

## Geometrijska morfometrija u analizi bilateralne simetrije stopala

Dr.sc. **Jacqueline Domjanić**, dipl.ing.  
Prof.dr.sc. **Darko Ujević**, dipl.ing.  
Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet  
Zavod za odjevnu tehnologiju  
Zagreb, Hrvatska  
e-mail: jacqueline.domjanic@ttf.hr  
Prispjelo 17.1.2015.

UDK 687:611:572:685.3  
Izvorni znanstveni rad

*Za projektiranje i izradu funkcionalne i udobne obuće dobre pristalosti, od iznimne je važnosti poznavanje morfologije stopala. Razvoj tehnologija trodimenzionalnog skeniranja ljudskog tijela i osobnih računala omogućio je primjenu novih metoda analize podataka primjenom empirijskog i teorijskog znanja u antropologiji, statistici, ali i u odjevnoj i obučarskoj tehnologiji. Svrha je proučiti bilateralnu simetriju složenog ljudskog stopala izabrane studentske populacije mladih djevojaka primjenom geometrijske morfometrije, koja je u posljednjih tridesetak godina postala osnovni pravac istraživanja u području morfometrije. Primjenom postavljene metodologije, ova metoda uspoređuje tjelesne oblike na temelju postavljenih točaka na anatomskim obilježjima. U radu su ispitane antropometrijske osobine tijela i stopala sa svrhom grafičkog prikazivanja građe stopala za odabrani uzorak, koja mogu imati široku primjenu u praksi. Rezultati ispitivanja potvrđuju postojanje varijabilnosti morfoloških karakteristika stopala i opravdana je potreba za daljnjim istraživanjima varijacija u obliku i veličini stopala.*

**Ključne riječi:** ljudska stopala, 3D skener za stopala, asimetrija, deformacija

### 1. Uvod

Talijanski renesansni umjetnik Leonardo da Vinci opisao je ljudsko stopalo kao "inženjersko remekdjelo" i sigurno je imao pravo jer ljudska stopala tvore jedinstvenu funkcionalnu cjelinu, koja se sastoji od 26 kostiju, povezanih čvrstim vezama i mišićima. Interakcija kostiju, zglobova, ligamenata, tetiva i mišića opisana je putem morfologije (oblik i struktura) i mehanike (statičko-dinamičke funkcije) stopala [1]. Ljudsko je tijelo stvoreno kao kompleksna cjelina pri čemu je trodimenzionalnost tijela prostorno određena pomoću glavnih tjelesnih ravnina. Središnja ravnina

tijelo dijeli na desnu i lijevu simetričnu polovicu, pri čemu lijevo i desno stopalo predstavlja reflektiranu sliku tvoreći tzv. bilateralnu simetriju, sl.1 [2].

Prilikom dvonožnog kretanja stopalo mijenja oblik. Razlike su vidljive u dužini, obliku i kutu prstiju, širini i obliku pete kao i obliku lateralnog i distalnog stopalnog luka. Varijacije u tim obilježjima ukazuju na potrebu analize oblika jer jedan oblik ne može dovoljno precizno opisati ljudsko stopalo i zadovoljiti zahtjeve za udobnošću obuće većeg broja ljudi. U urbanoj civilizaciji naglasak se sve više stavlja na očuvanje zdravlja stopala. Stoga je potrebna sistematska analiza

varijacije oblika stopala s primjenom na modifikaciju kalupa i obuće koji bi odgovarao stopalima različitih oblika [2-4].

