

3D MODELLING OF SHOE LASTS USING TEMPLATES BASED ON ANTHROPOMETRICAL MEASUREMENTS OF THE FOOT – CASE STUDY

MODELAREA 3D A CALAPOADELOR PENTRU ÎNCĂLȚĂMINTE UTILIZÂND ȘABLOANE DEFINITE PE BAZA DIMENSIUNILOR ANTROPOMETRICE ALE PICIORULUI – STUDIU DE CAZ

Bogdan SARGHIE¹, Mariana COSTEA², Aura MIHAI^{2*}

¹“Gheorghe Asachi” Technical University of Iasi, Doctoral School of the Faculty of Textiles, Leather and Industrial Management, 53 Dimitrie Mangeron Blvd., 700050, Iasi, Romania

²“Gheorghe Asachi” Technical University of Iasi, Faculty of Textiles, Leather and Industrial Management, 53 Dimitrie Mangeron Blvd., 700050, Iasi, Romania, e-mail: amihai@tex.tuiasi.ro

3D MODELLING OF SHOE LASTS USING TEMPLATES BASED ON ANTHROPOMETRICAL MEASUREMENTS OF THE FOOT – CASE STUDY

ABSTRACT. The article presents a method of designing templates for modelling shoe lasts, according to specific anthropometrical dimensions of a subject's foot, employed as military personnel. The subject's peculiarity lies in the type of professional activity that he is carrying out; the lower limbs have a much greater risk of injury and there is the need to prevent such problems by using special footwear, which will not restrict the conduct of his military activities. The design of last's templates consists in creating a geometrical construction based on the dimensional characteristics of the subject's feet. Using software such as Delcam Engineer and Last Maker new techniques for modelling shoe lasts were developed. The advantages of the presented method are represented by the decreased time of last's design and the accuracy of the results. Applying this method to a larger scale enables its development and allows footwear manufacturers to achieve a diverse range of products, faster and at lower costs than current possibilities.

KEY WORDS: foot, military footwear, shoe last, template

MODELAREA 3D A CALAPOADELOR PENTRU ÎNCĂLȚĂMINTE UTILIZÂND ȘABLOANE DEFINITE PE BAZA DIMENSIUNILOR ANTROPOMETRICE ALE PICIORULUI – STUDIU DE CAZ

REZUMAT. Se prezintă în cadrul acestui articol o metodă de proiectare a șabloanelor pentru modelarea calapoadelor încălțăminte, corespunzătoare dimensiunilor antropometrice ale piciorului unui subiect angajat ca personal militar. Particularitatea subiectului constă în activitatea profesională pe care acesta o desfășoară; membrele inferioare sunt supuse unui risc de accidentare mult mai mare, fiind necesară preîntâmpinarea acestor probleme utilizând încălțăminte specială, care să nu limiteze sub nicio formă desfășurarea activităților militare. Proiectarea desfășurării suprafeței plantare a calapodului constă în realizarea unei construcții geometrice ce are la bază caracteristicile dimensionale ale picioarelor subiectului analizat. Au fost dezvoltate noi tehnici de modelare a calapoadelor folosind aplicațiile software Delcam Engineer și Last Maker. Avantajele metodei prezentate în această lucrare sunt reprezentate de timpul redus de execuție și de corectitudinea rezultatelor. Aplicarea acestei metode la o scară largă oferă posibilitatea dezvoltării acesteia și utilizarea ei de către producătorii din domeniul încălțăminte pentru realizarea unei game variate de produse mai rapid și cu costuri mai reduse decât posibilitățile actuale.

CUVINTE CHEIE: picior, încălțăminte militară, calapod de încălțăminte, șablon

LA MODÉLISATION 3D DES FORMES POUR CHAUSSURE EN UTILISANT DE MODÈLES DÉFINIS À BASE DE TAILLES ANTHROPOMÉTRIQUES DU PIED – ÉTUDE DE CAS

RÉSUMÉ. Cet article présente une méthode pour concevoir des modèles pour la modélisation des formes de chaussure correspondant au tailles anthropométriques du pied d'un sujet employé comme personnel militaire. La particularité du sujet est la profession qu'il exerce; ses membres inférieurs sont soumis à un risque accru de blessures et, par conséquent, il est nécessaire d'éviter ces problèmes en utilisant des chaussures spéciales qui ne limitent en rien la conduite d'activités militaires. La conception de la surface plantaire de la forme implique de réaliser une construction géométrique qui est basée sur les caractéristiques dimensionnelles du pied du sujet analysé. De nouvelles techniques ont été développées pour la modélisation des formes en utilisant les logiciels Delcam Engineer et Last Maker. Les avantages de la méthode présentée dans cet article sont le temps d'exécution réduit et la précision des résultats. L'application de cette méthode à grande échelle permet de l'en développer et de l'en utiliser par les fabricants de chaussures pour développer une gamme variée de produits plus rapidement et à moindre coût que les possibilités actuelles.

MOTS CLÉS: pied, chaussures militaires, forme de chaussure, modèle

* Correspondence to: Aura MIHAI, “Gheorghe Asachi” Technical University of Iasi, Faculty of Textiles, Leather and Industrial Management, 53 Dimitrie Mangeron Blvd., 700050, Iasi, Romania, e-mail: amihai@tex.tuiasi.ro

INTRODUCTION

Nowadays, consumers don't only take into consideration the esthetical part of footwear, but also the quality and dimensional comfort of the footwear. Dimensional comfort is the second most important thing when buying footwear [1, 2].

The foot is considered to be a very important part of the human body. Not only does it have an essential role in support and locomotion, but it can also easily influence the lifestyle of a person. Decreased dimensional comfort of the footwear is a major cause of discomfort, pain, callosity, hallux valgus, ulcerations, etc. [3, 4]. Accidents and illnesses of the foot determine the reduction of mobility, leading to the aggravation of other diseases. The human foot is a three-dimensional complex shape [5] varying to a great extent, depending on the location, gender, age, etc. of the subject.

