

Prilagođeni uložak, dio 2: 2d/3D grafički proces

Maneesh Kumar Mishra^{1, 2, 3}, Pascal Bruniaux^{1, 2, 3}, Guillaume Tartare^{1, 2, 3} and Christine Campagne^{1, 2, 3}

¹ University of Lille Nord de France, Lille, France

² Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries Textiles, Roubaix, France

³GEMTEX, Roubaix, France

E-mail: Maneesh09mishra@gmail.com, maneesh.mishra@ensait.fr

Izvorni znanstveni rad

UDK: [685.34.02.073:615.477]:[685.34.017:004.925.84]

DOI: 10.34187/ko.68.3.1

Sažetak:

Potrebe u području ortopedskih uložaka postaju sve važnije. Medicinska svrha ovih plantarnih proteza često je ispravljanje držanja ili biomehaničke neravnoteže koji imaju tendenciju da uzrokuju bol u raznim dijelovima tijela, ovisno o patologiji pacijenta. To se događa zbog povećanja broja ljudi s visokim tlakom ili onih koji imaju problema s dijabetesom ili drugim bolestima. No, cijena tih proizvoda može varirati. Bez obzira za što je terapijski proizvod bio predviđen, ekonomski model nije prilagođen za socijalno osiguranje. Za poboljšanje kvalitete proizvoda potreban je nov kreativan proces. Ovaj rad je nastavak prethodnih radova. Proces koji se koristio za otkrivanje antropometrijskih točaka na stopalu uključen je u proces izrade prilagođenih uložaka. Kombinacijom tehnike koja izdvaja otisak stopala, uz specifičan postupak koji koristi obris (siluetu) za stvaranje 2D oblika uložka i upotrebljava 3D oblik standardnog kalupa cipele stvorili smo 3D oblik uložka koji je prilagođen stopalu.

Ključne riječi:

3D grafički proces, 3D model uložka, morfologija stopala, antropometrija stopala, prilagođen uložak

1. Uvod

Prijašnji rad trebao je razmotriti alate za mjerenje koji se koriste i analiziraju profesiju podijata tako što se ističu medicinski i ekonomski aspekti kako bi se otkrila tehnološka zapreka [1][2][3][4][5][6]. Primjena novog procesa dizajna za ove terapijske proizvode za stopala zahtijevala je stjecanje morfološkog, antropometrijskog i biomehaničkog znanja o stopalu. Da bi se stopalo karakteriziralo dimenzionalno i morfološki, primijenjen je proces otkrivanja antropometrijskih točaka i izrada morfoloških krivulja (dio ovog rada).

Potrebe na području ortopedskih uložaka sve su veće. Medicinska svrha ovih plantarnih proteza je ispraviti držanje ili biomehaničku neravnotežu koja ima tendenciju uzrokovati bol u različitim područjima tijela ovisno o patologiji pacijenta [7][8][9][10]. Terapeutske indikacije, koje se najčešće preporučuju, pronalaze se u slučaju osteoartritisa koljena ili bokova, nogu, nejednake dužine, kavusnog (visoki svod) i ravnog stopala (niski svod) ili zoni visokog tlaka [11][12]. Reumatolozi ili podijatri obično otkrivaju ove patologije. Podijatri finaliziraju recepte za proizvodnju prilagođenih ortopedskih uložaka koji će se nositi oko godinu dana (normalna trajnost ortopedskih uložaka). Ove patologije se mogu pronaći prije svega kod djece, sportaša, invalidnih ili starijih osoba [11][12]. Ovisno o liječniku troškovi se kreću u većem rasponu (75€ to 300€) ovisno o kvaliteti uložka i receptu jer su tehnike proizvodnje vrlo tradicionalne. Osim toga, plafon vraćanja novca od strane socijalnog osiguranja nije visok i ne uzima u obzir svojstvenu nabavu specifičnih cipela u ljekarni čime bi se objedinio ovaj iznos.

Ma što predvidio ovaj terapijski proizvod, ekonomski model nije više prilagođen potrebama pacijenata i proračunskim odredbama socijalnog osiguranja. Mora se temeljiti na razmišljanju o usklađenom vrijednosnom lancu kako bi se prilagodio relevantnoj reakciji na potrebe tako da se integrira operativni model podijatra ili liječnika i njihovoj razini prihvaćanja promjene kako bi se definirao pravilni vrijednosni lanac. Naravno, uvođenje digitalnog procesa dizajna za ove različite proizvode može pomoći u njihovom poboljšanju i smanjenju troškova proizvodnje.

Da bi se zamijenio stari proces [15], primjena novog procesa dizajna terapijskih proizvoda za stopala zahtijeva poznavanje različitih aspekata. Morfologija stopala je vrlo korisna kod izrade cipele jer ovisi o kalupu cipele. Na isti način, morfologija kalupa je vrlo korisna i kod izrade uložka [16].