Primarna zadaća čarapa i obuće je da stopala štite od ekstremnih temperatura, ozljeda ali i vanjskih utjecaja. Neadekvatna obuća, međutim, može uzrokovati deformacije. Sredinom 19. stoljeća njemački je liječnik Hermann von Meyer pokrenuo revolucionarno istraživanje dokazujući pojavu deformiteta stopala zbog nošenja konstrukcijski neprimjerene obuće. Do tada se obuća izrađivala na temelju simetričnih kalupa, lijeva i desna tabanica bile su potpuno identične, pri čemu su i nastale dvije



Sl.1 Bilateralna simetrija parne cjeline kod stopala ljudi

jednake cipele. Najveće su deformacije nastale na prednjem dijelu stopala. Godine 1965., Debrunner je upozorio na nastanak deformacije poznate kao *hallux valgus* (čukalj) zbog nošenja prekratke obuće. Iz laboratorija obućarske industrije u Krakovu dobivene su spoznaje da svaka cipela do određene granice sputava slobodu stopalnih zglobova. Što je cipela kruća, veće je ograničenje. Iz svega navedenog može se zaključiti da je za projektiranje i izradu funkcionalne obuće od iznimne važnosti poznavanje morfologije stopala [5].

U Republici Hrvatskoj proveden je istraživačko-razvojni nacionalni projekt pod nazivom Hrvatski antropometrijski sustav (HAS) u okviru kojeg je izvršeno antropometrijsko mjerenje 30 866 ispitanika u cilju utvrđivanja novog sustava veličina za odjeću i obuću. Konvencionalnom metodom mjerenja prikupljene su dužinske karakteristike morfoloških cjelina stanovništva i stvorena je jedinstvena baza podataka. Obrada podataka sastojala se od deskripcije pojedinih varijabli sa sustavnim pregledom procjena parametara razdoba tjelesnih mjera koje su tablično prikazane u publikacijama knjiga serija HAS [6, 7]. U tradicionalnom pristupu prezentiranja antropometrijskih podataka prisutan je problem razdvajanja varijabilnosti u veličini od varijabilnosti u obliku. Zbog toga je u radu prikazan novi pristup analizi morfoloških cjelina metodom direktne grafičke vizualizacije oblika

pri čemu je moguće otkrivanje i malih promjena u obliku, što nije moguće utvrditi tradicionalnim metodama.

## 2. Materijali i metode

### 2.1. 3D skener za stopala

Stopala 83 mladih djevojaka u dobi od 18 do 36 godina skenirana su primjenom Pedus® 3D skenera za stopala. Pedus® (Vitronic i Human Solutions GmbH, Njemačka) je optički 3D digitalizator dimenzija 600 x 600 x 800 mm čije definirano trodimenzionalno mjerno područje (mjerni volumen) iznosi 100 x 190 x 320 mm. To je bezkontaktni mjerni uređaj koji radi na načelu optičke triangulacije s obzirom na način definiranja položaja mjerne točke na površini stopala relativno u odnosu na mjerni senzor. Kod aktivne optičke triangulacije svjetlosni izvor osvjetljava mjerni objekt a kamere istovremeno snimaju položaj svjetlosne zrake na objektu. Izvor laserske zrake, projicirana laserska zraka na stopalu i senzorski element kamere tvore trokut. Udaljenost između izvora svjetla i senzorskog elementa kamere je poznata kao i kutovi koji zatvaraju izvor svjetla i kamere s objektom. Kao rezultat moguće je odrediti oblik i veličinu trokuta koji međusobno tvore izvor svjetla, senzor kamere i osvjetljeni objekt. Na taj se način određuju i pohranjuju prostorne koordinate objekta (x, y, z). Prije svakog ciklusa skeniranja, obavlja se kalibracija senzora koja je potrebna za postavljanje parametara za svaku od 3 CCD kamera što postizemo skeniranjem specijalnog kalibracijskog objekta poznate geometrije [1, 8-10]. Korišteni 3D skener za stopala nalazi se na Tekstilno-tehnološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, u Zavodu za odjevnju tehnologiju u Laboratoriju za antropometrijska mjerenja i konstrukciju odjeće, sl.2.