Traditionally, footwear is classified according to length and width (toe girth). It is obvious that people having the same foot length can have a wider or narrower foot, thinner or thicker, a higher plantar arch. The traditional dimensional classification of footwear is not a successful one, since many people have foot problems. It is necessary to personalize the footwear based on the requirements of the person wearing them. The most important component in the manufacturing of footwear is the last. The last is a solid shape used to create the footwear. The shape of the last resembles the shape of the foot, its manufacturing being influenced by the shape and dimension of the foot, comfort parameters, fashion, and the constructive variant of the footwear [6]. The last is considered to be at the heart of footwear making because it determines the shape of the footwear, matching the foot and the comfort characteristics [7, 8]. Once the lasts are designed and produced, they are the starting point for other footwear components, such as: vamp, sole, insole, insole liner, etc.

In the past years software solutions have been developed in order to fit the shape of the last to the shape of the foot. Some of these software solutions search in a database with lasts for a last whose dimensions are as close as possible to the dimensions of the foot [9, 10]. There are also software solutions which allow modifying the shape of an existing last, in order to fit the shape of the foot [11].

INTRODUCERE

În ziua de astăzi, consumatorii nu urmăresc doar partea estetică a încălțăminteii, ci sunt interesați și de calitate, și de confortul dimensional al încălțăminteii. Confortul dimensional reprezintă al doilea lucru ca importanță în cumpărarea încălțăminteii [1, 2].

Picioarul este considerat o parte foarte importantă a corpului uman. Acesta nu are un rol esențial doar în sprijin și locomoție, ci poate influența foarte ușor stilul de viață al unei persoane. Un confort dimensional scăzut al încălțăminteii reprezintă o cauză majoră pentru disconfort, durere, bătăături, hallux valgus, ulcerări, etc. [3, 4]. Accidentările și bolile de la nivelul picioarelor determină reducerea mobilității, care conduce la agravarea altor boli. Picioarul uman reprezintă o formă tridimensională complexă [5] foarte variată, dependentă de locația, sexul, vârsta etc. ale subiectului.

În mod tradițional, încălțăminteii este clasificată în funcție de lungime și de lățime (sau perimetrul la degete). Este evident că oameni care au aceeași lungime a piciorului pot avea piciorul mai lat sau mai îngust, mai slab sau mai gras, bolta plantară mai ridicată. Clasificarea dimensională tradițională a încălțăminteii nu este una de succes, din moment ce există foarte mulți oameni care au probleme la picioare. Este necesară personalizarea încălțăminteii în funcție de cerințele purtătorului. Cea mai importantă componentă în confecționarea încălțăminteii este reprezentată de calapod. Calapodul este o formă solidă, în jurul căreia este formată încălțăminteii. Forma calapodului este apropiată de forma piciorului, iar confecționarea acestuia este influențată de forma și dimensiunile piciorului, parametrii de confort, modă, varianta constructivă a încălțăminteii [6]. Calapodul este considerat inima confecționării încălțăminteii, deoarece acesta determină forma încălțăminteii, potrivirea cu piciorul și caracteristicile de confort [7, 8]. După proiectarea și confecționarea calapoadelor, pe baza acestora pot fi confecționate alte componente ale încălțăminteii, cum ar fi: fețele de încălțăminte, talpa, branțul, acoperișul de branț etc.

În ultimii ani au fost dezvoltate diferite programe software pentru potrivirea formei calapoadelor cu forma piciorului; unele dintre aceste programe caută într-o bază de date cu calapoade un calapod ale cărui dimensiuni sunt cât mai apropiate de dimensiunile piciorului [9, 10] sau programe care permit modificarea formei unui calapod preexistent pentru a coincide cu forma piciorului [11].

As the 3D - digitizing technologies have evolved [12], we now have the possibility to determine the anthropometrical dimensions of the foot by 3D scanning [13].

The purpose of scanning the foot is that of precisely determining the shape of the foot and of precisely measuring the anthropometrical parameters of the foot, necessary in order to manufacture the optimum lasts [1].

For an optimal dimensional comfort of the footwear, it is necessary to correlate the girths, in addition to correlating the linear dimensions of the foot [14].

In order for a pair of shoes to be comfortable, it should not cause discomfort or pain during its use. The footwear must sustain the foot and it should not limit its movement. The shape of the footwear and that of the foot determine the exact position of the foot inside of the footwear [15].

METHOD

Measuring the dimensions of the last presented in this article is based on the medium anthropometrical dimensions of the feet of a male subject, age 30, employed as military personnel. The specificity of the subject lies in his professional activity. The military activity consists of a high degree of physical activity (running, walking); the feet are subject to a higher risk of accidents and that is why it is necessary to prevent these potential problems by using footwear that does not prevent in any way the activities of military personnel. The last used in the modelling process is one from the database. The dimensions of the selected last are close to the dimensions of the subject's foot.

The anthropometrical data of the subject's foot have been obtained by using the INFOOT USB system [16]. The shape and the dimensions of the template used in order to model the dimensions of the last have been defined using Delcam Engineer software [17], which is a dedicated software for 2D designing and modelling the guide marks used in manufacturing the footwear. The modelling of the last in accordance with the templates based on anthropometrical dimensions

Odată cu dezvoltarea tehnologiilor de digitizare 3D [12], există acum oportunitatea determinării dimensiunilor antropometrice ale picioarelor în mod automat, cu ajutorul scanării formelor 3D [13].

Scopul scanării piciorului este de a capta cu precizie forma piciorului și de a permite măsurarea cu precizie a parametrilor antropometrici ai piciorului, necesari pentru fabricarea calapoadelor optime pentru încălțăminte [1].

Pentru un confort dimensional optim al încălțăminte este necesară, pe lângă corelarea dimensiunilor liniare ale piciorului, și corelarea perimetrelor [14].

Pentru ca o pereche de încălțăminte să fie confortabilă, aceasta ar trebui să nu cauzeze disconfort sau durere în niciun moment al utilizării. Încălțăminte trebuie să susțină piciorul și să nu îi limiteze în niciun fel gradul de libertate al mișcărilor sale. Forma încălțăminte și a piciorului determină poziția exactă a piciorului în interiorul încălțăminte [15].

