



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

3D avatarų pritaikymo tvarios mados versle galimybių tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Karolina Butkutė

Projekto autorė

Doc. Jurgita Domskienė

Vadovė

Kaunas, 2025



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

3D avatarų pritaikymo tvarios mados versle galimybių tyrimas

Baigiamasis magistro projektas
Mados inovacijų technologijos (6211FX023)

Karolina Butkutė

Projekto autorė

Doc. Jurgita Domskienė

Vadovė

Doc. Kristina Ancutienė

Recenzentė

Kaunas, 2025



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas
Karolina Butkutė

3D avatarų pritaikymo tvarios mados versle galimybių tyrimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi(s) Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs (-usi);
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Karolina Butkutė

Patvirtinta elektroniniu būdu



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

Studijų programa: Mados inovacijų technologijos 6211FX023

MAGISTRO BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Studentui (-ei)

Karolinai Butkutei

(Vardas, Pavardė)

1. Baigiamojo Projekto tema –

3D avatarų pritaikymo tvarios mados versle galimybių tyrimas

(Lietuvių kalba)

Feasibility Research of Applying 3D Avatars in Sustainable Fashion Business

(Anglų kalba)

2. Darbo tikslas ir uždaviniai –

Darbo tikslas – ištirti žmogaus figūros 3D skenavimo mobiliosiomis programėlėmis galimybes ir pritaikymą didinant mados verslo tvarumą.

Uždaviniai:

1. Išanalizuoti žmogaus figūros avaturo kūrimo principus ir jo panaudojimo galimybes.
2. Žmogaus figūros 3D skenavimo mobiliosiomis programėlėmis analizės pagrindu pasirinkti įrankį ir sudaryti figūros skenavimo metodiką.
3. Atlikti palyginamąjį žmogaus figūros 3D skenavimo mobiliosiomis programėlėmis tyrimą ir rezultatų analizę.
4. Pademonstruoti 3D avatarų pritaikymą virtualiam aprangos atvaizdavimui ir aptarti technologijos praktinę naudą vystant elektroninę prekybą ir tvarų verslą.

Studentas

Karolina Butkutė

(Vardas, Pavardė)

2024 10 11

(Parašas)

(Data)

Baigiamojo
projekto
vadovas

Jurgita Domskienė

(Vardas, Pavardė)

2024 10 11

(Parašas)

(Data)

Karolina Butkutė. 3D avatarų pritaikymo tvarios mados versle galimybių tyrimas. Magistro baigiamasis projektas, vadovė doc. Jurgita Domskienė; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Polimerų ir tekstilės technologijos (F02), Technologijų mokslai (F)

Reikšminiai žodžiai: mados verslas, tvarumas, avataras, mobilioji programėlė, 3D skenavimas.

Kaunas, 2025. 51 p.

Santrauka

Baigiamajame magistro projekte nagrinėjamos žmogaus figūros skenavimui skirtų mobiliųjų programėlių galimybės ir jų pritaikymas mados versle. Atlikus literatūros analizę, nustatyta, kad žmogaus figūros 3D atvaizdų kūrimas yra itin aktualus ir plačiai taikomas įvairiose srityse, tokiose kaip moda, medicina, sportas ir kt. Ypatingas dėmesys šiame projekte skiriamas skaitmeninių 3D kūno modelių kūrimui bei jų panaudojimui individualizuotų drabužių kūrimui ir projektavimui bei virtualiam primatavimui elektroninėje prekyboje.

Šiame darbe buvo išanalizuoti 3D kūno skenavimo programėlių veikimo principai bei jų panaudojimo galimybės. Darbe buvo siekiama nustatyti, ar programėlės gali generuoti 3D kūno modelius, pateikti jų matmenis. Atlikta šešių mobiliųjų programėlių, skirtų 3D kūno skenavimui, apžvalga ir įvertintos sukurtų avatarų panaudojimo galimybės. Nustatyta, kad mobiliosios programėlės geba sukurti žmogaus kūno skaitmeninius atvaizdus bei nustatyti jų matmenis. Norint įvertinti matmenų tikslumą, gauti duomenys buvo palyginti su žmogaus kūno matmenimis, nustatytais pagal ISO 8559-1:2017 standartą. Rezultatai parodė, kad pasirinktų programėlių duomenų tikslumas yra aukštas, 95–97 % tikslumu avataras atitinka realią žmogaus figūrą. Tačiau tik dvi programėlės leidžia parsisiųsti 3D kūno modelius .obj formatu, o tik viena suteikia galimybę nustatyti drabužių dydį. Kitos programėlės pateikia tik avatara vaizdą ir matmenis. Tyrimas taip pat parodė, kad avatarai gali tiksliai atvaizduoti žmogaus kūno proporcijas, o tai leidžia patobulinti drabužių dydžio nustatymo procesą. Palyginimui buvo pasirinkti du sugeneruoti skaitmeniniai kūno avatarai, kurie naudojami virtualaus drabužio primatavimo analizei ir lyginimui su realaus drabužio atitikimu figūrai. Nustatyta, kad pasirinktas drabužis – suknelė – gali būti tinkamai primatuotas virtualioje erdvėje ir atitinka sugeneruotų avatarų figūras. Suknelė buvo pasiūta ir primatuota, suknelės vaizdai iš priekio ir nugaros palyginti su virtualiais. Panaudotos medžiagos savybės nustatytos patikimais eksperimentiniais tyrimais ir parinktos virtualiam gaminio projektavimui. Nustatyta, kad realus ir virtualus suknelės primatavimas yra itin panašūs, tačiau dėl medžiagos savybių virtualaus atkūrimo sudėtingo algoritmo skaitmeniname vaizde suknelė drapiruojasi kiek labiau nei realiame gaminyje.

Baigiamojo darbo rezultatai pabrėžia mobiliųjų programėlių pritaikomumą kuriant skaitmeninius 3D kūno modelius ir atskleidžia jų potencialą mados industrijoje ir elektroninėje prekyboje, visa tai leistų reikšmingai sumažinti netinkamų aprangos prekių grąžinimų skaičių, skatintų individualizuotą gamybą ir didintų mados verslo tvarumą.

Karolina Butkutė. Feasibility Research of Applying 3D Avatars in Sustainable Fashion Business. Master's Final Degree Project, supervisor Assoc. Prof. Jurgita Domskienė; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Polymers and Textiles Technologies (F02), Technological Sciences (F)

Keywords: fashion business, sustainability, avatar, mobile app, 3D scanning.

Kaunas, 2025. 51 p.

Summary

The final Master's project investigates the potential of mobile applications for human body scanning and their implementation in the fashion industry. A literature review highlights that the generation of 3D body models is highly relevant across fields such as fashion, medicine, and sports. This project emphasises the development of digital 3D body models and their applications in customised clothing design and virtual fitting within e-commerce platforms.

This study analyses the operational principles and practical applications of mobile applications for 3D body scanning. The research evaluates six mobile applications for 3D body scanning, investigating their accuracy and ability to create 3D body models while providing body measurements. To confirm the accuracy, the generated measurements are compared with the human body measurements determined according to ISO 8559-1:2017. Results indicate high precision, with 95–97% agreement between the 3D body models and actual human figures. However, only two applications allow exporting 3D body models in .obj format, and only one provides functionality for determining clothing sizes. The remaining applications primarily offer visual representations of the 3D body models and their measurements.

The study demonstrates that 3D body models accurately represent human body proportions, improving the process of determining clothing sizes. Two generated 3D body models are used to analyse the fitting of a virtual garment against a real garment. The chosen garment, a dress, can be fitted in the virtual space and aligns well with the shapes of the generated 3D body models. The dress is subsequently produced and fitted, with front and back views compared to the virtual fittings. The material properties are determined through experimental studies and selected for accurate virtual design. The comparison reveals that the real and virtual fittings of the dress are highly similar, although the virtual rendering displays slightly more draping due to the complexity of the material simulation algorithm.

The findings underscore the applicability of mobile applications in creating digital 3D body models and highlight their potential within the fashion industry and e-commerce. These technologies reduce the return rate of unsuitable garments, support customised production, and enhance sustainability in fashion businesses.

