



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

FUNDAMENTINIŲ MOKSLŲ FAKULTETAS

INŽINERINĖS GRAFIKOS KATEDRA

Mindaugas Rimdžius

**INDIVIDUALIŲ ORTOPEDINIŲ VIDPADŽIŲ AUTOMATIZUOTOS 3D
MODELIAVIMO IR GAMYBOS SISTEMOS PROJEKTAVIMAS**

**INDIVIDUAL ORTHOPEDIC INSOLES AUTOMATED 3D MODELING
AND PRODUCTION SYSTEM DESIGN**

Baigiamasis magistro darbas

Informacinių technologijų mokslo studijų programa, valstybinis kodas 621E14004

Inžinerinės ir kompiuterinės grafikos specializacija

Informatikos inžinerijos studijų kryptis

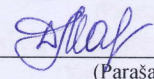
Vilnius, 2018

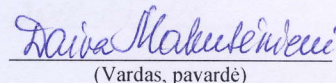
VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

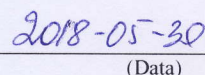
FUNDAMENTINIŲ MOKSLŲ FAKULTETAS

INŽINERINĖS GRAFIKOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas


(Parašas)


(Vardas, pavardė)


(Data)

Mindaugas Rimdžius

**INDIVIDUALIŲ ORTOPEDINIŲ VIDPADŽIŲ AUTOMATIZUOTOS 3D
MODELIAVIMO IR GAMYBOS SISTEMOS PROJEKTAVIMAS**

**INDIVIDUAL ORTHOPEDIC INSOLES AUTOMATED 3D MODELING
AND PRODUCTION SYSTEM DESIGN**

Baigiamasis magistro darbas

Informacinių technologijų mokslo studijų programa, valstybinis kodas 621E14004

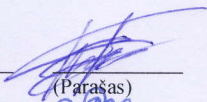
Inžinerinės ir kompiuterinės grafikos specializacija

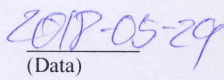
Informatikos inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

lekt. E. Timinskas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

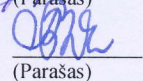

(Parašas)

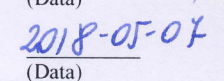

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas

lekt. R. Žukienė

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)


(Parašas)


(Data)

Vilnius, 2018

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
FUNDAMENTINIŲ MOKSLŲ FAKULTETAS
INŽINERINĖS GRAFIKOS KATEDRA

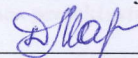
Informatikos inžinerijos studijų kryptis

Informacinių technologijų mokslo studijų programa, valstybinis kodas 621E14004

Inžinerinės ir kompiuterinės grafikos specializacija

TVIRTINU

Katedros vedėjas



(Parašas)

Daiva Makutėnienė

(Vardas, pavardė)

2018-05-08

(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO

UŽDUOTIS

2018-05-08 Nr. 01.....

Vilnius

Studentui (ei) Mindaugui..Rimdžiui.....
(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: INDIVIDUALIŲ ORTOPEDINIŲ VIDPADŽIŲ AUTOMATIZUOTOS
3D MODELIAVIMO IR GAMYBOS SISTEMOS PROJEKTAVIMAS

patvirtinta 2018 m. gegužės 08 d. dekanų potvarkiu Nr. 199fm

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2018 m. birželio 6 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

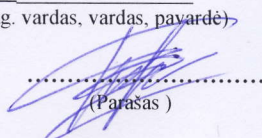
Išanalizuoti teorinius individualių ortopedinių vidpadžių 3D modeliavimo ir gamybos metodus, suprojektuoti automatizuotą vidpadžių modeliavimo sistemą, įvertinti sukurtos sistemos privalumus ir trūkumus lyginant su rinkoje esančiomis panašiomis programomis, pateikti siūlymus suprojektuotos ortopedinių vidpadžių automatizuotos sistemos tobulinimui.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

lekt. R. Žukienė

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Vadovas



(Parašas)

lekt. E. Timinskas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Užduotį gavau



(Parašas)

...Mindaugas..Rimdžius.....

(Vardas, pavardė)

.....2018-05-08.....

(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Fundamentinių mokslų fakultetas
Inžinerinės grafikos katedra

ISBN ISSN
Egz. sk.
Data-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Informacinių technologijų** programos magistro baigiamasis darbas 4

Pavadinimas **Individualių ortopedinių vidpadžių automatizuotos 3D modeliavimo ir gamybos sistemos projektavimas**

Autorius **Mindaugas Rimdžius**

Vadovas **Edgaras Timinskas**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjamos individualių ortopedinių vidpadžių gamybos problemos ir sprendimai taikant kompiuterizuotas sistemas. Apžvelgta mokslinė literatūra, kurioje aprašyti atlikti eksperimentiniai ir teoriniai darbai. Pateikti pėdos formos ir parametrų matavimų sprendimai. Išvardytos ir palygintos automatizuotos gamybos sistemos. Suprojektuota automatizuota vidpadžių 3D modeliavimo sistema, kurią sudaro 3 pagrindiniai procesai: duomenų apdorojimas, automatinis 3D modelio kūrimas ir pabaigto gaminio medžiagų atsparumo tikrinimas. Sukurta 3D modeliavimo sistema yra palyginama su panašiomis rinkoje esančiomis programomis. Darbo pabaigoje yra pateikiamos baigiamojo darbo išvados ir siūlymai.

Darbą sudaro 5 dalys: įvadas, ortopedinių vidpadžių 3D modeliavimo ir gamybos analizė, automatizuotos 3D modeliavimo sistemos projektavimas, išvados ir siūlymai, literatūros sąrašas.

Darbo apimtis – 60 p. teksto be priedų, 37 iliustr., 12 lent., 53 bibliografiniai šaltiniai.

Atskirai pridedami darbo priedai.

Prasminiai žodžiai: Individualūs ortopediniai vidpadžiai, CAD, CAM, 3D spausdinimas, CNC gamyba, 3D skenavimas, automatizuotas modeliavimas, duomenų apdorojimas.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Fundamental Sciences
Department of Engineering Graphics

ISBN _____ ISSN _____
Copies No.
Date-.....-.....

Master Degree Studies **Information Technologies** study programme Master Graduation Thesis 4

Title **Individual Orthopedic Insoles Automated 3d Modeling and Production System Design**

Author **Mindaugas Rimdžius**

Academic supervisor **Edgaras Timinskas**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

In this final master thesis the problems and solutions of individual orthopedic insoles production using computerized systems is analyzed. Experimental and theoretical works in scientific literature is described. Foot shape and parameters measurements solutions are performed. Automated production systems are compared. Automated orthopedic insoles 3D modelling system is designed, which consists of 3 parts: data processing, automated creation of 3D model and finished product material simulation trial. Comparison of designed 3D modelling system and other similar programs are performed. Thesis conclusions and suggestions are presented.

Structure: introduction, 3 parts of the text, conclusions and suggestions, references.

Thesis consist of: 60 p. text without appendixes, 37 pictures, 12 tables, 53 bibliographical entries.

Appendixes included.

Keywords: Individual orthopedic insoles, CAD, CAM, 3D printing, CNC production, 3D scanning, automated modeling, data processing.

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Mindaugas Rimdžius, 20122610

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Fundamentinių mokslų fakultetas

(Fakultetas)

Informacinės technologijos, IKGfm-16

(Studijų programa, akademinė grupė)

**BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)
SĄŽININGUMO DEKLARACIJA**

2018 m. gegužės 13 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Individualių ortopedinių vidpadžių automatizuotos 3D modeliavimo ir gamybos sistemos projektavimas“ patvirtintas 2018 m. gegužės 08 d. dekanų potvarkiu Nr. 199fm, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Prenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą, mane konsultavo mokslininkai ir specialistai: Regina Žukienė. Mano darbo vadovas Edgaras Timinskas.

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).



(Parašas)

Mindaugas Rimdžius

(Vardas ir pavardė)

TURINYS

IVADAS	11
1. ORTOPEDINIŲ VIDPADŽIŲ 3D MODELIAVIMO IR GAMYBOS ANALIZĖ	13
1.1. Individualių ortopedinių vidpadžių nauda vartotojui	13
1.2. Pėdos formos ir parametrų matavimų metodai	14
1.3. Ortopedinių vidpadžių 3D modeliavimo metodai	20
1.4. Ortopedinių vidpadžių automatizuotos gamybos galimybės	24
1.5. Literatūros analizės apibendrinimas	26
2. ORTOPEDINIŲ VIDPADŽIŲ AUTOMATIZUOTOS 3D MODELIAVIMO SISTEMOS PROJEKTAVIMAS	28
2.1. Vidpadžių modeliavimo ir gamybos sistemos proceso projektavimas	28
2.1.1. Užduočių diagrama	28
2.1.2. Ansamblių diagrama	29
2.1.3. Sekų diagrama	30
2.1.4. Klasių diagrama	31
2.1.5. Būsenų diagrama	32
2.2. Kompiuterinio pėdų tyrimo duomenų apdorojimas	32
2.2.1. Interpoliacija	33
2.2.2. Parametrų apskaičiavimas	34
2.2.3. Apdorotų duomenų išsaugojimas	37
2.3. Ortopedinių vidpadžių automatinis 3D modeliavimas	37
2.4. Suprojektuoto modelio medžiagų atsparumo ir apkrovų analizė	39
2.5. Sukurtos vidpadžių 3D modeliavimo sistemos apibendrinimas	43
3. ORTOPEDINIŲ VIDPADŽIŲ AUTOMATIZUOTŲ 3D MODELIAVIMO SISTEMŲ PALYGINIMAS IR SIŪLYMAI TOBULINIMUI	45
3.1. Ortopedinių vidpadžių 3D modeliavimo ir gamybos programų lyginimas	45
3.2. Suprojektuotos automatizuotos vidpadžių 3D modeliavimo sistemos vertinimas	49
3.3. Pasiūlymai sukurtos vidpadžių 3D modeliavimo sistemos tobulinimui	52
IŠVADOS	55
LITERATŪRA	57
PRIEDAI	61

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Individualių ortopedinių vidpadžių charakteristikos: a) forma (Bitton 2010); b) apkrovų pasiskirstymas (Cheung, Nigg 2008)	14
2 pav. 3D skenavimas: a) proceso eiga (Sun <i>et al.</i> 2009); b) 3D skenavimas naudojant išmanųjį telefoną (Surmen <i>et al.</i> 2016)	15
3 pav. Skenuoto modelio projektavimas ir virtuali rekonstrukcija (Cotoros <i>et al.</i> 2011).....	15
4 pav. Pėdos parametrų nustatymas naudojant skaitmenines nuotraukas (Lochner <i>et al.</i> 2012).....	16
5 pav. Pėdos formos nustatymas: a) automatinis kontūro radimas; b) kontūro sisteminimas ir išskirstymas į dalis (Huang <i>et al.</i> 2011)	17
6 pav. Pėdos modelio gavimo procesas naudojant 2D nuotraukas (sudaryta autoriaus pagal Huang <i>et al.</i> 2011).....	17
7 pav. Slėgio pasiskirstymo ir jėgos matavimo platforma (Calame 2002)	18
8 pav. Pagrindiniai matavimų rezultatai: a) trimatė plantograma, b) dvimatė plantograma, c) jėgos pasiskirstymas laiko atžvilgiu (Calame 2002).....	19
9 pav. Slėgio reikšmių grafikai: a) pradiniai duomenys; b) interpoliuoti duomenys 2 kartus; c) interpoliuoti duomenys 4 kartus (Tan <i>et al.</i> 2015)	19
10 pav. Ortopedinio vidpadžio modeliavimo procesas: a) formos gavimas iš rekonstruoto pėdos modelio; b) kaulų struktūros ir biomechaninių ašių korekcijos; c) Kaulų ir minkštųjų audinių deformuotos struktūros (Cheung, Nigg 2008).....	20
11 pav. Individualių ortopedinių vidpadžių modeliavimas naudojant vidinio ir išorinio paviršių kombinacijas (Lo <i>et al.</i> 2015).....	21
12 pav. Antspaudos formos gavimas iš pėdos modelio (Burhan <i>et al.</i> 2017)	22
13 pav. Vidpadžio modeliavimo etapai: a) išorinės formos projektavimas; b) vidinės ir išorinės formos projektavimus; c) išorinė forma; d) galutinis produktas (Burhan <i>et al.</i> 2017).....	22
14 pav. Pėdos modelio ir vidpadžio vizualizavimas (Burhan <i>et al.</i> 2017).....	23
15 pav. Pėdos deformacijos radimas vizualių metodu (Su <i>et al.</i> 2017)	23
16 pav. Vidpadžių korekcijos atsižvelgiant į statines apkrovas: a) vidinės pėdos dalies apkrovų mažinimas; b) pėdos padikaulių apkrovų mažinimas (Cotoros <i>et al.</i> 2011)	24
17 pav. Individualių ortopedinių vidpadžių gamybos metodai: a) klasikinis; b) šiuolaikinis (Mandolini <i>et al.</i> 2015).....	25
18 pav. Individualios gamybos schema naudojant 3D spausdinimo technologiją (sudaryta autoriaus pagal Cobianu <i>et al.</i> 2012).....	25

19 pav. Standartizuota gamyba naudojant CNC frezavimo stakles (sudaryta autoriaus pagal Cobianu <i>et al.</i> 2012)	26
20 pav. Individualių ortopedinių vidpadžių modeliavimo ir gamybos sistemos užduočių diagrama	29
21 pav. Duomenų apdorojimo ir 3D modeliavimo užduoties ansamblių diagrama.....	30
22 pav. Duomenų apdorojimo ir 3D modeliavimo užduoties sekų diagrama.....	31
23 pav. Proceso schemas: a) duomenų apdorojimo ir 3D modeliavimo sistemos klasių diagrama; b) medžiagų atsparumo skaičiavimo būsenų diagrama	32
24 pav. Duomenų interpoliacija: a) pradiniai duomenys; b) duomenys atlikus linijinę interpoliaciją	34
25 pav. Pėdos padalijimas į 3 dalis: a) kulno dalis; b) vidurio pėdos dalis; c) pirštai ir padikauliai	34
26 pav. Kulno deformacijos nustatymas: a) taškas, nutolęs nuo maksimalios apkrovos taško 10 mm horizontalia kryptimi į kairę pusę (į vidų); b) maksimali apkrova; c) taškas, nutolęs nuo maksimalios apkrovos taško 10 mm horizontalia kryptimi į dešinę pusę (į išorę).....	35
27 pav. Pagrindinių taškų koordinatės ir jų atstumai	38
28 pav. Paviršiaus sukūrimas: a) plokštumų sukūrimas; b) kreivių braižymas per plokštumas	39
29 pav. Paskutiniai 3D modeliavimo etapai: a) modelio iškėlimas pagal apskaičiuotą storį; b) galutinis suprojektuotas modelis.	39
30 pav. Statinės apkrovos veikimas: a) fiksavimo vietos; b) jėgos veikimo kryptis	40
31 pav. Pėdos apkrovų įtempių rezultatai ant kietos dangos	40
32 pav. Statinių apkrovų analizės įtempių rezultatai naudojant vidpadžius	41
33 pav. Pėdos ir vidpadžio statinių apkrovų analizės įtempių rezultatai	42
34 pav. Nuovargio rezultatai	42
35 pav. Ortopedinių vidpadžių gamyba naudojant automatizuotas sistemas: a) mobili sistema („Resa“ 2018); b) Parametrizuotas 3D modeliavimas („VORUM“ 2018).....	46
36 pav. Ortopedinių vidpadžių modeliavimo funkcijos: a) Ortopedinio vidpadžio lietimosi paviršiaus analizė („LutraCAD“ 2018); b) aukščių žemėlapių keitimas („PedCAD“ 2018).....	47
37 pav. Ortopedinių vidpadžių modeliavimo etapai („VoxelCare“ 2018): a) skenuotos pėdos vaizdo įkėlimas; b) apkrovų duomenų įkėlimas; c) kompleksinių duomenų naudojimas	48

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Gamybos rankomis ir 3D spausdintuvu palyginimas (sudaryta autoriaus pagal Cobianu <i>et al.</i> 2012).....	26
2 lentelė. Duomenų įkėlimas ir nuskaitymas	33
3 lentelė. Duomenų interpoliacija	33
4 lentelė. Pėdos padalijimas į 3 dalis	34
5 lentelė. Kulno deformacijos tipo ir parametro reikšmės nustatymas	35
6 lentelė. Išilginio skliauto tipo ir parametro nustatymas	36
7 lentelė. Pėdos ašies tipo ir parametro nustatymas.....	36
8 lentelė. Skersinio skliauto nustatymas	37
9 lentelė. Rezultatų išsaugojimas	37
10 lentelė. Duomenų surinkimo ir 3D modeliavimo procesų lyginimas pagal skirtingus parametrus (sudaryta autoriaus pagal Sun <i>et al.</i> 2009; Cotoros <i>et al.</i> 2011; Surmen <i>et al.</i> 2016; Burhan <i>et al.</i> 2017).....	46
11 lentelė. Kompiuterinių programų lyginimas pagal naudojamus procesus (sudaryta autoriaus) ..	49
12 lentelė. Suprojektuotos automatizuotos individualių ortopedinių vidpadžių 3D modeliavimo sistemos lyginimas su kitomis panašiomis sistemomis (sudaryta autoriaus)	50

IVADAS

Dėl pasikeitusios socialinės aplinkos, vis daugiau žmonių jaučia pėdų bei kojos sąnarių skausmus, kuriuos dažniausiai sukelia nusileidę pėdų skliautai ir netinkamos avalynės nešiojimas. Siekiant sumažinti pėdų atsiradusias problemas yra naudojami įvairūs metodai. Vienas iš efektyviausių ir labiausiai taikomų metodų yra individualiai išformuotų ortopedinių vidpadžių naudojimas. Šiuos medicinines paskirties gaminius naudoja vaikai dėl plokščiapėdystės, sportininkai dėl didelių apkrovų ir nepritaikyto bato pado, bei senesnio amžiaus žmonės jaučiantys pėdų skausmus dėl kitų priežasčių. Kiekviena žmogaus pėda yra skirtinga, todėl ortopedinių vidpadžių gamybos procesai yra atliekami individualiai. Dėl šių priežasčių, ortopedijos įmonės atlieka įvairius pėdų matavimus, o vidpadžių gamyba yra atliekama pagal įmonės turimą techniką. Šiuo metu yra naudojamos dvi gamybos technologijos: gamyba rankomis ir kompiuterizuota gamyba (Cobianu *et al.* 2012; Stumpf 2015). Sparčiai tobulėjant technologijoms, gerėja sąlygos kompiuterizuotos gamybos pritaikymui. Šiame darbe toliau yra nagrinėjama tema susijusi su ortopedinių vidpadžių automatizavimo tobulinimu.

Temos aktualumas ir problematika. Šiuo metu populiariausia individualių ortopedinių vidpadžių gamybos technologija yra gamyba rankomis. Šis gamybos procesas yra technologiškai pasenęs, nes produkto gamyba yra atliekama rankomis nenaudojant automatizuotų sistemų, todėl yra sunaudojama daug medžiagų ir laiko resursų (Mandolini *et al.* 2015).

Siekiant sumažinti gamybos kaštus ir padidinti produkto tikslumą, tiek Lietuvoje, tiek visame pasaulyje yra kuriamos naujos automatizuotos sistemos (VGTU studentė... 2015; „Materialise“ 2018). Dauguma iš naujų sukurtų programinių įrangų sulaukia didelio klientų susidomėjimo, tačiau ne visi iš jų būna visiškai patenkinti pagamintų ortopedinių vidpadžių kokybe ir pirkimo kaina („Wiiiv“ 2018). Dėl kiekvieno žmogaus pėdos individualių savybių, šios sistemos yra kompleksinės, susidedančios iš daug sudėtingų procesų. Dauguma šių procesų nėra automatizuoti, nes pėdos formos ir parametrų matavimų duomenys dažnai yra galutinis produktas, kuris nėra vėliau pritaikomas automatizuotoms gamybos sistemoms (Cotoros *et al.* 2011).

Temos objektas. Individualių ortopedinių vidpadžių gamybos automatizavimas.

Darbo tikslas – sukurti automatizuotą individualių ortopedinių vidpadžių 3D modeliavimo sistemą naudojant kompiuterinio pėdų tyrimo duomenų rezultatus. Darbo tikslui pasiekti, yra nagrinėjami ir sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Išnagrinėti teorinius individualių ortopedinių vidpadžių gamybos automatizavimo aspektus pasitelkiant mokslinių šaltinių analizę;

2. Palyginti rinkoje naudojamų ortopedinių vidpadžių 3D modeliavimo ir gamybos sistemas išskiriant jų privalumus ir trūkumus;
3. Suprojektuoti individualių ortopedinių vidpadžių automatizuotą 3D modeliavimo sistemą;
4. Atlikti sukurtos automatizuotos sistemos palyginimą su kitomis panašiomis praktikoje naudojamomis sistemomis ir pasiūlyti jos tobulinimo galimybes.

Taikyti tyrimo metodai. Šiame darbe taikyti šie tyrimo metodai – mokslinės literatūros šaltinių analizė, palyginamoji duomenų analizė, matematinis modeliavimas ir baigtinių elementų metodas taikant „SolidWorks“ programą.

Šį darbą sudaro 3 pagrindinės dalys. Pirmoje dalyje nagrinėjami teoriniai temos aspektai – pateikti pėdos formos ir parametrų matavimų sprendimai, dažniausiai naudojami ortopedinių vidpadžių 3D modeliavimo ir gamybos metodai, atliktas ortopedinių vidpadžių 3D modeliavimo ir gamybos programų palyginimas. Antroje darbo dalyje pateikti automatizuotos sistemos kūrimo proceso etapai, kuriuos sudaro schemų ir diagramų projektavimas, kompiuterinio pėdų tyrimo duomenų apdorojimo algoritmo kūrimas naudojant „Matlab“ programą, ortopedinių vidpadžių automatizuoto 3D modeliavimo sistemos kūrimas naudojant „SolidWorks“ ir „Visual Basic“ bei sukurto gaminio medžiagų atsparumo ir apkrovų analizė. Paskutinėje dalyje yra atliekamas suprojektuotos automatizuotos vidpadžių 3D modeliavimo sistemos palyginimas su rinkoje taikomais sprendimais, pateikiami siūlymai sukurtos sistemos tobulinimui.

Darbo naujumas. Šis darbas išsiskiria iš kitų mokslinių ir praktinių darbų tuo, jog kuriamoje vidpadžių gamybos automatizavimo sistemoje naudojami kompiuterinio pėdų tyrimo rezultatų duomenys. Nors rinkoje kuriant tokias automatizuotas sistemas dažnai yra taikomas 3D skenavimo procesas, šiuo atveju jo buvo atsisakyta dėl sudėtingo duomenų apdorojimo etapų. Pagrindiniai pėdos parametrai, kurie naudojami šiame darbe kuriamoje automatizuotoje yra gaunami atliekant kompiuterinį pėdų tyrimą.

Kitas šio darbo naujumo aspektas – sukurto 3D modelio kompiuterinės simuliacijos atlikimas. Šis procesas leidžia įvertinti ne tik sukurto gaminio atsparumą apkrovoms, bet ir atsižvelgti į pėdos apkrovų rezultatus. Taip pat kuriamoje automatizuotoje vidpadžių gamybos sistemoje yra naudojamos dvi programinės įrangos („Matlab“ ir „SolidWorks“), kurių veikimas yra suderintas siekiant efektyvaus automatizuotos sistemos veikimo rezultato.

1. ORTOPEDINIŲ VIDPADŽIŲ 3D MODELIAVIMO IR GAMYBOS ANALIZĖ

Šioje darbo dalyje yra analizuojama įvairi mokslinė literatūra, kurioje yra nagrinėjamos ortopedinių vidpadžių 3D modeliavimo ir gamybos procesai, problemos ir pateikiami jų sprendimai. Pirmiausia analizuojami pėdos formos ir parametrų matavimų metodai, pateikiami jų privalumai ir trūkumai. Toliau yra nagrinėjami ortopedinių vidpadžių 3D modeliavimo metodai, aprašomi pagrindiniai skirtumai ir panaudojimo galimybės. Taip pat išskiriamos ortopedinių vidpadžių automatizuotos gamybos galimybės naudojant 3D spausdinimą ir CNC frezavimą. Skyriaus pabaigoje pateikiama 10 rinkoje naudojamų ortopedinių vidpadžių gamybos automatizuotų sistemų analizė.