METODĂ DE LUCRU

Modelarea dimensiunilor calapodului prezentată în această lucrare are la bază dimensiunile antropometrice medii ale picioarelor unui subiect de sex masculin, cu vârsta de 30 de ani, angajat ca personal militar. Particularitatea subiectului constă în activitatea profesională pe care acesta o desfășoară. Activitatea militară presupune efort fizic ridicat (alergat, mers), iar membrele inferioare sunt supuse unui risc de accidentare mult mai mare și din această cauză este necesară preîntâmpinarea acestor probleme utilizând încălțăminte care să nu limiteze sub nicio formă desfășurarea activităților militarilor. Calapodul utilizat la modelare este un calapod preexistent în baza de date. Dimensiunile calapodului selecționat sunt apropiate de dimensiunile piciorului subiectului.

Datele antropometrice ale picioarelor subiectului au fost obținute utilizând sistemul INFOOT USB [16]. Forma și dimensiunile șabloanelor utilizate la modelarea dimensiunilor calapodului au fost definite utilizând programul software Delcam Engineer [17], care este un program special pentru proiectarea și modelarea 2D a reperelor utilizate la construcția încălțăminte. Modelarea calapodului conform șabloanelor construite pe baza dimensiunilor antropometrice a fost

has been made using the Delcam Last Maker software [18], a software dedicated to 3D modelling of shoe lasts.

Foot Anthropometrical Dimensions

In order to calculate the anthropometrical parameters and to shape the personalized lasts, the 3D shape of the foot has been acquired using INFOOT USB system, consisting of a 3D scanner and dedicated software: MEASURE 2.8. The system allows 3D scanning of foot shape. It is possible to set up to 20 anatomical reference points which the system uses to automatically calculate the anthropometrical dimensions of the scanned foot. The system has the following characteristics: low costs, fast scanning, great accuracy, anatomical reference points recognition and automated measurement of the dimensions, creating a complex database, the possibility of backing-up the data on the producer's server, the possibility of large scale printing, compact dimensions for easy transport [16, 19, 20].

The average anthropometrical dimensions of the subject are presented in Table 1.

realizată utilizând programul software Delcam Last Maker [18], care este un program special pentru modelarea formei 3D a calapoadelor pentru încălțăminte.

Dimensiunile antropometrice ale picioarelor

Preluarea formei 3D a piciorului în vederea calculării parametrilor antropometrici și a modelării calapoadelor personalizate a fost realizată cu ajutorul sistemului INFOOT USB alcătuit din scanner 3D și program software dedicat MEASURE 2.8. Sistemul permite scanarea formei 3D a piciorului; este posibilă plasarea a până la 20 de puncte anatomice, după care sistemul calculează automat dimensiunile antropometrice ale piciorului scanat. Caracteristicile sistemului sunt: costuri reduse, scanare rapidă, acuratețe mare, recunoașterea punctelor anatomice și măsurarea automată a dimensiunilor, crearea unei baze de date complexe, posibilitate de back-up a bazei de date pe serverele producătorului, modul de printare la scală reală, dimensiuni compacte pentru transport facil [16, 19, 20].

Valorile medii ale dimensiunilor antropometrice ale subiectului analizat sunt prezentate în Tabelul 1.

Table 1: Average anthropometrical dimension of the subject's foot
Tabelul 1: Dimensiunile antropometrice ale subiectului

Anthropometrical parameter <i>Parametru antropometric</i>	Average value (mm) <i>Valoare medie (mm)</i>	Anthropometrical parameter <i>Parametru antropometric</i>	Average value (mm) <i>Valoare medie (mm)</i>
Foot length <i>Lungimea piciorului</i>	254.9	Instep height <i>Înălțimea la rist</i>	67.35
Toes girth <i>Perimetrul la degete</i>	232.25	First toe angle <i>Unghiul degetului 1</i>	8.35
Toes width <i>Lățimea la degete</i>	97.85	Fifth toe angle <i>Unghiul degetului 5</i>	14.20
Instep girth <i>Perimetrul la rist</i>	234.6	Height of first toe joint <i>Înălțimea articulației degetului 1</i>	22.65
Heel width <i>Lățimea călcâiului</i>	65.4	Height of fifth toe joint <i>Înălțimea articulației degetului 5</i>	16.4
Length to first metatarsal bone <i>Lungimea până la metatarsianul 1</i>	185.35	Heel girth <i>Perimetrul peste călcâi</i>	332.5
Length to fifth metatarsal bone <i>Lungimea până la metatarsianul 5</i>	160.3	Ankle girth <i>Perimetrul gleznei</i>	277.65
Toes height <i>Înălțimea în zona degetelor</i>	42.4	Size number (French) <i>Nr. mărime</i>	40

The average anthropometrical dimensions of the left and right foot of the subject are used to design the dimensions of the templates for modelling the 3D shape of the last and/or for interactive modelling of lasts.

Lasts from the existing software database can be used or real lasts are scanned and can be used by the software. The dimensional characteristics of the selected last are close to the dimensional characteristics of the subject's foot.

The selected last has been scanned using the 3D Infoot USB scanner. For a very precise scanning, the selected last has been coated with adhesive paper, as the surface of the last is shiny, creating the premises for the occurrence of errors during the scanning process.

Template for Modifying the Plantar Surface of the Last

The design of the last's plantar surface consists in creating a geometrical construction based on the dimensional characteristics of the subject's feet, obtained with the INFOOT USB system. This method has its starting point in establishing design methods for the inner sole (G Scheme, K Method, AK-64 Methods, the Method of the Leather and Footwear Research Institute of Bucharest [21]), adapted to the present technical and informational possibilities.

Valorile medii ale dimensiunilor antropometrice ale picioarelor stâng și drept ale subiectului sunt utilizate la proiectarea dimensiunilor șabloanelor pentru modelarea personalizată a formei 3D a calapodului pentru încălțăminte și/sau pentru modelarea interactivă a calapoadelor pentru încălțăminte.