Prije početka skeniranja, svim je sudionicima detaljno objašnjena svrha istraživanja i korištene procedure. Svi sudionici svojevrijedno su sudjelovali u istraživanju. Za svaku osobu dodat-



Sl.2 Skener za stopala Pedus® [1]

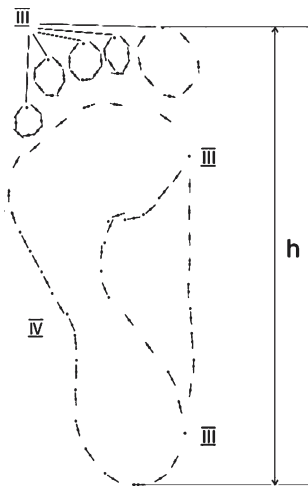
no su prikupljeni podaci o tjelesnoj masi i visini za izračunavanje indeksa tjelesne mase koji se koristi kao okvirni pokazatelj debljine, međutim ne uzima u obzir tjelesnu građu mjerene osobe. Indeks tjelesne mase (ITM) računa se na način da se tjelesna masa ispitanika prikazana u kilogramima podijeli s kvadratom visine u metrima [11] (1):

$$ITM = \frac{Tjelesna\ masa\ (kg)}{Tjelesna\ visina\ (m^2)} \quad (1)$$

Svjetska zdravstvena organizacija (WHO) prikazuje indeks tjelesne mase kao dijagnostičku metodu, a vrijednosti se kategoriziraju kako slijedi: ITM <20 pothranjenost, ITM 20-25 idealna masa, ITM 25-30 prekomjerna tjelesna masa i ITM >30 pretilost [12]. Posljednjih se desetljeća broj pretilih osoba povećao te postoje istraživanja koja istražuju utjecaj tjelesne mase na oblik stopala, osobito na strukturu medijalnog svoda [5, 13-15].

### 2.2. Priprema površinskog modela stopala za analizu

Iz trodimenzionalnog površinskog modela primjenom programa Amira® generiran je otisak stopala postavljanjem transverzalne ravnine na 2 mm od podloge. Za analizu geometrijske morfometrije korišten je programski paket TPS (James Rohlf) i Mathematica®. Na svakom stopalu ukupno je određeno 85 ravnomjerno raspoređenih točaka (engl. landmark i semilandmark) pomoću programa TPSDig2. Na sl.3 dat je prikaz pozicije odabranih točaka s korištenim algoritmom (engl. Sliding Landmark



Sl.3 Obris stopala jedne ispitanice izdvojen iz trodimenzionalnog površinskog modela stopala zajedno s postavljenim anatomskim točkama korištenim za morfometrijsku analizu [1]

Geometrijske informacije analiziranih stopala dobiju se nakon uklanjanja razlika u veličini, položaju i orijentaciji primjenom postupaka Generalizirane Prokrustove analize (GPA) pri čemu se iz zadanog uzorka izdvajaju varijable oblika svakog modela tog uzorka [21].

### 2.3. Morfometrija

Morfometrija (dolazi iz grčke riječi μορφή “morphé” = oblik i μέτρα “metría” = mjerenje) je znanstvena disciplina koja proučava varijabilnost oblika morfoloških cjelina sa svrhom kvantitativnog određivanja anatomskih razlika između pojedinaca ili skupina. Osnovna primjena morfometrije zabilježena je u antropologiji i biologiji, a u posljednje se vrijeme

ja analizira matematički oblik morfoloških struktura pomoću geometrije ispitivanog oblika. Veličina, položaj i orijentacija morfološke cjeline isključene su iz matematičkog oblika čime se dobivaju samo geometrijske informacije, te se mogu otkriti sitne promjene ispitivane forme [16-24]. Primjena osobnih računala pridonijela je razvoju nove metodologije u morfometriji. Na temelju već poznatih deformacijskih mreža Albrechta Dürera i D’Archy Thompsona, Bookstein je u kasnim osamdesetim godinama razvio TPS (engl. Thin-Plate Spline) metodu. Uz pomoć TPS algoritma može se matematički izračunati energija deformacije, hipotetski rečeno, „neograničene, beskonačno tanke, metalne ploče“ s obzirom na relativnu promjenu koordinata homolognih anatomskih točaka neke morfološke cjeline, sl.4. Glavna odlika TPS algoritma je vizualizacija varijacija oblika [19, 20, 23].