Antropometrija je sredstvo dimenzijskog mjerenja stopala [17]. Međutim, od jednog do drugog pacijenta iste veličine neke dimenzije mogu biti vrlo različite što može značiti problem. S biomehaničkog aspekta pritisak stopala na uložak mora biti pravilan, jer može uzrokovati različite poremećaje ili već spomenute boli.

Ovo morfološko i antropometrijsko poznavanje stopala zahtijeva primjenu pouzdanog 3D digitalnog procesa mjerenja. Zato moramo otkriti antropometrijske točke koje omogućuju precizna mjerenja po specifičnom procesu [18]. Zato ona neće ovisiti o antropometrijskim pravilima ili položaju markera koji se ručno stavljaju na stopalu kao što su oni koje koristi 3D skener (industrijska mjerenja) [19].

Prilagođeni ortopedski uložak mora se proučiti da se shvati kako će se staviti između stopala i donjeg dijela cipele. Pretpostavlja se da gornji dio ortopedskog uložka predstavlja donju površinu stopala kako bi se pravilno raspodijelile točke pritiska, a pretpostavlja se da donji dio predstavlja unutarnji donji dio cipele. Podijatri vode računa o prvom uvjetu kod modeliranja stopala, ali ne i drugom uvjetu. Izrada uložka nije lagana kao što se misli. U proces izrade uključeni su različiti parametri i tehnički kriteriji [20]. Uložak mora također ublažiti udarce kada se stopalom dodiruje tlo, stabilizirati i izravnati tijelo u njegov prirodan položaj ili čak kompenzirati razlike duljine stopala. Neodgovarajući ulošci mogu uzrokovati zamor stopala, nogu ili uzrokovati mišićno koštane poremećaje. Nepovoljna pristalost stopala u cipeli ne optimira hodanje.

Ovisno o potrebama upotrebe (grad, trčanje, stopiranje, vrsta sporta itd.) ili patologiji koju je otkrio podijatri, uloga uložka može biti različita pa dizajneri uložaka djeluju na apsorpcijski materijal gelom, na debljinu, na držanje tijela i higijenu, na njegovu malu težinu i dinamizam, njegovu zaštitu i njegovu izolacijsku moć [21]. Ovaj proizvod se može dizajnirati od različitih prirodnih ili sintetičkih materijala, kao i višestrukog materijala po zonama. To je vrlo tehnički element kod kojeg se često upotrebljava razdioba pritiska tijekom medicinske analize.

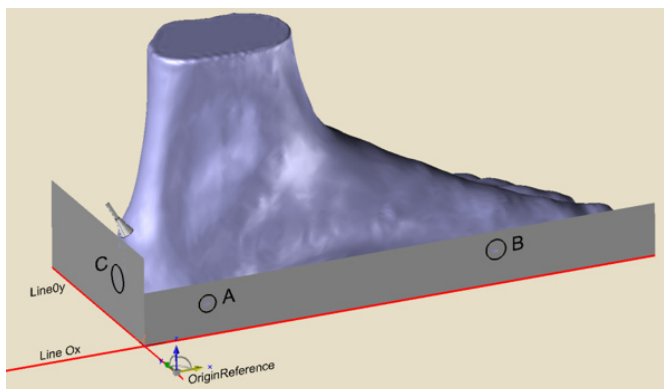
Materijal je vrlo važan, ali dobra pristalost stopala u cipeli sa specifičnim uloškom je također vrlo važna. Također, ovaj rad se fokusira na primjenu procesa izrade uložka koji je prilagođen pacijentovoj morfologiji. Ovaj proces u 3D slijedi morfologiju stopala i morfologiju unutrašnjosti cipele koju predstavlja kalup cipele koji uvažava industrijsku veličinu pacijenta.

2. Sustav uklještenja stopala

Kod ručnog mjerenja peta se mora uklještit na prvoj ravnini, a unutarnja strana stopala na drugoj ravnini okomitoj na ravninu pete. Kod automatskog procesa koji je razvijen u CAD sustavu ove se radne operacije mogu izvršiti korištenjem ravnina koje su okomite na tlo. Razlika kod ručnog postupka je da moramo uklještit prvo unutarnju stranu stopala na njegovoj ravnini prije uklještenja pete na njezinu vlastitu ravninu. Ovaj postupak ima različite tehnike praćenja antropometrijskih točaka kod upotrebe različitih prilagodljivih ravnina.

Za ravninu unutarnje strane koristimo tehniku traženja pomoću dvije kontaktne točke A i B da se uklješti ravnina koja sadrži ove točke na unutarnjoj strani stopala (slika 1). Ovaj pomak se izvršava u odnosu na originalnu oznaku na skeneru (poziv na original). Pravac Ox, koji podupire početnu ravninu i postavljen je u novom referentnom okviru R1, može se pomicati duž Y-osi i tada okrenuti oko Z-osi. Dvije kontaktne zone se otkrivaju tako da se uzastopno provode različite translacije i rotacije na alternativan način s time da se primjenjuje dihotomski pristup. Kvaliteta kontakta se postiže tako da se postepeno profinjuje vrijednost parametara translacije i rotacije.