Pot fi utilizate calapoade existente în baza de date a programului software sau pot fi utilizate calapoade realizate fizic, anterior, care sunt scanate și pot fi utilizate de către programul software. Calapodul selectat are caracteristici dimensionale apropiate de caracteristicile dimensionale ale piciorului subiectului.

Calapodul ales a fost scanat utilizând scannerul 3D Infoot USB. Pentru o scanare cât mai corectă, anterior, calapodul selectat a fost îmbrăcat cu hârtie adezivă, deoarece suprafața calapodului este lucioasă și în timpul scanării apar erori.

Șablonul pentru modificarea suprafeței plantare a calapodului

Proiectarea desfășurării suprafeței plantare a calapodului constă în realizarea unei construcții geometrice ce are la bază caracteristicile dimensionale ale picioarelor subiectului, obținute cu ajutorul sistemului INFOOT USB. Această metodă are ca punct de pornire metodele consacrate de proiectare a branșurilor (Schema G, Metoda K, Metoda AK-64, Metoda Institutului de Cercetări Pielărie-Încălțăminte din București [21]), fiind adaptată la posibilitățile tehnice și informatice actuale.

Table 2: Points and segments that define the plantar's surface construction network

Tabelul 2: Puncte și segmente care definesc rețeaua de construcție a branșului

Notation Notație	Description Descriere	Dimension Dimensiune
A	- extreme posterior point of the heel - <i>punctul extrem posterior al piciorului</i>	-
AB	- distance to heel centre, 0.18 of foot length - <i>distanța până la centrul călcâiului, 0.18 din lungimea piciorului</i>	45.88 (mm)
AC	- distance to fifth metatarsal bone - <i>distanța până la metatarsianul 5</i>	160.3 (mm)
AD	- distance to first metatarsal bone - <i>distanța până la metatarsianul 1</i>	185.35 (mm)
AE	- distance to tip of fifth toe, 0.8 of foot length - <i>distanța până la extremitatea degetului 5, 0.8 din lungimea piciorului</i>	203.92 (mm)
AF	- foot length - <i>lungimea piciorului</i>	254.9 (mm)

Table 2: Continued
Tabelul 2: Continuare

Notation Notație	Description Descriere	Dimension Dimensiune
FG	- toe allowance - adaosul la vârf	10 (mm)
BAA ₁	- angle of heel's symmetry line - unghiul liniei de simetrie a zonei de călcâi	6 (°)
B ₁ B ₂	- heel width - lățimea călcâiului	65.4 (mm)
A ₁	- middle of B ₁ B ₂ segment - jumătatea segmentului B ₁ B ₂	-
AA ₁	- segment equal to AB (distance to the centre of the heel) - segment egal cu AB (distanța până la centrul călcâiului)	45.88 (mm)
D ₁ C ₁	- toes width - lățimea la degete	97.85 (mm)
CC ₁	- 60% of toes width - 60% din lățimea la degete	39.14 (mm)
DD ₁	- 40% of toes width - 40% din lățimea la degete	58.71 (mm)
D ₂ D ₁ F ₁	- first toe's angle - unghiul degetului 1	8.35 (°)
C ₂ C ₁ F ₂	- fifth toe's angle - unghiul degetului 5	14.2 (°)
B ₁ D B ₂ D ₁ B ₂ C ₁	- auxiliary construction lines for defining the insole contour - linii de construcție ajutătoare pentru definirea conturului brantului	-
EE ₁	- perpendicular in point E which intersects C ₁ F ₂ in E ₁ point (tip of fifth toe) - perpendiculara ridicată din punctul E și care intersectează segmentul C ₁ F ₂ în punctul E ₁ (extremitatea degetului 5)	-
FF ₁ ,FF ₂	- perpendicular to point F - perpendiculare ridicate din punctul F	-

The outline of the plantar surface of the last has been obtained by using the Last Maker software, which recognizes the shape automatically and allows saving this surface in order to process it with Engineer software. Tracing the construction network of the insole and adjusting the outline of the insole, corresponding to the production, has been done by using special functions of Engineer software [22].

The steps for modelling the plantar surface of the last:

1. Importing the outline of the plantar surface of the last (Figure 1. a));
2. Drawing the construction network (Figure 1. b));

Conturul suprafeței plantare a calapodului a fost obținut utilizând programul software Last Maker, care recunoaște automat această formă și permite salvarea formei pentru a putea fi prelucrată utilizând programul Engineer. Trasarea rețelei de construcție a brantului și ajustarea conturului brantului corespunzător construcției au fost realizate utilizând funcțiile specifice ale programului Engineer [22].

Etapele de modelare a suprafeței plantare a calapodului:

1. Importul conturului suprafeței plantare a calapodului (Figura 1. a));
2. Trasarea rețelei de construcție (Figura 1. b));

3. Modifying the outline according to the construction network (Figure 1. c));
4. Defining the outline of the inner sole in a template;
5. Saving the created template in *.cut format (Figure 6. a)).

3. Modificarea conturului conform rețelei de construcție (Figura 1. c));
4. Definirea conturului branțului sub formă de șablon;
5. Salvarea șablonului creat în format *.cut (Figura 6. a)).

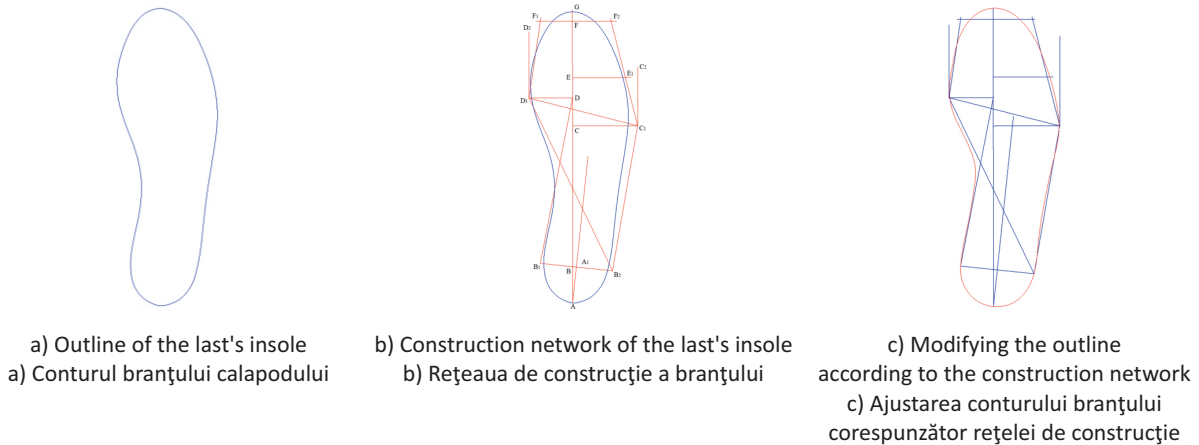


Figure 1. Producing the template for the inner sole, the AK-64 Method
Figura 1. Construcția șablonului branțului, metoda AK-64