### 3. Rezultati i rasprava

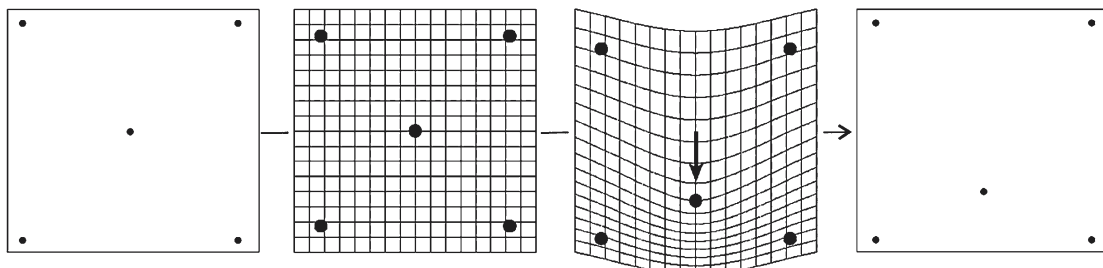
Za analizu ukupne promjene oblika bilateralne simetrije ženskog stopala korištena je metoda geometrijske morfometrije. Iz literature [2] je poznato da stopalni lukovi imaju značajnu ulogu u hodu pri čemu se djelovanje tjelesne mase (silom težine) prenosi s pete na lateralni uzdužni luk, a zatim i na prednji dio stopala. Mehaničke sile nastale u dvonožnom kretanju (hodu) čovjeka uzrokovane su tjelesnom masom, stoga je uz bilateralnu simetriju, indeks tjelesne mase uključen u analizu u svrhu određivanja deformacije stopala prilikom hoda koji ima utjecaj i na udobnost obuće. Osim stopalnih lukova, potkožno ma-

Tab.1 Tipovi korištenih točaka [10]

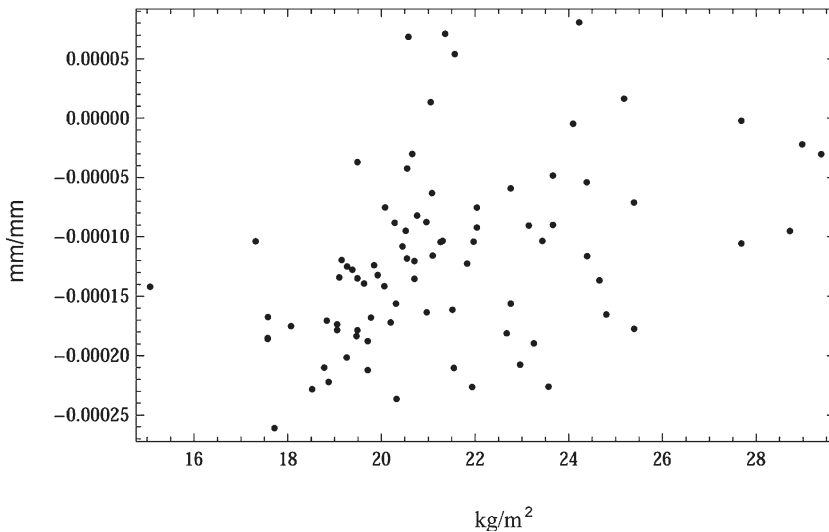
Tip specifične točke	Broj	Opis
Tip III	5	Vrh distalnog dijela prstiju stopala
Tip III	2	Najizbočenija medijalna pozicija konture stopala
Tip IV	35	Vanjska kontura prstiju (svakog prsta zasebno)
Tip IV	34	Vanjska kontura prednjeg, središnjeg i stražnjeg dijela stopala
Tip IV	9	Medijalna kontura stopala (počevši i završivši od najizbočenijih medijalnih pozicija konture stopala)