Turinys

Lentelių sąrašas	9
Paveikslų sąrašas	10
Santrumpų ir terminų sąrašas	11
Įvadas.....	12
1. Teorinė dalis	13
1.1. 3D kūno skenavimas.....	13
1.1.1. 3D skenavimo sistemos	13
1.2. 3D kūno skenavimo technologijos pritaikymas	14
1.2.1. Kompiuterinių žaidimų pramonė.....	14
1.2.2. Mados pramonė	15
1.2.3. Sporto sritis.....	15
1.2.4. Krašto apsaugos specialistų apranga ir ekipuotė	15
1.2.5. Medicinos sritis	16
1.3. 3D žmogaus figūros skenavimo iššūkiai	16
1.3.1. Nesklandumai skenavimo procese	16
1.3.2. Psichologinis poveikis	18
1.3.3. Integracijos ir tolimesnio panaudojimo sudėtingumas	18
1.4. 3D kūno skenavimas mobiliosiomis programėlėmis.....	19
1.4.1. Mobilųjų programėlių apžvalga ir atranka	19
2. Tiriemoji dalis.....	21
2.1. Mobilųjų programėlių analizė	21
2.2. Avatūrų generavimas ir jų palyginamoji analizė	22
2.2.1. Figūros pasirinkimas	22
2.2.2. Pasirengimas eksperimentui	23
2.2.3. 3D avatūrų kūrimo procesas	23
2.3. Rezultatų analizė	24
2.3.1. Avatūrų generavimas	24
2.3.2. Avatūrų kūno matmenys.....	25
2.4. Eksperimento apibendrinimas ir išvados.....	32
3. Taikomoji dalis	34
3.1. Drabužio modelio ir dydžio parinkimas	34
3.2. Suknelės detalių ir avatūro paruošimas	35
3.3. Medžiagos parinkimas ir jos mechaninių charakteristikų nustatymas	36
3.4. Suknelės simuliacija ir virtualus primatavimas	37
3.5. Realios ir virtualios suknelių vaizdų palyginimas.....	41
4. Avatūrų pritaikymo galimybės mados pramonėje	45
4.1. Avatūrų nauda ir pritaikymo galimybės	45
4.2. Avatūrų pritaikymo nesklandumai	46
4.3. Avatūrų pritaikomumo didinimas.....	46
Išvados	48
Literatūros sąrašas	49
1 Priedas. Pasirinktos figūros matmenys.....	52
2 Priedas. „MirrorSize“ mobiliąją programėlę gauti avatūrų matmenys.....	53

3	Priedas. „Nettelo“ mobiliąją programėlę gauti avatarų matmenys	54
4	Priedas. „3DLook“ mobiliąją programėlę gauti penkių avataro matmenys	55
5	Priedas. „3DLook“ rezultatų analizė	57
6	Priedas. „3D body avatar“ mobiliąją programėlę gauti avatarų matmenys.....	58
7	Priedas. „3D body avatar“ rezultatų analizė	61
8	Priedas. Lenkiamojo standumo duomenų patikimumo skaičiavimas.....	62
9	Priedas. Dalyvavimas jaunųjų tyrėjų konferencijoje.....	63

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Skenavimo sistemų apžvalga [6 – 11]	14
2 lentelė. Pasirinktų mobiliųjų programėlių palyginamoji analizė [36, 37].....	20
3 lentelė. Skenavimo mobiliosiomis programėlėmis proceso ypatumai	21
4 lentelė. Pasiruošimo skenavimo procesui analizė	22
5 lentelė. Gautų avatarų vaizdai	25
6 lentelė. „ TrueToForm“ programėle gauti duomenis	26
7 lentelė. „TrueToForm“ palyginamoji analizė	26
8 lentelė. „MirrorSize“ programėle gautų matmenų analizė.....	27
9 lentelė. „MirrorSize“ palyginamoji analizė.....	27
10 lentelė. „Nettelo“ programėle gautų matmenų analizė	28
11 lentelė. „Nettelo“ duomenų palyginamoji analizė	29
12 lentelė. „3Dlook“ duomenų palyginamoji analizė	30
13 lentelė. „3D body avatar“ rezultatų analizė.....	31
14 lentelė. Programėlių apibendrinamoji analizė.....	32
15 lentelė. Virtualaus ir realaus drabužio primatavimo atitikimo palyginimo metodika.....	34
16 lentelė. Suknelės dydžio ir avatrų matmenų palyginimas.....	35
17 lentelė. Nustatytos medžiagos charakteristikos.....	36
18 lentelė. Lenkiamasis standumas	37
19 lentelė. Nustatyti ištįsios parametrai	37
20 lentelė. Realios suknelės ir virtualios suknelės ant avatara palyginamieji vaizdai.....	44

Paveikslų sąrašas

1 pav. Skenuotas kūnas su „Creaform HandySCAN 3D 700“ skeneriu [32]	17
2 pav. Skenavimo artefaktų pavyzdys [32]	18
3 pav. Rekomendacijos eksperimento pasiruošimui	23
4 pav. Figūros vaizdas su skenavimo procesui skirta apranga.....	23
5 pav. Galutinis figūros vaizdas su pasirinkta apranga	24
6 pav. Pasirinktos suknelės modelis [42]	35
7 pav. Virtualaus susiuvimo vaizdas	36
8 pav. Suknelė ant „3D body avatar“ programėle sugeneruoto avatara	38
9 pav. Suknelė ant „3DLook“ programėle sugeneruoto avatara.....	38
10 pav. Gaminio laisvumas („3D body avatar“ avataras).....	39
11 pav. Gaminio laisvumas („3DLook“ avataras)	39
12 pav. Deformacijos metmenų kryptimi („3D body avatar“ avataras).....	40
13 pav. Deformacijos metmenų kryptimi („3DLook“ avataras).....	40
14 pav. Deformacijos ataudų kryptimi („3D body avatar“ avataras).....	41
15 pav. Deformacijos ataudų kryptimi („3DLook“ avataras)	41
16 pav. Juodos suknelės vaizdas („3DLook“ avataras)	42
17 pav. Juodos suknelės vaizdas („3D body avatar“ avataras)	42
18 pav. Pasiūtos suknelės vaizdas ant modelio	43

Santrumpų ir terminų sąrašas

Avataras/3D avataras – tai žmogaus kūno virtualus 3D modelis, sukurtas remiantis tikrais žmogaus duomenimis.

3D kūno skenavimas – tai procesas, kurio metu skenuojamas žmogaus kūnas, tam skirtais prietaisais.

Ivadas

Mados sektorius yra vienas taršiausių pasaulyje, todėl šių laikų mados pramonė turi ne tik siekti finansinių tikslų, bet ir nuolat prisitaikyti prie aplinkosaugos ir tvarumo reikalavimų [1]. Vartotojai tampa vis sąmoningesni, todėl prioritetą teikia inovatyviems ir tvariems verslams, o skaitmeninių technologijų plėtra įgyja vis didesnę svarbą ir aktualumą. Viena iš perspektyviausių inovacijų šioje srityje yra 3D kūno skenavimo technologijos. Šios technologijos vystymas ir pritaikymas gali padėti didinti mados pramonės tvarumą, mažinti perteklinę gamybą ir aplinkos taršą bei sutaupyti resursų.

3D skenavimas leidžia kurti individualizuotus avatarus, atspindinčius realias žmogaus figūras ir jų proporcijas. Šie avataurai gali būti naudojami ne tik primatavimų ar dydžio nustatymo procese, bet ir mados kolekcijų kūrimo, prototipų testavimo bei personalizuojamų užsakymų vykdyme. Tai leistų tiek dideliems, tiek mažiems verslams sukurti efektyvesnius gamybos procesus ir sutaupyti resursų. Toks technologijų pritaikymas, atkuriant žmogaus kūną skaitmeniniu formatu, prisidėtų prie perteklinio vartojimo bei prekių gražinimo mažinimo. 3D skenavimo technologijos taip pat prisideda prie skaitmeninių sprendimų plėtros, kurie palengvina klientų apsipirkimo procesą, stiprina jų pasitenkinimą bei leidžia tiksliau pritaikyti gaminius pagal individualius poreikius. Taip pat kuria ilgalaikę vertę verslui, skatinant efektyvesnę išteklių panaudojimą bei tvarų verslo modelį [2]. Nepaisant technologijų plėtros ir galimo plataus jų panaudojimo, žmogaus figūros 3D skenavimas mobiliosiomis programėlėmis ir jų pritaikymas tvarios mados sektoriuje išlieka mažai ištirtas. Todėl aktualu analizuoti 3D skenavimo technologijos galimybes bei panaudojimo mados versle efektyvumą.

Šio darbo tikslas – ištirti žmogaus figūros 3D skenavimo mobiliosiomis programėlėmis galimybes ir jų pritaikymą didinant mados verslo tvarumą.

Darbe išskelti šie uždaviniai:

1. Išanalizuoti žmogaus figūros avatara kūrimo principus ir jo panaudojimo galimybes.
2. Žmogaus figūros 3D skenavimo mobiliosiomis programėlėmis analizės pagrindu pasirinkti įrankį ir sudaryti figūros skenavimo metodiką.
3. Atlikti palyginamąjį žmogaus figūros 3D skenavimo mobiliosiomis programėlėmis tyrimą ir rezultatų analizę.
4. Pademonstruoti 3D avatarų pritaikymą virtualiam aprangos atvaizdavimui ir praktinę naudą vystant elektroninę prekybą ir tvarų verslą.

1. Teorinė dalis

Teorinėje dalyje pateikiama literatūros analizė apie skenavimo tipus ir jų pritaikymo galimybes. Aptariami pagrindiniai skenerių veikimo principai, kurie užtikrina patogų ir efektyvų 3D kūno skenavimą. Atskleidžiamas ir analizuojamas 3D kūno skenavimo technologijos pritaikymas įvairiose srityse bei aptariami 3D žmogaus figūros skenavimo iššūkiai. Daug dėmesio skiriama nemokamoms mobiliosioms programėlėms, leidžiančioms atlikti 3D kūno skenavimą bei kurti skaitmeninius avatus. Atliekama detali analizė, siekiant įvertinti šių programėlių funkcionalumą ir naudojimo patogumą.

1.1. 3D kūno skenavimas

3D žmogaus kūno skenavimas – tai technologija, leidžianti tiksliai užfiksuoti ir skaitmenizuoti žmogaus kūną, tiksliai atspindint jo formas ir matmenis [3, 4]. Šiam procesui naudojamos pažangios technologijos, skeneriai, kurie pasižymi skirtingais veikimo principais. Skenavimo procese pagrindiniai gaunami duomenys yra taškų debesis, kuris tinkamai apdorotas programine įranga gali tiksliai atkurti objekto geometrinę struktūrą. Taškų debesis yra duomenų rinkinys, kurio kiekvienas taškas turi vietą erdvėje, kurią nusako X, Y ir Z koordinatės. Duomenų apdorojimo metu yra sukuriamas poligonų tinklelis. Tinklelis yra sudarytas iš tarpusavyje sujungtų trikampių arba keturkampių, kurie sudaro objekto paviršių. Tinklelio geometrinės formos susidaro jungiant debesų taškus linijomis [5]. Taip sukuriamas vientisas skenuoto objekto paviršius. Sukurtam objektui vėlesniuose etapuose gali būti suteikiami efektai ir išgaunamas norimas rezultatas, pritaikomas įvairiose inžinerinėse, technologinėse ir kūrybinėse srityse.