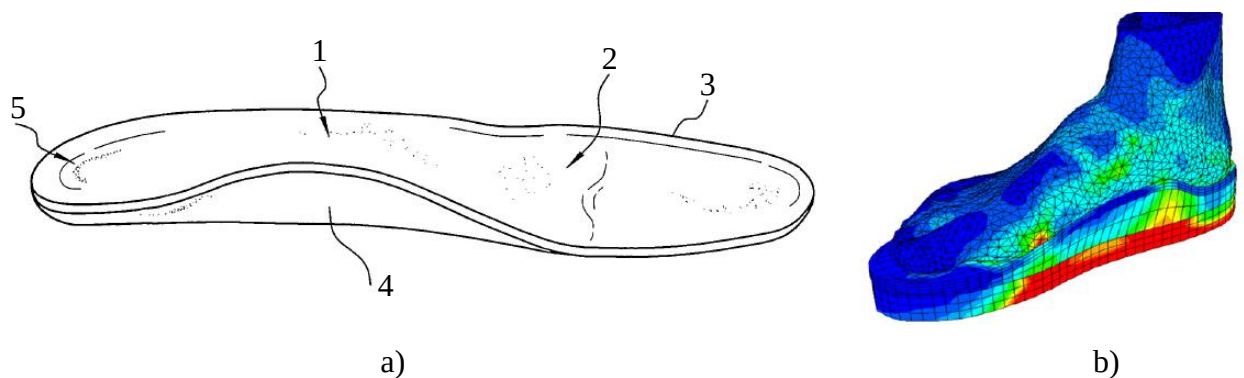
1.1. Individualių ortopedinių vidpadžių nauda vartotojui

Individualūs ortopediniai vidpadžiai – tai papildoma priemonė turinti specialiai išformuotą paviršiaus formą. Jie naudojami įdedant į batus vietoj kitų vidpadžių, esant įvairiai apatinės kūno dalies patologijai. Šis medicininės paskirties gaminyss susideda iš kelių pagrindinių išformuotų skliautų ir atramų (1 pav., a). Pagrindiniai elementai yra išilginio (1) ir skersinio (2) skliautų pakylas, kurių tikslas yra išlaikyti pėdos padėti tiesioje padėtyje. Išorinis (3) ir vidinis (4) vidpadžio sutvirtinimai suteikia pėdai stabilumo, o išformuota kulno forma (5) amortizuoja pėdą ir sumažina veikiamas jėgas (Bitton 2010; Chen *et al.* 2003).

Pacientui nešiojant ortopedinius vidpadžius, didžiausios apkrovos, dėl kurių atsiranda tolimesnės problemos, pasiskirsto per visą pėdą (1 pav., b). Žmonėms turintiems aukštą išilginį skliautą vidutiniškai net 60 % pėdos paviršiaus ploto padidėja nešiojant vidpadžius, dėl to sumažėja vidutinės apkrovos pirštų ir kulno srityse (Cheung, Nigg 2008). Šiuo metu yra atliekama įvairūs moksliniai eksperimentai, nustatantys vidpadžių nešiojimo efektyvumą. Vieno iš naujausio atlikto eksperimento rezultatai parodė, jog 3D spausdintuvu pagaminti vidpadžiai sumažina maksimalias apkrovų reikšmes iki 50 %. (Yarwindran *et al.* 2017). Dėl šių išvardytų priežasčių, ortopediniai vidpadžiai yra naudojami įvairiose srityse – pradedant medicinoje ir baigiant sportu. Visame pasaulyje atlikta daug įvairių mokslinių tyrimų, susijusių su ortopedinių vidpadžių nauda vartotojams ir šiuo metu labiausiai akcentuojamos šios kategorijos:

1. Netaisyklingos laikysenos korekcijos – išformavus tinkamus skliautus galima pagerinti laikyseną (Christovao *et al.* 2013);

2. Kaulų deformacijų šalinimas – esant aukštam arba labai žemam išilginiui pėdos skliautui per ilgą laiką yra deformuojami kaulai. Atstačius skliautus į pradinę padėtį galima išvengti didesnių deformacijų (Kouchi *et al.* 2009);
3. Pėdos, čiurnos ir kelių sąnarių apkrovų mažinimas – sąnarių ašių atstatymas į tiesią padėtį (Kouchi *et al.* 2009);
5. Skausmų mažinimas (sausgyslių ar raumenų) – vidpadžiai paskirsto krūvį kitose pėdos vietose, todėl galima sumažinti arba visiškai pašalinti įvairius apatinės kūno dalies skausmus (Rodrigues *et al.* 2013).



1 pav. Individualių ortopedinių vidpadžių charakteristikos: a) forma (Bitton 2010); b) apkrovų pasiskirstymas (Cheung, Nigg 2008)

1.2. Pėdos formos ir parametrų matavimų metodai

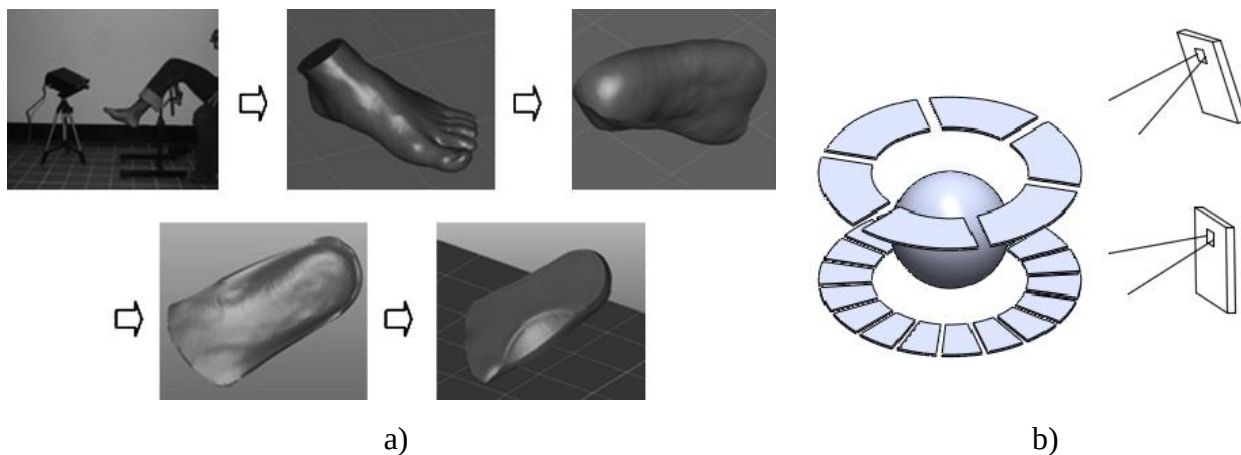
Norint išformuoti efektyvius ir naudingus individualius ortopedinius vidpadžius, reikia tinkamai išmatuoti pėdą. Šiuo metu populiariausi yra šie pėdos formos ir parametrų nustatymo metodai (Mandolini *et al.* 2015; Razak *et al.* 2012):

1. Gipsavimo metodikos naudojimas;
2. Pėdos skenavimas;
3. Statinių ir dinaminių apkrovų matavimas.

Pirmoji technologija yra seniausia ir užtrunka labai ilgai, nes reikia kelis kartus modeliuoti gipsą ant paciento (Burhan *et al.* 2017). Vis dėlto šio metodo tikslumas yra didelis, nes vizualiai matant deformacijas ir žinant nusiskundimus galima ant modelio atlikti korekcijas (Mandolini *et al.* 2015).

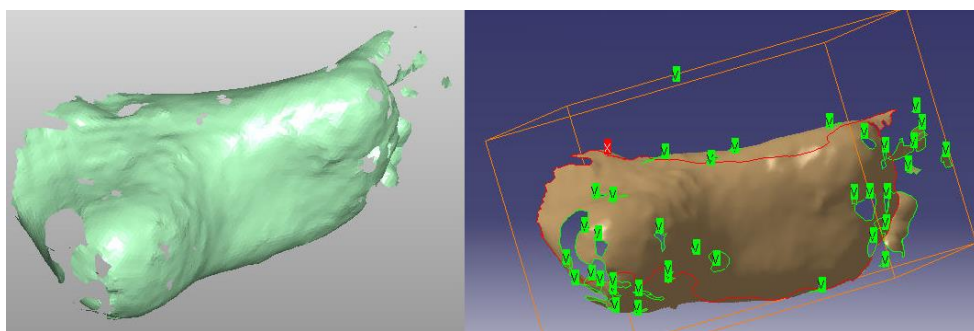
Kiekvieno žmogaus pėda yra skirtinga, todėl 3D skenavimo metu yra galimybė išgauti individualią pėdos formą (Razak *et al.* 2012; Salles, Gyi 2013). Šio metodo principas (2 pav., a) yra

greitas ir paprastas, todėl galima atlikti su paprastais kasdieniais įrankiais, pavyzdžiui, naudojant naujesnės kartos išmaniuosius telefonus (2 pav., b). Pagrindinis šio metodo trūkumas yra tai, jog duomenų apdorojimo ir vidpadžio modeliavimo procesai yra sudėtingi ir ilgai trunkantys (Sun et al. 2009).



2 pav. 3D skenavimas: a) proceso eiga (Sun et al. 2009); b) 3D skenavimas naudojant išmanųjį telefoną (Surmen et al. 2016)

Atlikus 3D skenavimą, laiko atžvilgiu ilgai trunkantis procesas yra duomenų apdorojimas. Modelis yra nevientisas ir jam reikia atlikti rekonstrukcijas (3 pav.). Taip pat yra didelė tikimybė, jog pacientui sujudinus pėdą gali atsirasti skenavimo klaidų, kurios pasimatys tik rekonstrukcijos etape (Cotoros et al. 2011).



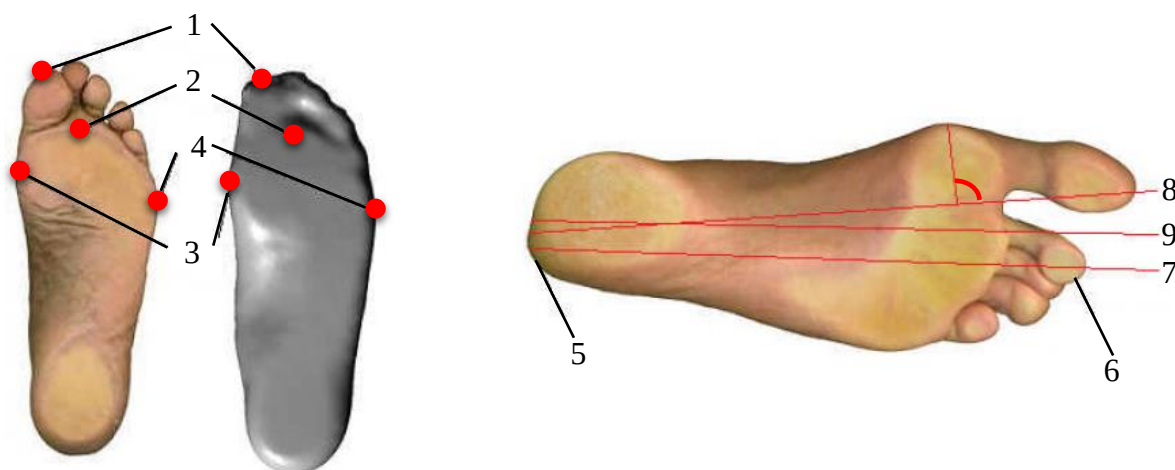
3 pav. Skenuoto modelio projektavimas ir virtuali rekonstrukcija (Cotoros et al. 2011)

Ortopedinių vidpadžių 3D modeliavime dažniausiai naudojamas parametrinis modeliavimas. Vienas iš pagrindinių parametrinio modeliavimo privalumų – greitas ir patogus pusiau automatinis 3D modelio kūrimas. Ortopedinių vidpadžių gamyboje yra daug įvairių niuansų, kurios galima

pastebėti tik rentgeno nuotraukose ar vizualiai apžiūrėjus, todėl parametriniam modeliavimo procesui yra svarbus tikslus 3D pėdos modelis ir jo charakteristikos. Dėl šių priežasčių, daugumoje atvejų, ant skaitmeninės nuotraukos yra sužymimos zonos, pagal kurias yra koreguojamas 3D pėdos modelis.

4 paveiksle pateiktame pavyzdyje, yra pateiktos 4 zonos, kurių išsidėstymas formuoja pėdos skliautus ir formą. Nykščio pradžios taškas (1) parodo iki kurios vietos turi tęstis ortopedinis vidpadis. Antrojo padikaulio padėtis (2) nurodo skersinio skliauto pabaigą, o pirmojo (3) ir penktojo (4) padikaulio vietos rodo skersinio skliauto ir visos pėdos pločio reikšmę (Lochner *et al.* 2012).

Kitos svarbios pėdos savybės yra ašių išsidėstymas išilgai pėdos. Per kulno pradžios tašką (5) ir deformuotą antrąjį pirštą brėžiama tiesė (7), kurios padėtis lyginama su nubrėžtos tiesės per pirmąjį pirštą (8). Šiuo atveju, tikroji antrojo piršto padėtis pagal apskaičiavimus turi būti pagalbinėje tiesėje (9), todėl šių dviejų tiesių skirtumas parodo antrojo piršto deformacijos dydį. Panašūs algoritmai ir skaičiavimai yra atliekami kitose pėdos srityse, todėl teisingai atlikus šiuos veiksmus, toliau galima modeliuoti vidpadžio 3D modelį naudojant parametrus (Lochner *et al.* 2012).

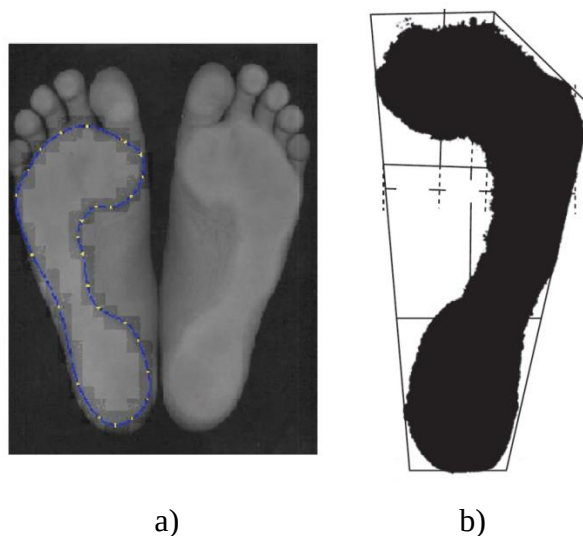


4 pav. Pėdos parametrų nustatymas naudojant skaitmenines nuotraukas (Lochner *et al.* 2012)

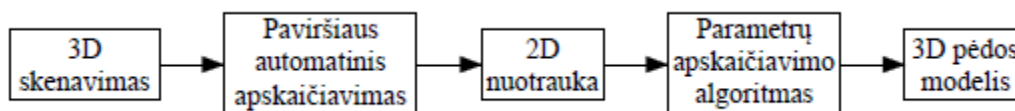
Daugumoje iš pateiktų 3D modeliavimo pavyzdžių yra taikomi ortopediniams vidpadžiams skirtiems tradiciniams žemo kulno vidpadžiams. Tačiau projektuojant vidpadžius, kurie yra skirti aukštakulnių arba sportinės avalynės naudojimui yra susiduriama su kitomis 3D modeliavimo problemomis. Pavyzdžiui, aukštakulnių nešiojimas ne tik padidina slėgio reikšmės priekinėje pėdos dalyje, bet ir padidina čiurnos sąnarių bei blauzdos raumenų apkrovas. Dėl šių priežasčių, aukšto kulno vidpadžių gamyboje 3D pėdos skenavimas yra atliekamas tokioje pat padėtyje, kaip yra

nešiojama avalynė (Yu *et al.* 2008). Šie procesai dar daugiau apsunkina duomenų surinkimo procedūrą, todėl šiuo metu yra atliekami įvairūs statiniai – dinaminiai bandymai skirti šių ortopedinių vidpadžių gamyboje (Ko, Lee 2013).

Vienas iš pavyzdžių, kuriame naudojami 2D duomenys, yra pateikti 5 paveiksle. Šio metodo esmė yra skaitmeninių duomenų apdorojimas naudojant 2D nuotraukas, kurios gali būti gautos atliekant 2D skenavimą arba fotografuojant pėdas iš apačios. Proceso (6 pav.) pradžioje yra skenuojamos pėdos naudojant 2D skenerį, vėliau pagal nuotraukos rezultatus yra automatiškai randamas pėdos kontūras (5 pav., a). Šis plotas įvertina pėdos plotį, ilgį (neskaitant pirštų) ir išilginio skliauto dydį. Turint šiuos parametrus atliekamas pėdos segmentavimas į atskiras dalis (5 pav., b). Kiekvieno segmento skaitinis rezultatas turi koeficiento reikšmę pagal kurią toliau yra modeliuojami ortopediniai vidpadžiai (Huang *et al.* 2011).



5 pav. Pėdos formos nustatymas: a) automatinis kontūro radimas; b) kontūro sisteminimas ir išskirstymas į dalis (Huang *et al.* 2011)



6 pav. Pėdos modelio gavimo procesas naudojant 2D nuotraukas (sudaryta autoriaus pagal Huang *et al.* 2011)

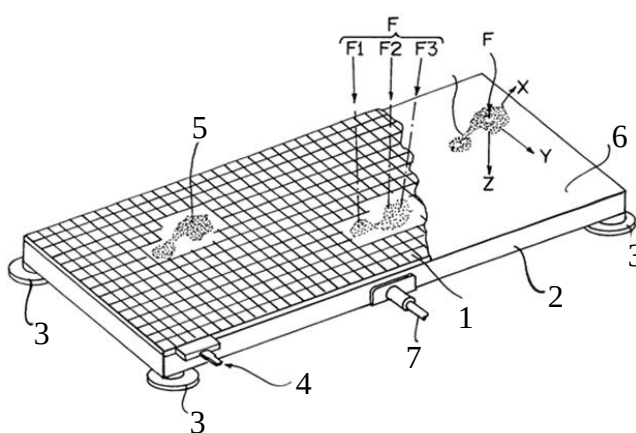
2D apkrovų matavimas atliekamas naudojant slėginių jutiklių sistemas, kurios gali būti dinaminės – eisenos metu, arba statinės – stovint ant platformos (Orlin, McPoil 2000; Dombroski *et*

al. 2014). Šiais metodais yra gaunama informacija apie labiausiai apkrautas vietas, todėl nesudėtinga projektuoti korekcijas (Mandolini *et al.* 2015; Franciosa *et al.* 2013).

Slėgio matavimo priemonės yra įvairios – platformos, bėgimo takeliai arba integruoti vidpadžiai (Qin *et al.* 2015). Šių priemonių veikimas pagrįstas integruota jutikline platforma (7 pav.). Prietaiso matavimo vienetai yra pjezoelektrinių kristalų jutikliai, kurie yra pagaminti iš kvarco. Matavimo sistemoms vienas iš pagrindinių reikalavimų yra kuo įmanoma didesnis tikslumas, dėl to ši priemonė yra sudaryta iš dviejų skirtingų sistemų: jėgos matavimo platformos su pjezoelektriniais kristalų jutikliais ir didelės skiriamosios gebos paviršiaus slėgio pasiskirstymo matavimo sistemos (3) su dideliu kiekiu vertikalinių jėgos jutiklių. Šios dvi skirtingos sistemos yra sujungtos į stačiakampio formos pagrindą (5) su keturiomis atramomis (4). Sistemų sujungimas sudaro vieną matavimo prietaisą (Calame 2002).

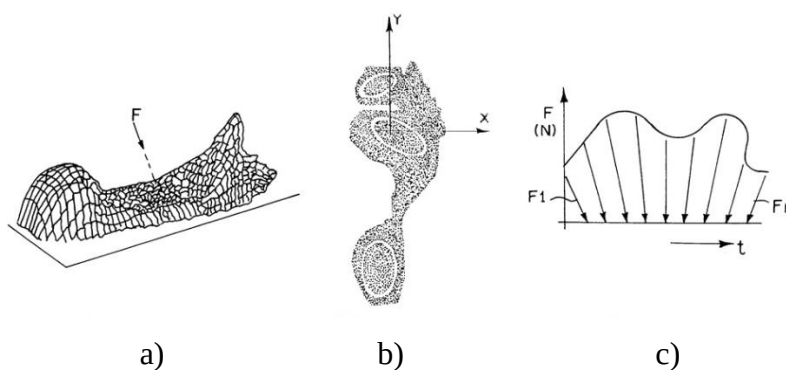
Aukštos rezoliucijos jutikliai paprastai yra tik kelių kvadratinų milimetrų ploto, dėl to net ir mažų objektų (pirštų ar mažų nuospaudų) slėgio pasiskirstymas yra išmatuojamas tiksliai. Rezultatai gali būti pateikiami trijų (8 pav., a), arba dviejų dimensijų vaizduose (8 pav., b). Šių jutiklių išmatuotos slėgio vertės yra perduodamos per jungtis (4) į duomenų apdorojimo sistemą (Calame 2002).

Jutikliai gali būti ne tik vienos komponentės, pavyzdžiui F_z vertikalios jėgos, bet dar papildomai dviejų komponentių: šlyties F_x ir išilginės F_y jėgų, kurios atsiranda žmogaus eisenos metu (5) žengiant ant platformos (6). Taigi šių jutiklių pagalba atramos jėga F gali būti suskaidyta į tris dedamąsias, arba atvirkščiai – visa atramos jėga F gaunama susumavus trijų dedamųjų vektorius (Calame 2002).



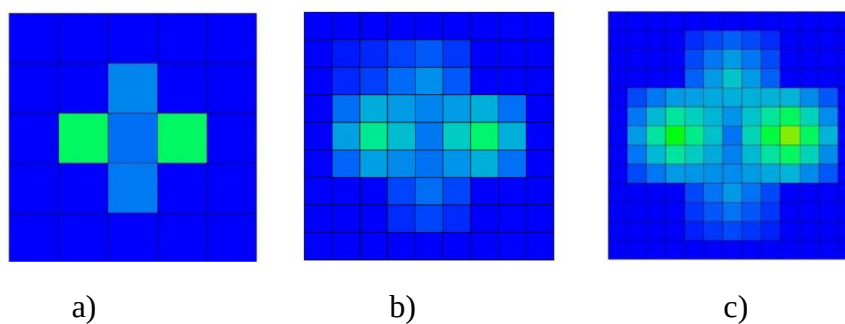
7 pav. Slėgio pasiskirstymo ir jėgos matavimo platforma (Calame 2002)

Naudojant šiuos jutiklius yra įvertinamos ne tik vertikaliosios apkrovos, bet taip pat šlyties ir šoninės jėgos. Matavimų dažnis yra pakankamai didelis (100-240 Hz), todėl sudėjus vektorius gaunamas jėgos pasiskirstymas laiko atžvilgiu (8 pav., c). Jutiklių išmatuotos jėgos (trijų dedamųjų ir suminės) vertės yra perduodamos per išėjimo jungtį (7) į duomenų apdorojimo sistemą (Calame 2002; Berme 2012).



8 pav. Pagrindiniai matavimų rezultatai: a) trimatė plantograma, b) dvimatė plantograma, c) jėgos pasiskirstymas laiko atžvilgiu (Calame 2002)

Atliekant pėdų tyrimus naudojant slėgių apkrovų platformas gaunami duomenys, kurių rezoliucija nėra pakankamai didelė. Šiai problemai spręsti pasirinkta naudoti interpoliaciją (9 pav.). Interpoliuojant duomenis galima gauti tarpines reikšmes tarp atskirų jutiklių, todėl šis metodas leidžia tiksliau ir efektyviau vizualizuoti ir gauti rezultatus skirtus duomenų analizei (Tan *et al.* 2015).