Algorithm) [16], za određivanje položaja specifičnih točaka na svim oblicima stopala, dok je u tab. 1 dat broj i opis korištenih tipova kao i pozicije digitaliziranih točaka. U literaturi [17-21] se najčešće spominju tri osnovna tipa specifičnih točaka koje je 1991. godine definirao Bookstein na temelju anatomskih i geometrijskih kriterija, međutim u novije vrijeme broj je proširen na šest tipova točaka.

primjenjuje u medicini, veterini, šumarstvu i doživljava sve širu primjenu, pa čak i u odjevnoj i obućarskoj tehnologiji. U literaturi se razlikuju dva osnovna pravca ispitivanja: prvi pravac je tzv. tradicionalna morfometrija, a drugi pravac ispitivanja naziva se geometrijska morfometrija (GM), odnosno nova GM. Dok tradicionalna morfometrija za analizu koristi morfometrijske varijable (duljine, širine i sl.) geometrijska morfometri-



Sl.4 Promjena oblika prikazan pomoću TPS algoritma [1]



Sl.5 Dijagram rasipanja Prokrustovih koordinata u odnosu na indeks tjelesne mase [1]



Sl.6 Oblik regresije otiska stopala - promjene oblika za ITM

sno tkivo stopala sudjeluje u formiranju izgleda i oblika stopalnog otiska [2]. Nakon postavljanja točaka na otiscima stopala primijenjena je

metoda Generalizirane Prokrustove analize kojom su iz uzorka izdvojene varijable koje nose informacije o obliku svakog stopala u uzorku. Koordinate točaka nakon skaliranja, centriranja i rotacije nazivaju se Prokrustove koordinate i uzete su kao polazni podaci za daljnju analizu. Izračunate su vrijednosti indeksa tjelesne mase (ITM) koji se kreću u rasponu od 15,1 do 29,4 i istražen je utjecaj tjelesne mase na oblik otiska stopala primjenom regresijskog modela, gdje su Prokrustove koordinate uzete kao zavisna varijabla, sl.5.

Promjene oblika otiska stopala uz implikaciju indeksa tjelesne mase, primjenom multivarijantne regresije pokazuje proširenje u području srednjeg dijela stopala. Model promjena je taj da se medijalna i lateralna kontura

pomiču prema van. Vrijednosti kovarijance između ITM i oblika dana je vektorima koji prikazuju pomake specifičnih točaka, sl.6.

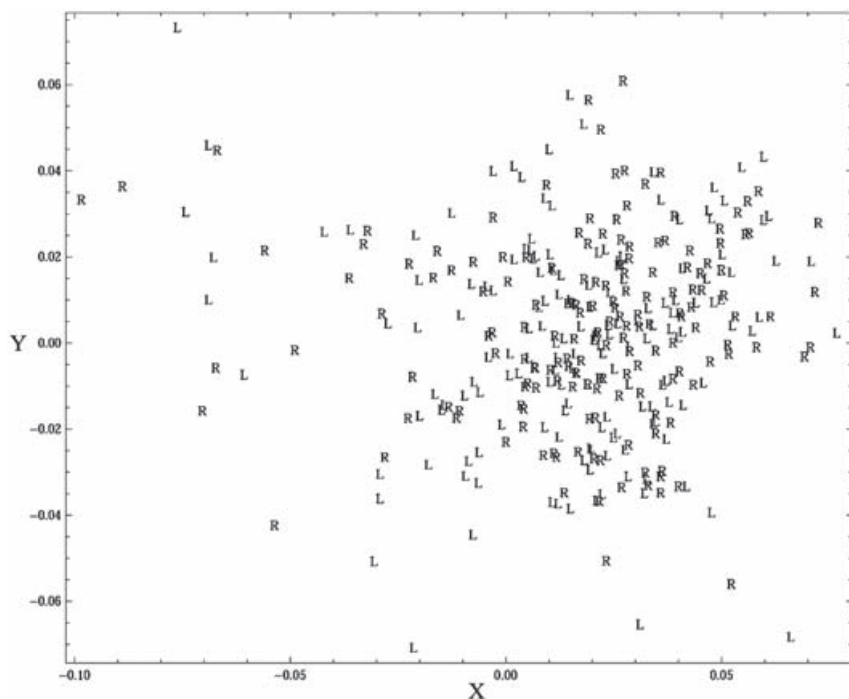
Indeks tjelesne mase ima statistički značajan utjecaj na oblik otiska stopala ( $p < 0,001$ ). Niže vrijednosti indeksa tjelesne mase povezane su s izraženijim medijalnim stopalnim svodom, dok su više vrijednosti ITM povezane sa spuštenim lukom. Na sl.7 prikazan je utjecaj Indeksa tjelesne mase na odnos duljine i širine stopala. Za prikaz su korištene vrijednosti ITM 15, ITM 20, ITM 25, ITM 30 i ITM 35.