1.1.1. 3D skenavimo sistemos

Rinkoje siūlomos įvairios 3D kūno skenavimo sistemos, kurios gali būti skirtingų dydžių ir skirtingų veikimo principų. Pagal dydį prietaisai gali būti skirstomi į stacionarius ir nešiojamus prietaisus, taip pat 3D kūno skenavimo įranga gali būti įdiegiama į išmanųjį telefoną, kaip mobilioji programėlė [6]. Skenavimo sistemos dydis gali priklausyti ir nuo veikimo principo. Pagrindiniai skenerių veikimo tipai – lazeriniai, koduotos šviesos ir fotogrametrijos – veikia pagal skirtingus principus [7, 8]. 3D skenavimo sistemų apžvalga remiantis moksliniais straipsniais pateikiame 1 lentelėje.

Lazerinis skenavimas yra vienas iš pažangiausių 3D skenavimo technologijų, kuris pasižymi auštu nuskaitymo tikslumu, siekia 0,05–0,1mm [8]. Ši sistema, žmogaus kūnui nuskaityti, naudoja lazerio spindulį ir optinės šviesos jutiklius. Veikimo principas pagrįstas lazerio spindulio šviesos atsispindėjimo trajektorija ir intensyvumu, o tai leidžia užfiksuoti tūkstančius ar net milijonus paviršiaus taškų, kuriuos apdorojus sukuriamas avatas. Ši sistema leidžia greitai skenuoti itin sudėtingus, nelygius paviršius, tačiau net minimalus skenuojamo objekto judėjimas gali sukelti netikslumų arba duomenų trūkumų. Visa tai labai sunkina ir ilgina skenavimo procesą, kai skenuojamas žmogaus kūnas. Taip pat ši sistema lyginant su kitomis yra itin brangi ir norint tinkamai ja naudotis reikalingos papildomos žinios bei speciali duomenų apdorojimo sistema [9].

Koduotos šviesos skenavimo sistemos, savo veikimu yra itin panašios į lazerinio veikimo skenerius, tačiau šiuo atveju naudojami koduotos šviesos raštai, kurie projektuojami ant žmogaus kūno. Taip pat šioje sistemoje naudojama kamera su sensoriumi, kurie trianguliacijos principu dalyvauja nustatant atstumą iki skenuojamo žmogaus kūno. Toks skenavimas užima itin mažai laiko nuo 2–12

sekundžių, o tikslumas siekia 1mm. Kitas privalumas, kad ši sistemos kaina yra mažesnė, nei lazerinė sistema. [7, 10]. Tačiau šie skeneriai yra itin jautrūs šviesai ir blizgiems paviršiams, todėl geriausia naudoti tamsoje. Taip pat skenavimo procesas lėtėja ir prastėja, kai skenuojamas objektas nėra stabilus ir turi daug smulkių detalių. Analizuojant žmogaus figūrą daugėja problematiškų (pažastys, plaštakos, pėdos ir pan.) sričių, kurioms reikia papildomų skenavimų [9].

Fotogrametrija yra 3D modelio sudarymo metodas, naudojantis nuotraukas ar filmuotą medžiagą, kuriuose pateikiamas kūno vaizdas iš įvairių kampų [10, 11]. Tai sistema, kurios veikimo principas pagrįstas kameros (ar kelių kamerų) fiksuojama medžiaga iš skirtingų pozicijų, o programinė įranga analizuoja šiuos vaizdus, siekdama nustatyti, kaip objektas atrodo iš visų pusių. Šis skenavimo būdas nereikalauja specialios įrangos, todėl yra daug pigesnis nei kiti būdai. Naudojamos įprastos kameros, todėl skenavimo procesas gali būti atliekamas ir lauke, ir viduje, nes įrangą galima lengvai transportuoti. O skenavimo tikslumas gali siekti 1–2mm, bet tai itin priklauso nuo turimo įrenginio ir gautų nuotraukų/filmuotos medžiagos kokybės [8].

1 lentelė. Skenavimo sistemų apžvalga [6 – 11]

Skenerio tipas	Veikimo principas	Tikslumas	Jautrumas	Greitis	Kaina	Panaudojimo sritys
Lazerinis	Plonos lazerio šviesos juostos	Labai tikslus (+/- 0,05mm)	Jautrus šviesą atspindintiems paviršiams	Vidutinis-greitas	Aukšta (>5000 Eur.)	Architektūra, ortopedija, chirurgija, pramonė (didelis paviršių ir parametrų tikslumas)
Kuoduotos šviesos	Koduotos šviesos srautai ir jų deformacijas	Tikslus (+/- 0,5mm)	Jautrus ryškiai šviesai	Greitas	Vidutinė (500-5000 Eur.)	Sportas ir sveika, mados pramonė, didesnių objektų skenavimas (baldai, detalės, kūno dalys)
Fotometrini	Kūno nuotraukos ar filmuota medžiaga	Priklauso nuo vaizdo kokybės, gali siekti 1–2 mm	Jautrus šešėliams, nekontrastingiems vaizdams	Vidutinis	Žema (<500 Eur.)	Mados pramonė, sportas ir sveikata (mažo biudžeto skenavimas)

1.2. 3D kūno skenavimo technologijos pritaikymas

3D kūno skenavimo technologijoms būdingas universalumas, todėl jos gali būti pritaikomos įvairiose srityse. Reikia paminėti, kad jos vis plačiau panaudojamos įvairiose pramonės šakose, pradedant nuo mados, kompiuterinių žaidimų kūrimo ir baigiant specialių panaudojimų sportininkams, kariams ar specialių poreikių turintiems žmonėms. Šios technologijos leidžia tiksliai ir greitai fiksuoti žmogaus kūno matmenis bei formas ir sukurti jiems individualizuotus produktus. 3D skenavimas padeda optimizuoti gamybos procesus, pagerinti produkto kokybę bei tikslumą, užtikrinti, kad kiekvienas produktas būtų pritaikytas pagal vartotojo poreikius ir individualizuotas [12].

1.2.1. Kompiuterinių žaidimų pramonė

Kompiuterinių žaidimų pramonė yra inovatyvi ir sparčiai tobulėjanti, vis ieškanti naujų sprendimų, kurie galėtų padėti tobulinti žaidimų kūrimo procesą ir sukurti vartotojams vis realistiškesnę grafiką. Inovatyvios 3D skenavimo technologijos yra puiki priemonė fiksuoti tikslų žmogaus kūną ir jo

judesius bei integruoti jį į žaidimo erdvę. Vienas iš svarbiausių avatara panaudojimo būdų žaidimuose yra personažo kūrimas ir jų animavimas. Žaidimų kūrėjai gali tiksliai fiksuoti įvairius judesius: nuo lengviausių iki sudėtingiausių kombinacijų. O visą tai perkėlus į skaitmeninę erdvę, leidžia sukurti žaidimų personažus, kurie juda itin natūraliai, tikroviškai. Realistiškas žaidimo atvaizdavimas didina žaidėjų įsitraukimą ir susidomėjimą, todėl žaidimas tampa kokybiškas ir patrauklesnis vartotojui [13].

Dar vienas privalumas, kurį žaidimams suteikia 3D kūno skenavimo technologijos, yra personalizavimo galimybės. Žaidėjai gali susikurti personažus panašius į juos: tikroviškai atkartoti veido bruožus, kūno formas ir kitas asmeniui būdingas ypatybes. Tokiu būdu žaidėjas labiau susitapatina su personažu ir valdo avatarą, kuris vizualiai panašus į jį. Tai skatina žmonių norą žaisti ir įsitraukti į žaidimo pasaulį ir perkelia žaidimo grafinį atvaizdavimą į aukštesnį lygį [14].

1.2.2. Mados pramonė

3D kūno skenavimo technologija vis labiau populiarėja mados pramonėje, ypač siekiant pagerinti vartotojų apsipirkimo patirtis ir pritaikyti drabužius pagal vartotojų individualius matmenis. 3D skenavimas suteikia galimybę kurti virtualias matavimosi platformas, kurios leidžia vartotojams įvertinti kaip atrodo drabužiai ant jų figūros [15]. Virtualus primatavimas leidžia vartotojams išbandyti įvairius skirtingus drabužius ir susikurti asmeninį stilių ar išbandyti naujus [16]. Taip pat 3D technologija leidžia efektyviai išmatuoti kūno formas, o naudojant šiuos duomenis kurti patogesnius ir labiau atitinkančius kūno formas drabužius. Tai naudinga kuriant dydžių sistemas, kurios geriau atitinka vartotojų kūno formas ir yra itin aktualios masiškai gaminant drabužius [17].