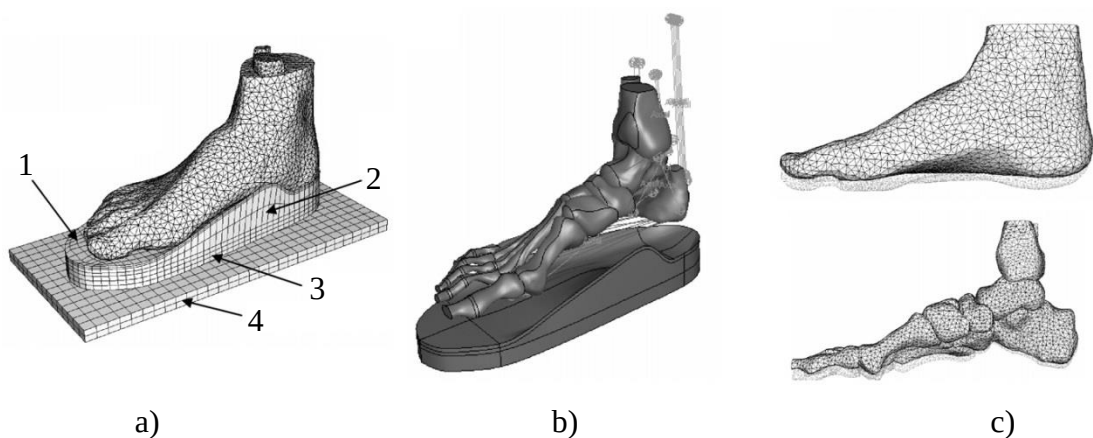
9 pav. Slėgio reikšmių grafikai: a) pradiniai duomenys; b) interpoluoti duomenys 2 kartus; c) interpoluoti duomenys 4 kartus (Tan *et al.* 2015)

1.3. Ortopedinių vidpadžių 3D modeliavimo metodai

Atliekant 3D modeliavimo procesą yra formuojama vidpadžio paviršiaus forma pagal turimus pradinius duomenis (3D skenuota pėda arba 2D nuotrauka). Prieš pradedant modeliuoti vidpadžius, svarbu žinoti paviršiaus zonas, kurios turi daugiausia įtakos apkrovų susidarymui. Autorių (Luo *et al.* 2011), atliktu moksliniu eksperimento rezultatai parodo, jog tinkamo vidpadžio kulno sukūrimas gali sumažinti maksimalias slėgio reikšmes iki kelių kartų. Panašūs reikalavimai yra taikomi ir kitoms pėdos zonoms. Dėl šių išvardytų priežasčių, prieš pradedant modeliuoti vidpadžius, būtina pasirinkti tinkamą modeliavimo metodą. Šiuos metodus pagal formavimo procesą vidpadžių modeliavimą galima skirstyti į 2 pagrindinius tipus (Sun *et al.* 2009; Costea, Mihai 2013, Terstyanszky *et al.* 2016):

1. Paviršiaus gavimas iš rekonstruoto 3D pėdos modelio;
2. Paviršiaus gavimas iš pėdos antspaudų formos modelio.

Pirmojo proceso klasė yra populiariausia naudojant 3D skenavimo metodiką. Atlikus 3D skenavimo ir rekonstrukcijos darbus ant anatominio pėdos modelio yra formuojami individualūs ortopediniai vidpadžiai (10 pav.).

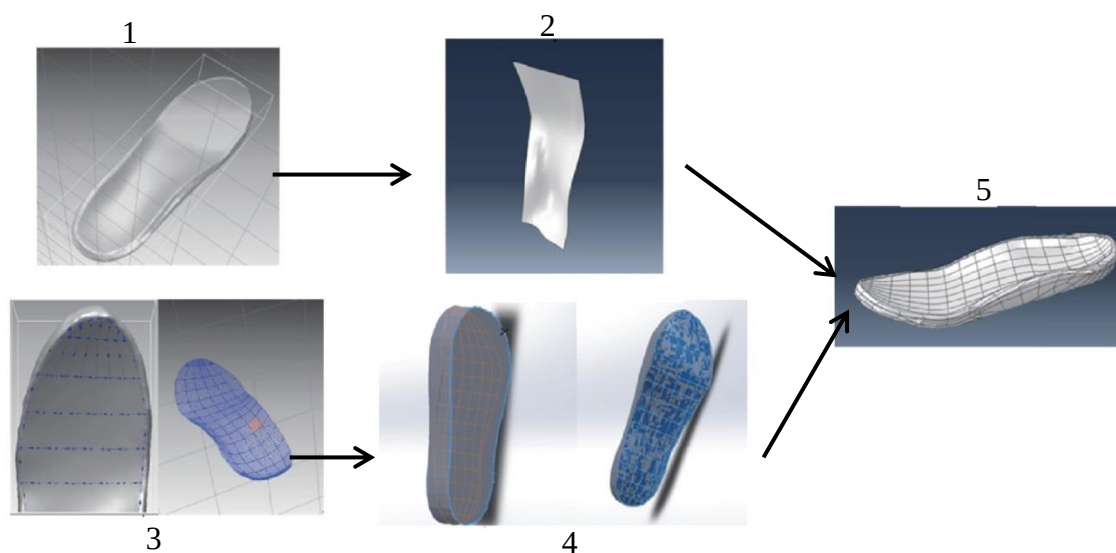


10 pav. Ortopedinio vidpadžio modeliavimo procesas: a) formos gavimas iš rekonstruoto pėdos modelio; b) kaulų struktūros ir biomechaninių ašių korekcijos; c) Kaulų ir minkštųjų audinių deformuotos struktūros (Cheung, Nigg 2008)

Pagal turimus parametrus vidpadžiai dažniausiai projektuojami naudojant skirtingo kietumo sluoksnius (1), kurių storis ir sluoksnio medžiaga yra parenkama individualiai. Išilginio ir skersinio skliautų sutvirtinimai (2) yra formuojami įvairių formų atsižvelgiant į 3D modelio paviršių. Pado tipas ir storis (3) yra parenkamas pagal kitus parametrus. Pavyzdžiui esant skirtingam pėdų ilgiui

vieno iš vidpadžių pado storis yra didesnis, nes yra išlyginamas skirtingų aukščių skirtumas. Siekiant atkartoti kiek įmanoma tikslesnes sąlygas realybėje, atramos paviršius (4) gali būti sukuriamas skirtingomis savybėmis dėl to galima įvertinti sumodeliuotų vidpadžių efektyvumą esant kietai ir minkštai dangai (Cheung, Zhang 2006; Cheung, Nigg 2008).

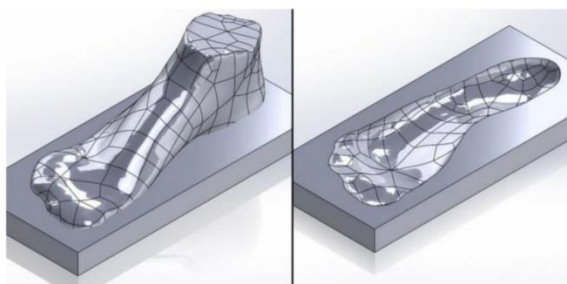
Detalesnis ortopedinio vidpadžio modeliavimas yra kuriamas naudojant 2 skirtingus paviršius (11 pav.). Pirmasis paviršius (1) yra vidinis, kuris suprojektuotas iš anatominės pėdos modelio, todėl šis modelis turi suformuotus skliautus pagal atliktas korekcijas, o antrasis paviršius (2) yra išorinis padas, kuris turi kontaktą su batais (Lo *et al.* 2015). Šio proceso atlikimas suteikia galimybę sukurti ne plokščius vidpadžius, skirtingai nei pavyzdyje pateiktame 10 paveiksle. Šio metodo suprojektuotus vidpadžius yra įmanoma pagaminti naudojant 3D spausdinimą, o CNC frezavimas yra sunkiai įmanomas, nes dažniausiai apdirbimo procesas yra atliekamas tik iš viršaus.



11 pav. Individualių ortopedinių vidpadžių modeliavimas naudojant vidinio ir išorinio paviršių kombinacijas (Lo *et al.* 2015)

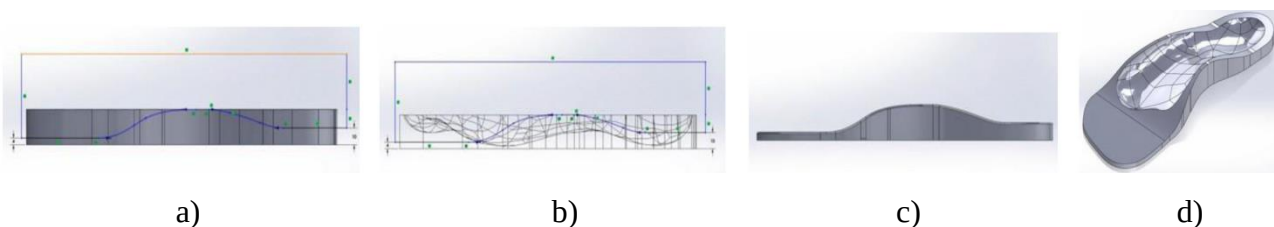
Tolimesnis projektavimo procesas yra šių dviejų skirtingų paviršių sujungimas į vieną gaminį. Šiam tikslui pasiekti vidinis modelis yra paverčiamas į paviršiaus plokštumą (3), o išorinis sluoksnis yra iškeliamas į viršų. Ant išorinio pado sluoksnio su iškeltu plokščiu vidiniu paviršiumi (4) uždedama vidinio paviršiaus plokštuma norimame storyje. Sujungus modelį su paviršiumi yra gaunamas galutinis individualus ortopedinis vidpadis (5) turintis išformuotus du paviršius (Lo *et al.* 2015). Šis projektavimo metodas yra aktualus sportininkams, nes skirtingose sporto šakose yra skirtingo pločio ir formos batai, todėl plokščio pado vidpadžiai šiai kategorijai būtų netinkami (Davia *et al.* 2011).

Kitas plačiai naudojamas ortopedinių vidpadžių modeliavimo metodas yra paremtas antspaudos formos naudojimu. Šio proceso esmė yra iš stačiakampio formos modelio atimti pėdos modelio paviršių (Burhan *et al.* 2017). Tokiu principu yra gaunamas pėdos antspaudas (12 pav.).



12 pav. Antspaudos formos gavimas iš pėdos modelio (Burhan *et al.* 2017)

Naudojant šią formą, yra modeliuojami išorinis ir vidinis pado paviršiai (13 pav., a, b). Šio metodo privalumas yra tai, jog pėdos forma yra kuriama atskiru etapu, kuris visiškai atitinka rekonstruoto modelio formą. Pagal poreikį išorinė formą (13 pav., c) gali būti skirtingos formos. Tai galima numatyti pagal specifinius kliento norus. Sudėjus abu metodo procesus yra gaunamas ortopedinis vidpadis (13 pav., d) su individualia vidine paviršiaus forma ir pasirinktu išoriniu padu (Burhan *et al.* 2017).

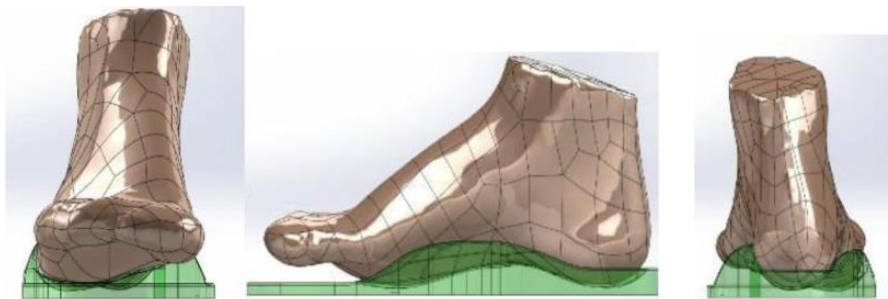


13 pav. Vidpadžio modeliavimo etapai: a) išorinės formos projektavimas; b) vidinės ir išorinės formos projektavimus; c) išorinė forma; d) galutinis produktas (Burhan *et al.* 2017)

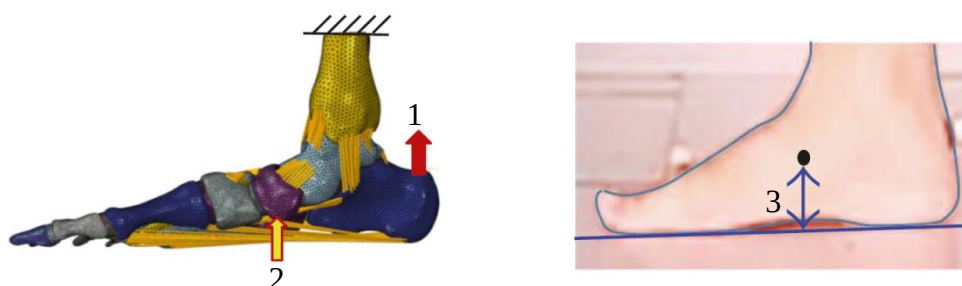
Siekiant įsitikinti, jog ortopediniai vidpadžiai yra tinkamai sumodeliuoti, rekonstruotas anatomicinis pėdos modelis yra projektuojamas kartu su vidpadžiu (14 pav.). Šis etapas suteikia galimybę įvertinti vidpadžio formos ypatumus pėdos atžvilgiu. Esant sudėtingai situacijai, pavyzdžiui didelei pėdos deformacijai arba pirštų amputacijai, šis vizualizavimo metodas leidžia įvertinti daugiau parametrų.

Pėdos pagrindinis parametras yra išilginio vidinio skliauto aukštis. Šio parametro reikšmės dydis yra tiesiogiai priklausomas nuo laivakaulio vietos (15 pav.). Plokščiapėdystės atveju

laivakaulis (2) yra nusileidęs žemyn nuo savo pradinės padėties. Dėl šios priežasties sausgyslės yra tempiamos (1). Siekiant išvengti šių problemų, laivakaulio padėtis yra nustatoma vizualiu metodu (3) ir projektuojant ortopedinius vidpadžius siekiama atstatyti jo poziciją į pradinę (Su *et al.* 2017; Franciosa, Gerbino 2010).

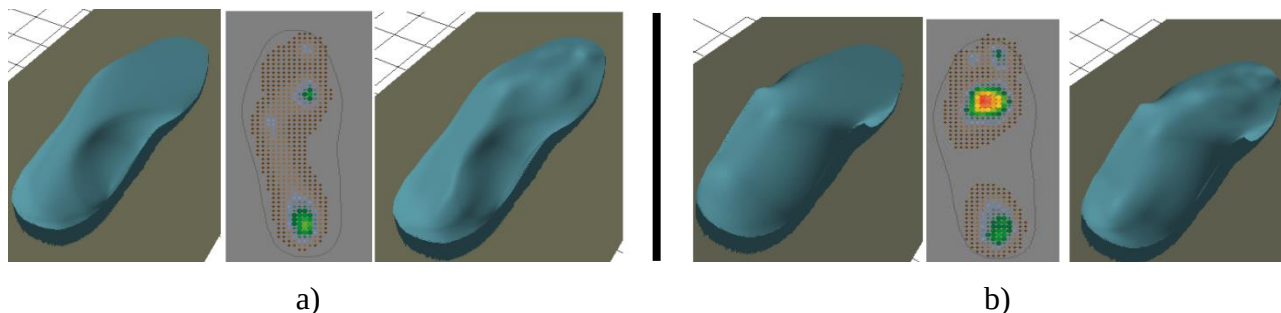


14 pav. Pėdos modelio ir vidpadžio vizualizavimas (Burhan *et al.* 2017)



15 pav. Pėdos deformacijos radimas vizualiu metodu (Su *et al.* 2017)

Vienas iš efektyviausių pėdos apkrovų mažinimo metodų, yra tinkamo vidpadžio tipo parinkimas ir paviršiaus pritaikymas naudojant slėgių duomenų rezultatus (16 pav.). Šio metodo esmė yra tai, jog esant skirtingoms problemoms yra taikomi skirtingi vidpadžiai. Pagrindinis šio proceso privalumas yra tai, jog turint apkrovų reikšmes galima individualiai išformuoti paviršių atsižvelgiant į rezultatus. Pavyzdžiui, esant pronacijos (virtimui į vidų) atvejui (16 pav., a), yra taikomi ortopediniai vidpadžiai su išformuotu išoriniu skliautu, o didesnam komfortui pasiekti yra išformuojamas individualus minkštas paviršius, kurio tikslas yra paskirstyti apkrovas per visą pėdą tolygiai (Papagiannis *et al.* 2016). Turint didžiausias apkrovas ties pirštų sritimi yra taikomi visiškai kitokio tipo vidpadžiai (15 pav., b), kurie taip pat turi pagal apkrovas suformuotus paminkštintus paviršius.



16 pav. Vidpadžių korekcijos atsižvelgiant į statines apkrovas: a) vidinės pėdos dalies apkrovų mažinimas; b) pėdos padikaulių apkrovų mažinimas (Cotoros *et al.* 2011)

1.4. Ortopedinių vidpadžių automatizuotos gamybos galimybės

Šiuo metu individualių ortopedinių vidpadžių gamybos įmonėse vyrauja du procesai – klasikinis ir šiuolaikinis (17 pav.). Iš jų populiariesnis ir labiau išstobulintas yra klasikinis (1), kuris nuo seno yra naudojamas praktikoje (Salles *et al.* 2014). Vidpadžių gamyba naudojant šią technologiją prasideda nuo pėdos formos nuėmimo (2) naudojant putų dėžutę. Ant išgauto paviršiaus yra užpilamas gipsas (3) ir gauta forma yra apdirbama lyginant pėdų skliautus (4). Ant galutinio gipso modelio yra uždedama pašildyta medžiaga ir įdedama į vakuumo dėžę (5). Šiame gamybos etape sudarius neigiamą slėgį yra gaunama vidpadžių forma, kuri yra apdirbama frezuojant ir šlifuojant (6). Po baigiamojo apdirbimo vidpadžiai (7) pristatomi klientui (Mandolini *et al.* 2015).

Kitas gamybos procesas yra šiuolaikinis (8), kuriam naudojamas skeneris (9) pėdų formai gauti, speciali programinė įranga 3D pėdos (10) ir vidpadžių (11) modeliavimui atlikti. Gamybos etapas vyksta naudojant CNC frezavimo stakles (12) ir šlifavimo techniką (13) (Mandolini *et al.* 2015). Paviršius, kuris liečiasi su pėda yra išfrezuojamas, todėl siekiant išgauti švelnesnį ir minkštesnį sluoksnį, papildomai yra klijuojama minkštos medžiagos dalis (Cheung, Nigg 2008).

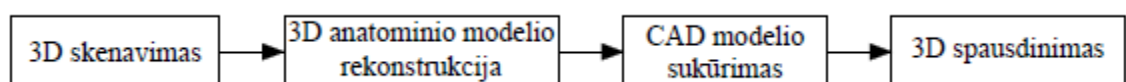
Šiuo metu sparčiai tobulėja 3D spausdinimo technologijos, kuriamos naujos sistemos, kurių tikslas yra pagerinti individualių ortopedinių vidpadžių gamybą. Remiantis autoriumi (Cobianu *et al.* 2012) tradicinė gamyba rankomis šiuo metu reikalauja mažiau investicijų ir pasiruošimo, tačiau sudėtinga atlikti modifikacijas, dėl to šias gamybos sistemas keičia kompiuterizuotos 3D spausdinimo technologijos, kurių pagrindinis trūkumas, trukdantis visiškai pakeisti rinką, yra brangios medžiagos.



17 pav. Individualių ortopedinių vidpadžių gamybos metodai: a) klasikinis; b) šiuolaikinis (Mandolini *et al.* 2015)

Pasak autoriaus (Miguel *et al.* 2018), šiuo metu kompiuterizuotos gamybos praktikoje labiau taikomas yra CNC frezavimo metodas, tačiau 3D spausdinimas turi daugiau privalumų dėl sunaudotų medžiagų kiekio ir geresnio medžiagų pasirinkimo. Autoriai (Janssen *et al.* 2014) teigia, jog 3D spausdinimo technologija vis sparčiau tobulėja ir populiarėja, o spartų proveržį šioje gamybos srityje stabdo brangios medžiagų kainos. Detalesnis šių 2 gamybos procesų lyginimas pateiktas 1 lentelėje.

Remiantis autoriumi (Cobianu *et al.* 2012) 3D spausdinimas naudojamas vienetiniams individualiems užsakymams, o CNC frezavimas masiniam standartizuotam gaminimui. Individualių ortopedinių vidpadžių gamybos proceso (18 pav.) pirmasis etapas yra 3D skenavimas, kurio metu gaunami pėdos forma. Šie rezultatai yra apdorojami ir naudojami CAD modelio sukūrimui (Braun, Baritz 2017).

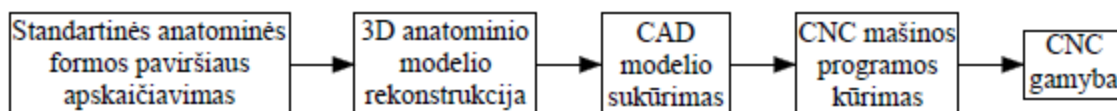


18 pav. Individualios gamybos schema naudojant 3D spausdinimo technologiją (sudaryta autoriaus pagal Cobianu *et al.* 2012)

1 lentelė. Gamybos rankomis ir 3D spausdintuvu palyginimas (sudaryta autoriaus pagal Cobianu *et al.* 2012)

Kategorijos	Gamyba rankomis	Kompiuterizuota gamyba 3D spausdintuvu
Žaliavos	Paprastos medžiagos	Specialios medžiagos 3D spausdinimui
Kompiuterizuota įranga	Nereikia	3D skeneris, 3D spausdintuvas, kompiuteris
Kompiuterinė įranga	Nereikia	Skenerio ir CAD programinės įrangos
Kvalifikacija, mokymai	Pagrindiniai mokymai	Pagrindiniai, skenavimo, CAD sistemų ir 3D spausdinimo mokymai
Formos modifikacijos	Sudėtingos	Galimi greiti pakeitimai
Įrangos kaina	Iki 1000 €	12 000 € skenerio ir programinės įrangos kaina, 3 000 € 3D spausdintuvo kaina
Medžiagų kaina 1 ortopedinių vidpadžių porai	5-20 €	50-150 €
Pagrindiniai privalumai	Mažos investicijos	Greita gamyba, mažos gamybos patalpos, didelis tikslumas
Pagrindiniai trūkumai	Mažas produktyvumas	Didelė 3D spausdinimo medžiagų kaina

Masinėje standartizuotoje gamyboje (19 pav.) pirmiausia yra apskaičiuojama anatominis pėdos formos paviršius, kuris yra tinkamas didžiajai daliai žmonių. Vėliau šie rezultatai yra apdorojami ir sukuriamas 3D pėdos anatominis modelis. Atlikus apkrovų analizę ir suradus tinkamus sprendimus yra kuriamas ortopedinio vidpadžio CAD modelis. Galiausiai kompiuterizuotam frezavimui yra sukuriamas programinis kodas, kuris naudojamas masiškoje gamyboje (Cobianu *et al.* 2012).



19 pav. Standartizuota gamyba naudojant CNC frezavimo stakles (sudaryta autoriaus pagal Cobianu *et al.* 2012)

1.5. Literatūros analizės apibendrinimas

Pirmajame šio darbo skyriuje buvo atlikta mokslinės literatūros analizė. Atlikus pėdos formos ir parametrų matavimų metodų vertinimą, pastebėta, jog praktikoje yra naudojami pagrindiniai 3 metodai: gipsavimas, pėdos skenavimas ir kompiuterinio pėdų tyrimo taikymas. Įvertinus šių metodų privalumus ir trūkumus, nustatyta, jog geriausi rezultatai yra pasiekiami taikant 3D skenavimo ir kompiuterinio pėdų tyrimo duomenų analizės metodus kartu.