Na sl.8 dat je numerički prikaz Prokrustovih koordinata analiziranih specifičnih točaka lijevih i desnih stopala. Na temelju različitih položaja specifičnih točaka izračunata je energija deformacije i izdvojene su varijable oblika koji predstavljaju vlastite vektore matrice energije deformacija. Na sl.9a i 9b dat je grafički prikaz prosječnog lijevog i desnog stopala ispitanog uzorka. Za testiranje postoji li statistički značajna razlika dobivenih oblika korišten je permutacijski test. Lijevo i desno stopalo statistički se značajno razlikuju ( $p < 0,001$ ). Desna stopala su u prosjeku šira u odnosu na njihovu duljinu i granica između prednjeg i središnjeg dijela stopala ima veći kut u desnim stopalima u usporedbi s lijevim.

Promjene oblika mogu biti umjerena. Kako bi se poboljšali vizualni učinci, signal varijacije je pojačan s fakto-



Sl.7 Grafički prikaz utjecaja indeksa tjelesne mase na oblik otisaka stopala za iznose: a) 15, b) 20, c) 25, d) 30 i e) 35 ITM [1, 23]



Sl.8 Vizualni prikaz disperzije Prokrustovih koordinata specifičnih točaka iz uzorka za lijevo (L) i desno (R) stopalo [1]

hoda i time imaju utjecaj na morfološku simetriju stopala. Također je vidljivo da su više vrijednosti indeksa tjelesne mase u vezi sa širokim i spuštenim stopalima. Ovo istraživanje daje uvid u morfološke karakteristike ljudske varijabilnosti i može biti temelj budućim istraživanjima. Geometrijska se morfometrija pokazala kao nova metoda u odjevnoj i obućarskoj tehnologiji za testiranje promjena oblika stopala uvjetovanih unutarnjim i vanjskim faktorima koji djeluju na ljudsko tijelo, i može pridonijeti poboljšanju u projektiranju i izradi funkcionalne i udobne obuće dobre pristalosti.

*Istraživanje je izvršeno u sklopu suradnje sa em. O. Univ.-Prof. Dr. Horst Seidler i Prof. Mag. Dr. Priv. Doz. Philipp Mitteröcker sa Sveučilišta u Beču.*



Sl.9 Prosječni oblik otiska stopala: a) lijevo stopalo, b) desno stopalo, c) zbog boljeg uočavanja razlika signal varijacije pojačan je četiri puta za c) lijevo stopalo i d) desno stopalo [1, 23]

rom 4 (sl.9c i 9d), korištenjem četiri puta komponentu pomaka vektora [25].

#### 4. Zaključak

Stopala 83 mladih djevojaka skenirana su primjenom Pedus® 3D skenera za stopala. Tradicionalne mjere stopala zamijenjene su specifičnim točkama na točno određenim pozicijama na transferzalnoj ravnini stopala i analizirane algoritmom za kvantifikaciju razlike u obliku. Varijabilnost rezultata dobivenih Prokrustovom

analizom (engl. Procrustes analysis) pokazuje najveću promjenu oblika u predjelu uzdužnih, medijalnih i lateralnih stopalnih lukova.