Kod ravnine pete upotrebljava se druga tehnika traženja pomoću jedne kontaktne točke C tako da se peta uklješti na ravninu koja je okomita na prethodnu ravninu (sl. 1). Pravac Oy, koji podupire ovu ravninu postavljen je u novom referentnom okviru R2, može se pomicati okomito na pravac Ox jer se direktno kontrolira iz referentnog okvira R1. Kontaktna zona se može precizno otkriti dihotomskim pristupom. Prva faza je bila pozicionirati stopalo s obzirom na nove 3D kartezijanske koordinate koje integriraju referentne okvire R1/R2 koji imaju svojstvo da blokiraju referentne okvire.



Slika 1. Otkrivanje kontaktnih točaka tehnikom ravnina

3. Plantarni površinski model

3D metoda koja se koristi za konstrukciju plantarne površine blizu je 2D grafičkom postupku kojeg je predložio Rigal [20]. Svrha ove grafičke metode je povezati različite tehničke podatke koji se koriste za dizajn kalupa cipele koji predstavlja povezanost između stila cipele i anatomske informacije o stopalu. Na primjer, dizajn, oblik i volumen kalupa cipele su bitni za pristalost cipele. Dizajn uložka čiji gornji oblik predstavlja donji dio stopala mora se povezati s unutarnjim dijelom cipele, tj. donjim oblikom kalupa cipele.

Asocijacija s ovim 3D oblikom doveo je do procesa dizajna plantarne površine u odnosu na kalup cipele koji prolazi kroz 4 jasne faze koje će se kasnije opisati.

3.1. Geometrijska izvedba optimalne skice koja obuhvaća otisak stopala

U prvoj fazi pažljivo smo slijedili Rigalovu metodu tako da smo prilagođavali samo dimenzionalne karakteristike koje su dobivene skeniranjem stopala, tj.:

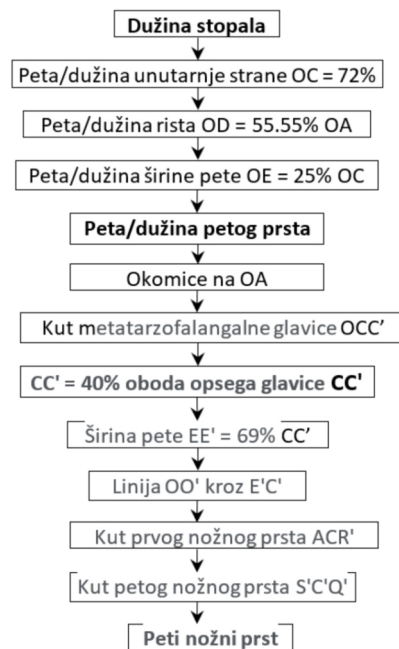
- dužina stopala (280,6 mm)
- obod opsega glavice (278,7)
- obod opsega rista (282,1)
- dužina između pete do petog prsta (234).

Za ovu veličinu stopala drugi parametri su izabrani u tablici veličina baze podataka koja potječe od statističke analize francuskog stanovništva [20]. Autor nije naveo datum i protokol kampanje mjerenja; jedinstvena informacija je statistička analiza provedena na uzorku muškaraca i žena od 10.000.

Podaci izdvojeni iz tablice veličina su mjerenja kuta otiska stopala, tj.

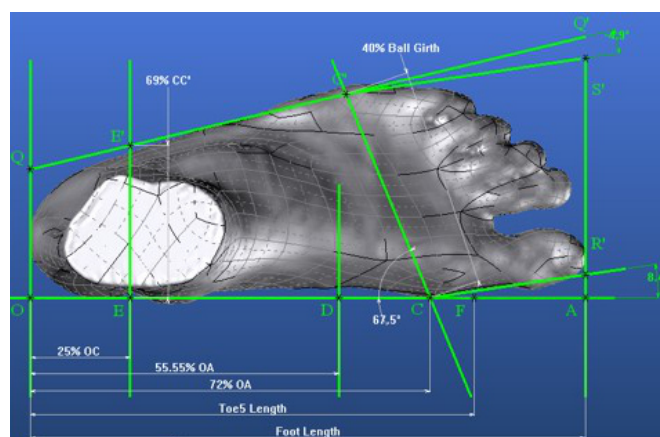
- metatarzofalangalni kut glavice OCC' ($71^{\circ}06'$)
- kut prvog nožnog prsta ACR' ($13^{\circ}94'$)
- kut petog nožnog prsta $S'C'Q'$ ($10^{\circ}22'$)

Na sl. 2 prikazana je grafička metoda za praćenje konture koja obuhvaća otisak stopala i slijedi postupak opisan na sl. 2.