1.2.3. Sporto sritis

3D kūno skenavimo technologija tampa nepakeičiama priemone profesionaliame sporte. Ši technologija suteikia galimybę tiksliai analizuoti sportininkų kūno parametrus, nes padeda pagerinti treniruočių metodus bei individualizuoti pasiruošimo programas. Parengus 3D skenuotą modelį galima lengvai ir patogiai išmatuoti ir kaupti duomenis apie kūno parametrus, kurių svarba kiekvienai sporto šakai yra skirtinga [18]. 3D kūno skenavimo technologijos taip pat gali būti pritaikomos tokios sporto šakose kaip gimnastika, dailusis čiuožimas ir slidinėjimas. 3D skenavimo technologijos leidžia optimizuoti sportininkų specialių judesių padėtis ir gerinti jų atlikimą. Taip pat taikant 3D technologijas galima analizuoti aprangos aerodinamines savybes, kurios itin svarbios siekiant kuo greičiau atlikti judesius [19].

1.2.4. Krašto apsaugos specialistų apranga ir ekipuotė

3D kūno skenavimas tampa itin reikšmingas kuriant specialią aprangą kariuomenės ir kašto apsaugos specialistams. Tokia apranga turi užtikrinti maksimalų komfortą ir funkcionalumą atliekant įvairias, dažnai sudėtingas užduotis. Karių aprangos pritaikymas – tai ne tik tinkamo dydžio pasirinkimas, bet ir užtikrinimas, kad apranga neapsunkintų judesių bei užtikrintų reikiamą tikslumą ir veiksmų efektyvumą. Kadangi karinės pajėgos sudarytos iš įvairių sričių specialistų, kurie atlieka skirtingas funkcijas, o tai lemia jų kūno formų įvairovę, todėl tradicinės drabužių dydžių lentelės ne visada atitinka karių poreikius. 3D technologijos gali būti panaudotos kaip greitas ir efektyvus būdas surinkti skirtingų kūnų parametrų duomenis, pagal kuriuos galima pakoreguoti specialios aprangos dydžių lenteles bei parengti rekomendacijas kaip pritaikyti aprangą, kad ji užtikrintų karių judėjimo laisvę ir komfortą [20 – 22].

Kita itin svarbi kario aprangos dali – taktinė neperšaunama liemenė, kurios pagrindinė paskirtis apsaugoti kario, pareigūno gyvybę. Liemenės neatitikimas figūrai gali nulemti įvairius sudėtingus kūno sužalojimus ar net mirtį. Vienas pagrindinių taktinių neperšaunamų liemenių trūkumų vyrams yra standartizuotas dydžių modelis, kuris ne visada užtikrina gerą prigludimą, ypač esant skirtingoms kūno formoms ir proporcijoms [23]. Tas pats pasakytina ir apie moterų, karių ar pareigūnių, taktines neperšaunamas liemenes. Jos kuriamos pagal vyrišką kūno anatomiją, todėl dažnai yra per plačios arba spaudžia krūtinės sritį taip sukurdamos diskomfortą ir sunkumą kvėpuoti. Be to, liemenės gali nepakankamai apsaugoti dėl tuščios ertmės tarp liemenės ir kūno. Tai gali sukelti papildomų pavojų moterų saugumui kovinėse situacijose [24]. Taigi, 3D kūno skenavimo technologijos yra naudojamos norint pagerinti taktinių liemenių dizainą, analizuojant skirtingų tipų figūras, siekiant optimizuoti jų pritaikomumą tiek vyrams, tiek moterims.

1.2.5. Medicinos sritis

3D kūno skenavimo technologijos yra tikslios, patikimos ir nekenksmingos, todėl gali būti pritaikomos medicinoje. Dažniausiai 3D technologijos naudojamos protezavimui. Skenavimo procesas gali suteikti tikslią amputuotos galūnės antropogeninę analizę bei nustatyti protezo atitikimą /virtualioje erdvėje. Tai leidžia pacientui sukurti itin tikslų protezą, kuris puikiai tiktų jam, taip sutaupant lėšas, laiką ir išteklius [25]. 3D kūno skenavimas gali būti naudojamas kūno simetrijai ir asimetrijai nustatyti bei stebėti pokytį per tam tikrą laiką. Tai svarbu diagnozuojant ir gydant tam tikras ligas, pavyzdžiui, stuburo deformaciją. Tai leidžia lengviau pastebėti pokyčius gydymo metu ir nuspręsti ar gydymas veiksmingas [26]. Taip pat 3D kūno skenavimas siūlo pažangias galimybes tiksliau vertinti pilvo riebalų pasiskirstymą, o tai leidžia gauti žymiai tikslesnius rezultatus, palyginti su tradiciniais matavimo metodais, tokiais kaip matavimas juostele. Naudojant šią technologiją, nustatoma daugiau pilvo nutukimo atvejų, nes ji leidžia detaliau analizuoti kūno formas ir riebalų pasiskirstymo ypatumus. Tai leidžia ne tik tiksliau diagnozuoti nutukimą, bet ir veiksmingiau identifikuoti su juo susijusias ligas ankstyvoje stadijoje. Tai ypač svarbu, nes pilvo nutukimas yra tiesiogiai susijęs su daugybe ligų, tokių kaip padidėjęs kraujospūdis, pakilęs gliukozės kiekis kraujyje, širdies bei kraujagyslių ligos. Didelis matavimų tikslumas suteikia galimybę laiku imtis personalizuotų priemonių, kurios pagerina diagnostikos ir ligų prevencijos procesus bei didina gydymo efektyvumą [27]. 3D kūno skenavimams gali būti pritaikomos estetinėje ir rekonstrukcinėje chirurgijoje, kai norma tiksliai įvertinti kūno kontūro pokyčius bei pasiruošti operacijai. Ši technologija itin naudinga norint stebėti minimalius išorinius pokyčius. Naudojantis aukšto tikslumo lazeriais, galima stebėti odos pokyčius, apžiūrėti apgamus [28].

1.3. 3D žmogaus figūros skenavimo iššūkiai

3D žmogaus figūros skenavimo iššūkiai kyla dėl poreikio užtikrinti tikslumą, greitį ir kokybę, susiduriant su sudėtingomis kūno formomis, judesiu ir aplinkos sąlygomis. Iššūkiu tampa didelių duomenų apdorojimas ir 3D technologijų pritaikymas, siekiant paprasto naudojimo, kuris neturėtų poveikio vartotojams.

1.3.1. Nesklandumai skenavimo procese

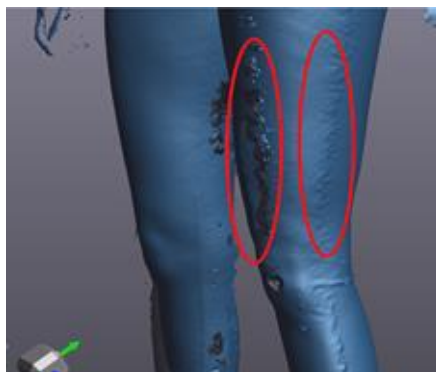
Lazerinio ir koduotos šviesos veikimo skenavimo būdas naudojamas žmogaus kūnui skenuoti pasižymi dideliu tikslumu, tačiau susiduria su trūkumais, ribojančiais jo panaudojimą. Lazerinis skenavimas yra jautrus judesiams, todėl bet koks objekto judėjimas gali sukelti reikšmingų klaidų

[29]. Taip pat pažymimas jautrumas paviršiaus ypatybėms, todėl negalima skenuoti šviesą atspindinčių ar skaidrių bei juodų paviršių. Šių elementų atsiradimas skenuojamuose kūnuose gali lemti duomenų netikslumus ir vaizdo iškreipimus [30]. Dar vienas trūkumas yra didelė įrangos kaina ir sudėtingumas, nes, norint atlikti skenavimo procesą, reikalinga papildoma įranga ir išmanyti patį procesą. Visa tai gali kelti iššūkius mažo biudžeto projektams [31]. Skenavimo proceso trukmė kelia nemažai iššūkių, nes ji stipriai priklauso nuo skenavimą atliekančio asmens įgūdžių ir patirties. Jei asmuo nėra gerai susipažinęs su skenavimo technika arba 3D skenavimo įrangą naudoja retai, procesas gali užtrukti žymiai ilgiau. O skenuojant didesnius objektus, gali kilti papildomų techninių problemų, pavyzdžiui, poreikis suskaidyti objektą į mažesnes dalis ir užtikrinti tikslumą sujungiant gautus duomenis. Visa tai ne tik prailgina procesą, bet ir didina netikslumų riziką, kas ypač aktualu, kai siekiama aukštos kokybės ir rezultatų.

Aptariant profesionalius lazerinius skenerius, pavyzdžiui, „Creaform HandySCAN 3D 700“, proceso greitis ir kokybė priklauso nuo kūno dydžio ir pasiruošimo skenuoti. Kaip matyti iš 1 paveikslėlio (žr. 1 pav.), kūno modelis turi netikslumų (artefaktų), nes kai kurie kūno modelio paviršiai yra neužbaigti. Šiuo skeneriu nuskaityti objektai turi didelį tikslumą, tačiau skenuojant žmogaus kūną labai svarbus skenuojamo kūno stabilumas – net ir nedideli judesiai gali sukelti kūno modelio defektų. Skenavimui reikalinga speciali apranga. Ji turi būti prigludusi, lygiu paviršiumi, be raštų. Taip pat reikia vengti juodos spalvos, geriausia naudoti šviesią. Skenuojamas kūnas turi būti pažymėtas informaciniais lipdukais. Tai reikia atlikti rankiniu būdu, todėl tai užima daug laiko. Per visą skenavimo procesą (apie 6–10 min.) skenuojamas objektas negali judėti. Kaip parodė eksperimentas, skenavimo proceso metu labai sunku sulaikyti kūną nuo judesių. Nustatyta, kad kūno dalys labiausiai juda per sąnarius ir sukuria skenavimo artefaktus 3D kūno avatare (žr. 2 pav.). Ypač sunku skenuoti rankas, kurios skenavimo metu neprilaikomos, nes rankos turi daug smulkių sąnarių [32].



