comfort – From the perspective of plantar pressure and contact area. Front. Public Health 12, 1412518. https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1412518 (2024)