Template for Adjusting the Last's Toes Area

In producing the template for modifying the last's toe area, the anthropometrical dimensions of the subject's feet are used. Description of the drawing stages for the construction network and the template's elements for personalized last's toe area, corresponding to anthropometrical dimensions of the subject's feet are presented in Table 3.

Șablonul pentru ajustarea zonei de vârf a calapodului

La construcția șablonului, pentru modificarea zonei de vârf a calapodului sunt utilizate dimensiunile antropometrice ale picioarelor subiectului analizat. Descrierea etapelor de trasare a rețelei de construcție și elementele componente ale rețelei de construcție a șablonului pentru modificarea personalizată a zonei de vârf a calapodului, corespunzător dimensiunilor antropometrice ale piciorului subiectului, sunt prezentate în Tabelul 3.

Table 3: Points and segments that define the pattern's construction network for adjusting the last's toes area
Tabelul 3: Puncte și segmente care definesc rețeaua de construcție a șablonului pentru ajustarea zonei de vârf

Dimension <i>Dimensiune</i>	Description <i>Descriere</i>	Value <i>Valoare</i>
1-3	toe allowance <i>adaosul la vârf</i>	10 (mm)
2-3	length from the tip of first toe to the first toe's joint <i>lungimea de la vârful degetului I până la articulația degetului I</i>	30 (mm)
4-4'	height of first toe's joint <i>înălțimea articulației degetului I</i>	28 (mm)
5-6	length form the tip of the heel to first metatarsal's joint <i>lungimea de la extremitatea călcâiului i până la articulația metatarsianului I</i>	185 (mm)

Table 3: Continued
Tabelul 3: Continuare

Dimension <i>Dimensiune</i>	Description <i>Descriere</i>	Value <i>Valoare</i>
5-7	length from the tip of the heel to fifth metatarsal's joint <i>lungimea de la extremitatea călcâiului până la articulația metatarsianului IV</i>	160 (mm)
8	middle of 6-7 segment <i>punctele situate la jumătatea segmentului 6-7</i>	-
9-9'	toes height <i>înălțimea în zona degetelor</i>	42.4 (mm)
1-1', 3-3', 6-6', 7-7'	auxiliary construction segments <i>segmente de construcție</i>	-

The stages for defining the template in adjusting last's toe area, using Engineer software, are the following:

1. Importing the shape of the longitudinal outline of the last, *.dxf extension;
2. Drawing the construction network (Figure 2);
3. Adjusting the superior outline of the tip (Figure 3);
4. Drawing the exterior outline of the template for the tip and defining the limits thereof;
5. Obtaining the template for modifying the tip area of the last;
6. Saving the created template in *.cut format (Figure 6. b)).

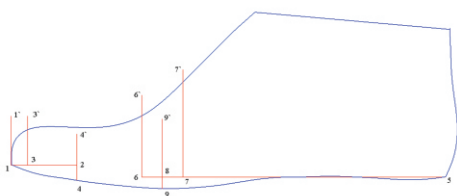


Figure 2. Drawing the construction network of the template for the tip area
Figura 2. Trasarea rețelei de construcție a șablonului pentru zona de vârf

Template for Adjusting the Last's Counter Area

In producing the template for modifying the last's toe area, anthropometrical dimensions of the subject's feet are used. Description of the drawing stages for the construction network and the template's elements for personalized last's counter area, corresponding to anthropometrical dimensions of the subject's feet are presented in Table 4.

Etapile modelării și definirii șablonului pentru ajustarea zonei de vârf a calapodului, utilizând programul software Engineer, sunt următoarele:

1. Importarea formei conturului longitudinal al calapodului, extensie *.dxf;
2. Trasarea rețelei de construcție (Figura 2);
3. Ajustarea conturului superior al vârfului (Figura 3);
4. Trasarea conturului exterior al șablonului pentru vârf și definirea limitelor acestuia;
5. Obținerea șablonului pentru modificarea zonei de vârf a calapodului;
6. Salvarea șablonului creat în format *.cut. (Figura 6. b)).

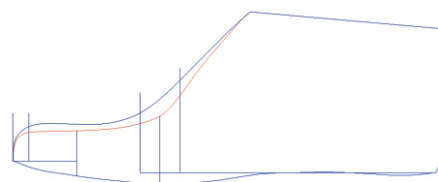


Figure 3. Adjusting the superior outline of the tip area, corresponding to the construction area
Figura 3. Ajustarea conturului superior al zonei de vârf, corespunzător rețelei de construcție

Șablonul pentru modificarea zonei de călcâi a calapodului

La construcția șablonului pentru modificarea zonei de vârf a calapodului sunt utilizate dimensiunile antropometrice ale picioarelor subiectului analizat. Descrierea etapelor de trasare a rețelei de construcție și elementele componente ale rețelei de construcție a șablonului pentru modificarea personalizată a zonei de călcâi a calapodului, corespunzător dimensiunilor antropometrice ale piciorului subiectului, sunt prezentate în Tabelul 4.