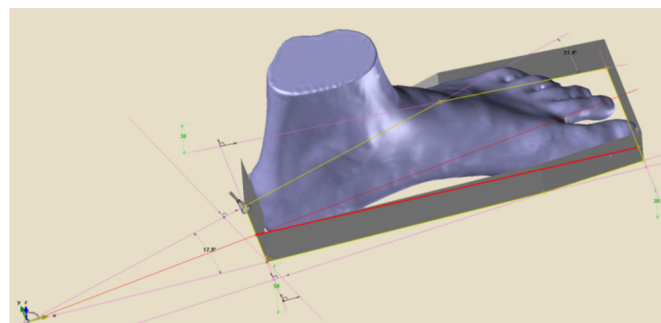
Slika 2. Kontura koja obuhvaća postupak crtanja otiska stopala

Slika 3 prikazuje da stopalo nije potpuno ucrtano u konturu koju čine točke $OCR'S'C'Q'$.



Slika 3. Rigalov postupak crtanja konture koja obuhvaća otisak stopala, opseg glavice, dužinu nožnog prsta i dužinu stopala

Ovaj nesklad je bio predvidljiv jer se ovaj postupak može primijeniti samo da se dobije prosječna vrijednost podataka iz statističke analize mjerenja stopala. Razmatrajući ovaj rezultat, moguće je uočiti da je bolje otkrivanje kontaktnih zona i podešavanje različitih kutova moglo dati bolje rezultate. Ova dva problema se mogu riješiti našom tehnikom otkrivanja kontaktne točke pomoću parametarske ravnine (sl. 4).



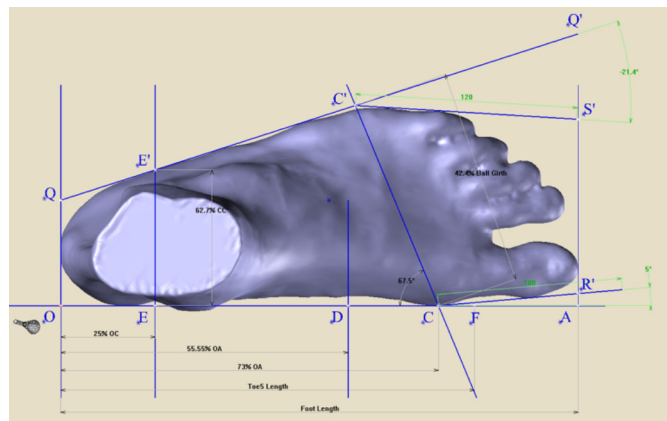
Slika 4. Kontaktne točke, postupak definiranja optimalne konture koja obuhvaća otisak stopala

Dakle, pravac QQ' može se podešavati pomoću ravnine u dvije kontaktne točke (sl. 3). Dva kuta

ACR' , $S'C'Q'$ mogu se tada podešavati pomoću ravnine u jednoj kontaktnoj točki okretanjem u C odn. C'.

Položaj dvije okretne točke C i C' su dvije kontaktne točke koje se dobivaju iz prethodnog istraživanja; točka C koja određuje položaj metatarzalne tibije, točka C' položaj metatarzalne fibule.

Rezultati na sl. 5 pokazuju da je stopalo savršeno ucrtano u novu konturu koja obuhvaća otisak stopala. Razlika u odnosu na Rigalijevu metodu je da su mnogi parametri dobiveni automatski direktnim mjerenjem i da ovi parametri više ne kontroliraju oblik ove nove granice.



Slika 5. Optimalna kontura koja obuhvaća otisak stopala.

Nove vrijednosti ovih podataka mjerena su:
 OC = 73% OA, CC' = 42.4% opsega glavice, EE' = 62.7% CC',
 kut ACR' = 5°, kut OCC' = 67.5°, kut S'C'Q' = 21.4°.

Dužina stopala može se također otkriti ravninom R 'S' koja je okomita na pravac OA i tangentu na krajnju vrijednost prvog nožnog prsta. Nova vrijednost OA koja definira dužinu stopala je 280,2 mm koja predstavlja francusku veličinu blizu 44. Konverzija dužine stopala u francusku veličinu (računaljka s pomičnim kuglicama [20]) može se odrediti sljedećom jednačbom:

$$\text{Veličina cipele} = 0.1602 * \text{dužina stopala} - 0.6607$$

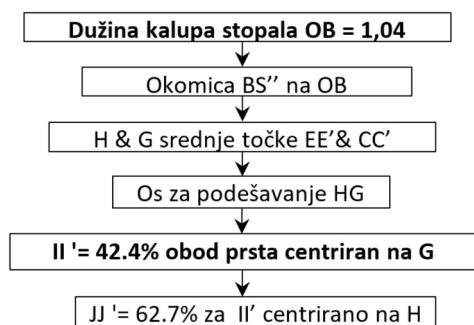
3.2. Povezanost između konture koja obuhvaća otisak stopala i kalupa