Pastebėta, jog vidpadžių 3D modeliavimo metu dažniausiai yra naudojami 2 metodai: paviršiaus gavimas iš rekonstruoto 3D pėdos modelio ir paviršiaus gavimas iš pėdos antspaudo formos modelio. Iš šių skirtingų metodų daugiau funkcinių galimybių sukuria metodas pagrįstas antspaudo gavimu, tačiau jo realizavimas yra sudėtingesnis ir reikalaujantis atlikti daugiau operacijų.

Išsiaiškinta, jog šiuo metu rinkoje taikomos sudėtingos skaitmeninių duomenų apdorojimo sistemos, kurios yra sudėtingos, reikalaujančios specialios įrangos ir skirtos tik siaurai vartotojų sričiai. Išanalizavus ortopedinių vidpadžių gamybos metodus, gauti rezultatai, jog tradicinis gamybos metodas naudojant gipsavimą reikalauja mažiausiai investicijų, tačiau kompiuterizuoti sprendimai yra tikslesni, greitesni ir perspektyvesni. Iš šių procesų CNC frezavimas yra labiau skirtas masinei standartizuotų prekių gamybai, o 3D spausdinimas – individualiems užsakymams.

Remiantis atliktos mokslinių šaltinių analizės rezultatais ir pastebėjimais, tolimesniame darbo skyriuje bus nagrinėjami ir sprendžiami šie uždaviniai:

1. Suprojektuoti ortopedinių vidpadžių automatizuotos 3D modeliavimo sistemos veikimo schemas;
2. Sukurti supaprastintą kompiuterinio pėdų tyrimo duomenų apdorojimo algoritmą;
3. Sukurti ortopedinių vidpadžių automatinio 3D modeliavimo algoritmą naudojant apdorotus duomenis.

2. ORTOPEDINIŲ VIDPADŽIŲ AUTOMATIZUOTOS 3D MODELIAVIMO SISTEMOS PROJEKTAVIMAS

Šioje darbo dalyje yra kuriama vidpadžių automatizuota 3D modeliavimo sistema. Pirmiausia yra projektuojamas darbo procesas, kuris vizualizuojamas schemomis. Toliau yra pateikiamas duomenų apdorojimo algoritmas ir 3D modeliavimo procedūros ir galiausiai yra aprašoma medžiagų atsparumo tikrinimo eiga ir įvertinamos slėgių rezultatai pėdose nešiojant vidpadžius.

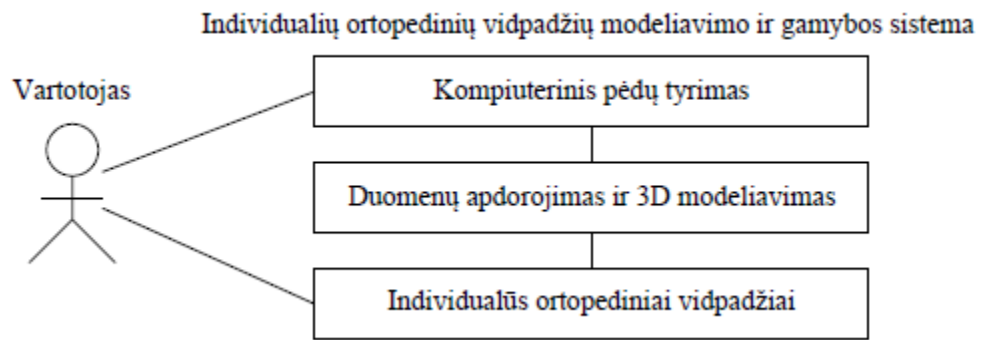
2.1. Vidpadžių modeliavimo ir gamybos sistemos proceso projektavimas

Individualių ortopedinių vidpadžių 3D modeliavimo ir gamybos sistemos procesas parodo, kaip nuo pradinių duomenų produktas yra plėtojamas iki gamybos. Skirtingos schemas parodo skirtingus sistemos elementų narių tarpusavio ryšius ir veikimo principus. Toliau darbe pateikiamos užduočių, ansamblių, sekų, klasių ir būsenų schemas.

2.1.1. Užduočių diagrama

Individualių ortopedinių vidpadžių modeliavimo ir gamybos sistema yra skirstoma į 3 pagrindines užduotis (20 pav.):

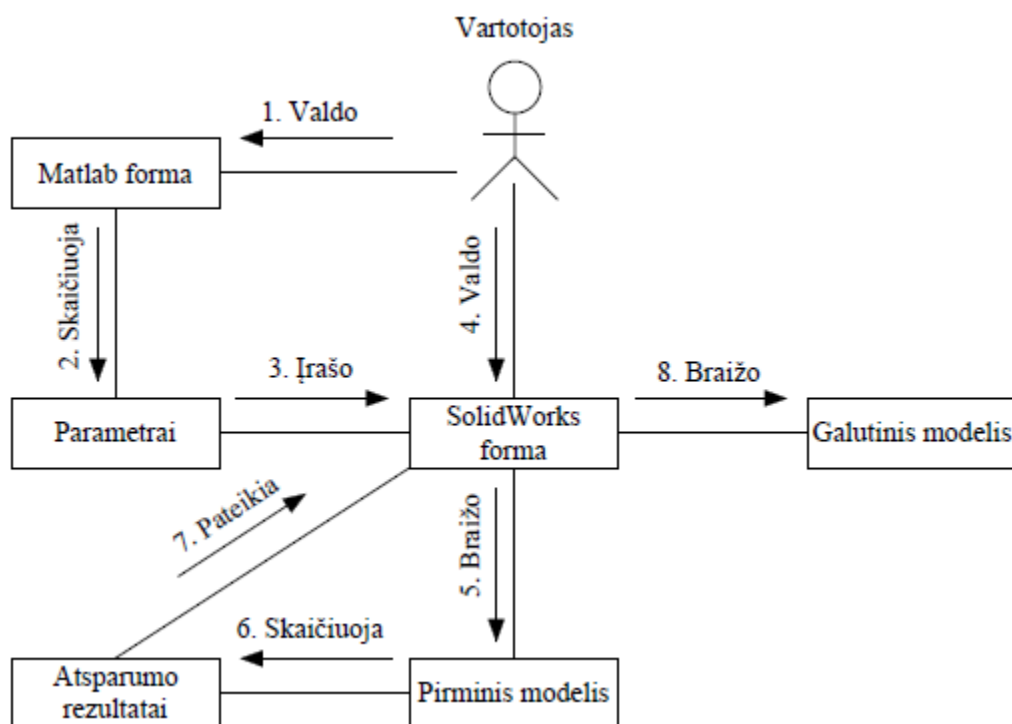
1. Kompiuterinio pėdų tyrimo atlikimas. Šioje sistemos stadijoje yra atliekami reikalingi tyrimai ir gaunami jų rezultatai;
2. Duomenų apdorojimas ir 3D modeliavimas. Gauti tyrimų rezultatai yra apdorojami naudojant kompiuterines programas ir pateikiami modeliavimo sistemai;
3. Individualių ortopedinių vidpadžių gamyba. Atlikus duomenų apdorojimą ir 3D modeliavimo etapus yra gaunami ortopedinių vidpadžių 3D modeliai. Naudojant gautus rezultatus yra gaminami vidpadžiai taikant kompiuterizuotas sistemas.



20 pav. Individualių ortopedinių vidpadžių modeliavimo ir gamybos sistemos užduočių diagrama

2.1.2. Ansamblių diagrama

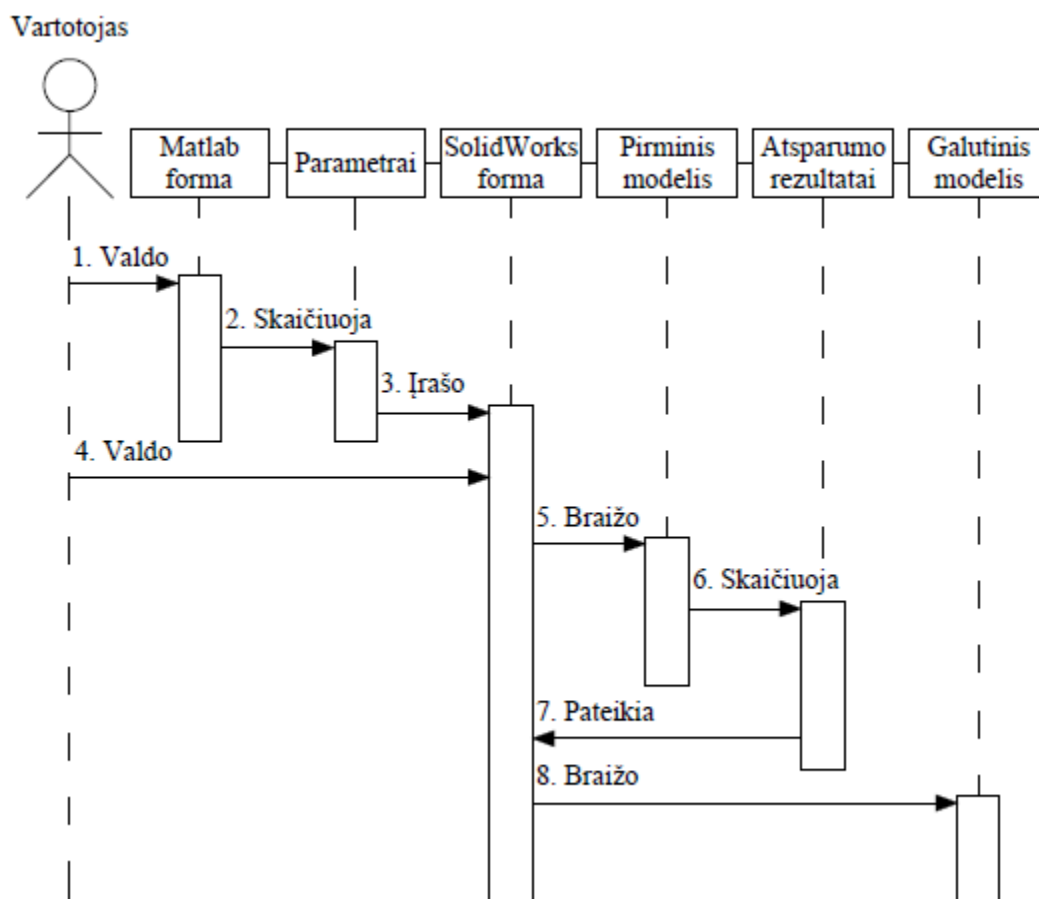
Iš užduočių diagramoje pateiktų sistemos narių svarbiausi ir sudėtingiausi yra duomenų apdorojimas ir 3D projektavimas, kurių ansamblių diagrama yra pateikta 21 paveiksle. Šioje schemoje vartotojas valdo formą kompiuterinėje programoje „Matlab“, kurioje įkelia paciento ir tyrimų duomenis, bei įrašo tam tikrus pradinis žinomus parametrus. Forma apdoroja duomenis, atlieka skaičiavimus ir įrašo rezultatų parametrus į atskirą failą (žr. 2.2 poskyrį). Toliau vartotojas valdo antrąją formą, kuri yra susieta su 3D braižymo programa „SolidWorks“. Įjungus šią formą, vieno mygtuko paspaudimu automatiškai yra įkeliami ir pavaizduojami rezultatų parametrai. Šiuos duomenis vartotojas pagal poreikį gali keisti. Paspaudus formoje mygtuką „Braižyti“, brėžiamas pirminis modelio variantas (žr. 2.3 poskyrį). Šiam modeliui yra atliekami atsparumo bandymai, kurio metu įsitikinama, ar sumodeliuotas vidpadis atlaiko paciento apkrovas (žr. 2.4 poskyrį). Jei šis pirminis modelis atlaiko jam priskirtas statines apkrovas, tuomet gaminys priskiriamas galutiniam modeliui, kuris bus paruoštas gamybai. Jei ortopediniai vidpadžiai neatlaiko apkrovų, tuomet „SolidWorks“ formoje yra keičiami parametrai ir kartojamas modeliavimo ir atsparumo skaičiavimų ciklas iki tol, kol gaminys atlaikys jam priskirtas apkrovas.



21 pav. Duomenų apdorojimo ir 3D modeliavimo užduoties ansamblių diagrama

2.1.3. Sekų diagrama

Visas duomenų apdorojimo ir 3D modeliavimo ciklas vyksta tam tikru laiku, todėl svarbu žinoti kiekvieno sistemos nario padėtį ir ryšį su kitais elementais laiko atžvilgiu. Šis procesas pateiktas yra sekų diagramoje (22 pav.). Šioje schemoje pagrindiniai elementai yra vartotojas, „Matlab“, „SolidWorks“ formos ir galutinis modelis. Laiko atžvilgiu vartotojas dalyvauja visame sistemos veikimo cikle – pirmiausia paleidžia „Matlab“ formą, kurioje yra atliekami skaičiavimai ir rezultatų įrašymas, vėliau braižymo, skaičiavimo ir pateikimo operacijos yra atliekamos kitoje formoje. Naudojant šią suprojektuotą schema, galima pastebėti tam tikrus proceso dėsningumus, pavyzdžiui, jog duomenų apdorojimo procesas vyksta santykinai trumpai lyginant su 3D modeliavimu.



22 pav. Duomenų apdorojimo ir 3D modeliavimo užduoties sekų diagrama

2.1.4. Klasų diagrama

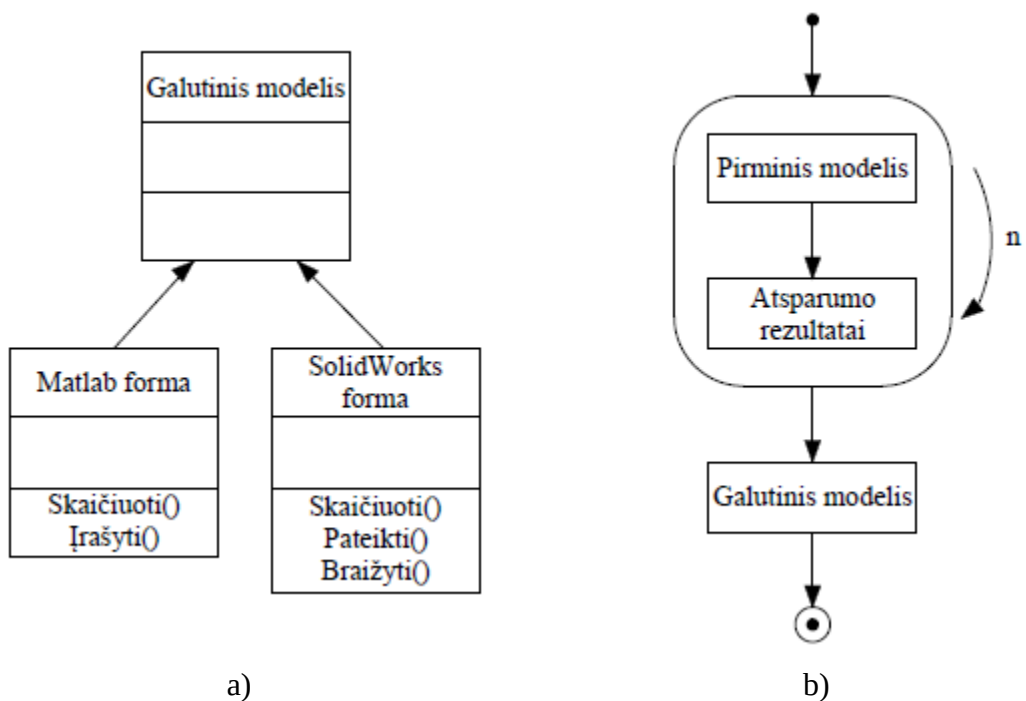
Viena iš projekto užduočių yra gauti individualių ortopedinių vidpadžių 3D modelį. Šiam rezultatui pasiekti yra formuojamos dvi klasės (23 pav., a):

1. „Matlab“ forma, kurioje yra atliekami duomenų analitiniai skaičiavimai ir rezultatų išvedimas į kitą formą. Pagal formos paskirtį ši klasė atlieka skaičiavimo ir įrašymo funkcijas;
2. „SolidWorks“ forma, kurioje yra visas 3D modeliavimo procesas pradedant 2D eskizo kūrimu, baigiant 3D paviršiaus projektavimu ir medžiagų atsparumo skaičiavimu. Dėl šių priežasčių šios formos klasė atlieka skaičiavimo, pateikimo ir braižymo funkcijas.

2.1.5. Būsenų diagrama

3D modeliavimo gavimo paskutinis ciklas yra medžiagų atsparumo analizė. Šis etapas yra pasikartojantis iki tol, kol sistema ras tinkamą sprendimą. Skaičiavimo veikimo schema yra pateikta būsenų diagramoje (23 pav., b), kurios eiga yra ši:

1. Kuriamas pirminis modelis su nustatytais parametrais;
2. Gaunami rezultatai iš atsparumo analizės. Jei atsakymas yra teigiamas, tai priimama, jog suprojektuotas gaminy yra galutinis;
3. Jei gaminy neatlaiko apkrovų, tokiu atveju pirmi du žingsniai yra kartojami iki tol, kol yra gaunamas teigiama reikšmė.



23 pav. Proceso schemas: a) duomenų apdorojimo ir 3D modeliavimo sistemos klasių diagrama; b) medžiagų atsparumo skaičiavimo būsenų diagrama

2.2. Kompiuterinio pėdų tyrimo duomenų apdorojimas

Šioje darbo dalyje yra kuriamas duomenų apdorojimo algoritmas pagrįstas matematiniais skaičiavimais naudojant „Matlab“. Pradiniai duomenys yra skaičių masyvas (24 pav., a), kuris gautas kompiuterinio pėdų tyrimo metu. Masyve esančio skaičiaus reikšmė yra atitinkamas slėgis išreikštas N/cm^2 .

Kairės ir dešinės pėdų tyrimų duomenys yra pateikiami atskirai, todėl toliau darbe pateikiamas sprendimas dešinei pėdai, o kairei pėdai sprendimas yra analogiškas. Pirmasis žingsnis yra duomenų įkėlimas ir jų nuskaitymas, kuris yra pateiktas 2 lentelėje. Duomenų masyvo eilučių ir stulpelių skaičius kiekvieną atskirą kartą skiriasi ir nėra žinomas, todėl surandamas masyvo dydis, kuris yra sugraduojamas.

2 lentelė. Duomenų įkėlimas ir nuskaitymas

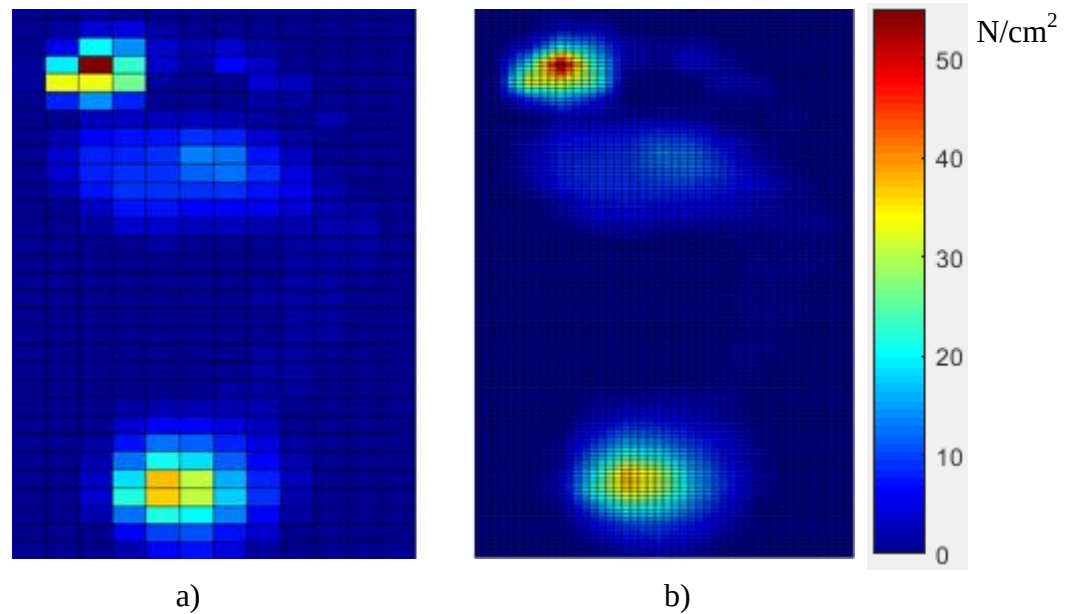
```
filename = 'Duomenys.xlsx';
A = xlsread(filename);
[m,n] = size(A);
xx = 1:n;
yy = 1:m;
[X,Y] = meshgrid(xx,yy);
```

2.2.1. Interpoliacija

Jutiklių, matuojančių apkrovas, rezoliucija yra nedidelė ($1,4 \text{ jutiklio/cm}^2$). Pakankamas duomenų analizės tikslumas yra reikšmė kvadratiniam milimetrai, dėl to reikia padidinti duomenų kiekį 7 kartus. Dėl šių priežasčių duomenų masyvas yra interpoliuojamas (3 lentelė). Dėl paprastesnių skaičiavimų kituose etapuose eliminuojamos mažos ($<0,5 \text{ N/cm}^2$) reikšmės, kurios atsirado interpoliavimo metu ir neturi visiškai įtakos tolimesniuose skaičiavimuose. Atlikus interpoliaciją, iš pradinių duomenų yra gaunami tikslesni duomenys (24 pav., b), kurie naudojami tolimesniems duomenų apdorojimo cikluose.

3 lentelė. Duomenų interpoliacija

```
kartai = 7;
x1 = 1:(1/kartai):n;
y1 = 1:(1/kartai):m;
[Xq,Yq] = meshgrid(x1,y1);
Vq = interp2(X,Y,A,Xq,Yq);
Vq(Vq < 0.5) = 0;
```



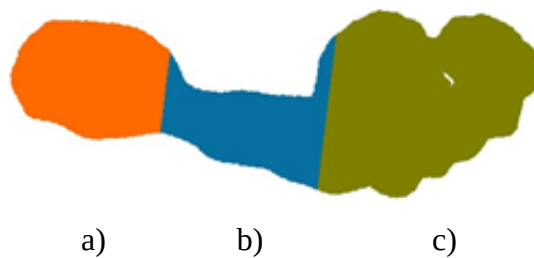
24 pav. Duomenų interpoliacija: a) pradiniai duomenys; b) duomenys atlikus linijinę interpoliaciją

2.2.2. Parametrų apskaičiavimas

Pirmiausia šioje skaičiavimų dalyje pėdos apkrovų duomenys yra padalijamos į 3 segmentus – kulną, vidurio ir pirštų dalis (25 pav.). Šiam procesui atlikti yra atliekami matricos elementų padalijimai į dalis pagal standartinius pėdų ilgių parametrus (4 lentelė). Pėdos padalijimas į segmentus suteikia galimybę analizuoti duomenis atskirai ir lyginti gautus rezultatus tarpusavyje.

4 lentelė. Pėdos padalijimas į 3 dalis

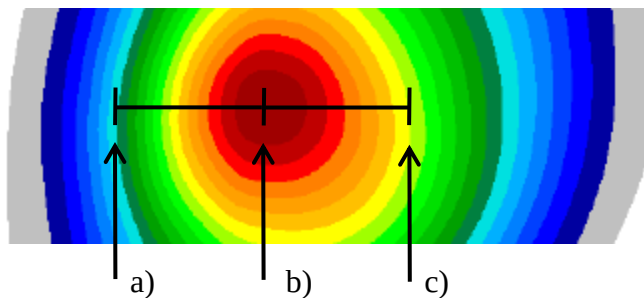
```
[ilgis,plotis] = size(Vq);
pirmas = fix(ilgis/2.3);
antras = fix(ilgis/1.5);
priekis = Vq(1:pirmas,:);
vidurys = Vq(pirmas:antras,:);
galas = Vq(antras:ilgis,:);
```



25 pav. Pėdos padalijimas į 3 dalis: a) kulno dalis; b) vidurio pėdos dalis; c) pirštai ir padikauliai

Toliau darbe pateikiami duomenų apdorojimo algoritmo sprendimai kiekvienam segmentui atskirai. Kulno dalis analizuojama atliekant šiuos žingsnius (5 lentelė):

1. Randamos didžiausio slėgio reikšmės koordinatės (26 pav., b).
2. Sukuriami papildomi du taškai nutolę 10 mm nuo maksimalios reikšmės taško į skirtingas puses horizontalia kryptimi (26 pav., a, b).
3. Surandamos naujų taškų apkrovų reikšmės ir apskaičiuojamas parametras padalijus vieną reikšmę iš kitos. Pagal parametro reikšmę galima spręsti apie kulno deformacijos tipą.