Table 4: Points and segments that define the construction network for adjusting the last's counter area
 Tabelul 4: Puncte și segmente care definesc rețeaua de construcție pentru ajustarea zonei de călcâi a calapodului

Dimension <i>Dimensiune</i>	Description <i>Descriere</i>	Value <i>Valoare</i>
1	extreme inferior point of the heel <i>punctul extrem inferior al călcâiului</i>	-
1'	extreme superior point of the heel <i>punctul extrem superior al călcâiului</i>	-
1-1'	heel height <i>înălțimea călcâiului</i>	50 (mm)
2'	extreme point of the heel <i>punctul extrem al călcâiului</i>	-
2-2'	posterior curvature amplitude of the heel <i>amplitudinea curburii posterioare a călcâiului</i>	6 (mm)
1'-3	distance 1'-3 = distance 2-2' <i>distanța 1'-3 = distanța 2-2'</i>	6 (mm)
3-3'	distance 3-3' = distance 1-1' <i>distanța 3-3' = distanța 1-1'</i>	50 (mm)

The stages for defining the template in adjusting last's counter area, using Engineer software, are the following:

1. Importing the shape of the longitudinal outline of the last, *.dxf extension;
2. Importing the shape of the longitudinal hinder outline of the subject foot;
3. Drawing the construction network (Figure 4);
4. Adjusting the interior outline of the pattern (Figure 5);
5. Drawing the exterior outline of the pattern and defining the limits thereof;
6. Obtaining the final shape of the pattern;
7. Saving the created template in *.cut format (Figure 6).

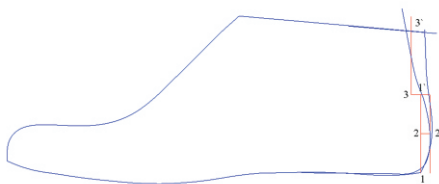


Figure 4. Drawing the construction network for the counter's template
 Figura 4. Trasarea rețelei de construcție a șablonului pentru zona de călcâi

Etapele modelării și definirii șablonului pentru modificarea zonei de călcâi a calapodului sunt următoarele:

1. Importarea conturului longitudinal al calapodului;
2. Importarea conturului longitudinal posterior al piciorului subiectului;
3. Trasarea rețelei de construcție (Figura 4);
4. Ajustarea conturului interior al șablonului pentru modificarea zonei posterioare a calapodului (Figura 5);
5. Trasarea conturului exterior al șablonului și definirea limitelor acestuia;
6. Obținerea formei finale a șablonului;
7. Exportarea șablonului creat în format *.cut (Figura 6).

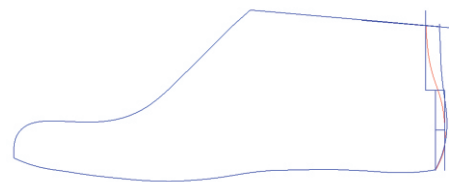


Figure 5. Adjusting the posterior contour in heel area, corresponding to the construction network
 Figura 5. Ajustarea conturului posterior al zonei de călcâi, corespunzător rețelei de construcție

Figure 6 presents the templates obtained with Engineer software: a) template for last's plantar area; b) toe template; c) counter template.

În Figura 6 sunt prezentate șabloanele obținute utilizând programul Software Engineer: a) șablonul zonei plantare a calapodului; b) șablonul zonei de vârf; c) șablonul zonei de călcâi.

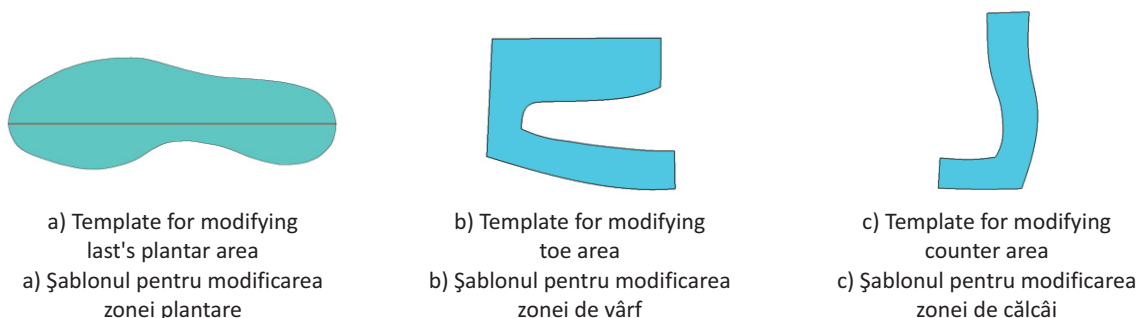


Figure 6. The templates designed to modify the last's dimensions in correspondence with subject's foot anthropometrical dimensions

Figura 6. Forma șabloanelor construite pentru modificarea dimensiunilor calapodului corespunzător dimensiunilor antropometrice ale subiectului

These templates are used to modify a last according to the subject's feet, the new last's dimensions being very close to the subject's average anthropometrical dimensions (Figure 7).

Aceste șabloane sunt folosite la modificarea unui calapod ținând cont de conformația picioarelor subiectului, dimensiunile noului calapod fiind apropiate de dimensiunile antropometrice medii ale subiectului (Figura 7).

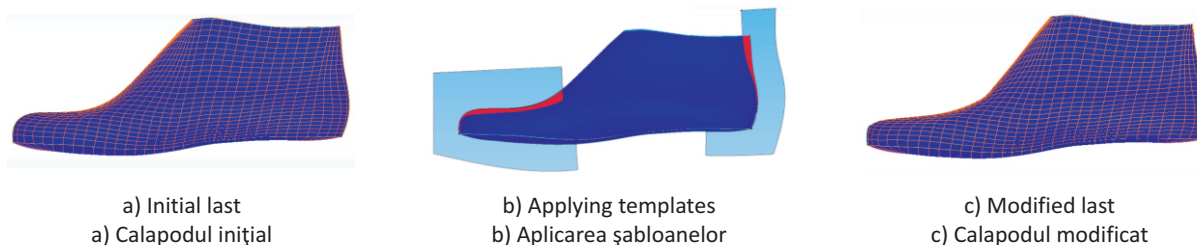


Figure 7. Modifying lasts
Figura 7. Modificarea calapoadelor

RESULTS AND DISCUSSIONS

The 3D shape of the shoe last was modelled using Last Maker software. Last Maker is a dedicated software for interactive modelling of shoe lasts. In this program it is possible to create different longitudinal and transversal sections on the surface of the last, to check last dimensions and to modify them and to grade the last. Another function of the software is to modify the last dimensions with patterns for the toe and counter areas and for the plantar surface. The order in