U ovoj fazi istraživanja možemo izabrati dobar kalup prema veličini cipele da bi se odredio unutarnji oblik cipele. U tab. 1 prikazan je razvoj kalupa označen s brojem prema veličini cipele. Na primjer, ako uzmemo kalup 6 za veličinu cipele 44, obod prsta kalupa imat će vrijednost 250. Ovaj obod prsta i obod opsega glavice stopala se povezuju vrijednošću tolerancije. Za bolju potporu stopala u cipeli i povećanje udobnosti kalup mora biti duži i uži od stapala. Njegova dužina i volumen ovise o vrsti cipele. Na primjer, za sandalu moramo povećati dužinu 2%, 3% za kvadratni prst, 4% za okrugli prst itd. U našem slučaju broj kalupa je 8 (obod opsega glavice = 277,4, obod prsta = 260).

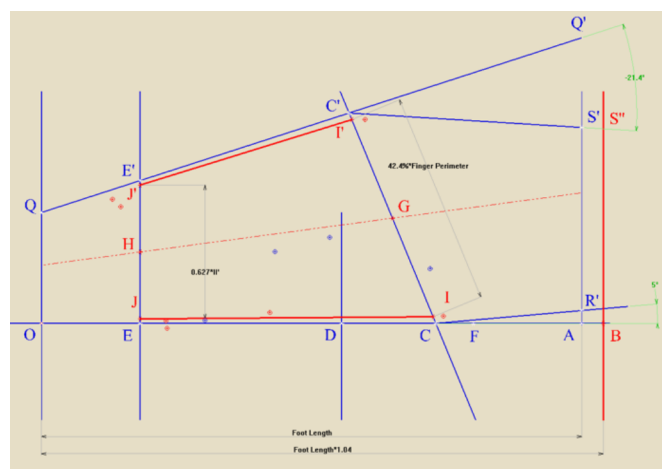
Tablica 1.

Veličina cipele	Širina							
	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th	6 th	7 th	8 th
"Point de PARIS"								
33	170	175	180	185	190	195	200	205
34	175	180	185	190	195	200	205	210
35	180	185	190	195	200	205	210	215
36	185	190	195	200	205	210	215	220
37	190	195	200	205	210	215	220	225
38	195	200	205	210	215	220	225	230
39	200	205	210	215	220	225	230	235
40	205	210	215	220	225	230	235	240
41	210	215	220	225	230	235	240	245
42	215	220	225	230	235	240	245	250
43	220	225	230	235	240	245	250	255
44	225	230	235	240	245	250	255	260
45	230	235	240	245	250	255	260	265
46	235	240	245	250	255	260	265	270
47	240	245	250	255	260	265	270	275
48	245	250	255	260	265	270	275	280

Grafički postupak praćenja linija koje spajaju konturu koja obuhvaća otisak stopala i kalup cipele slijedi postupak opisan na sl. 6.



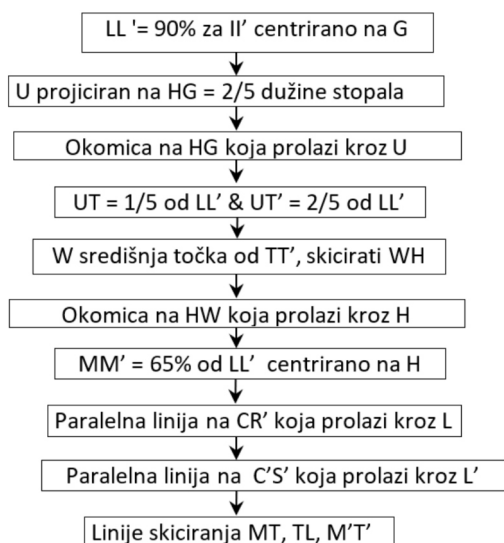
Slika 6. Kontura koja obuhvaća postupak crtanja otiska stopala



Slika 7.

3.3. Identifikacija karakterističnih točaka plantarne površine kalupa cipele

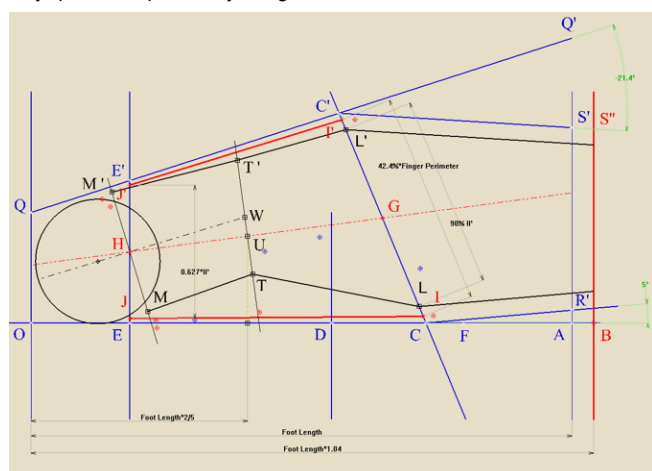
Grafički postupak za određivanje položaja karakterističnih točaka plantarne površine slijedi postupak opisan na sl. 8. Prva faza se sastoji od pozicioniranja točaka LL' koje su raspoređene na jednakom razmaku od točke G.