1 pav. Skenuotas kūnas su „Creaform HandySCAN 3D 700“ skeneriu [32]



2 pav. Skenavimo artefaktų pavyzdys [32]

Fotometriniai skeneriai dažnai susiduria su panašiomis problemomis kaip ir lazerinio, ir koduotos šviesos veikimo skeneriai. Šie skeneriai yra jautrūs blogai apšviestiems, blizgiems paviršiams. Tai sukuria atspindžius ar šešėlius, kurie iškraipo duomenis. Taip pat šiais skeneriais sunku skenuoti objektus su smulkiomis detalėmis. O svarbiausias avataro kokybės aspektas yra nuotraukų ar vaizdo įrašų raiška, kuri tiesiogiai priklauso nuo įrenginio, kuriuo fiksuojamas vaizdas.

1.3.2. Psichologinis poveikis

3D kūno skenavimo procese susiduriama ne tik su technologinėmis problemomis, bet pats procesas keičia ir sukuria dviprasmiškas mintis žmogui apie savo kūną. Žmonės, žiūrėdami į savo avatus, apibūdina savo kūną daug nuosekliau, ypač išryškindami savo kūno trūkumus, netobulumus, kurie retai pastebimi 2D vaizduose. Tai atskleidžia, kad 3D skenavimo technologijos ne tik kuria avatus su tiksliais parametrais ir plačiu panaudojimu, tačiau ir labai dažnai atskleidžia kritišką požiūrį į kūno vaizdą. Visa tai turi psichologinį poveikį, kuris gali stipriai paveikti žmogaus pasitikėjimą savimi ir iškreipti kūno suvokimą. 3D skenavimo technologijos sukuria naują būdą, žmogui susipažinti su savo kūnu ir jį tyrinėti iš įvairių perspektyvų. Manoma, kas šių technologijų populiarėjimas gali turėti ilgalaikį psichologinį poveikį, kurį dar sunku nuspėti [33, 34].

Kitas itin svarbus aspektas yra susijęs su avatūrų redagavimu ir idealizavimu. Avataurai gali būti generuojami jiems pritaikant nerealistinius grožio standartus, menamai pagerinant jų išvaizdos savybes, tokias kaip: veido bruožai, kūno proporcijos ir t.t. Šios redagavimo priemonės gali iškreipti žmogaus suvokimą į realistišką kūną, taip visiškai iškreipti kūno suvokimą ir sukelti neigiamą poveikį žmogaus psichologijai. Tai skatina nerimą ir mažina pasitikėjimą savimi, nes siekiama atrodyti kaip nerealus idealizuotas skaitmeninis avatauras [35].

1.3.3. Integracijos ir tolimesnio panaudojimo sudėtingumas

Avatūrų, sukurtų naudojant 3D skenavimą, tolesnis panaudojimas susiduria su įvairiais iššūkiais, nepriklausomai nuo skenavimo technologijos tipo. Viena pagrindinių problemų yra konvertavimo galimybės išlaikant tikslumą ir detalumą, kai avataurai perkeliama į skirtingas platformas. Nors profesionalios skenavimo priemonės dažnai turi funkciją konvertuoti failus į įvairius formatus, tačiau daugelis mobiliųjų programėlių nepalaiko 3D avatūrų eksportavimo į kitas platformas, o tai itin apriboja galimybes naudoti avatus skirtingose programinėse įrangose. Kitas iššūkis yra detalių avatūrų atvaizdavimas ir tikroviškų judesių atkūrimas. Šis procesas reikalauja laiko ir didelių

kompiuterio išteklių. Todėl norint apdoroti sukurtus avatarus, reikia atkreipti dėmesį į turimos įrangos galimybes, kad nebūtų prarasta kokybė ir tikslumas. Kitas itin svarbus aspektas yra privatumo ir duomenų apsaugos klausimas. Dažnai avataurai kuriami pagal pasirinktus asmenų kūnus, kurie gali atskleisti informaciją apie žmogaus kūno biometrinius duomenis. Tokie duomenys gali būti panaudoti asmens identifikavimo tikslais ir atskleisti itin daug informacijos apie konkretų asmenį. Todėl itin svarbu apsaugoti jautrius duomenis ir užtikrinti asmens privatumą, ypač jei kalbama apie avatarų panaudojimą plačiajai visuomenei prieinamose platformose.

1.4. 3D kūno skenavimas mobiliosiomis programėlėmis

3D kūno skenavimas mobiliosiomis programėlėmis leidžia nuskenuoti kūną ir sukurti tikslus 3D avatarus be jokių papildomų įrenginių – pakanka tik išmaniojo telefono. Tai itin paprasta 3D kūno skenavimo priemonė, kuria gali naudotis daugelis žmonių be specialaus pasirengimo. Šiomis programėlėmis kuriami avataurai gali būti itin vertingi mados pramonei, nes suteikia galimybę virtualiai matuoti ir primatuoti drabužius, tiksliai pritaikyti aprangą pagal individualius kūno matmenis ir kurti asmeniškai pritaikytus pirkėjų sprendimus. Virtualus aprangos pritaikymas prisideda prie tvarumo, mažinant drabužių grąžinimo poreikį bei perteklinių gaminių gamybą, taip sumažinant išteklių švaistymą ir ekologinį pėdsaką. O visa tai padeda gerinti ne tik vartotojo patirtį, bet ir optimizuoti gamybos bei pardavimo procesus. Be to, tokios programėlės gali būti naudojamos ir kitose specializuotose srityse, kurios buvo aptariamose 1.2 skyriuje.

1.4.1. Mobilųjų programėlių apžvalga ir atranka

3D kūno skenavimo programėlių apžvalgai buvo pasirinktos nemokamos arba nemokamą bandomąją versiją turinčias programėles. Nemokamos programėlės yra skirtos visiems vartotojams, jomis gali naudotis tiek individualūs vartotojai, tiek įmonės be didelių investicijų. Programėlės yra puiki alternatyva mokamiems ir brangiems skenavimo prietaisams ir jų sistemoms. Nemokamos programėlės suteikia galimybę vartotojams išbandyti jų funkcionalumą bei skatina didesnę susidomėjimą inovatyviomis technologijomis. Įmonės gali išbandyti 3D modelio skenavimo ypatumus prieš įsigyjant mokamą versiją arba papildomą įrangą. Tai padeda sutaupyti ir pasirinkti tinkamiausią produktą tolimesniam naudojimui. Be to, nemokamos programėlės dažnai kuriamos taip, kad būtų kuo paprastesnės ir lengviau suprantamos, todėl nereikia papildomų mokymų, specialiųjų žinių ar papildomų priemonių. Nemokamos programėlės dėl didelių vartotojų srautų, gauna daugiau įvertinimų, kurie kūrėjams leidžia greičiau nustatyti trūkumus ir atnaujinti mobiliąsias programėles. Tokiu būdu kuriama geresnė patirtis ir komunikacija su vartotojais.

Programėlės nebuvo renkamos pagal reitingus ar atsiliepimus, pateiktus programėlių elektroninėse parduotuvėse, tokiose kaip „Google Play“ ir „iOS App Store“. Šiose platformose reitingai formuojami vertinant įvairius aspektus, tokius kaip techninis programėlių veikimas, naudojimo dažnumas bei reguliarius programėlių atnaujinimas. Tačiau svarbiausias reitingų sudarymo aspektas – vartotojų pateikta nuomonė, kuri gali būti subjektyvi bei iškreipti bendrą vertinimą. Vartotojo vertinimas taip pat gali būti melagingas ar atsitiktinai paliktas bei priklausyti nuo įrenginio (telefono) techninių parametrų, vartotojo lūkesčių, programėlės instrukcijos laikymosi ir kt. Todėl svarbiausiu programėlių atrankos šaltiniu pasirinkti mokslininkų tyrimai ir internetiniuose portaluose patalpinti straipsniai, taip pat analizuojama programėlių kūrėjų puslapiuose pateikta informacija. Atliekant analizę buvo remtasi mokslininkų tyrimais, pateiktais žurnale „*The Journal of The Textile Institute*“,

kurie nagrinėja mobiliųjų 3D kūno skenavimo programėlių pritaikymą drabužių pramonėje [36], bei Lidso universiteto tyrėjų straipsniu, analizuojančiu 3D kūno skenavimo programėlių galimybes ir naudojimo sritis [37].

Pagrindiniai programėlių atrankos kriterijai buvo šie:

- Prieinamumas (nemokama ar nemokama bandomoji versija);
- Kūno matmenų nuskaitymas ir pateikimas;
- 3D avatara generavimas;
- Drabužių dydžio rekomendacijos;
- Duomenų apdorojimo tipai.

Taip pat atsirenkant programėles skirtas dėmesys programėlės prisijungimo ir naudojimo paprastumui. Pasirinktos programėlės, kurias paprasta įdiegti bei jose lengva naviguoti. Dėmesys skiriamas programėlių pritaikymo sričiai, skenavimo trukmei ir tikslumui. Pasirinktos programėlės ir jų analizė pateikta 2 lentelėje.