REZULTATE ȘI DISCUȚII

Forma 3D a calapodului a fost modelată utilizând programul software Last Maker, program dedicat modelării interactive a calapoadelor pentru încălțăminte, permite editarea liberă a dimensiunilor calapodului, editarea dimensiunilor longitudinale și transversale în modul avansat, crearea de secțiuni pe suprafața calapodului și editarea acestora etc. Programul permite, de asemenea, importarea de șabloane, create anterior, și modificarea dimensiunilor calapodului conform cu dimensiunile șabloanelor aplicate. În cazul calapodului selecționat, ordinea de

which the patterns are applied does not change the final dimensions of the last. The dimensions of the subject feet, initial dimensions of the last, the final shoe last dimensions, after modifying it, and applying patterns are presented in Table 5.

aplicare a șabloanelor este următoarea: șablonul zonei plantare, șablonul zonei de vârf și șablonul zonei de călcâi. Ordinea aplicării șabloanelor nu influențează dimensiunile finale ale calapodului. În Tabelul 5 sunt prezentate dimensiunile inițiale ale calapodului selectat și dimensiunile finale ale calapodului după aplicarea șabloanelor pentru ajustarea dimensiunilor.

Table 5: Dimensional parameters of foot and last before and after adjustment
Tabelul 5: Parametrii dimensionalai ai piciorului și calapodului înainte și după ajustare

Dimensional parameter <i>Parametru dimensional</i>		Dimensional value (mm) <i>Valoare dimensională (mm)</i>			Difference <i>Diferență</i>	
		Foot <i>Picior</i>	Initial last <i>Calapod inițial</i>	Modified last <i>Calapod modificat</i>	B-A	C-A
		A	B	C		
I	II	III	IV	V	VI	
Foot length <i>Lungimea piciorului</i>		254.9	266.77	264.9	11.87	10
Toes girth <i>Perimetrul la degete</i>		232.25	245.2	234.7	12.95	2.45
Toes width <i>Lățimea la degete</i>		97.85	84.2	92.8	-13.65	-5.05
Instep girth <i>Perimetrul la rist</i>		234.6	277.2	259.7	42.6	25.1
Heel width <i>Lățimea călcâiului</i>		65.4	59.8	65.9	-5.6	0.5
Length to fifth metatarsal bone <i>Lungimea până la metatarsianul 5</i>		160.3	161.4	161.3	1.1	1
Toes height <i>Înălțimea în zona degetelor</i>		42.4	53.6	47.2	11.2	4.8
Height of first toe joint <i>Înălțimea articulației degetului 1</i>		22.65	27	23.7	4.35	1.05
Heel girth <i>Perimetrul peste călcâi</i>		332.5	365.5	353.6	33	21.1

The second column represents the average anthropometrical dimension of the analyzed subject feet; the third column represents initial dimensions of the shoe last, and the fourth column represents the final dimension of the shoe last. The differences between the average anthropometric dimensions of the feet and the initial dimensions of the shoe last can be observed in the fifth column and also the differences between the average anthropometrical dimensions of the feet and the final dimensions of the shoe last can be

În coloana II sunt prezentate dimensiunile antropometrice medii ale subiectului, în coloana III sunt prezentate dimensiunile inițiale ale calapodului, iar în coloana IV sunt prezentate dimensiunile finale ale calapodului. În coloana V pot fi observate diferențele dintre dimensiunile medii ale picioarelor subiectului și dimensiunile inițiale ale calapodului. În coloana VI pot fi observate diferențele dintre dimensiunile medii ale picioarelor subiectului și dimensiunile finale ale calapodului. În această

observed in the sixth column. Comparing the last's two columns we can observe that the last's final dimensions are more akin to the average dimensions of the subject feet than its initial dimensions, and one can say that the results of adjusting the shoe last dimensions by applying patterns are conclusive.

CONCLUSIONS

The last's significance in the footwear design, modelling and manufacturing processes is given by the fact that its shape determines the footwear shape, matching the foot and the comfort characteristics.

Due to computers and computer science development in the recent years, new technologies and software applications have been developed for shoe lasts' design, modelling and manufacture. Using software as Delcam Engineer and Last Maker new techniques for modelling shoe lasts were developed.

The method presented in this paper for modelling last's dimensions is based on the average anthropometrical dimensions of a subjects' foot, employed as military personnel. The subjects' peculiarity lies in the type of professional activity that he is involved; the lower limbs have a much greater risk of injury, and that is why it is necessary to prevent such problems by using special footwear which will not constrain the conduct of his military activities.

The advantages of the presented method are represented by the decreased time of last's design and the accuracy of the results. Applying this method to a larger scale enables its development and allows footwear manufacturers to achieve a diverse range of products, faster and at lower costs than current possibilities.

After modifying the shoe last using patterns, the differences between parameters are very small. Lasts' dimensions are very close to the subject's anthropometrical average dimensions, thus appreciating the results of this method are conclusive.

coloană se poate observa că diferențele dintre parametri sunt foarte mici; dimensiunile calapodului sunt foarte apropiate de dimensiunile medii ale subiectului și putem aprecia că rezultatele aplicării metodei de ajustare a calapodului utilizând șabloane sunt foarte bune.

CONCLUZII

Importanța calapodului în proiectarea, modelarea și confecționarea încălțăminte este dată de faptul că forma acestuia determină forma încălțăminte, rezultând astfel în potrivirea cu piciorul și asigurând confortul dimensional al acestuia.

Datorită dezvoltării din ultimii ani a posibilităților din domeniul calculatoarelor și informaticii s-au dezvoltat și noi tehnologii și aplicații software dedicate proiectării, modelării și confecționării calapoadelor pentru încălțăminte. Prin intermediul unor programe precum Engineer și Last Maker, au fost elaborate noi tehnici de modelare a calapoadelor pentru încălțăminte.