Slika 8. Lociranje položaja karakterističnih točaka plantarne površine kalupa cipele

Prva faza se sastoji od pozicioniranja točka LL' koje su raspoređene na jednakoj udaljenosti od točke G koja definira širinu plantarne površine (sl. 9). Zatim se mora locirati najuži dio svoda stopala. Njegov položaj se definira s obzirom na točku koja se nalazi na osi OA, proporcionalna s dužinom stopala. U predstavlja projekciju okomitu na ovu točku za podešavanje HG.

Na liniji koja je okomita na os za podešavanje koja prolazi kroz U nalaze se dvije točke T i T' koje definiraju širinu najužeg dijela svoda stopala. Sredina W točaka T i T' i točka H omogućuju praćenje simetrijske osi pete. Na liniji okomitoj na simetrijsku os pete koja prolazi kroz H nalaze se dvije točka J i J' koje definiraju širinu pete. Krajnji dio pete (ekstremitet) nastaje kružnicom promjera MM' čije središte može klizati na simetrijskoj osi pete da bi se kontrolirao razmak između ove kružnice i osi OQ. Ovaj razmak nastaje zbog oblika stražnje krivulje kalupa cipele. Krajnja točka kraja plantarne površine je tangenta na BS''.



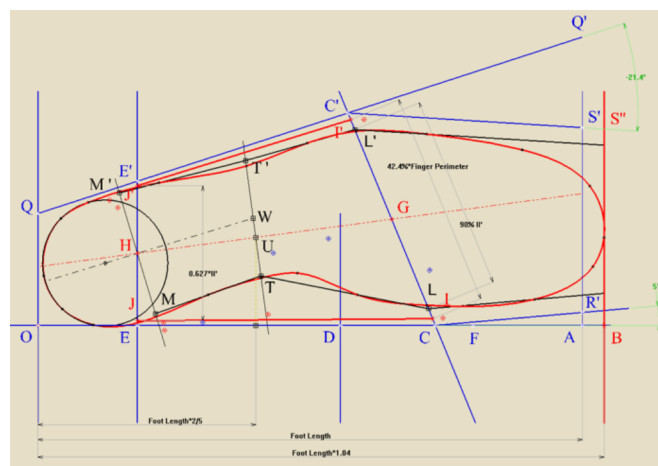
Slika 9. Karakteristične točke plantarne površine kalupa cipele

3.4. Kontura plantarne površine

Ovaj grafički prikaz daje krivulju koja predstavlja plantarnu površinu (sl. 10, crvena krivulja).

Ako uspoređujemo plantarnu površinu sa stopalom, uočavamo da krivulja savršeno prati konturu stopala sa smanjenim omjerom koji je u

skladu s dizajnom kalupa cipele (sl. 11 a). Pritisak stopala na staklo skenera pokazuje dobro podudaranje s plantarnom površinom (sl. 11b).

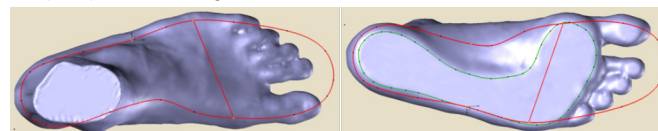


Slika 10.

4. Analiza stopala i kalupa cipele

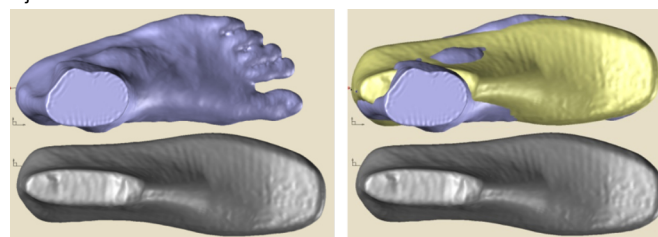
Kod prve analize može biti interesantno uspoređivati stopalo s kalupom cipele koji je izabran u dobrom području veličina. Sl. 12 a pokazuje da su dva oblika prilično bliska. Primjećujemo da rub prema prstima koji odgovaraju 6.j širini oblika nije verificiran jer je oblik dat za širinu.

U tom slučaju potrebno je podesiti kalup tako da se u obzir uzme da širina stopala bude veća. Homotetija omjera 1,076 na kalupu cipele s vrijednošću opsega glavice od 250 mm provedena je kako bi se dobila dobra vrijednost opsega glavice od 269 mm (sl. 12b). Smatramo da je broj kalupa cipele 9., izvan granice u tab. 1.