2 lentelė. Pasirinktų mobiliųjų programėlių palyginamoji analizė [36, 37]

Mobilioji programėlė	Technologija (Fotometrija)		Kaina, Eur	Skenavimo trukmė, min	Tikslumas	Pritaikymo sritis
	Kūno fiksavimo vaizdas	Papildomos priemonės				
Nettelo [38]	Nuotraukos (priekio ir profilio vaizdas)	Kūno matmenų duomenų bazė	Nemokama	5	+/- 1–2cm	Kūno formų analizė
TrueToForm [39]	360° video (juosmens ir viso kūno)	Nenaudoja	Nemokama	10	+/- 2cm	Drabužių dydžių nustatymas
3D avatar body	Nuotraukos (priekio ir profilio vaizdas)	DI technologija	Nemokama	4	+/- 1cm	Kūno formų analizė
MirrorSize [40]	Nuotraukos (priekio ir profilio vaizdas)	Šviesos analizė	Nemokama	7	+/- 1cm	Drabužių dydžių nustatymas
Size Stream Mobile Fit	Nuotraukos (priekio ir profilio vaizdas)	Kūno matmenų duomenų bazė	Bandoma versija nemokama	5	+/- 1–2cm	Profesionali kūno analizė
3DLook [41]	Nuotraukos (priekio ir profilio vaizdas)	DI technologija	Bandoma versija nemokama	4	+/- 1cm	Drabužių dydžių nustatymas

Pasirinktos šešios programėlės tolimesnei analizei ir testavimui. Literatūros analizės metu pastebėta, kad mobiliosios programėlės duomenų analizei gali naudoti skirtingas papildomas priemones, kurios padeda tiksliai nustatyti kūno parametrus ir sukurti kuo realistiškesnį 3D kūno modelį. Pastebėjus ši programėlių skirtumą buvo stengtasi pasirinkti kuo skirtingesnio veikimo principo programėles, kad būtų išanalizuotas kuo didesnė mobiliųjų programėlių įvairovė.

2. Tiriamoji dalis

Eksperimento metu siekiama įvertinti, kaip kokybiškai mobiliosios programėlės generuoja avatus ir atkuria realius žmogaus kūno matmenis. Tyrimas atliekamas dviem etapais. Pirmiausia atrenkamos programėlės pagal atrankos kriterijus: ar programėlė sugeba sugeneruoti avatarą ir pateikti jo matmenis. Antrojo etapo metu pasirinkta figūra skenuojama panaudojant mobiliąsias programėles. Kiekviena programėle figūra nuskenuojama 3–5 kartus. Sugeneruoti avatai ir jų matmenys lyginami su tikraisiais kūno matmenimis, norit išnagrinėti avatara ir realios figūros atitikimą.

2.1. Mobiliųjų programėlių analizė

Pasirinktos programėlės testuojamos ar pateikta informacija moksliniuose straipsniuose ir programėlių kūrėjų puslapiuose yra teisinga. Buvo siekiama išsiaiškinti ar programėlės gali sugeneruoti avatarą ir pateikti jo vaizdą bei matmenis, kaip teigiama programėlių aprašymuose. Atliekama abstrakti programėlių analizė, kuri apėmė svarbiausius skenavimo aspektus: kameros tipą, skenuojamo kūno pozą ir trukmę. Svarbiausiu analizės aspektu pasirinktas sukuriamas avatara ir jame atvaizduojami kūno matmenys. Pagal tai, ar avatara ir jo matmenys sugeneruojami, nuspręsta ar tėti programėlių analizę ir vykdyti tolimesnę tyrimą. Skenavimo proceso ypatumai ir rezultatai, gauti analizuojant skirtingas mobiliąsias programėles pateikti 3 lentelėje. Po pirminės analizės buvo atmesta tik viena programėlė, kurios pavadinimas – „Size Stream Mobile Fit“. Toks sprendimas pasirinktas, nes ši programėlė nesugeneruoja 3D kūno modelio ir nenustato jo parametrų be autorizuoto įmonių/asmenų prisijungimo, kuris yra mokamas.

3 lentelė. Skenavimo mobiliosiomis programėlėmis proceso ypatumai

Mobilioji programėlė	Kameros tipas	Skenuojama kūno poza	Trukmė; min	Rezultatai
Nettelo	Priekinė	Figūros priekio vaizdas	3	Gautas avatara ir jo matmenys
TrueToForm	Priekinė	Torso 360° sukimasis Pilno kūno 360° sukimasis	5	Gautas avatara ir jo matmenys
MirrorSize	Priekinė	Figūros priekio ir profilio vaizdas	5	Gautas avatara ir jo matmenys
3D avatar body	Galinė	Figūros priekio ir profilio vaizdas	5	Gautas avatara ir jo matmenys
3DLook	Priekinė	Figūros priekio ir profilio vaizdas	2	Gautas avatara ir jo matmenys
Size Stream Mobile Fit	-	-	-	Mokama, reikalingas autorizuotas prisijungimas

Tėtiama penkių programėlių analizė, kurios metu stengiamasi kuo detaliau išanalizuoti pasiruošimo skenavimui aspektus, tokius kaip: aprangos, erdvės ir kameros ypatumus. Analizė pateikta 4 lentelėje. Šios analizės pagrindu bus sudaryta bendrinė metodika kūno skenavimo procesui naudojant mobiliąsias programėles.

4 lentelė. Pasiruošimo skenavimo procesui analizė

Programėlės pavadinimas	Apranga	Telefono paruošimas	Kameros aukštis	Kūno atstumas nuo kameros	Erdvės paruošimas
Nettelo	Dėvėti prigludusius drabužius Nusiauti batus Aukštai susirišti plaukus	Telefoną įvirtintini ar padėti ant horizontalaus paviršiaus statmenai	Klubų ar juosmens aukštyje	1,5–2,5 m (kameros diapazone turi tilpti visas kūnas)	-
TrueToForm	Dėvėti prigludusius drabužius Nusiauti batus, Aukštai susirišti plaukus	Telefoną įvirtintini ar padėti ant horizontalaus paviršiaus	klubų aukštyje	-	-
MirrorSize	Dėvėti prigludusius drabužius Nusiauti batus Aukštai susirišti plaukus	Telefoną įvirtintini ar padėti ant horizontalaus paviršiaus	0,9–1 m aukštyje nuo žemės	1,5–1,8 m (kameros diapazone turi tilpti visas kūnas)	-
3D avatar body	Dėvėti prigludusius drabužius, Nusiauti batus Nusiimti aksesuarus Aukštai susirišti plaukus	Fotografuoja kitas asmuo	-	-	Erdvė be daiktų, tuščia, naudoti dirbtinę šviesą
3DLook	Dėvėti prigludusius drabužius Nusiauti batus arba avėti plokščiapadžius batus Nusiimti aksesuarus Aukštai susirišti plaukus	Telefoną įvirtintini ar padėti ant horizontalaus paviršiaus, pvz.: stalo	-	3–4 žingsniai nuo kameros	-

2.2. Avatarų generavimas ir jų palyginamoji analizė

Eksperimento metu analizuojamos penkios mobiliosios programėlės, kurios buvo aprašytos 1.4.1. ir 2.1 skyriuose ir atliekamas pasirinkto modelio skenavimas. Figūra skenuojama penkis kartus, o jei programėlė neturi tokios galimybės imtis sumažinama iki trijų kartų. Gauti duomenys lyginami su skenuojamos žmogaus figūros parametrais, kurie nustatyti pagal standarto reikalavimus.

2.2.1. Figūros pasirinkimas

Skenavimui parinkta moteriška figūra, kurios pagrindiniai parametrai:

- Ūgis – 170 cm;
- Krūtinės apimtis – 90,7 cm;
- Liemens apimtis – 74,3 cm;
- Klubų apimtis – 94,7 cm.

Detalesnis figūros išmatavimas atliekamas pagal ISO 8559-1:2017 standartą, o gauti matmenys pateikiami 1 priede.

2.2.2. Pasirengimas eksperimentui

Pagal išanalizuotus mobiliųjų programėlių skenavimo procesus parengtos rekomendacijos figūros skenavimo pasiruošimui, kurios susideda iš keturių etapų: apranga, kameros paruošimas, figūros padėtis ir erdvė. Šios rekomendacijos pateiktos 3 paveiksle. Tai leidžia sklandžiau pasiruošti procesui ir išvengti sunkumų skenavimo procese.

Apranga

- Prigludę drabužiai
- Auštai surišti plaukai
- Be batų
- Be aksesuarų

Kameros paruošimas

- Telefonų įtvirtinimas į reguliuojamą stovą, aukštis reguliuojams pagal poreikį
- Telefonas turi būti įtvirtintas statmenai grindų atžvilgiu

Erdvė

- Dirbtinis šviesos šaltinis
- Pasirinkta erdvė tuščia, tinkamiausias vienos spalvos fonas

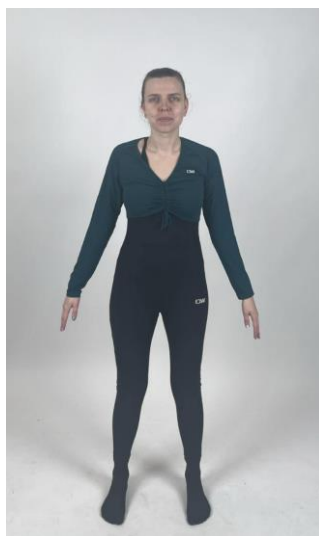
Figūros padėtis

- Laikytis atstumo nuo sienos ar kito paviršiaus

3 pav. Rekomendacijos eksperimento pasiruošimui

2.2.3. 3D avatarų kūrimo procesas

Skenavimo procesui pasirinkta sportinė prigludusi apranga, figūros vaizdas su parinkta apranga pateikiamas 4 paveiksle. Tačiau buvo pastebėta, kad viršutinės palaidinės priekinė dalis ne itin priglunda ir tai gali iškreipti avatara duomenis, todėl buvo nuspręsta pasirinkti sportinį prigludusį kombinezoną ir nesluoksniuoti drabužių. Galutinis aprangos pasirinkimas matomas 5 pav.