Modelarea dimensiunilor calapodului prezentată în această lucrare are la bază dimensiunile antropometrice medii ale picioarelor unui subiect, angajat ca personal militar. Particularitatea subiectului constă în activitatea profesională pe care acesta o desfășoară, membrele inferioare fiind supuse unui risc de accidentare mult mai mare și din această cauză este necesară preîntâmpinarea acestor probleme utilizând încălțăminte care să nu limiteze sub nicio formă desfășurarea activităților militarilor.

Avantajele metodei prezentate în această lucrare sunt reprezentate de timpul redus de execuție și de corectitudinea rezultatelor. Aplicarea acestei metode la o scară largă oferă posibilitatea dezvoltării acesteia și utilizarea ei de către producătorii din domeniul încălțăminte pentru realizarea unei game variate de produse mai rapid și cu costuri mai reduse decât posibilitățile actuale.

După modificarea calapodului folosind șabloanele, diferențele dintre parametri sunt foarte mici. Dimensiunile calapodului sunt foarte apropiate de dimensiunile medii ale subiectului, apreciind astfel că rezultatele metodei de ajustare a calapodului utilizând șabloane sunt foarte bune.

Research will continue with modelling, designing and manufacturing of military footwear and its evaluation after being worn by the subject.

Acknowledgement

This paper was elaborated with the support of POSDRU CUANTUMDOC “DOCTORAL STUDIES FOR EUROPEAN PERFORMANCES IN RESEARCH AND INNOVATION” ID79407 project, funded by the European Social Fund and Romanian Government.

Cercetarea poate continua cu modelarea și proiectarea încălțămintei cu destinație militară și evaluarea acesteia în timpul purtării de către subiect.

Mulțumiri

Această lucrare a fost realizată în cadrul proiectului POSDRU CUANTUMDOC “DOCTORAL STUDIES FOR EUROPEAN PERFORMANCES IN RESEARCH AND INNOVATION” ID79407, finanțat de Fondul Social European și de Guvernul României.

REFERENCES

1. Rout, N., Zhang, Y.F., Khandual, A., Luximon, A., 3D Foot Scan to Custom Shoe Last, Special Issue of *International Journal of Computer & Communication Technology*, vol. 1, issue 2, 3, 4, **2010**, for International Conference ACCTA-2010.
2. Chong, W.K.F., Chan, P.P.C., Consumer buying behaviour in sports footwear industry (Hong Kong), **1992**, Business Research Centre, Hong Kong Baptist College.
3. Luximon, A., Foot shape evaluation for footwear fitting, PhD Thesis, **2001**, Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong.
4. Xiong, S., Pressure perception on the foot and the mechanical properties of foot tissue during constrained standing among Chinese, PhD thesis, **2008**, Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong.
5. Goonetilleke, R.S., Luximon, A., Designing for comfort: a footwear application, Proceedings of the Computer-Aided Ergonomics and Safety Conference **2001**, (July 28–Aug 2) Maui, Hawaii (Plenary Session).
6. Feng, J., Footwear fit modeling and evaluation, Master Thesis, **2002**, Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong.
7. Clarks, Ltd. Training Department, Manual of shoe making, **1989**, Training Department Clarks, UK.
8. Rossi, W.A., Tennant, R., Professional shoe fitting, **2000**, Pedorthic Footwear Association with acknowledgement to the National Shoe Retailers Association, New York.
9. Hwang, T.J., Lee, K., Oh, H.Y., Jeong, J.H., Derivation of template shoe-lasts for efficient fabrication of custom-ordered shoe-lasts, *Comput-Aided Des*, **2005**, 37, 12, 1241–1250.
10. Niu, J., Li, Z., Salvendy, G., Mathematical methods for shape analysis and form comparison in 3D anthropometry: a literature review, Lecture Notes in Computer Science, *Digit Hum Model*, **2007**, 4561, 161–170.
11. Mochimaru, M., Kouchi, M., Dohi, M., Analysis of 3D human foot forms using the free form deformation method and its application in grading shoe last, *Ergonomics*, **2000**, 43, 9, 1301–1313.
12. Treleaven, P., Sizing us up, *IEEE Spectrum Archive*, **2004**, 41, 4, 28–31.
13. Witana, C.P., Goonetilleke, R.S., Feng, J., Dimensional differences for evaluating the quality of footwear fit, *Ergonomics*, **2004**, 47, 12, 1301–1317.
14. Zhao, J., Xiong, S., Bu, Y., Goonetilleke, R.S., Computerized girth determination for custom footwear manufacture, *Computers & Industrial Engineering*, **2008**, 54, 359–373.
15. Goonetilleke, R.S., Luximon, A., Designing for Comfort: A Footwear Application, Computer-Aided Ergonomics and Safety Conference **2001**, edited by B. Das, W. Karwowski, P. Mondelo and M. Mattila.
16. Petcu, D., Pantazi, M., Karavana, H.A., Berijan, G., Reliability of the method of measuring anthropometric parameters based on three-dimensional foot scanning, Proceedings of the 3rd International Conference on

- Advanced Materials and Systems (ICAMS), **2010**, 295-300.
17. <http://www.delcam-crispin.com/footwear-solution/index.asp?FromProduct=engineer>
 18. <http://www.delcam-crispin.com/footwear-solution/index.asp?FromProduct=lastmaker>
 19. Vasilescu, A.M., Berijan, G., Micu, A., Analysis of Forces Causing or Restricting Movements of the Human Body, Proceedings of the 3rd International Conference on Advanced Materials and Systems (ICAMS), **2010**, 331-336.
 20. http://www.iwl.jp/main/infoot_std.html
 21. Malureanu, G., Mihai, A., Basics of Footwear Design (in Romanian), **2003**, Performantica Press, Iasi, ISBN 973-8075-88-2.
 22. Driscu, M., Pastina, M., CRISPIN Dynamics 3D – New Solution for Shoemakers, Creating and Modifying the Shoe Last, *Revista de Pielarie-Incaltaminte (Leather and Footwear Journal)*, **2011**, 11, 2, 109-120.