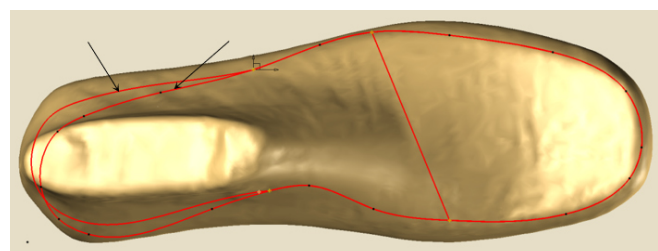


Slika 11. Podudaranje između stopala i konture plantarne površine

Podešavanje kalupa cipele omogućuje provjeru je li uložak, koji je bio prilagođen morfologiji stopala, ispravno slijedi kalup koji predstavlja unutarnji dio cipele. Sl. 13 prikazuje da prednji dio plantarne površine pravilno slijedi morfologiju kalupa. Međutim, stražnji dio ima pomak na peti koji će se morati uzeti u obzir tako da se ovo područje malo reorijentira nagibom osi TWT' (sl. 10). To podešenje će se izvršiti kasnije na donjem dijelu tabanice kada se izradi u 3D.



Slika 12. Razlika plantarne površine između stopala i podešenog kalupa cipele; plantarna površina kalupa; plantarna površina stopala; podešen kalup cipele (44)



Slika 13.

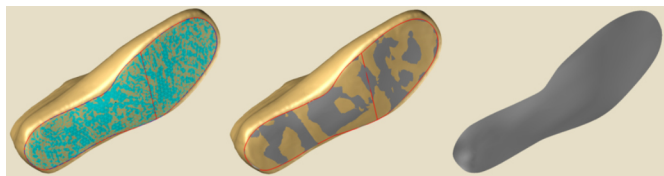
5. 3D model uložka

Poznavanje plantarne površine je važno jer predstavlja stratešku konturu za 3D oblik uložka. Na tom stupnju procesa dizajna potrebno je

tražiti kontaktna područja između stopala i kalupa cipele da bi se izradio uložak morfološki prilagođen stopalu pacijenta. Taj dizajn mora uzeti u obzir prethodna ograničenja pomoću dvije plantarne površine: plantarne površine stopala i plantarne površine kalupa cipele.

5.1. 3D ispod površine uložka

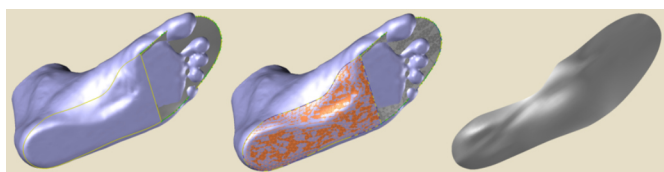
Dio ispod uložka trebao bi predstavljati kontaktnu površinu sa cipelom, tj. donju površinu kalupa. 2D kontura je predstavljena plantarnom površinom kalupa na sl. 13. Ispis ove 2D konture izvršen je za kalup da se dobije njegov 3D prikaz povezan s kalupom cipele (sl. 14 a). Zatim je izrađena mreža unutarnje površine ove tiskane konture (sl. 14 a) da bi se dobila 3D površina koja predstavlja donju površinu uložka (sl. 14 b, c).



Slika 14. Proces izrade uložka ispod površine

5.2. 3D iznad površine uložka

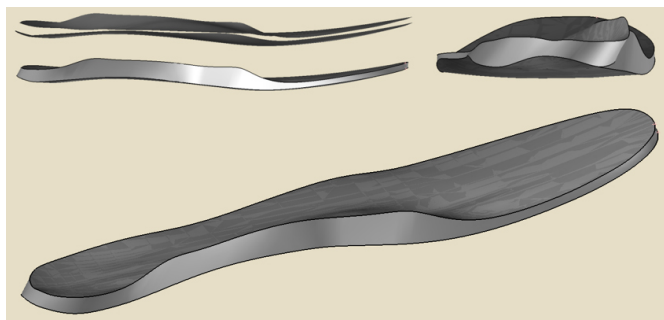
Na konturama gornjih i donjih površina uložka (sl. 16a) izrađuje se periferna površina da se dobije zatvorena kontinuirana površina (sl. 16 b,c). Ove tri površine se zatim šivaju da se dobije konačna površina 3D uložka (sl. 16 d).



Slika 15. Proces izrade 3D površine uložka

6. Zaključak

Ovo istraživanje je provedeno tako da je korišten standard kalupa cipele kako bi se poštovali postojeći standardi obućarske industrije. Analiza povezanosti između kalupa cipele i podešenog uložka pokazala je značajnu razliku između morfologije standarda kalupa i stopala čija morfologija je nasumice uzeta iz naše baze podataka. To nas je ponukalo da podesimo donji dio stopala koje pokazuje neuravnoteženu 3D deformaciju (sl. 16 c).



Slika 16.