26 pav. Kulno deformacijos nustatymas: a) taškas, nutolęs nuo maksimalios apkrovos taško 10 mm horizontalia kryptimi į kairę pusę (į vidų); b) maksimali apkrova; c) taškas, nutolęs nuo maksimalios apkrovos taško 10 mm horizontalia kryptimi į dešinę pusę (į išorę)

5 lentelė. Kulno deformacijos tipo ir parametro reikšmės nustatymas

```
max_galas,max_idx_galas] = max(galas(:));
[Xg, Yg]=ind2sub(size(galas),max_idx_galas);
kaire = galas(Xg -10, Yg);
desine = galas(Xg +10, Yg);
kulno_deformacijos_parametras = desine / kaire;
if kulno_deformacijos_parametras < 0.85
    kulno_deformacija = 'Supinacija';
elseif kulno_deformacijos_parametras > 1.2
    kulno_deformacija = 'Pronacija';
else
    kulno_deformacija = 'Nera';
end
```

Analizuojant pėdos vidurinę dalį, svarbiausias parametras yra išilginis pėdos skliautas, arba kitaip tariant pėdos vidurio dalis (25 pav., b), kuris nustatomas padalijus vidurinės pėdos dalies apkrovų plotą iš visos pėdos apkrovų ploto (6 lentelė). Gauta reikšmė yra parametras pagal kurį galima spręsti apie pėdos plokščiapėdystės laipsnį.

Kitas svarbus pėdos parametras – pėdos ašies padėtis. Šią padėtį apskaičiuojama naudojant pirštų ir padikaulių dalies duomenis (7 lentelė). Šie duomenys yra išskirstomi į dvi vienodas vertikalias dalis – kairę ir dešinę puses. Toliau skaičiuojami šių dviejų dalių apkrovų suminės reikšmės bei padalijus gautus rezultatus gaunamas parametras pagal kurį galima spėti apie pėdos ašies tipą.

6 lentelė. Išilginio skliauto tipo ir parametro nustatymas

```

visu_apkrovu_suma_priekis= sum(priekis(:),'omitnan' );
visu_apkrovu_suma_vidurys= sum(vidurys(:),'omitnan' );
visu_apkrovu_suma_galas= sum(galas(:),'omitnan' );
visas_apkrovos_plotas_priekis = nnz(priekis); visas_apkrovos_plotas_vidurys = nnz(vidurys);
visas_apkrovos_plotas_galas = nnz(galas);
visas_plotas = visas_apkrovos_plotas_priekis + visas_apkrovos_plotas_vidurys +
visas_apkrovos_plotas_galas;
pedos_supinacijos_parametras = visu_apkrovu_suma_vidurys/visas_apkrovos_plotas_vidurys;
pedos_isilginio_skliauto_parametras = visas_apkrovos_plotas_vidurys/(visas_plotas);
if pedos_isilginio_skliauto_parametras < 0.15 && pedos_supinacijos_parametras > 5;
isilginis_skliautas = 'Normalus, peda supinuota';
elseif pedos_isilginio_skliauto_parametras < 0.10;
isilginis_skliautas = 'Aukstas';
elseif pedos_isilginio_skliauto_parametras < 0.15;
isilginis_skliautas = 'Normalus';
elseif pedos_isilginio_skliauto_parametras < 0.20;
isilginis_skliautas = 'I laipsnio plokščiapadystė';
elseif pedos_isilginio_skliauto_parametras < 0.30;
isilginis_skliautas = 'II laipsnio plokščiapadystė';
else
isilginis_skliautas = 'III laipsnio plokščiapadystė';
end

```

7 lentelė. Pėdos ašies tipo ir parametro nustatymas

```

kaire_puse = priekis(:,1:(fix(plotis/2)));
kaire_puse_kof = sum(kaire_puse(:),'omitnan' );
desine_puse = priekis(:,(fix(plotis/2)+1):plotis);
desine_puse_kof = sum(desine_puse(:),'omitnan' );
pedos_asies_kof = (kaire_puse_kof / desine_puse_kof);
if pedos_asies_kof < 0.9
pedos_asis = 'Peda virsta i isorine puse';
elseif kulno_deformacijos_parametras > 1.2
pedos_asis = 'Peda virsta i vidine puse';
else
pedos_asis = 'Peda stabili';
end

```

Paskutinis reikiamas ortopedinio vidpadžio elementas yra skersinio skliauto pakyla. Šiame darbe skaičiuojama skersinio skliauto būtinumas ir bendras parametras (8 lentelė). Pirmiausia išrenkamos apkrovos esančios 2 ir 3 padikauliuose (skersinio skliauto vietoje) ir ištrinamos visos apkrovų reikšmės, kurios yra normos ribose. Vėliau likusios neištrintos apkrovų reikšmės sudedamos ir padalijamos iš bendro šių apkrovų ploto. Gauta reikšmė yra skersinio skliauto parametras, kuris tolimesniame modeliavimo etape nustatys papildomos atramos aukštį.

8 lentelė. Skersinio skliauto nustatymas

```
skersinio_skliauto_vieta = priekis(fix(ilgis/6):pirmas,(fix(plotis/3)):(fix(plotis/1.3)));
skersinio_skliauto_vieta(skersinio_skliauto_vieta < (svoris/4)) = 0;
skersinio_skliauto_plotas = nnz(skersinio_skliauto_vieta);
skersinio_apkrovos_suma = sum(skersinio_skliauto_vieta(:),'omitnan' );
skersinio_skliauto_kof = skersinio_apkrovos_suma / skersinio_skliauto_plotas;
if skersinio_skliauto_kof > (svoris/3);
skersinis_skliautas = 'reikalingas';
else
skersinis_skliautas = 'nereikalingas';
end
```

2.2.3. Apdorotų duomenų išsaugojimas

Visi gauti parametrai išsaugomi į atskirą „Excel“ failą (9 lentelė) lentelės pavidalu. Ši lentelė toliau naudojama kompiuterinėje programoje „SolidWorks“ paleidžiant joje „Visual Basic“ paketą.

9 lentelė. Rezultatų išsaugojimas

```
Pavadinimas = {'Svoris'; 'Ilgis'; 'Plotis'; 'Isilginis skliautas'; 'Skersinis skliautas'; 'Kulno deformacija'; 'Pedos asis'};
Parametras = [svoris; ilgis; plotis; pedos_isilginio_skliauto_parametras; skersinio_skliauto_kof; kulno_deformacijos_parametras; pedos_asies_kof];
Reiksme = ['kg'; 'mm'; 'mm'; {isilginis_skliautas}; {skersinis_skliautas}; {kulno_deformacija}; {pedos_asis} ];
Lentele= table(Parametras, Reiksme, 'RowNames', Pavadinimas)
filename = 'output.xlsx';
writetable(Lentele,filename,'Sheet',1,'Range','A1')
```

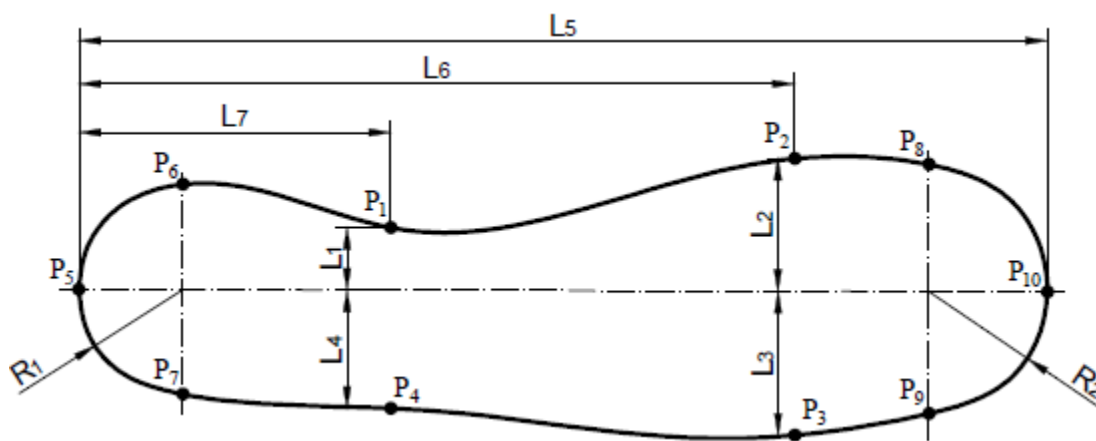
2.3. Ortopedinių vidpadžių automatinis 3D modeliavimas

Automatinis 3D modeliavimas atliekamas naudojant „SolidWorks“ programinėje įrangoje esančiu programavimo plėtiniu „Visual Basic“. Pagrindiniai parametrai skirti 3D modeliavimui yra

pateikiami iš 2.2 skyriaus sukurtos lentelės. Programos paleidimo ir kintamųjų priskirimo algoritmas yra pateiktas A priede. Iš viso automatizuoto 3D modeliavimo cikle yra projektuojami 3 etapai:

1. 2D eskizo nubraižymas (27 pav.);
2. Paviršiaus sukūrimas (28 pav.);
3. Modelio paviršiaus iškėlimas apskaičiuotu atstumu (29 pav., a);

2D eskizui nubraižyti pasirinkta naudoti kreivę, einančią per 10 taškų (27 pav.). Atstumas tarp taškų P_5 ir P_{10} yra pėdos ilgis L_5 . Taškai P_6 , P_7 ir P_8 , P_9 yra dviejų apskritimų diametrų taškai. Likę taškai yra ortopedinio vidpadžio išilginio ir vidinio skliautų pagrindiniai taškai. Visi taškai yra parametriniai dydžiai ir priklausomi nuo pėdos ilgio, pločio ir kitų savybių, kurios buvo gautos duomenų analizės metu. Eskizo braižymo automatinis algoritmas yra pateiktas C priede.

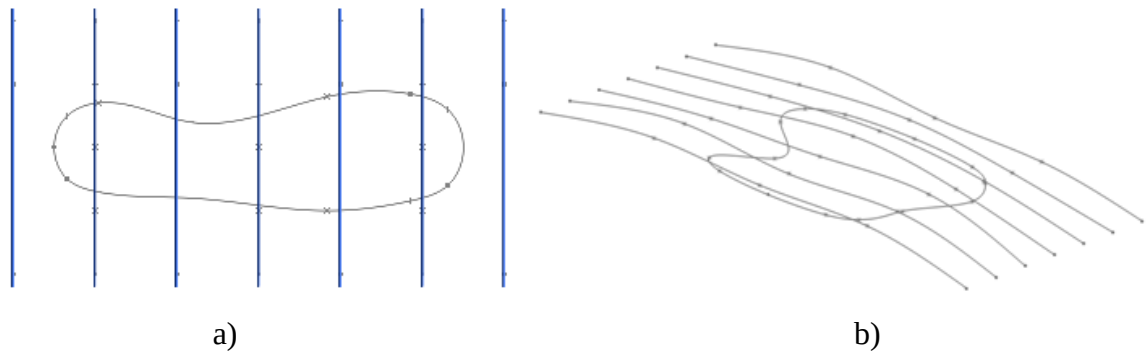


27 pav. Pagrindinių taškų koordinatės ir jų atstumai

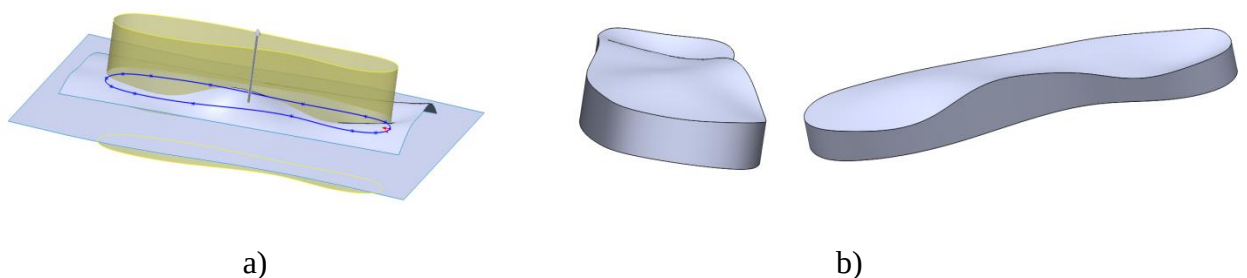
Tollesnis etapas yra paviršiaus sukūrimas (28 pav.). Šio proceso metu yra sukuriama 7 plokštumos nutolusios vienodu atstumu viena nuo kitos (B priedas). Kiekvienoje iš šių plokštumų yra braižoma kreivė pagal ankščiau apskaičiuotus duomenų parametrus (D priedas). Šios kreivės sudaro naują paviršių, kuris yra ortopedinio vidpadžio paviršius (E priedas). Gauto paviršiaus išskyrimai yra individualūs pagal paciento pėdą, todėl tiksliai atlikus kompiuterinio pėdų tyrimą ir apdorojus rezultatus galima sukurti tokius ortopedinius vidpadžius, kurie turės išformuotus skliautus pagal paciento pėdą. Taip pat pagamintiems vidpadžiams bus atliktos korekcijos pagal paciento nusiskundimus ir pėdų slėgio apkrovas.

Turint vidinį vidpadžio paviršių, toliau yra kuriamas išorinis paviršius, kuris turi kontaktą su bato padu (F priedas). Šiuo atveju išorinis vidpadžio paviršius yra kuriamas visais atvejais vienodo paviršiaus, tačiau atskirais atvejais žinant bato savybes, šiuos parametrus galima pakeisti. Atstumas

tarp išorinės ir vidinės plokštumų yra vidpadžio storis. Šio parametro reikšmė yra apskaičiuojama pagal paciento svorį ir slėgio reikšmes. Ties skliautų iškėlimais vidpadžio storis yra didesnis, o ties įdubimais yra mažesnis. Iškėlus sukurtą 2D eskizą į abi puses nuo pradinių sistemos koordinačių didesniu atstumu nei apskaičiuotas storis, yra gaunamas vidpadžio formos modelis, kurio paviršius yra plokščias (29 pav., a). Naudojant sukurtus paviršius ir iškeltą modelį (G priedas), sukuriamas individualaus ortopedinio vidpadžio 3D modelis (32 pav., b).



28 pav. Paviršiaus sukūrimas: a) plokštumų sukūrimas; b) kreivių braižymas per plokštumas



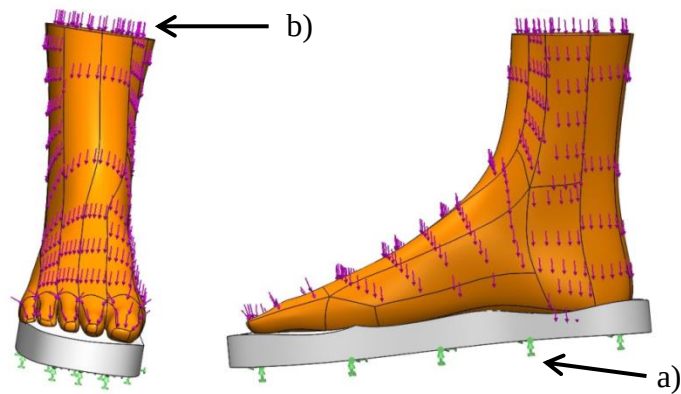
29 pav. Paskutiniai 3D modeliavimo etapai: a) modelio iškėlimas pagal apskaičiuotą storį; b) galutinis suprojektuotas modelis.

2.4. Suprojektuoto modelio medžiagų atsparumo ir apkrovų analizė

Suprojektuotas 3D modelis visais atvejais turi skirtingą paviršiaus formą, nes pacientų pėdos yra individualios. Dėl šių priežasčių būtina išsiaiškinti, ar galutinis pagamintas gaminys yra pakankamai tvirtas. Tikslui pasiekti yra atliekamos 2 analizės. Vidpadžio medžiagos savybės priskiriamos 3D spausdinime naudojamo ABS (akrilnitrilo butadieno stireno polimeras).

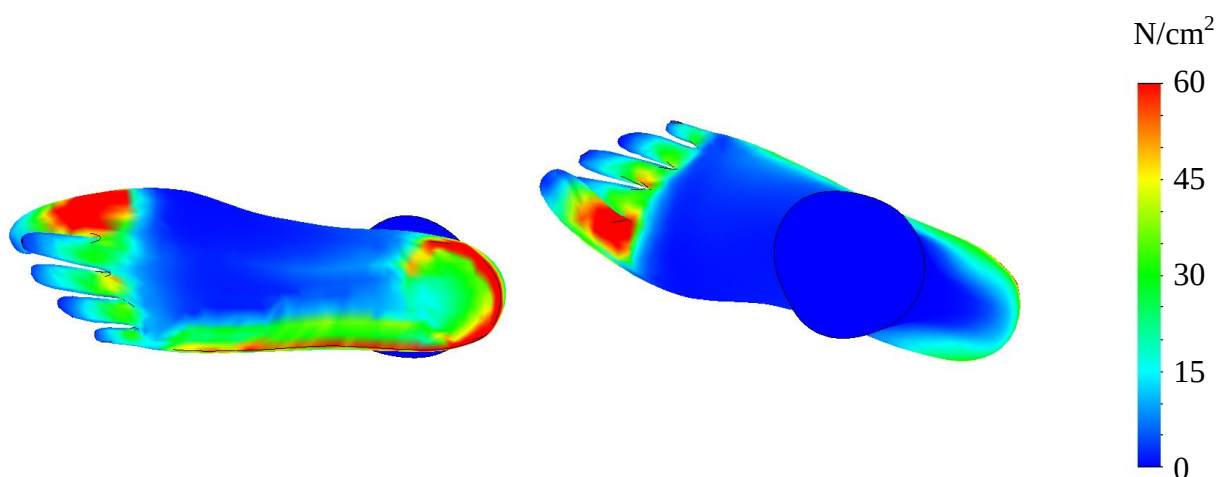
Pirmoji analizė yra statinių apkrovų apskaičiavimas. Ši simuliacija susideda iš 2 dalių: slėgio reikšmių pėdose apskaičiavimas be vidpadžių ir su vidpadžiais. Ortopedinis vidpadis arba kietas

paviršius yra fiksuojamas pado apačioje (30 pav., a), o statinės apkrovos uždedamos ant pėdos ploto statmenai kūno masės veikimo kryptčiai (30 pav., b). Siekiant gauti kiek įmanoma tikslesnes reikšmes, pridėtos jėgos reikšmė yra laikoma dvigubam žmogaus svoriui, nes eisenos metu apkrovos yra apie 2 kartus didesnės nei stovint.



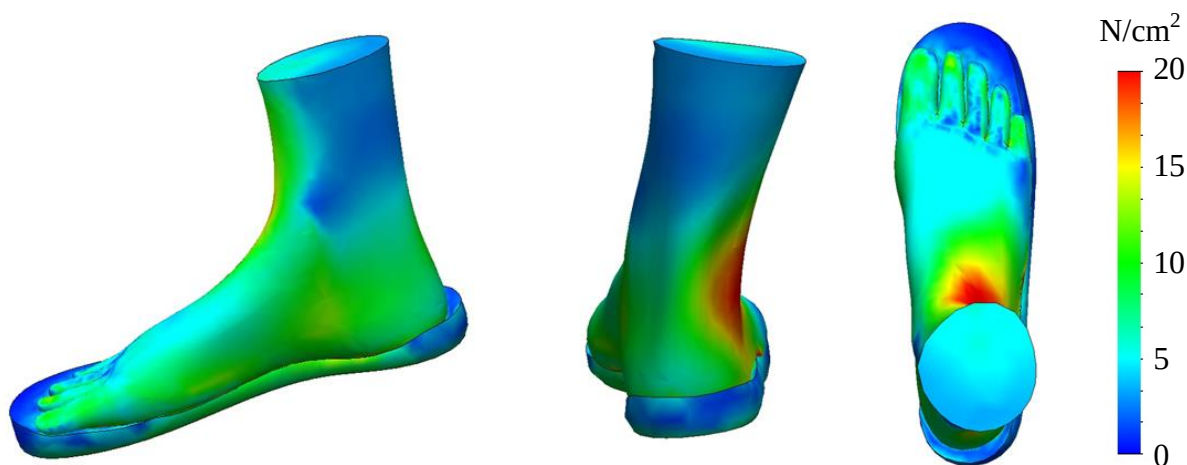
30 pav. Statinės apkrovos veikimas: a) fiksavimo vietos; b) jėgos veikimo krypttis

Rezultatai gauti iš pėdos ir kieto paviršiaus kontakto (31 pav.) yra panašūs į išmatuotus kompiuterinio pėdų tyrimo metu (24 pav.). Didžiausios apkrovos (daugiau nei 60 N/cm^2) yra ties nykščiu, todėl galima pastebėti, jog nykštys 30 paveiksle yra deformuotas ir pasuktas kampu į vidinę pusę. Taip pat nėra visiškai apkrovų pasiskirstymo pėdos išilginiame vidiniame skliaute. Dėl šių priežasčių galima daryti išvadas, jog ėjimas basomis ant kieto paviršiaus yra žalojantis, nes pėdų atramos taškai yra labiausiai apkraunami ir spaudžiami.



31 pav. Pėdos apkrovų įtempių rezultatai ant kietos dangos

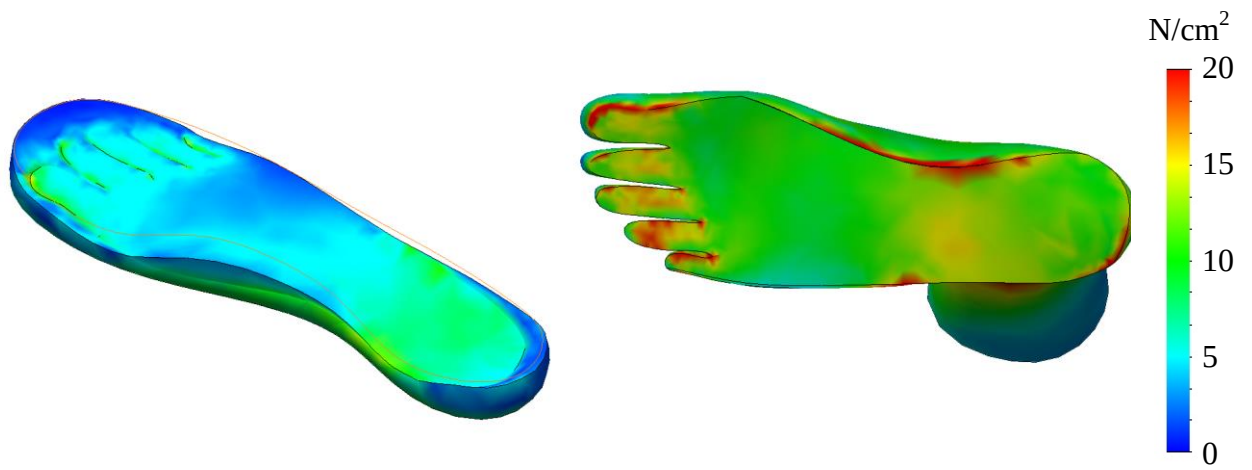
Gauti apkrovų analizės rezultatai (32 pav.) parodo, jog vidutinės slėgio reikšmės pėdoje yra apie 10 N/cm^2 . Ortopedinio vidpadžio medžiaga yra minkšta, todėl pati atrama yra amortizuojanti, o apkrovos pasiskirsto visoje pėdoje.