4 pav. Figūros vaizdas su skenavimo procesui skirta apranga



5 pav. Galutinis figūros vaizdas su pasirinkta apranga

Kamera buvo įtvirtinama į specialų telefono laikiklį, taip užtikrinant telefono kameros tinkamą padėtį ir išvengiant kameros judėjimo. Telefonas išlieka stabilus ir nepakeitęs padėties viso proceso metu. Telefono įvirtinimas matomas 4 pav.

Norint išvengti nereikalingų objektų skenavimo aplinkoje buvo pasirinktas baltas fonas, be jokių papildomų elementų, o skenavimo erdvė apšviesta dirbtine šviesa, kad nesusidarytų šešėliai ir apšvietimo ryškumas nekistų viso eksperimento metu. Naudotos 2 NANLITE FS-150 LED apšvietimo lempos su šviesos difuzoriais. Paruošta erdvė matoma 4 pav.







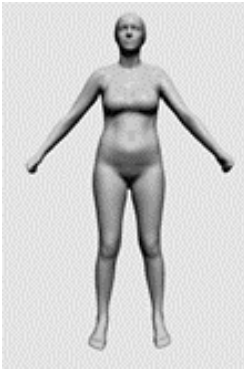

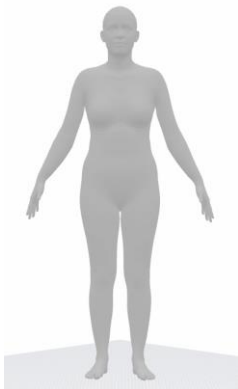
2.3. Rezultatų analizė

Atlikus mobiliųjų programėlių analizę ir eksperimentinį tyrimą, buvo ištirti avatara generavimo principai bei įvertinta gauto vaizdo kokybė. Taip pat atlikta išsami avatara matmenų analizė, lyginant faktinius modelio kūno matmenis su eksperimentiniais avatara matmenis. Tyrimo metu nustatytos papildomos programėlių funkcionalumo galimybės, tokios kaip avatara skirtingų matmenų pateikimo skaičius, nemokamų skenavimų limitas bei avatara atsisiuntimo galimybė.

2.3.1. Avatara generavimas

Eksperimento metu nustatyta, kad visos penkios programėlės sugeneruoja avatara, kurio vaizdas yra pateikiamas mobiliuojuose programėliuose ar internetinėje svetainėje. Gauti avatara proporcingi, tačiau kai kurių avatara galvos vaizdas deformuotas ir nerealistiškas. Taip pat „3D avatara body“ mobiliuojuose programėliuose sunkiai ir nerealistiška atvaizduoja delnus, jie neturi pirštų, vaizduojami kaip kumščiai. Todėl iškreipti avatara galūnių vaizdai neleidžia tinkamai primatuoti kepurėlių ir pirštinių bei kitų aksesuarų. Tačiau tai visiškai neturi įtakos norint virtualiai primatuoti kitus drabužius. Gautų avatara vaizdai, sugeneruoti skirtingomis programėlėmis, pateikti 5 lentelėje.

5 lentelė. Gautų avatarų vaizdai

Priekio vaizdas	Profilio vaizdas	Priekio vaizdas	Profilio vaizdas
Nettelo		MirrorSize	
			
TrueToForm		3D avatar body	
			
3DLook			
Priekio vaizdas			
			

2.3.2. Avatarų kūno matmenys

„TrueToForm“ mobilioji programėlė suteikia galimybę sukurti 5 skirtingus avatus ir jų vaizdą apžiūrėti internetinėje svetainėje, tačiau nemokama versija pateikia tik vieno avataro penkis

matmenis, kurie pateikti 6 lentelėje. Norint gauti avatarų matmenis reikalingas 40 eurų mėnesinis mokestis, o norint parsisiųsti avatarus – 100 Eur/mėn. Kadangi ši mobilioji programėlė suteikia tik penkis avataro matmenis, negalima daryti detalesnių išvadų.

6 lentelė. „TrueToForm“ programėle gauti duomenis

Matmens pavadinimas	Vertė
Krūtinės apimtis (<i>bust</i>)	96,01 cm
Liemens apimtis (<i>waist</i>)	88,77 cm
Klubų apimtis (<i>hip</i>)	97,03 cm
Ūgis (<i>body height</i>)	170,18 cm
Svoris (<i>weight</i>)	60,78 kg

Atlikus „TrueToForm“ programėlės gautų matmenų palyginamąją analizę (žr. 7 lentelę) pastebėta, kad eksperimentiniai ir faktiniai duomenys yra pakankamai artimi, o tikslumo rodikliai svyruoja nuo 81,32 % iki 99,89 %. Tačiau reikia paminėti, kad „TrueToForm“ programėlės analizė remiasi tik penkiais matavimo duomenimis iš vieno avataro, o tai yra per mažas duomenų kiekis, kad būtų galima padaryti statistiškai pagrįstas ir apibendrintas išvadas. Mažas duomenų ir matmenų skaičius neleidžia įvertinti avataro tikslumo ir duomenų sklaidos. Sunku įvertinti neatitikimus ir paklaidas, kas gali turėti įtakos rezultatams. Taigi, dabartiniais rezultatais galima remtis tik kaip preliminarina analize, tačiau jie nėra pakankami galutinėms išvadoms daryti. Todėl galime šią programėlę priskirti mokamų programėlių kategorijai, nes nemokama versija suteikia itin mažai duomenų.

7 lentelė. „TrueToForm“ palyginamoji analizė

Matmens pavadinimas	Vidurkis (eksperimentinis)	Vidurkis (faktinis)	Skirtumas	Vidutinė kvadratinė paklaida	Santykinė paklaida	Tikslumas
Krūtinės apimtis (<i>bust</i>)	96,01 cm	90,7 cm	5,31 cm	28,20	5,85 %	94,15 %
Liemens apimtis (<i>waist</i>)	88,77 cm	74,8 cm	13,97 cm	195,16	18,68 %	81,32 %
Klubų apimtis (<i>hip</i>)	97,03 cm	94,7 cm	2,33 cm	5,43	2,46 %	97,54 %
Ūgis (<i>body height</i>)	170,18 cm	170 cm	0,18 cm	0,03	0,11 %	99,89 %
Svoris (<i>weight</i>)	60,78 kg	60 kg	0,78 kg	0,61	1,30 %	98,70 %

„MirrorSize“ programėlė suteikia neribotą galimybę, generuoti avatarus, ir kiekvienam pateikiama dešimt matmenų, tačiau pateikiami parametrai yra neįprasti, gauti duomenys pateikti 2 priede, o jų analizė 8 lentelėje. Po analizės matome, kad dauguma matmenų pasižymi nedidele variacija, rodančia matavimo rezultatų stabilumą ir mažus skirtumus tarp eksperimentinių ir faktinių duomenų. Kaklo ilgis ir rankos ilgis turi mažiausią variacijos koeficientą, kas rodo itin mažą duomenų sklaidą. O viršutinės rankos ilgis pasižymi didžiausiu variacijos koeficientu (4,45 %), kuris nusako didesnę duomenų skaidą. Krūtinės apimtis, klubų apimtis, nugaros ir priekio ilgiai, turi vidutinį variacijos

koeficientą (nuo 1 % iki 1,7 %), kas rodo pakankamą tikslumą ir stabilumą, tačiau galimos nežymios paklaidos. Taigi, galime daryti prielaidą, kad daugumos matmenų nustatymas yra stabilus ir mažai varijuojantis, o viršutinės rankos ilgis reikalauja papildomos analizės.

8 lentelė. „MirrorSize“ programėle gautų matmenų analizė

Matmens pavadinimas	Vidurkis	Vidutinė kvadratinė nuokrypa	Dispersija	Variacijos koeficientas; %
Viršutinis rankos ilgis (<i>upper arm length</i>)	50,12	2,23	6,212	4,45
Rankos ilgis (<i>arm length</i>)	58,32	0,29	0,107	0,50
Rankovės ilgis (<i>sleeve length</i>)	67,12	0,43	0,232	0,64
Krutinės apimtis (<i>bust girth</i>)	91,02	1,51	2,857	1,66
Centrinis nugaros ilgis (<i>center back length</i>)	70,12	0,98	1,197	1,40
Centrinis priekio ilgis (<i>center front length</i>)	67,46	1,06	1,403	1,57
Klubų apimtis (<i>hip girth</i>)	92,48	1,00	1,257	1,08
Kojos ilgi (<i>leg length</i>)	100,78	0,65	0,532	0,65
Kojos ilgis iš vidinės pusės (<i>inseam</i>)	81,6	0,80	0,805	0,98
Aukštis nuo grindų iki kaklo vidurio taško (<i>Cervival lenght</i>)	144,76	0,27	0,093	0.19

Po palyginamosios analizės, kuri pateikta 9 lentelėje, eksperimentiniai matavimai rodo aukštą tikslumo lygį daugumai parametru, ypač krūtinės apimčiai ir kojos ilgiui iš vidinės pusės, kurių santykinė paklaida atitinkamai sudaro tik 0,35 % ir 0,49 %, o tikslumas siekia beveik 100 %. Vis dėlto, rankos ilgio matavimai išsiskiria didžiausia vidutine kvadratine paklaida, kurios reikšmė 11,02 ir santykinė paklaida – 6.04 %, tai rodo didesnius nukrypimus nuo faktinės reikšmės. Taip pat pastebimi nukrypimai klubų apimties matavimuose, nors tikslumas išlieka aukštas. Apibendrinant, eksperimentiniai matavimai yra tikslūs daugumai parametru, tačiau rankos ilgio ir klubų apimties matmenys pateikiami netiksliai.