U prosjeku desna su stopala šira od lijevih i kontura medijalnog stopalnog luka pokazuje veći kut u desnim stopalima. Varijabilnost asimetrije u uzorku također se mijenja s obzirom na vrijednost indeksa tjelesne mase, tako da je simetrija veća kod mladih djevojaka s indeksom tjelesne mase manje od 21. Može se pretpostaviti da više vrijednosti tjelesne mase utječu na opterećenje stopala tijekom

#### Literatura:

- [1] Domjanić J.: 3D Surface Models and Geometric Morphometric Analysis of Female Feet. Doctoral Dissertation. University of Zagreb. Zagreb, 2013.
- [2] Keros P., M. Pečina: Funkcijska anatomija lokomotornoga sustava. Medicinska biblioteka. Naklada Ljevak, Zagreb, 2006. ISBN 978-953-178-787-1
- [3] Kalebota N.: Regionalne razlike u građi stopala mladih muškaraca u Hrvatskoj, Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2006

- [4] Akalović J. Anthropometry in Footwear Design and Last Making. In *Theoretical Aspects and Application of Croatian Anthropometric System*, Zagreb, 2010, ISBN 978-953-7105-28-0
- [5] Mauch M.: *Kindliche Fußmorphologie: Ein TypisierungsmodeLL zur Erfassung der dreidimensionalen Fußform im Kindesalter*. AV Akademikerverlag, 2012, ISBN 978-3-639-42138-5
- [6] Ujević D. i sur.: *Hrvatski antropometrijski sustav: Podloga za nove hrvatske norme za veličinu odjeće i obuće*, Publikacije serije HAS, ISBN 953-7105-09-1, 2006
- [7] Ujević D. et al.: *Theoretical Aspects and Application of Croatian Anthropometric System*, Zagreb, Croatia, 2010, ISBN 978-953-7105-28-0
- [8] Bogović S.: *Konstrukcija odjeće prilagođena tjelesnim deformitetima primjenom topoloških invarijanti*, Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2012.
- [9] Ivšac D.: *Usporedba 3D mjernih postupaka u kontroli kvalitete*, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2014.
- [10] Weber G.W., F.L. Bookstein: *Virtual Anthropology: Mapping the physical world: Digitise*, Wien, New York: Springer Verlag, ISBN 978-3-211-48647-4
- [11] Indeks tjelesne mase, dostupno na [http://hr.wikipedia.org/wiki/Indeks\\_tjelesne\\_mase](http://hr.wikipedia.org/wiki/Indeks_tjelesne_mase), pristupljeno 11.01.2015.
- [12] World Health Organization: *Obesity: preventing and managing the global epidemic Report of a WHO Consultation (WHO Technical Report Series 894)*, 2000.
- [13] Sforza C, G. Michielon, N. Fragnito, V.F. Ferrario: *Foot asymmetry in healthy adults: elliptic fourier analysis of standardized footprints*. *J Orthop Res* 16 (1998) 6, 758-765
- [14] Kraus I. et al.: *Sex-related differences in foot shape*. *Ergonomics* 51 (2008) 11, 1693-1703
- [15] Kraus I., M. Mauch: *Foot Morphology, The Science of Footwear*. Taylor & Francis Group, Boca Raton, 2013, ISBN 13-978-1-4398-3569-2
- [16] Bookstein F.L.: *Landmark methods for forms without landmarks: morphometrics of group differences in outline shape*. *Med Image Anal* 1 (1997) 3, 225-243
- [17] Bookstein F.L.: *Morphometric tools for landmark data: geometry and biology*. Cambridge (UK); New York: Cambridge University Press, 1991
- [18] Ivanović A., M. Kalezić: *Evoluciona morfologija: teorijske postavke i geometrijska morfometrija*. Biološki fakultet, Beograd, 2009., ISBN 978-86-7078-100-9
- [19] Mitteroecker P, P. Gunz: *Advances in geometric morphometrics*. *Evolutionary Biology* (2009) 36: 235-247
- [20] Gunz P., P. Mitteroecker: *Semilandmarks: a method for quantifying curves and surfaces*. *Italian Journal of Mammalogy* 24 (2009) 1, 1-7
- [21] Zelditch M.L., D.L. Swiderski D.H. Sheets & W.L. Fink: *Geometric morphometrics for biologists: a primer*. - Elsevier Academic Press, London, 2004, ISBN 0-12-77846-08
- [22] Janković I.: *Neandertal Lateral Midface: A Morphometric Analysis*. Hrvatsko antropološko društvo, Zagreb, 2009., ISBN 978-953-7467-01-2
- [23] Domjanić J. et al.: *Geometric morphometric footprint analysis of young women*, *Journal of Foot and Ankle Research* 6 (2013) 27, 1-8
- [24] Bookstein F.L., J. Domjanić: *Analysis of the Human Female Foot in Two Different Measurement Systems: From Geometric Morphometrics to Functional Morphology*, *Collegium Antropologicum* 38 (2014) 3, 855-863
- [25] Bookstein F.: *A hundred years of morphometrics*, *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 44 (1998) 1-2, 7-59