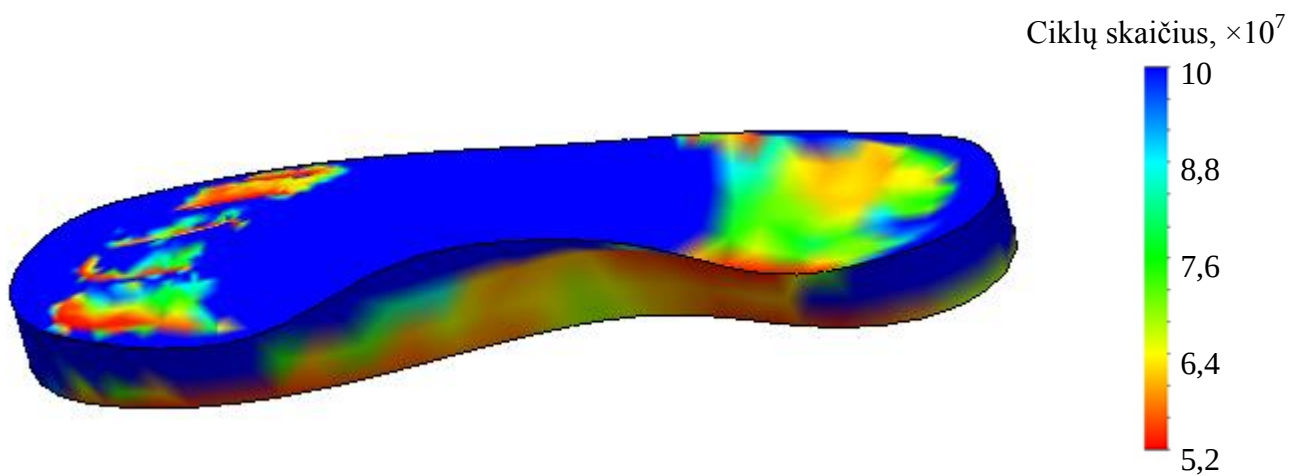
32 pav. Statinių apkrovų analizės įtempių rezultatai naudojant vidpadžius

Lyginant slėgio reikšmių pasiskirstymą pėdoje esant basomis (31 pav.) ir nešiojant vidpadžius (33 pav.), galima pastebėti, jog individualūs ortopediniai vidpadžiai sumažina maksimalias apkrovas kulno ir pirštų srityse, slėgio reikšmės pasiskirsto tolygiai per visą pėdą, nes atramos paviršiaus plotas padidėja. Dėl šių priežasčių maksimalios apkrovos yra apie 3 kartus mažesnės. Taip pat aktualu paminėti, jog ortopedinio vidpadžio paskirtis yra ne tik sumažinti pėdos spaudimo reikšmes, bet ir atlikti pėdos ašių korekcijas. Šiame pateiktame pavyzdyje buvo papildomai iškeltas išilginis skliautas, dėl to aktualu atkreipti dėmesį, kaip yra apkraunamas pats ortopedinis vidpadis (36 pav.). Iš gautų rezultatų, galima teigti, jog didžiausios deformacijos ir apkrovų zonos yra kulne ir pirštuose, o išreikšti skliautai dėl mažų paviršiaus formos kampų ir minkštos medžiagos, nėra stipriai apkrauti.

Individualūs ortopediniai vidpadžiai yra gaminami iš minkštos medžiagos, todėl būtina žinoti kiek laiko pagamintas gaminyje gali būti eksploatuojamas. Dėl šių priežasčių yra atliekamas nuovargio testas, kurio metu ortopedinis vidpadis apkraunamas dinamiškai 10 milijonų kartų. Gauti rezultatai (34 pav.) parodo, jog labiausiai apkrautose vietose ortopedinis vidpadis atlaiko 5 milijonus ciklų. Arba kitaip perskaičius, gaunama, jog gaminyje gali tarnauti 1 metus kasdien nueinant virš 13000 žingsnių.



33 pav. Pėdos ir vidpadžio statinių apkrovų analizės įtempių rezultatai



34 pav. Nuovargio rezultatai

Esant dideliems vidpadžio formos paviršiaus formos kampams ir veikiančiai jėgai, vidpadžių įtempių rezultatai gali būti dideli. Tokiu atveju atlikus nuovargio testą yra tikimybė, jog ortopedinis vidpadis bus galimas naudoti apie mėnesį. Esant šiai situacijai vidpadžiui yra taikomi vienas ar keli iš šių metodų: permodeliuojamas ortopedinis vidpadis sumažinant didelius paviršiaus kampus, padidinamas modelio storis, pakeičiama medžiaga arba kiti parametrai atsižvelgiant į situaciją. Atlikus visus šiuos veiksmus apkrovų ir nuovargio analizė yra pakartojama ir nauji gauti rezultatai yra vertinami iš naujo.

2.5. Sukurtos vidpadžių 3D modeliavimo sistemos apibendrinimas

Šio skyriaus projektavimo eigoje sukurta užduočių diagrama nurodė reikalingos sistemos pagrindines užduotis: kompiuterinio pėdų tyrimo atlikimas, duomenų apdorojimas ir 3D modeliavimas ir vidpadžių gamyba. Kompiuterinis pėdų tyrimas yra atliekamas ortopedijos įmonėse, o vidpadžių gamybos įgyvendinimas galimas naudojant 3D spausdinimą. Todėl toliau šiame darbe buvo įgyvendinta antroji užduotis, kuri buvo išskaidyta į 3 pagrindines dalis: duomenų apdorojimas, 3D modeliavimas ir medžiagų atsparumo ir apkrovų skaičiavimai. Išvardyti sistemos elementai buvo pavaizduoti grafiškai ansamblių ir sekų diagramose.

Darbe pasirinkta naudoti kompiuterinio pėdų tyrimo duomenis, nes šio tyrimo rezultatai ne tik įvertina pėdos dydį ir formą, bet ir leidžia spręsti apie realias apkrovas pėdose. Nuspręsta nenaudoti 3D skenavimo, nes rekonstrukcijos etapą yra labai sudėtinga automatizuoti. Šis sprendimas suteikia galimybę sukurti pilnai automatizuotą ortopedinių vidpadžių gamybos sistemą, kuri gali būti pritaikoma visose ortopedijos įmonėse, kurios atlieka kompiuterinio pėdų tyrimo paslaugas.

Naudojant programinę įrangą „Matlab“ sukurtas automatinio duomenų apdorojimo algoritmas, kuris naudojant kompiuterinio pėdų tyrimo duomenis matematiškai apskaičiuoja pėdos parametrus: ilgį, plotį, skliautų formą ir nustato kuriose vietose reikia sumažinti apkrovų reikšmes. Panaudotas interpoliacijos metodas siekiant pagerinti analizės tikslumą. Pėdų segmentų padalijimas į 3 dalis suteikė galimybę toliau analizuoti tyrimų rezultatus pagal pėdos zonas. Šis sprendimas leido atlikti įvairius skaičiavimus, kurie yra būdingi tik tam tikrai pėdos daliai.

Patogumo dėlei buvo sukurta sąsaja tarp „Matlab“ ir „SolidWorks“ formų naudojant „Excel“ lentelę. Po duomenų apdorojimo atlikimo, gauti rezultatai yra pateikiami „Excel“ lentelėje, kurie vėliau yra naudojami „SolidWorks“ programoje. Įvertinus turimų duomenų struktūrą, buvo nuspręsta 3D modeliavime naudoti 2D eskizo kūrimo procesą. Pagal standartinius parametrus sukurtas pėdos parametrinis eskizas yra naudojamas pirmajame 3D modeliavimo etape. Įvertinus pėdos dydį, reikiamą tikslumą ir pėdos formos ypatybes, 3D modeliavimo etape buvo nuspręsta sukurti 7 plokštumas nutolusias vienodais atstumais. Kiekvienoje iš šių naujai sukurtų plokštumų, yra braižoma kreivė pagal parametrinius duomenis. Šios kreivės sudaro naują paviršių, kuris yra ortopedinio vidpadžio paviršius. Toliau pagal apskaičiuotą modelio storį yra iškeliamas paviršius ir gaunamas ortopedinio vidpadžio 3D modelis.

Paskutinėje šio skyriaus dalyje yra atlikta medžiagų atsparumo ir apkrovų analizė, kuri susideda iš 2 dalių: apkrovų įvertinimas ir nuovargio simuliacija. Atlikus apkrovų analizę, gauti rezultatai parodo realią pėdų deformacijos situaciją, kuri yra reali praktikoje. 3D modelio pėdą apkrovas ant kieto paviršiaus, gautos slėgio rezultatų reikšmės yra labai panašios į pradinius

kompiuterinio pėdų tyrimo duomenis. Šis rezultatas parodo, jog 3D modelio simuliacijos rezultatai yra realistiški ir gana tikslūs. Atsižvelgus į deformacijų kryptis 3D modelyje, pastebima, jog veikiant tokioms apkrovoms yra deformuojamas dydis pėdos pirštas, panašiai kaip ir realybėje. Toliau buvo atlikta tų pačių parametrų apkrovų analizė, tačiau vietoj kieto paviršiaus, buvo pasirinktas sukurtas ortopedinio vidpadžio 3D modelis. Gauti rezultatai parodė, jog apkrovos yra paskirstomos pėdoje vienodai, o pats vidpadžio 3D modelis, kuris pagamintas iš 3D spausdinimui tinkamo plastiko, yra apkraunamas tinkamai.

Atlikus ortopedinio vidpadžio 3D modelio nuovargio testą, gauti rezultatai parodo, jog labiausiai apkrautose vietose ortopedinis vidpadis atlaiko 5 milijonus ciklų. Arba kitaip perskaičiavus, gaunama, jog gaminys gali tarnauti 1 metus kasdien nueinant virš 13000 žingsnių. Gauti rezultatai nuteikia optimistiškai, nes skaičiavimai parodo, jog vidpadis yra tinkamas eksploatacijai.

3. ORTOPEDINIŲ VIDPADŽIŲ AUTOMATIZUOTŲ 3D MODELIAVIMO SISTEMŲ PALYGINIMAS IR SIŪLYMAI TOBULINIMUI

Šioje darbo dalyje yra lyginama suprojektuota individualių ortopedinių vidpadžių 3D modeliavimo sistema su kitomis šiuo metu naudojamomis sistemomis. Įvertinus sistemos privalumus ir trūkumus yra pateikiami pasiūlymai toliau tobulinti šią pilnai kompiuterizuotą gamybos procesą.

3.1. Ortopedinių vidpadžių 3D modeliavimo ir gamybos programų lyginimas

Šiuo metu praktikoje yra naudojamos skirtingos automatizuotos programos, kurių paskirtis yra sumažinti individualių ortopedinių vidpadžių gamybos resursus. Dauguma programų yra skirtos tik tam tikram procesui atlikti, tačiau vis labiau populiarėja sistemos, kurios gali atlikti visas funkcijas pradedant nuo duomenų surinkimo ir baigiant gamybą, kuri dažniausiai yra atliekama naudojant CNC frezavimą arba 3D spausdinimą (Cotoros, Baritz 2012).

Pagrindiniai individualių ortopedinių vidpadžių automatizuotos gamybos kompiuterinių programų skirtumai yra skirtingų duomenų surinkimo ir 3D modeliavimo procesų naudojimas. Procesai, kurie šiuo metu plačiausiai naudojami individualių ortopedinių vidpadžių gamyboje yra 3D skenavimas, kompiuterinis pėdų tyrimas, 2D nuotraukų naudojimas ir 3D modeliavimas bei jo sąsają su papildomais duomenimis. Šie procesai gali būti lyginami pagal šiuos parametrus:

1. Atlikimo laikas – laikas per kurį yra atliekamas procesas. Į šią trukmę yra skaičiuojamas tiek darbuotojų, tiek paciento skiriamas laikas;
2. Resursų kaštai – programinės ir techninės įrangos ir darbuotojų darbo kaštai;
3. Programų naudojimo sudėtingumas – procesui atlikti reikalingos kompetencijos;
4. Gaminio gamybos tikslumas ir kokybė.

Atsižvelgiant į išvardytus parametrus, yra palyginami procesai (10 lentelė). Kiekvienas iš procesų turi privalumų ir trūkumų, todėl toliau vertinant kompiuterines programas yra atsižvelgiama į kiekvieną iš šių punktų.

Šiuo metu populiariausias ir mažiausiai techninių resursų reikalaujantis automatizuotas ortopedinių vidpadžių gamybos procesas yra 3D skenavimo ir modeliavimo naudojimas. Skenavimo proceso naudojimas praktikoje yra panašus, skiriasi tik naudojama įranga ir charakteristikos. Pastebimi skirtumai tarp programų gamintojų yra 3D modeliavimo etapuose.

10 lentelė. Duomenų surinkimo ir 3D modeliavimo procesų lyginimas pagal skirtingus parametrus (sudaryta autoriaus pagal Sun *et al.* 2009; Cotoros *et al.* 2011; Surmen *et al.* 2016; Burhan *et al.* 2017)

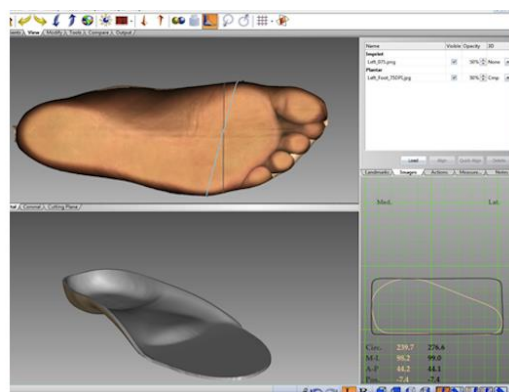
Procesai \ Parametrai	Laikas	Resursų kaštai	Programos naudojimo sudėtingumas	Tikslumo ir kokybės santykis
3D skenavimas	Trumpas	Maži	Mažas	Vidutinis
Kompiuterinis pėdų tyrimas	Ilgas	Vidutiniai	Didelis	Didelis
3D modeliavimas	Ilgas	Maži	Vidutinis	Vidutinis
3D modeliavimo sistemos sąsaja su papildomais duomenimis	Trumpas	Maži	Vidutinis	Didelis
2D nuotraukų naudojimas	Trumpas	Maži	Mažas	Mažas

Viena iš moderniausių sistemų yra „Resa“ sukurtas mobilus stendas, kuriame yra atliekami visi etapai, pradedant nuo skenavimo, tęsiant 3D modeliavimu ir baigiant 3D spausdinimu (35 pav., a). Šios sistemos privalumai yra tai, jog galima pasirinkti pėdos jautrumo zonas ir vidpadžio tipą pagal paskirtį. Klientui pasirinkus pėdos zonas, kuriose jaučia diskomfortą, galima modeliuojant vidpadį į tai atkreipti dėmesį ir atitinkamai koreguoti gaminį („Resa“ 2018).

Kita nagrinėjama programinė įranga yra „Canfit Insole Design“. Šis produktas turi daug įvairių parametrų, kurie praplečia funkcionalumą (35 pav., b) ir yra pritaikyti daugumai ortopedinių įmonių. Programa gali naudoti ne tik 3D skenuotą pėdą, bet ir rankiniu būdu atliktus matavimus ant balto popieriaus. Taip pat yra galimybė koreguoti pėdos deformacijos, pašalinti kojų ilgių skirtumus. 3D modeliavimo etapai yra automatizuoti, bet kiekvienas procesas yra atliekamas iš eilės vartotojui parenkant tinkamus parametrus („VORUM“ 2018).



a)

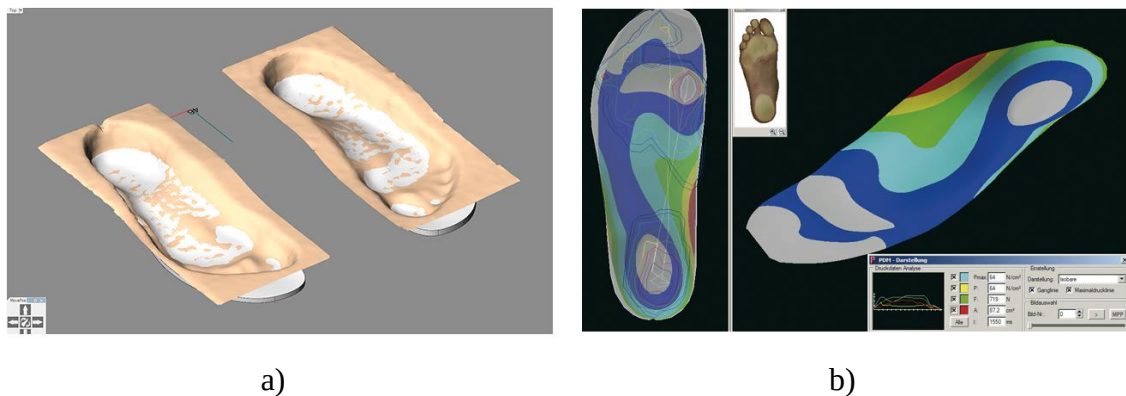


b)

35 pav. Ortopedinių vidpadžių gamyba naudojant automatizuotas sistemas: a) mobili sistema („Resa“ 2018); b) Parametrizuotas 3D modeliavimas („VORUM“ 2018)

Sekančios analizuojamos programinės įrangos yra „LutraCAD“ ir „PedCAD“. Šios priemonės turi panašias funkcijas ir yra vartotojui patogios priemonės, nes turi integruotas komandas. Kiekvienas modeliavimo žingsnis yra susijęs, todėl esant poreikiui galima visada pakeisti pradinius modeliavimo žingsnius ir toliau grįžti į sekančius etapus. Šios programinės įrangos išsiskiria tuo, jog yra galimybė įvertinti ir palyginti aukščių žemėlapius (36 pav.). Atlikus visas procedūras galima įvertinti, kaip sumodeliuotas vidpadis yra prigludęs prie 3D skenuoto vaizdo ir esant reikalui atlikti papildomas korekcijas („LutraCAD“ 2018; „PedCAD“ 2018).

Kitos nagrinėjamos programos yra „Delcam“ ir „Gensole“. Pirmoji kompiuterinė įranga išsiskiria savo dizainu ir funkcionalumu. Taip pat ši programinė įranga yra tiesiogiai susieta su visais gamybos etapais – 3D skenavimu ir kompiuterizuota gamyba („Delcam“ 2018). Antroji naudojama sistema yra labiausiai pritaikyta klientui. Klientas gali pats naudoti programą naršyklėje – susikurti savo pėdą arba įsikelti jos skenuotą vaizdą, atlikti modeliavimo veiksmus ir atsispausdinti produktą savo namuose. Naršyklėje veikianti programa yra funkcionali ir veikia panašiai kaip ir kitos panašios programos. Vienas iš didžiausių privalumų – galimybė atlikti modelio sąsają tarp vidpadžio ir pėdos („Gensole“ 2018). Ši programinė įranga yra perspektyviausia, nes sparčiai tobulėjant 3D spausdinimo technologijoms netolimoje ateityje kiekvienas galės atsispausdinti ortopedinius vidpadžius namuose nesinaudojant ortopedų paslaugomis.

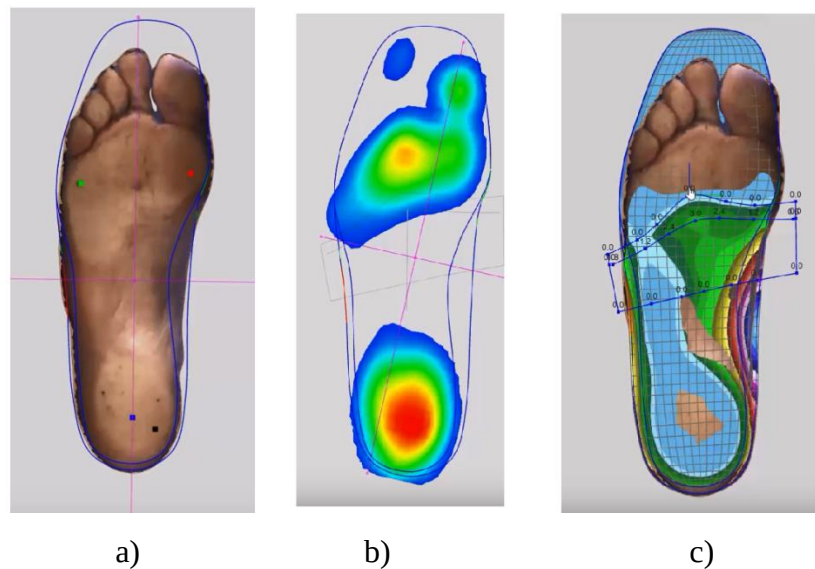


36 pav. Ortopedinių vidpadžių modeliavimo funkcijos: a) Ortopedinio vidpadžio lietimosi paviršiaus analizė („LutraCAD“ 2018); b) aukščių žemėlapių keitimas („PedCAD“ 2018)

Sekančios nagrinėjamos sistemos nėra tokios populiarios dėl didelio kompleksškumo. Šių programinių įrangų skirtumas yra kompiuterinio pėdų tyrimo rezultatų naudojimas. Atliekami tie patys etapai kaip ir kitose sistemose, tačiau papildomai yra įvertinamos apkrovų žemėlapiai (37 pav.) ir atsižvelgiant į jų rezultatus, koreguojami ortopediniai vidpadžiai („VoxelCare“ 2018).

Dauguma iš šių sistemų turi panašias funkcijas, tačiau programos valdymas ir modeliavimo procesai yra skirtingi. Pavyzdžiui, „BodyTech“ turi automatinį vidpadžio maksimalaus ir minimalaus storio apskaičiavimo algoritmą („BodyTech“ 2018), o „Materialise“ sistemos privalumas yra tai, jog analizuojami kompiuterinio pėdų tyrimo dinaminiai parametrai, todėl kuriant ortopedinius vidpadžius yra atsižvelgiama ne tik į apkrovas, kurios susidaro stovint, bet ir yra priklausomybė nuo eisenos parametrų („Materialise“ 2018).

Paskutinioji nagrinėjama individualių ortopedinių vidpadžių sistema yra „Wiivv“. Šios sistemos išskirtinumas – specialios mobiliosios programėlės naudojimas. Klientui reikia pagal programėlės nurodymus atlikti veiksmus: iš kelių skirtingų kampų nufotografuoti pėdas ir įvesti reikalingus parametrus. Visi kiti gaminio kūrimo etapai yra atliekami vartotojo pagal turimas nuotraukas, todėl klientui nereikia papildomai skirti laiko pėdos skenavimui ar kompiuterinio pėdų tyrimo atlikimui („Wiivv“ 2018).



37 pav. Ortopedinių vidpadžių modeliavimo etapai („VoxelCare“ 2018): a) skenuotos pėdos vaizdo įkėlimas; b) apkrovų duomenų įkėlimas; c) kompleksinių duomenų naudojimas

Išnagrinėjus 10 populiariausių individualių ortopedinių vidpadžių automatizuoto modeliavimo ir gamybos sistemų, pastebėta, jog kiekviena programinė įranga yra skirtinga. Pagrindiniai skirtumai yra funkcionalumas ir vartotojo sąsaja. Pagal pagrindinius modeliavimo proceso panašumus šios sistemos gali būti skirstomos į 3 grupes (11 lentelė). Laiko atžvilgiu vertinant klientui priimtinausia yra „Wiivv“ programa, o kokybės ir tikslumo atžvilgiu – „BodyTech“, „Materialise“ ir „VoxelCare“.