Ova pojava može u nekim slučajevima prouzročiti nedostatak udobnosti ako je to podešenje previsoko. Također je i budući rad usredotočen na primjenu kalupa koji je prilagođen morfologiji stopala da bi se savršeno prilagodio ovaj nerazdvojni blok koji se sastoji od stopala, uložka i kalupa.

7. Literatura

- [1] T. Duckworth, R. P. Betts, C. I. Franks, and J. Burke, "The Measurement of Pressures under the Foot," *Foot Ankle Int.*, vol. 3, no. 3, pp. 130–141, 1982.
- [2] D. Rosenbaum and H.-P. Becker, "Plantar pressure distribution measurements. Technical background and clinical applications," *Foot Ankle Surg.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–14, Jan. 1997.
- [3] L. Mateu and F. Moll, "Optimum piezoelectric bending beam

structures for energy harvesting using shoe inserts," *J. Intell. Mater. Syst. Struct.*, vol. 16, no. 10, pp. 835–845, 2005.

- [4] J. Zhao and Z. You, "A shoe-embedded piezoelectric energy harvester for wearable sensors," *Sensors (Switzerland)*, vol. 14, no. 7, pp. 12497–12510, 2014.
- [5] A. Almusallam et al., "Screen-printed piezoelectric shoe-insole energy harvester using an improved flexible PZT-polymer composites Screen-printed piezoelectric shoe-insole energy harvester using an improved flexible PZT-polymer composites," in *Journal of Physics*, 2013.
- [6] J. Zhao, Y. Guo, and L. Wang, "An Insole Plantar Pressure Measurement System Based on 3D Forces Piezoelectric Sensor," *Sensors & Transducers*, vol. 160, no. 12, pp. 49–54, 2013.
- [7] M. Tenten-Diepenmaat et al., "In-shoe plantar pressure measurements for the evaluation and adaptation of foot orthoses in patients with rheumatoid arthritis: A proof of concept study," *Gait Posture*, vol. 45, pp. 45–50, 2016.
- [8] J. Perttunen, *Foot loading in normal and pathological walking*. 2002.
- [9] T. F. Novacheck, "Review Paper The biomechanics of running," *Gait Posture*, vol. 7, pp. 77–95, 1998.
- [10] K. G. Prabhu, D. Agrawal, K. M. Patil, and S. Srinivasan, "Parameters for analysis of walking foot pressures at different levels of diabetic neuropathy and detection of plantar ulcers at early stages," *Itbm-Rbm*, vol. 22, no. 3, pp. 159–169, 2001.
- [11] N. L. W. Keijsers, N. M. Stolwijk, J. W. K. Louwerens, and J. Duysens, "Classification of forefoot pain based on plantar pressure measurements," *Clin. Biomech.*, vol. 28, no. 3, pp. 350–356, 2013.
- [12] A. Paiva de Castro, J. R. Rebelatto, and T. R. Aurichio, "The relationship between foot pain, anthropometric variables and footwear among older people," *Appl. Ergon.*, vol. 41, no. 1, pp. 93–97, 2010.
- [13] S. K. van de Velde, M. Cashin, R. Johari, R. Blackshaw, A. Khot, and H. K. Graham, "Symptomatic hallux valgus and dorsal bunion in adolescents with cerebral palsy: clinical and biomechanical factors," *Dev. Med. Child Neurol.*, vol. 60, no. 6, pp. 624–628, 2018.
- [14] D. M. Aaron, "Pied d'athlète (tinea pedis)," *Le Manuel MSD*, 2016. [Online]. Available: <https://www.msmanuals.com/fr/accueil/troubles-cutanés/infections-mycosiques-de-la-peau/pied-d-athlète-tinea-pedis>.
- [15] "Boite f empreintes double - Salembier Pédiatrie Podologie." [Online]. Available: <http://salembier.fr/boites-a-empreintes-et-moulage/1146-boite-a-empreintes-double.html>. [Accessed: 20-Aug-2019].
- [16] R. C. C. Chen, "An investigation into shoe last design in relation to foot measurement and shoe fitting for orthopaedic footwear," London, 1993.
- [17] C. P. Witana, S. Xiong, J. Zhao, and R. S. Goonetilleke, "Foot measurements from three-dimensional scans: A comparison and evaluation of different methods," *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 36, no. 9, pp. 789–807, 2006.
- [18] B. Sarghie, M. Costea, and D. Liute, "Anthropometric Study of the Foot Using 3D Scanning Method and Statistical Analysis," *Int. Symp. Knitt. Appar.*, no. May, pp. 1–5, 2013.
- [19] "BFTS GmbH." [Online]. Available: <https://www.bfts.de/>. [Accessed: 19-Aug-2019].
- [20] R. RIGAL and D. MOTTIN, *La forme*, Lyon, CTC. 1991.
- [21] M. Mandolini, A. Brunzini, and M. Germani, "A collaborative web-based platform for the prescription of Custom-Made Insoles," *Adv. Eng. Informatics*, vol. 33, pp. 360–373, 2017.