**SUMMARY****Geometric morphometrics in the analysis of bilateral feet symmetry***J. Domjanić, D. Ujević*

For design and production of functional and comfortable shoes the knowledge of the morphology of the feet is of vital importance. Development of the technology of 3D-scanning of human body and personal computers has enabled the application of the new methods of data analysis using the empirical and theoretical knowledge in anthropology, statistics as well as the clothing and footwear technology. The aim is to study bilateral symmetry of the complex human foot in selected student population of young girls using geometric morphometrics, which has become the main direction of research in the field of morphometrics in the last thirty years. Due to the application of the proposed methodology, this method compares body forms on the basis of the set points of anatomic characteristics. The paper examines anthropomorphic characteristics of the body and feet to enable graphical representation of composition of the feet for the selected pattern that may have wide application in practice. The results of research indicate that there is a variability of morphologic characteristics of feet and that the need of further study of variations in the shape and size of the feet is justified.

**Key words:** human feet, 3D foot scanner, asymmetry, deformation

*University of Zagreb, Faculty of Textile Technology*

*Department of Clothing Technology*

*Zagreb, Croatia*

*e-mail: jacqueline.domjanic@ttf.hr*

*Received January 17, 2015*

**Geometrische Morphometrie in der Analyse  
der bilateralen Fuß-Symmetrie**

Für das Design und die Produktion von funktionellen und bequemen Schuhen sind die Kenntnisse der Morphologie der Füße von grosser Bedeutung. Die Entwicklung der 3D Scanning-Technologie des menschlichen Körpers und des Personalrechners hat die Anwendung neuer Methoden der Datenanalyse mit Hilfe der empirischen und theoretischen Kenntnisse in Anthropologie, Statistiken, sowie Bekleidungs- und Schuh-Technologie ermöglicht. Ziel ist, bilaterale Symmetrie des komplizierten menschlichen Fußes in der ausgewählten Studentenpopulation von jungen Mädchen zu untersuchen, durch Verwendung von geometrischer Morphometrie, die in den letzten dreissig Jahren die Hauptrichtung der Forschung in der Morphometrie geworden ist. Aufgrund der Anwendung der vorgeschlagenen Methodik vergleicht diese Methode Körperformen auf der Grundlage der Sollwerte der anatomischen Eigenschaften. Der Beitrag untersucht anthropomorphe Eigenschaften des Körpers und der Füße, um grafische Darstellung der Zusammensetzung der Füße für das ausgewählte Muster, das eine breite Anwendung in der Praxis ermöglicht. Die Forschungsergebnisse zeigen an, dass es eine Variabilität von morphologischen Eigenschaften von Füßen gibt und dass der Bedarf der weiteren Studie von Schwankungen der Form und Größe der Füße gerechtfertigt ist.