11 lentelė. Kompiuterinių programų lyginimas pagal naudojamus procesus (sudaryta autoriaus)

Naudojami procesai	Kompiuterinė programa	Privalumai	Trūkumai
3D skenavimas ir modeliavimas	„Resa“	Greitas gamybos procesas, yra galimybė pasirinkti jautrumo zonas, vidpadžio tipą pagal batus ir kitos funkcijos individualiai	Ilgai užtrunkantis modeliavimas ir jo metu nėra įvertinamos apkrovos
	„VORUM“		
	„LutraCAD“		
	„PedCAD“		
	„Delcam“		
	„Gensole“		
Apkrovų įvertinimas, 3D skenavimas ir modeliavimas	„BodyTech“	Didelis tikslumas, nes papildomai yra atliekamas ne tik 3D skenavimas, bet ir įvertinamos apkrovos.	Ilgai užtrunka – reikia atlikti daug etapų
	„Materialise“		
	„VoxelCare“		
2D nuotraukų atlikimas ir 3D modeliavimas	„Wiivv“	Klientas gali užsisakyti vidpadžius iš namų – užtenka su specialia išmaniojo telefono programėle pasidaryti kelias pėdų nuotraukas	Labai mažas tikslumas

3.2. Suprojektuotos automatizuotos vidpadžių 3D modeliavimo sistemos vertinimas

Išnagrinėjus 10 populiariausių individualių ortopedinių vidpadžių automatizuoto modeliavimo ir gamybos sistemų pastebėta, jog 3D skenavimas yra populiariausias metodas skirtas pėdų formai nustatyti, tačiau gauto 3D modelio rekonstrukcijos darbai yra sudėtingi. Programos „BodyTech“, „Materialise“ ir „VoxelCare“ turi didelį funkcionalumą, nes vartotojas rankiniu valdymu gali modifikuoti 3D modelį bei atlikti tam tikrus skaičiavimus. Visų šių nagrinėtų 3D modeliavimo ir automatizuotos gamybos sistemų pagrindinis bruožas yra tai, jog kiekviena šios sistemos programinė įranga yra specializuota ortopedijos srityje ir dažniausiai skirta tik ortopedinių vidpadžių gamyboje. Siekiant palyginti suprojektuotą sistemą su kitomis programomis, pasirenkami šie parametrai (12 lentelė):

1. Produkto kaina – tai gaminio savikaina įvertinant technikos nusidėvėjimą. Šio parametro reikšmė yra didžiausia tradicinėje gamyboje, nes šioje sistemoje daugiausiai yra skiriama žmonių darbo ir daugiausia sunaudojama medžiagų. Mažiausia produkto kaina yra šiame darbe suprojektuotoje pilnai automatizuotoje sistemoje, nes proceso etapuose išlaidos yra patiriamos tik gamybos stadijoje, kuri yra kompiuterizuota;
2. Programinės ir techninės įrangos kaina. Tradicinėje gamyboje nėra programinės įrangos, o techninės įrangos kaina yra santykinai maža, todėl šio parametro reikšmė yra mažiausia rankų darbo gamybos technologijoje. Daugiausiai kaštų išleidžiama programinei įrangai „Wiivv“ sistemoje, nes reikia ne tik išlaikyti ir nuolat atnaujinti mobiliąją programėlę, bet taip pat įdiegti 3D modeliavimo programą pritaikytą kompiuterizuotoje gamyboje.

Lyginant šio rodiklio automatizuotos sistemos reikšmę su kitomis sistemomis, galima įžvelgti, jog didžiąją dalį pinigų yra išleidžiama „SolidWorks“ programinei įrangai, 3D spausdintuvui arba CNC staklėm įsigyti, todėl šio parametro reikšmė yra vidutinė;

12 lentelė. Suprojektuotos automatizuotos individualių ortopedinių vidpadžių 3D modeliavimo sistemos lyginimas su kitomis panašiomis sistemomis (sudaryta autoriaus)

Parametras \ Sistemos	Automatizuota gamybos sistema	Tradicinė gamyba liejant gipsą	„VORUM“ sistema	„Wiivv“ sistema
Produkto kaina	Maža	Didelė	Vidutinė	Vidutinė
Programinės ir techninės įrangos kaina	Vidutinė	Maža	Vidutinė	Didelė
Laikas	Vidutinis	Ilgas	Vidutinis	Vidutinis
Patalpų dydis	Mažos	Didelės	Mažos	Mažos
Tikslumas	Vidutinis	Didelis	Didelis	Mažas
Korekcijos	Vidutinės	Didelės	Vidutinės	Mažas
Atkartojimas	Yra	Nėra	Yra	Yra
Medžiagų kaina	Didelė	Vidutinė	Didelė	Didelė
Gamybos ir modeliavimo procesai	Pilnai automatizuoti	Neautomatizuoti	Pusiau automatizuoti	Pusiau automatizuoti
Funkcionalumas	Vidutinis	Žemas	Didelis	Žemas
CAE galimybė	Yra	Nėra	Nėra	Nėra
Kliento sąsaja	Nėra	Nėra	Nėra	Yra
Pėdų tyrimas	Yra	Nėra	Nėra	Nėra
3D skenavimas	Nėra	Nėra	Yra	Nėra

- Laikas – parametras, kuris nurodo kliento ir vartotojo trukmę dalyvaujant visuose procesuose. Neautomatizuotoje sistemoje šio parametro reikšmė yra didžiausia, nes daugiausia laiko yra skiriama gamybai. Darbe suprojektuotoje automatizuotoje sistemoje šio reikšmė yra vidutinė, nes sutaupoma laiko 3D modeliavimo ir gamyboje, tačiau prarandama kompiuterinio pėdų tyrimo atlikimo metu;
- Patalpų dydis. Didžiausia parametro reikšmė yra tradicinės gamybos, o mažiausia suprojektuotos automatizuotos ir „Wiivv“ sistemų;
- Tikslumas – parametras nurodantis pagaminto vidpadžio paviršiaus formos atitikimą pėdos atžvilgiu. Geriausias tikslumas yra naudojant tradicinę gamybą arba „VORUM“ sistemą, nes šiais atvejais galima individualiai pagal poreikį keisti pėdos modelio ir vidpadžio paviršiaus formą. Automatizuotos sistemos tikslumas yra vidutinis, nes analizuojamos tik 2D apkrovų rezultatai;

6. Korekcijos – tai galimybė atlikti korekcijas ant 3D modelio. Visos kompiuterizuotos sistemos tai gali atlikti, tik skiriasi jų funkcionalumas, tačiau ant gipsinio modelio tai padaryti yra tiksliausia;
7. Atkartojimas – galimybė pagaminti tuos pačius ortopedinius vidpadžius po tam tikro laiko. Turint duomenų bazę, tai yra įmanoma padaryti be didelių resursų;
8. Medžiagų kaina. Kol kas 3D spausdinimo ir CNC frezavimo medžiagos yra panašios, o tradicinėje gamyboje mažesnės. Visgi šiuo metu praktikoje atsiranda vis daugiau kokybiškesniu ir pigesniu medžiagų skirtų kompiuterizuotoje gamyboje, todėl netolimoje ateityje medžiagų sąnaudos turėtų būti panašios lyginant su gipsavimo technologijos sistemos;
9. Gamybos ir modeliavimo procesai. Suprojektuotos sistemos gamyba yra pilnai automatizuota pradedant duomenų apdorojimo ir baigiant gamybą. Kitos kompiuterizuotos sistemos yra dalinai automatizuotos, o gamybos procesą rankomis yra neįmanoma automatizuoti. Lyginant skirtingas sistemas, automatizuota yra pranašiausia, tačiau šiai sistemai yra būtina turėti rankinį modeliavimą, nes kai kuriais atvejais nėra įmanoma tiksliai automatiškai apskaičiuoti parametrų;
10. Funkcionalumas – 3D modeliavimo metu galimos funkcijos. Gaminant vidpadžius tradiciniu metodu yra tik viena galima funkcija – korekcijų pritaikymas pagal kliento nusiskundimus. „VORUM“ sistemoje yra daugybė funkcijų, kurios padeda pagaminti skirtingus vidpadžius pagal kliento poreikį. Automatizuota sistema skirta gaminti vidpadžius standartinius pagal apkrovų rezultatus, todėl ši programa nėra pritaikyti gaminti netradicinius vidpadžius, kaip sportinius arba skirtus aukštakulniams;
11. CAE galimybė – tai kompiuterinių inžinerinių skaičiavimų atlikimo galimybė modeliavimo procese. Kol kas praktikoje nėra sukurta tokia sistema, kuri pilnai įvertintų pagaminto ortopedinio vidpadžio tarnavimo laiką pagal apkrovų rezultatus gautus pėdų tyrimo metu. Šiame darbe yra išbandomi pradiniai CAE skaičiavimai, kurie tolimesniuose tobulinimo etapuose turėtų būti tobulinami;
12. Kliento sąsaja. Dauguma specializuotų sistemų yra prieinamų tik vartotojui, o klientas dalyvauja tik pėdos duomenų surinkime. Daugumoje atvejų, tai patogiu klientui, nes jam nereikia dėti papildomų pastangų kūrimo procese. „Wiiv“ sistema yra valdoma tik kliento, todėl, tai sutaupo laiko ne tik vartotojui, bet ir klientui;
13. Pėdų tyrimas – galimybė naudoti duomenis gautus kompiuterinio pėdų analizės metu. Automatizuota sistema turi šią funkciją, todėl galima modeliuoti ortopedinius vidpadžius pagal apkrovų zonas;

14. 3D skenavimas – tai papildoma funkcija leidžianti pamatuoti pėdos parametrus. Nors, tai trunka papildomai laiko, tačiau atlikus šiuos veiksmus, galima suprojektuoti tikslesnius vidpadžius.

Atlikus vertinimą tarp šiuo metu rinkoje esančių populiariausių programų ir šiame darbe suprojektuotos ortopedinių vidpadžių automatizuotos 3D modeliavimo sistemos, galima daryti išvadas, jog automatizuota sistema turi optimaliausius parametrus (12 lentelė). Nors šios programos funkcionalumas nėra didelis, tačiau produkto kaina yra mažiausia. Ši sistema yra labiausiai paklausī įmonėms, kurios atlieka pėdų tyrimus, nes šių rezultatų pakanka suprojektuoti kokybiškus ortopedinius vidpadžius.

3.3. Pasiūlymai sukurtos vidpadžių 3D modeliavimo sistemos tobulinimui

Atlikus šiame darbe suprojektuotos sistemos ir kitų rinkoje esančių programų vertinimo analizę, pastebėta, jog automatizuota sistema yra pritaikyta siaurai sričiai. Siekiant didesnės programos paklausos yra galimi keli sprendimo variantai:

1. Papildyti sistemos funkcionalumą skirtą kitoms siauroms sritims;
2. Pritaikyti sistemą masinei gamybai;
3. Surasti daugiausia paklausių klientų sritį ir pagal šiuos duomenis atlikti programos tobulinimą;
4. Sukurti dinaminę sistemą sumažinant sistemos privalomų procesų etapų skaičių.

Išvardyti sprendimo variantai gali būti pasiekti įdiegiant naujas funkcijas arba taikant visiškai naujus metodus. Taip pat viena iš galimų opcijų yra sumažinti automatizuotos sistemos procesų etapų skaičių.

Toliau darbe yra pateikiami pasiūlymai suprojektuotos automatizuotos individualių ortopedinių vidpadžių 3D modeliavimo tobulinimui. Sistemos pokyčių ir naujovių siūlymai gali būti skirstomi į šias sritis:

1. Sumažinti techninės ir programinės įrangos kainą;
2. Padidinti arba sumažinti sistemos funkcionalumą;
3. Naujų metodų taikymas;
4. Padidinti 3D modeliavimo tikslumą;

Suprojektuotoje automatizuotoje sistemoje pagrindinę programinės įrangos kainą sudaro programinės įrangos „SolidWorks“ įsigijimo kaina. Papildomai turi būti apmokytas žmogus galintis rankiniu būdu keisti nustatymus. Naudojant pigesnę arba nemokamą programinę įrangą, pavyzdžiui „Blender“ būtų galima sutaupyti nemažai investicijų. „Blender“ programoje galima programuojant

automatizuoti modeliavimo kūrimo etapus naudojant „Python“ programavimo kalbą. Šis pasirinkimas sumažintų sistemos funkcionalumą, tačiau taip pat sumažėtų investicijų suma.

Šiame darbe sukurtoje automatizuotoje sistemoje techninės įrangos kainą sudaro kompiuteriai, 3D spausdintuvai ir jų priedai. Pasiūlymai sumažinti šių priemonių įsigijimo ir išlaikymo kaštus gali būti skirtingi. Vienas iš galimų sprendimų – perkelti programinę įrangą į virtualų debesį, kuriame būtų skaičiuojamos ir atliekamos visos operacijos. Kitas pasiūlymas – naudotis 3D spausdinimo paslaugomis. Įvykdžius šiuos pakeitimus būtų galima dirbti virtualiai, nes nebūtų būtinybės turėti atskiras patalpas.

Sistemos funkcionalumo praplėtimas aktualus tiek klientui, tiek vartotojui. Pavyzdžiui, skirtingos ortopedinių vidpadžių paskirties gamybos galimybė leistų kurti gaminius pagal skirtingas sporto šakas. Šiame darbe suprojektuotoje sistemoje įdiegus daugiau skaičiavimo algoritmų pagal vidpadžio paskirtį, galima pritaikyti produkto gamybos paslaugas platesnei visuomenės grupei. Papildomų vartotojo valdymo įrankių įdiegimas programoje praplečia programos galimybes. Pavyzdžiui sukūrus kojų ilgių koregavimo funkciją, galima išlyginti kūno balansą padidinant vieno vidpadžio storį atitinkamu dydžiu, o pridėjus programoje papildomus interaktyvius mygtukus supaprastinti ir pagreitinti rankinio modeliavimo eigą.

Šiame darbe suprojektuotos sistemos valdymas yra galimas tik vartotojui, todėl siūloma sukurti apribotą valdymą klientui, kurią būtų galima naudoti nemokamai internetinėje svetainėje. Šioje programoje siūloma įrašyti šias vidpadžio projektavimo funkcijas:

1. Išsirinkti naudojamą medžiagą ir dizainą;
2. Pasirinkti norimą gaminį – ortopedinius vidpadžius skirtus aukštakulniams, laisvalaikio ar sporto avalynei;
3. Atlikti papildomus ortopedinių vidpadžių užsakymus;
4. Naujų kompiuterinių pėdų tyrimų rezultatų įkėlimas į sistemą;

Siekiant sumažinti individualių ortopedinių vidpadžių gamybos trukmę, siūloma atsisakyti arba pakeisti tam tikras funkcijas. Pavyzdžiui, atlikus nustatyto kiekio skirtingų suprojektuotų vidpadžių statinių apkrovų analizę, galima rasti labiausiai apkrautas gaminio zonas, kurias projektavimo etapuose galima sutvirtinti pakeičiant vidpadžio formą arba medžiagas. Baigus šias analizes, siūloma įvesti naują koeficientą, kuris būtų surastas iš pradinių duomenų. Esant mažai koeficiento reikšmei, siūloma atsisakyti papildomų „SolidWorks“ programos simuliacijos skaičiavimų. Tokio metodo naudojimas sumažintų projektavimo trukmę.

Naujų metodų taikymas praplėstų šiame darbe suprojektuotos sistemos veikimo ir pritaikymo galimybes. Pėdos apkrovų stebėjimo visą parą įdiegimas būtų vienas iš inovatyviausių sprendimų ortopedijos srityje. Siūloma integruoti slėgio jutiklius ortopedinio vidpadžio viduje. Atlikus slėgio

reikšmių stebėjimą, galima suprojektuoti naujos paviršiaus formos vidpadžius atsižvelgiant į gautus rezultatus. Šis metodas aktualiausias sportininkams, nes jų pėdos yra apkraunamos labiausiai ir šiuo metu nėra sukurta tinkama matavimo ir gamybos sistema pagal įvairias sporto šakas. Individualių ortopedinių vidpadžių su integruotais jutikliais nauda būtų ne tik išaugusiais gamybos mastais, bet taip pat būtų galimybė atlikti įvairius mokslinius tyrimus skirtingose sporto šakose.

Šiame darbe suprojektuotos sistemos 3D modelio sukūrimo tikslumas yra vidutiniškas (9 lentelė), todėl pėdos duomenų surinkimo metu siūloma papildomai naudoti 3D skenavimas. Turint 3D pėdos modelį bei 2D apkrovų rezultatus, galima suprojektuoti vidpadžius atsižvelgiant į individualias pėdos savybes. Per laiką suaugusio pėda keičiasi labai nežymiai, o apkrovų rezultatai kai kuriais atvejais gali pakisti labai ženkliai, todėl turint pirminius 3D skenavimo duomenis ir naujus 2D apkrovų rezultatus, galima sekančius kartus praleisti 3D skenavimo etapą. Tokio ciklo taikymas yra naudingas, nes kiekvieną kartą yra sumažinama laiko trukmė, o gaminio tikslumas ženkliai nepasikeičia.

Šiame darbe sukurtos automatizuotos sistemos panaudojimas gali būti ne tik individualių vidpadžių gamyboje, bet ir kitose ortopedinių produktų gamybos srityse. Atlikus tam tikrus pakeitimus, būtų galima automatizuoti individualių įtvarų, protezų ar avalynės gamybą. Pavyzdžiui, duomenų analizės sukurtas algoritmas gali būti pritaikytas laisvalaikio, sporto avalynės ar šlepečių gamyboje, o atlikus programos algoritmo korekcijas, būtų galima pritaikyti kojos protezų optimizavimo sprendimuose. Ortopedinių įtvarų gamyboje yra galimybė panaudoti automatizuoto 3D modeliavimo algoritmą. Pavyzdžiui, sukūrus piršto įtvaro modelį turintį parametrus pagal išmatavimus, būtų galima atlikti automatizuotą šio įtvaro 3D modeliavimo ir gamybą.

IŠVADOS

1. Išnagrinėjus įvairius mokslinius šaltinius atlikta ortopedinių vidpadžių 3D modeliavimo ir jų gamybos analizė. Atlikus pėdos formos ir parametrų matavimų metodų vertinimą, pastebėta, jog praktikoje gaminant individualius vidpadžius yra naudojami pagrindiniai 3 metodai: gipsavimas, pėdos skenavimas ir kompiuterinio pėdų tyrimo taikymas. Įvertinus šių metodų privalumus ir trūkumus, nustatyta, jog geriausi rezultatai yra pasiekiami taikant 3D skenavimo ir kompiuterinio pėdų tyrimo duomenų analizės metodus kartu.

Išsiaiškinta, jog vidpadžių 3D modeliavimo metu dažniausiai yra naudojami 2 metodai: paviršiaus gavimas iš rekonstruoto 3D pėdos modelio ir paviršiaus gavimas iš pėdos antspaudo formos modelio. Iš šių skirtingų metodų daugiau funkcinių galimybių sukuria metodas pagrįstas antspaudo gavimu, tačiau jo realizavimas yra sudėtingesnis ir reikalaujantis atlikti daugiausia operacijų.

Išanalizavus ortopedinių vidpadžių gamybos metodus, gauti rezultatai, jog tradicinis gamybos metodas atliekamas rankų darbu reikalauja mažiausiai investicijų, tačiau kompiuterizuoti sprendimai yra tikslesni, greitesni ir perspektyvesni. Iš šių procesų CNC frezavimas yra labiau skirtas masinei standartizuotų prekių gamybai, o 3D spausdinimas – individualiems užsakymams. Dėl spartaus 3D spausdinimo technologijų tobulėjimo, galima teigti, jog ateityje 3D spausdinimas visiškai pakeis kitus gamybos metodus.

2. Suprojektuota automatizuota vidpadžių 3D modeliavimo sistema, kurią sudaro 3 pagrindiniai procesai: duomenų apdorojimas, automatinis 3D modelio kūrimas ir pabaigto gaminio medžiagų atsparumo tikrinimas. Pasirinkta naudoti kompiuterinio pėdų tyrimo duomenis, nes šio tyrimo rezultatai ne tik įvertina pėdos dydį ir formą, bet ir leidžia spręsti apie realias apkrovas pėdose. Nuspręsta šiame darbe sukurtose sistemoje nenaudoti 3D skenavimo, nes rekonstrukcijos etapą yra labai sudėtinga automatizuoti.

Pirmajame sukurtos automatizavimo sistemos procese duomenų apdorojimui pasirinkta naudoti kompiuterinę programą „Matlab“, nes ji yra funkcionali ir gerai pritaikyta duomenų masyvui tirti. Atlikus duomenų interpoliaciją, gauti tikslesni apkrovų duomenys. Sukurtas visiškai automatinis algoritmas, kuris pabaigoje suformuoja ir įkelia pėdos parametrų rezultatus į „SolidWorks“ formą.

Antras sukurtos automatizavimo sistemos procesas vykdomas „SolidWorks“ programoje naudojant „Visual Basic“ programavimo aplinką. Sukurta sistema iš pradžių naudojant apdorotus duomenis, sukuria 2D eskizą, vėliau suprojektuoja papildomas plokštumas per kurias yra brėžiamos

kreivės, kurių formą nustato tam tikri parametrai. Naudojant šias kreives yra sukuriamas 3D paviršius. Pagal nustatytą vidpadžio storį yra sumodeliuojami individualūs ortopediniai vidpadžiai.

Sukurta sistema, kurioje yra atliekamas vidpadžio atsparumo ir pėdų apkrovų vertinimo bandymai. Atlikus šias simuliacijas, gaunama, jog ortopediniai vidpadžiai sumažina maksimalias apkrovas kulno ir pirštų srityse, apkrovos pasiskirsto tolygiai per visą pėdą, nes atramos paviršiaus plotas padidėja. Dėl šių priežasčių maksimalios apkrovos gautos apie 3 kartus mažesnės, o papildomas slėgis yra perskirstomas kitose pėdos dalyse. Iš gautų rezultatų, galima teigti, jog didžiausios deformacijos ir apkrovų zonos yra kulne ir pirštuose, o išreikšti skliautai dėl mažų paviršiaus formos kampų ir minkštos medžiagos, nėra stipriai apkrauti.

Atliktas nuovargio testas, kurio metu ortopedinis vidpadis apkraunamas dinamiškai 10 milijonų kartų. Gauti rezultatai parodo, jog labiausiai apkrautose vietose ortopedinis vidpadis atlaiko 5 milijonus ciklų. Arba kitaip perskaičiavus, gaunama, jog gaminys gali tarnauti 1 metus kasdien nueinant virš 13000 žingsnių. Šie gauti rezultatai parodo, jog parinkus tinkamas medžiagas yra galimybė sukurti ilgo naudojimo vidpadžius gaminant 3D spausdintuvu.

3. Išnagrinėjus 10 populiariausių individualių ortopedinių vidpadžių automatizuoto modeliavimo ir gamybos sistemų pastebėta, jog kiekviena programinė įranga pasižymi tam tikrais privalumais ir trūkumais. Pagrindiniai skirtumai yra funkcionalumas ir vartotojo sąsaja. Laiko atžvilgiu vertinant klientui priimtinausia yra „Wiivv“ programa, o kokybės ir tikslumo atžvilgiu – „BodyTech“, „Materialise“ ir „VoxelCare“.

Atlikus vertinimą tarp šiuo metu rinkoje esančių populiariausių programų ir šiame darbe suprojektuotos ortopedinių vidpadžių automatizuotos 3D modeliavimo sistemos, galima daryti išvadas, jog automatizuota sistema turi optimaliausius vertinimo rezultatus. Nors šios programos funkcionalumas nėra didelis, tačiau produkto kaina yra mažiausia. Ši sistema yra labiausiai paklausi įmonėms, kurios atlieka pėdų tyrimus, nes sistemoje yra reikalaujama turėti tik kompiuterinių pėdų tyrimų rezultatus. Įvertinus šiame darbe sukurtos automatizuotos sistemos tobulinimo galimybes, pastebėta, jog yra daug perspektyvų plėstis ir kurti naujas patobulintas sistemas. Pagrindiniai išskirti pasiūlymai yra šie:

- „Blender“ programinės įrangos su integruota „Python“ programavimo kalba pakeitimas vietoj „SolidWorks“;
- Sukurti programinę įrangą, kuri veiktų internetinėje svetainėje;
- Pritaikyti algoritmo naudojimą kuriant vidpadžius skirtus sportui, aukštakulnei avalynei ir naujiems ortopediniams gaminiams kurti;
- Slėginių jutiklių naudojimas apkrovų stebėjimui;

LITERATŪRA

- Berme, N.; Guler, H. C. 2012. *Force and/or motion measurement system having inertial compensation and method thereof*. Int. Cl.: A61B5/1036. U.S. Cl.: 73/172.
- Bitton, A. 2010. *Adaptable orthopedic insoles*. Int. Cl.: A43B 13/38. U.S. Cl.: 36/43.
- „BodyTech“ *EasyCAD Orthotic Design Software* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. balandžio 29 d.].
Prieiga per internetą: <http://www.body-tech.com.au/software/easy-cad-orthotic-design-software>
- Braun B; Baritz M. 2017. FEM modelling of shoes insoles components for standing and walking simulation, *MATEC Web of Conferences* 94: 01002.
- Burhan M. et al. 2017. Design and fabrication an orthotic insole by using kinect xbox gaming sensor scanner and 3D printer, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 226(1).
- Calame, C.; Sonderegger, H. S. 2002. *Biomechanical measuring arrangement*. Int. Cl.: A61B 5/00. U.S. Cl.: 73/172.
- Chen W. et al. 2003. Effects of total contact insoles on the plantar stress redistribution: A finite element analysis, *Clinical Biomechanics* 18(6): 17–24.
- Cheung J. T. M.; Nigg B. M. 2008. Clinical Applications of Computational Simulation of Foot and Ankle, *Sport-Orthopädie - Sport-Traumatologie - Sports Orthopaedics and Traumatology* 23(4): 264–271.
- Cheung J.T., Zhang M. 2006. Finite Element Modeling of the Human Foot and Footwear, *ABAQUS User's Conference*: 145–159.
- Christovao T. C. L. et al. 2013. Effect of different insoles on postural balance: a systematic review., *Journal of physical therapy science* 25(10): 1353–6.
- Ciobanu O. et al. 2012. Customized foot orthosis manufactured with 3D printers, *Conference: IMS'2012 - The 8th International Symposium On Intelligent Manufacturing Systems, At Antalya / Turkey*.
- Costea M., Mihai A. 2013. 3D Modelling of Prophylactic Footwear for a High Arched Foot, *Annals of the University of Oradea Fascicle of Textiles*.
- Cotoros, D. et al. 2011. Conceptual Analysis of Correspondence between Plantar Pressure and Corrective Insoles, *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering* 5(11): 2413–2416.
- Cotors D; Baritz M. 2012. Implementing rapid prototyping technologies for corrective insoles, *International Journal of Modern Manufacturing Technologies* 4(4): 41-46.

- Davia *et al.* 2011. Shoes Customization Design Tools for the “Diabetic Foot”, *Computer-Aided Design and Applications* 8(5): 693–711.
- „Delcam“ *Launches OrthoMODEL 2014 for Designing Custom Orthotic Insoles* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. balandžio 29 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.dailycadcam.com/delcam-launches-orthomodel-2014-for-designing-custom-orthotic-insoles/>
- Dombroski C. E. 2014. The use of a low cost 3D scanning and printing tool in the manufacture of custom-made foot orthoses: a preliminary study, *BMC Res Notes* 7(443).
- Franciosa P., Gerbino S. 2010. From CT Scan to Plantar Pressure Map Distribution of a 3D Anatomic Human Foot, *Excerpt from the Proceedings of the COMSOL Conference*.
- Franciosa P. *et al.* 2013. Improving comfort of shoe sole through experiments based on CAD-FEM modeling, *Medical Engineering and Physics* 35(1): 36–46.
- „Gensole“ *Generate Insoles for 3D Printing from Gyrobot* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. balandžio 29 d.]. Prieiga per internetą: <http://gensole.com/>
- Huang C.N., *et al.* 2011. Computer-aided design and manufacturing of customized insoles, *IEEE Computer Graphics and Applications* 31(2): 74–79.
- Yarwindran M. *et al.* 2017. The feasibility study on fabrication customized orthotic insole using fused deposition modelling (FDM), *AIP Conference Proceedings* 1831(1).
- Yu J. *et al.* 2008. Development of a finite element model of female foot for high-heeled shoe design, *Clinical Biomechanics* 23: 31 – 38.
- Ki S.W. *et al.* 2008. Comparison of plantar pressure distribution patterns between foot orthoses provided by the CAD-CAM and foam impression methods *Prosthetics and Orthotics International* 32(3): 356–362.
- Janssen R. *et al.* 2014. TNO: The impact of 3-D printing on supply chain management, *The Hague, Netherlands*.
- Ko D. Y., Lee H. S. 2013. The Changes of COP and Foot Pressure after One Hour’s Walking Wearing High-heeled and Flat Shoes, *Physical Therapy Science* 25(10): 1309 – 1312.
- Kouchi M. *et al.* 2009 Deformation of foot cross-section shapes during walking *Gait and Posture* 30(4): 482–486.
- Lo W. 2015. Numerical Simulation of Orthotic Insole Deformation for Diabetic Foot, *Journal of Fiber Bioengineering and Informatics* 8(3): 401–411.
- Lochner S. J. *et al.* 2012. Parametric Design of Custom Foot Orthotic Model, *Computer-Aided Design and Applications* 9(1): 1-11.
- Luo G. *et al.* 2011. Finite element analysis of heel pad with insoles, *Journal of Biomechanics* 44: 1559-1565.

- „LutraCAD“ *CAD-CAM Design Software* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. balandžio 29 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.lutracad.com/>
- Mandolini M. *et al.* 2015. A CAD tool to design bespoke insoles for severe orthopaedic treatments, *Computer-Aided Design and Applications* 12(6): 700–709.
- „Materialise“ *The World's First Dynamic Printed Insoles* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. balandžio 29 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.materialise.com/en/cases/worlds-first-dynamic-printed-insoles>
- Miguel D. A. *et al.* 2018. 3D printing of functional anatomical insoles, *Computers in Industry* 95: 38–53.
- Orlin M. N., McPoil T.G. 2000. Plantar pressure assessment, *Physical therapy* 80(4): 399–409.
- Papagiannis P. *et al.* 2016. Definition and evaluation of plantar mechanical comfort for the support of footwear design, *Computer-Aided Design and Applications* 13(2): 162–172.
- „PedCAD“ *insole-designer 3.2* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. balandžio 29 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.pedcad-foot-technology.com/technical-equipment/software-solutions/design-software/>
- Qin L.Y. *et al.* 2015. Insole plantar pressure systems in the gait analysis of post-stroke rehabilitation, *2015 IEEE International Conference on Information and Automation, ICIA 2015 - In conjunction with 2015 IEEE International Conference on Automation and Logistics*: 1784–1789.
- Razak, A. H. A. *et al.* 2012. Foot Plantar Pressure Measurement System: A Review, *Sensors* 12(12): 9884–9912.
- „Resa“ *custom 3D printed insoles* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. balandžio 29 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.resawear.com/insoles.html>>
- Rodrigues P. *et al.* 2013. Medially posted insoles consistently influence foot pronation in runners with and without anterior knee pain, *Gait and Posture* 37(4): 526–531.
- Salles A. S., Gyi D. E. 2013. An evaluation of personalised insoles developed using additive manufacturing, *Journal of sports sciences* 31(4): 442–450.
- Salles A.S. *et al.* 2014. Combining Dynamic Foot Scanning and Additive Manufacturing for the Production of Insoles: a Case Study, *Research Journal of Textile and Apparel* 18(2): 1–8.
- Stumpf, J. 2015. *Method for producing customized insoles*. Int. Cl.: G05B 19/408.
- Su S. *et al.* 2017. The Effect of Arch Height and Material Hardness of Personalized Insole on Correction and Tissues of Flatfoot, *Journal of Healthcare Engineering*.
- Sun S. P. *et al.* 2009. Classification and mass production technique for three-quarter shoe insoles using non-weight-bearing plantar shapes, *Applied Ergonomics* 40(4): 630–635.

- Surmen K., Ortes F., Arslan Y.Z. 2016. Design and Production of Subject Specific Insole Using Reverse Engineering and 3D Printing Technology, *International Journal of Engineering Science Invention* 5(12): 11–15.
- Tan A.M. *et al.* 2015. Design of Low Cost Smart Insole for Real Time Measurement of Plantar Pressure, *Procedia Technology* 20: 117–122.
- Terstyanszky G. *et al.* 2016. Validating scanned foot images and designing customized insoles on the cloud, *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences 2016–March*: 3288–3296.
- VGTU studentė 3D spausdintuvu spausdins ortopedinių problemų sprendimus. 2015 [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. gegužės 05 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.vgtu.lt/universitetas/vgtu-inovacijos/inovacijos/vgtu-studente-3d-spausdintuvu-spausdins-ortopediniu-problemu-sprendimus/32330?nid=96170>
- „VORUM“ Canfit Insole Design [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. balandžio 29 d.]. Prieiga per internetą: <http://vorum.com/footwear/insole-design/>
- „VoxelCare“ online insole CAD design software [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. balandžio 29 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.voxelcare.com/#!/content/design>
- „Wiivv“ Custom Fit 3D Printed Insoles [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. balandžio 29 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.kickstarter.com/projects/wiivv/base-by-wiivv-custom-3d-printed-in-soles>

PRIEDAI

A priedas. „VBA“ programos kodas „SolidWorks“ programinėje įrangoje atliekantis kintamųjų priskirimą ir programos paleidimą

```
Private Sub Braizyti_Click()
Dim swApp As Object
Dim Part As Object
Dim boolstatus As Boolean
Dim longstatus As Long, longwarnings As Long
Dim x As Double
Dim y As Double
Dim r1 As Double
Dim r2 As Double
Dim z As Double
Dim myModelView As Object
Dim myRefPlane As Object
Dim skPoint As Object
Dim skSegment As Object
Dim myFeature As Object
Me.Hide
x = 0.231
y = 0.071
r1 = 0.025
r2 = 0.03
z = 0.02
hk = 0.001
bk = 0.0005
Set swApp = Application.SldWorks
Set Part = swApp.NewDocument("C:\ProgramData\SolidWorks\SolidWorks
2013\templates\Part.prtdot", 0, 0, 0)
swApp.ActivateDoc2 "Part12", False, longstatus
Set Part = swApp.ActiveDoc
```

B priedas. „VBA“ programos kodas „SolidWorks“ programinėje įrangoje atliekantis plokštumų sukūrimą

```
Set myModelView = Part.ActiveView
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Right Plane", "PLANE", 0, 0, 0, True, 0, Nothing, 0)
    Set myRefPlane = Part.FeatureManager.InsertRefPlane(8, 1.1 * x, 0, 0, 0, 0)
Part.ClearSelection2 True
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Plane1", "PLANE", 0, 0, 0, True, 0, Nothing, 0)
    Set myRefPlane = Part.FeatureManager.InsertRefPlane(264, 0.2 * x, 0, 0, 0, 0)
Part.ClearSelection2 True
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Plane2", "PLANE", 0, 0, 0, True, 0, Nothing, 0)
    Set myRefPlane = Part.FeatureManager.InsertRefPlane(264, 0.2 * x, 0, 0, 0, 0)
Part.ClearSelection2 True
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Plane3", "PLANE", 0, 0, 0, True, 0, Nothing, 0)
    Set myRefPlane = Part.FeatureManager.InsertRefPlane(264, 0.2 * x, 0, 0, 0, 0)
Part.ClearSelection2 True
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Plane4", "PLANE", 0, 0, 0, True, 0, Nothing, 0)
    Set myRefPlane = Part.FeatureManager.InsertRefPlane(264, 0.2 * x, 0, 0, 0, 0)
Part.ClearSelection2 True
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Plane5", "PLANE", 0, 0, 0, True, 0, Nothing, 0)
    Set myRefPlane = Part.FeatureManager.InsertRefPlane(264, 0.2 * x, 0, 0, 0, 0)
Part.ClearSelection2 True
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Plane6", "PLANE", 0, 0, 0, True, 0, Nothing, 0)
    Set myRefPlane = Part.FeatureManager.InsertRefPlane(264, 0.2 * x, 0, 0, 0, 0)
Part.ClearSelection2 True
Set Part = swApp.ActiveDoc
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Top Plane", "PLANE", 0, 0, 0, False, 0, Nothing, 0)
Part.SketchManager.InsertSketch True
Part.ClearSelection2 True
Part.SketchManager.InsertSketch True
Set Part = swApp.ActiveDoc
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Top Plane", "PLANE", 0, 0, 0, False, 0, Nothing, 0)
Part.SketchManager.InsertSketch True
Part.ClearSelection2 True
```

```
ReDim points(0 To 47) As Double
points(0) = 0
points(1) = 0
points(2) = 0
points(3) = (r1 - (r1 / Sqrt(2)))
points(4) = (r1 / Sqrt(2))
points(5) = 0
points(6) = r1
points(7) = r1
points(8) = 0
points(9) = x / 3
points(10) = y / 5
points(11) = 0
points(12) = x - (x / 3)
points(13) = 0.4 * y
points(14) = 0
points(15) = x - r2
points(16) = r2
points(17) = 0
points(18) = x - (r2 - (r2 / Sqrt(2)))
points(19) = (r2 / Sqrt(2))
points(20) = 0
points(21) = x
points(22) = 0
points(23) = 0
points(24) = x - (r2 - (r2 / Sqrt(2)))
points(25) = -(r2 / Sqrt(2))
points(26) = 0
points(27) = x - r2
points(28) = -r2
points(29) = 0
points(30) = x - (x / 3)
points(31) = -y / 2
points(32) = 0
points(33) = x / 3
points(34) = -0.4 * y
points(35) = 0
points(36) = r1
points(37) = -r1
points(38) = 0
points(39) = (r1 - (r1 / Sqrt(2)))
points(40) = -(r1 / Sqrt(2))
points(41) = 0
points(42) = 0
points(43) = 0
points(44) = 0
pointArray = points
Set skSegment = Part.SketchManager.CreateSpline((pointArray))
Part.ClearSelection2 True
```

D priedas. „VBA“ programos kodas „SolidWorks“ programinėje įrangoje atliekantis kreivių braižymą sukurtose plokštumose

```
Set Part = swApp.ActiveDoc
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Plane1", "PLANE", 0, 0, 0, False, 0, Nothing, 0)
Part.SketchManager.InsertSketch True
Part.ClearSelection2 True
ReDim points(0 To 14) As Double
points(0) = -y
points(1) = 0
points(2) = 0
points(3) = -y / 2
points(4) = 0.005
points(5) = 0
points(6) = 0
points(7) = 0.005
points(8) = 0
points(9) = y / 2
points(10) = 0.007
points(11) = 0
points(12) = y
points(13) = 0
points(14) = 0
pointArray = points
Set skSegment = Part.SketchManager.CreateSpline((pointArray))
Part.SketchManager.InsertSketch True
Set Part = swApp.ActiveDoc
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Plane3", "PLANE", 0, 0, 0, False, 0, Nothing, 0)
Part.SketchManager.InsertSketch True
Part.ClearSelection2 True
ReDim points(0 To 14) As Double
points(0) = -y
points(1) = 0
points(2) = 0
points(3) = -y / 2
points(4) = 0.006
points(5) = 0
points(6) = 0
points(7) = 13 * hk
points(8) = 0
points(9) = y / 2
points(10) = 0.005
points(11) = 0
points(12) = y
points(13) = 0
points(14) = 0
pointArray = points
Set skSegment = Part.SketchManager.CreateSpline((pointArray))
Part.SketchManager.InsertSketch True
```

D priedo tęsinys. „VBA“ programos kodas „SolidWorks“ programinėje įrangoje atliekantis kreivių braižymą sukurtose plokštumose

```
Set Part = swApp.ActiveDoc
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Plane4", "PLANE", 0, 0, 0, False, 0, Nothing, 0)
Part.SketchManager.InsertSketch True
Part.ClearSelection2 True
ReDim points(0 To 14) As Double
points(0) = -y
points(1) = 0
points(2) = 0
points(3) = -y / 2
points(4) = 0.007
points(5) = 0
points(6) = 0
points(7) = 0.01
points(8) = 0
points(9) = y / 2
points(10) = 19 * hk
points(11) = 0
points(12) = y
points(13) = 0
points(14) = 0
pointArray = points
Set skSegment = Part.SketchManager.CreateSpline((pointArray))
Part.SketchManager.InsertSketch True
Set Part = swApp.ActiveDoc
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Plane5", "PLANE", 0, 0, 0, False, 0, Nothing, 0)
Part.SketchManager.InsertSketch True
Part.ClearSelection2 True
ReDim points(0 To 14) As Double
points(0) = -y
points(1) = 0
points(2) = 0
points(3) = -y / 2
points(4) = 0.009
points(5) = 0
points(6) = 0
points(7) = 0.007
points(8) = 0
points(9) = y / 2
points(10) = 0.005
points(11) = 0
points(12) = y
points(13) = 0
points(14) = 0
pointArray = points
Set skSegment = Part.SketchManager.CreateSpline((pointArray))
Part.SketchManager.InsertSketch True
```

D priedo tęsinys. „VBA“ programos kodas „SolidWorks“ programinėje įrangoje atliekantis kreivių braižymą sukurtose plokštumose

```
Set Part = swApp.ActiveDoc
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Plane6", "PLANE", 0, 0, 0, False, 0, Nothing, 0)
Part.SketchManager.InsertSketch True
Part.ClearSelection2 True
ReDim points(0 To 14) As Double
points(0) = -y
points(1) = 0
points(2) = 0
points(3) = -y / 2
points(4) = 9 * hk
points(5) = 0
points(6) = 0
points(7) = 0 * hk
points(8) = 0
points(9) = y / 2
points(10) = 9 * hk
points(11) = 0
points(12) = y
points(13) = 0
points(14) = 0
pointArray = points
Set skSegment = Part.SketchManager.CreateSpline((pointArray))
Part.SketchManager.InsertSketch True
Set Part = swApp.ActiveDoc
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Plane7", "PLANE", 0, 0, 0, False, 0, Nothing, 0)
Part.SketchManager.InsertSketch True
Part.ClearSelection2 True
ReDim points(0 To 14) As Double
points(0) = -y
points(1) = 0
points(2) = 0
points(3) = -y / 2
points(4) = 17 * hk
points(5) = 0
points(6) = 0
points(7) = 16 * hk
points(8) = 0
points(9) = y / 2
points(10) = 15 * hk
points(11) = 0
points(12) = y
points(13) = 0
points(14) = 0
pointArray = points
Set skSegment = Part.SketchManager.CreateSpline((pointArray))
Part.SketchManager.InsertSketch True
```

E priedas. „VBA“ programos kodas „SolidWorks“ programinėje įrangoje atliekantis paviršiaus sukūrimą iš suprojektuotų 7 kreivių.

```
Set Part = swApp.ActiveDoc
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Sketch3", "SKETCH", 1.1 * x, 0, y, False, 0, Nothing, 0)
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Sketch4", "SKETCH", 0.9 * x, 0, y, True, 0, Nothing, 0)
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Sketch5", "SKETCH", 0.7 * x, 0, y, True, 0, Nothing, 0)
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Sketch6", "SKETCH", 0.5 * x, 0, y, True, 0, Nothing, 0)
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Sketch7", "SKETCH", 0.3 * x, 0, y, True, 0, Nothing, 0)
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Sketch8", "SKETCH", x, 0, y, True, 0, Nothing, 0)
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Sketch9", "SKETCH", -x, 0, y, True, 0, Nothing, 0)
Set myFeature = Part.FeatureManager.SetNetBlendCurveData(0, 0, 0, 0, 1, True)
Set myFeature = Part.FeatureManager.SetNetBlendCurveData(0, 1, 0, 0, 1, True)
Set myFeature = Part.FeatureManager.SetNetBlendCurveData(0, 2, 0, 0, 1, True)
Set myFeature = Part.FeatureManager.SetNetBlendCurveData(0, 3, 0, 0, 1, True)
Set myFeature = Part.FeatureManager.SetNetBlendCurveData(0, 4, 0, 0, 1, True)
Set myFeature = Part.FeatureManager.SetNetBlendCurveData(0, 5, 0, 0, 1, True)
Set myFeature = Part.FeatureManager.SetNetBlendCurveData(0, 6, 0, 0, 1, True)
Set myFeature = Part.FeatureManager.SetNetBlendDirectionData(0, 32, 0, False, False)
Set myFeature = Part.FeatureManager.SetNetBlendDirectionData(1, 32, 0, False, False)
Set myFeature = Part.FeatureManager.InsertNetBlend(2, 7, 0, False, 0.0001, False, True, True,
True, False, -1, -1, False, -1, False, False, -1, False, -1, False)
Part.ClearSelection2 True
```

F priedas. „VBA“ programos kodas „SolidWorks“ programinėje įrangoje atliekantis pagalbinės tiesės sukūrimą.

```
Set Part = swApp.ActiveDoc
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Front Plane", "PLANE", 0, 0, 0, True, 0, Nothing, 0)
Set myRefPlane = Part.FeatureManager.InsertRefPlane(264, 7.5 * z, 0, 0, 0, 0)
Part.ClearSelection2 True
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Plane9", "PLANE", 0, 0, 0, False, 0, Nothing, 0)
Part.SketchManager.InsertSketch True
Part.ClearSelection2 True
ReDim points(0 To 11) As Double
points(0) = -0.2 * x
points(1) = -0.7 * z
points(2) = 0
points(3) = 0.3 * x
points(4) = -0.5 * z
points(5) = 0
points(6) = 0.8 * x
points(7) = -0.6 * z
points(8) = 0
points(9) = 1.2 * x
points(10) = -0.4 * z
points(11) = 0
pointArray = points
Set skSegment = Part.SketchManager.CreateSpline((pointArray))
Part.SketchManager.InsertSketch True
Part.ClearSelection2 True
```

```
Set Part = swApp.ActiveDoc
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Sketch10", "SKETCH", -2 * x, -z, 7.5 * z, False, 8193,
Nothing, 0)
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Sketch11", "SKETCH", -2 * x, -z, 7.5 * z, True, 4097,
Nothing, 0)
Set myFeature = Part.FeatureManager.SetNetBlendCurveData(0, 0, 0, 0, 1, True)
Set myFeature = Part.FeatureManager.SetNetBlendCurveData(0, 1, 0, 0, 1, True)
Set myFeature = Part.FeatureManager.SetNetBlendDirectionData(0, 32, 0, False, False)
Set myFeature = Part.FeatureManager.SetNetBlendDirectionData(1, 32, 0, False, False)
Set myFeature = Part.FeatureManager.InsertNetBlend(2, 2, 0, False, 0.0001, False, True, True,
True, False, -1, -1, False, -1, False, False, -1, False, -1, True)
Part.ClearSelection2 True
Set Part = swApp.ActiveDoc
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Sketch2", "SKETCH", 0, 0, 0, False, 4, Nothing, 0)
Set Part = swApp.ActiveDoc
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Sketch2", "SKETCH", 0, 0, 0, False, 4, Nothing, 0)
Part.FeatureExtruRefSurface2 True, False, False, 6, 0, 5 * z, 5 * z, False, False, False, False, 0, 0,
False, False, False, False
Part.SelectionManager.EnableContourSelection = False
Part.ClearSelection2 True
Set Part = swApp.ActiveDoc
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Boundary-Surface1", "SURFACEBODY", 0, 0, 0, True,
0, Nothing, 0)
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Boundary-Surface2", "SURFACEBODY", 0, 0, 0, True,
0, Nothing, 0)
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Surface-Extrude1", "SURFACEBODY", 0, 0, 0, True, 0,
Nothing, 0)
boolstatus = Part.FeatureManager.PreTrimSurface(True, True, True, False)
Part.ShowNamedView2 "*Top", 5
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("", "SURFACEBODY", x / 2, 0, 0, True, 0, Nothing, 0)
Part.ShowNamedView2 "*Front", 1
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("", "SURFACEBODY", x / 2, 0, 0, True, 0, Nothing, 0)
Part.ViewZoomtofit2
Part.ShowNamedView2 "*Bottom", 6
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("", "SURFACEBODY", x / 2, -3 * y, 0, True, 0, Nothing,
0)
'Dim myFeature As Object
Set myFeature = Part.FeatureManager.PostTrimSurface(True)
Part.ClearSelection2 True
Set Part = swApp.ActiveDoc
boolstatus = Part.Extension.SelectByID2("Surface-Trim1", "SURFACEBODY", 0, 0, 0, True, 1,
Nothing, 0)
Set myFeature = Part.FeatureManager.FeatureBossThicken(0, 0, 7471201, True, True, True, True)
Part.ClearSelection2 True
End
End Sub
```