9 lentelė. „MirrorSize“ palyginamoji analizė

Matmens pavadinimas	Vidurkis (eksperimentinis); cm	Vidurkis (faktinis); cm	Skirtumas; cm	Vidutinė kvadratinė paklaida	Santykinė paklaida; %	Tikslumas; %
Rankos ilgis (<i>arm length</i>)	55	58,32	3,32	11,02	6,04	93,96
Krutinės apimtis (<i>bust girth</i>)	90,7	91,02	0,32	0,1	0,35	99,65
Klubų apimtis (<i>hip girth</i>)	94,7	92,48	-2,22	4,92	2,34	97,66
Kojos ilgis iš vidinės pusės (<i>inseam</i>)	82	81,6	-0,4	0,16	0,49	99,51

“Nettelo” programėlė suteikia galimybę generuoti avatarus neribotai, ir kiekvienam avatarui suteikiama dvidešimt kūno matmenų. Išanalizavus „Nettelo“ mobiliąja programėle gautus rezultatus (pateikti 3 priede) ir atlikus palyginamąją analizę (žr. 10 lentelę), pastebėta, kad ūgis, klubų apimtis ir kulkšnies apimtis pasižymi itin maža variacija, o tai nusako parametrų stabilumą. Kiti matmenys, tokie kaip kaklo apimtis, riešo apimtis ir alkūnės apimtis, turi didžiausius variacijos koeficientus (atitinkamai 3,128 %, 2,634 %, 2,008 %). Tai parodo, kad matmenys kinta kiekvieno skenavimo metu. Žmogaus galūnės turi smulkių elementų, labiau juda – todėl jas sunkiau išmatuoti ir atvaizduoti skenavimo metu. Rankos ilgis (1,770 %), taip pat rodo vidutinę variaciją, o apimtis po krūtine (0,505 %) ir šlaunies apimtis (0,717 %) yra gana pastovios. Apimtis ties bamba ir liemens apimtis pasižymi beveik nulinėmis sklaidos reikšmėmis, rodančiomis didelį vienaarūšiškumą ir skenavimo tikslumą.

10 lentelė. „Nettelo“ programėle gautų matmenų analizė

Matmens pavadinimas	Vidurkis; cm	Vidutinė kvadratinė nuokrypa	Dispersija	Variacijos koeficientas; %
Ūgis (<i>body height</i>)	170	0,00	0	0,00
Kojos ilgis iš vidinės pusės (<i>Inseam</i>)	77,4	0,80	0,8	1,03
Klubų apimtis (<i>Hip girth</i>)	101	0,00	0	0,00
Apimtis ties bamba (<i>Waist band</i>)	84	0,63	0,5	0,7
Liemens apimtis (<i>Waist girth</i>)	76	0,00	0	0,00
Krutinės apimtis (<i>Bust girth</i>)	93,2	0,40	0,2	0,43
Kaklo apimtis (<i>Neck at base girth</i>)	32,6	1,02	1,3	3,13
Nugaros plotis (<i>Across back width</i>)	38,8	0,40	0,2	1,03
Rankos ilgis (<i>Arm length</i>)	57,6	1,02	1,3	1,77
Kulkšnies apimtis (<i>Ankle girth</i>)	23	0,00	0	0,00
Blauzdos apimtis (<i>Calf girth</i>)	33	0,63	0,5	1,92
Kelio apimtis (<i>Knee girth</i>)	35,8	0,40	0,2	1,12
Šlaunies apimtis (<i>Thigh girth</i>)	55,8	0,40	0,2	0,72
Krūtinės apimtis po krūtine (<i>Underbust girth</i>)	79,2	0,40	0,2	0,51
Rakovės išėmos ilgis (<i>armscye girth</i>)	35,4	0,49	0,3	1,38
Žąsto apimtis (<i>Upper arm girth</i>)	29,6	0,49	0,3	1,66
Apimtis ties alkūne (<i>Elbow girth</i>)	24,4	0,49	0,3	2,01
Riešo apimtis (<i>Wrist girth</i>)	18,6	0,49	0,3	2,63
Rankos ilgis (<i>Arm length</i>)	76,8	1,33	2,2	1,73

Palyginus gautus avatarų matmenis “Nettelo” programėlėje su faktiniais kūno matmenimis (žr. 11 lentelę), galime teigti, kad eksperimentiniai duomenys daugeliu atvejų yra artimi faktinėms reikšmėms, nes tikslumo rodiklis svyruoja nuo 94 % iki 100 %. Didžiausią santykinę paklaidą turi kaklo apimtis (11,9 %), o tai parodo reikšmingą skirtumą tarp eksperimento ir faktinių matavimų, todėl galime teigti, kad šis matmuo yra klaidinantis ir norint išvengti neatitikimų reikalingi papildomi matavimai. Ūgis, nugaros plotis ir kulkšnies apimtis pasižymi itin dideliu tikslumu, o tai leidžia manyti, kad šie matmenys yra stabiliausi ir patikimiausi.

11 lentelė. „Nettelo“ duomenų palyginamoji analizė

Matmens pavadinimas	Vidurkis (eksperimentinis); cm	Vidurkis (faktinis); cm	Skirtumas; cm	Vidutinė kvadratinė paklaida	Santykinė paklaida; %	Tikslumas ; %
Ūgis (<i>body height</i>)	170	170	0	0	0,0	100,0
Kojos ilgis iš vidinės pusės (<i>inseam</i>)	77,4	82	-4,6	0,64	5,6	94,4
Klubų apimtis (<i>hip girth</i>)	101	94,7	6,3	0	6,7	93,3
Apimtis ties bamba (<i>waist band</i>)	84	90,7	-6,7	0,4	7,4	92,6
Liemens apimtis (<i>waist girth</i>)	76	74,8	1,2	0	1,6	98,4
Krutinės apimtis (<i>bust girth</i>)	93,2	90,7	2,5	0,16	2,8	97,2
Kaklo apimtis (<i>neck at base girth</i>)	32,6	37	-4,4	1,04	11,9	88,1
Nugaros plotis (<i>across back width</i>)	38,8	39	-0,2	0,16	0,5	99,5
Rankos ilgis (<i>arm length</i>)	57,6	55,5	2,1	1,04	3,8	96,2
Kulkšnies apimtis (<i>ankle girth</i>)	23	24	-1	0	4,2	95,8
Blauzdos apimtis (<i>calf girth</i>)	33	34,7	-1,7	0,4	4,9	95,1
Kelio apimtis (<i>knee girth</i>)	35,8	37	-1,2	0,16	3,2	96,8
Šlaunies apimtis (<i>thigh girth</i>)	55,8	58,5	-2,7	0,16	4,6	95,4
Apimtis po krūtine (<i>underbust girth</i>)	79,2	77,3	1,9	0,16	2,5	97,5

„3DLook“ programėlė suteikia nemokamą galimybę sukurti 10 avatarų ir gauti 76 jų matmenis bei atsisiųsti avatarų failus tolimesniam naudojimui. Iš pateiktų „3DLook“ programėlės duomenų ir analizės, kuri pateikta 5 priede, galime teigti, kad dauguma matmenų pasižymi nedidele variacija ir yra pakankamai stabilūs. Tačiau kai kuriuose matmenyse, kurie susiję su sudėtingesniais matavimo procesais, pvz., nugaros kaklo taškas iki liemens ar žasto apimtis, pastebima didesnė dispersija. Todėl galime teigti, kad sudėtingesnių matavimų sklaida yra didesnė ir sunkiau atvaizduojama.

Analizuojant „3DLook“ duomenų atitikimą (žr. 12 lentelę), matome, kad matavimų tikslumas įvairiuose parametruose yra aukštas, tačiau pastebimi tam tikri nukrypimai. Didžiausiu tikslumu pasižymi apimties po krūtine ir riešo apimties matmenys, kurių santykinė paklaida yra atitinkamai 0,23 % ir 0,81 %, o tikslumas siekia beveik 100 %. Tuo tarpu matmenys, tokie kaip šlaunies apimtis ir kaklo apimtis, turi didesnes santykinės paklaidas, atitinkamai 6,94 % ir 5,73 %, kas rodo didesnę neatitikimą faktiniams figūros matmenims.

Apibendrinant galima teigti, kad „3DLook“ programėlė pateikia aukštą tikslumą avataro matmenis, tačiau tam tikriems matmenims, tokiems kaip šlaunies apimtis, kaklo apimtis ir žąsto apimtis, turi didesnius neatitikimus, kurie gali iškreipti figūros tikslumą.

12 lentelė. „3Dlook“ duomenų palyginamoji analizė

Matmens pavadinimas	Vidurkis (eksperimentinis); cm	Vidurkis (faktinis); cm	Skirtumas; cm	Vidutinė kvadratinė paklaida	Santykinė paklaida; %	Tikslumas; %
Kojos ilgis iš vidinės pusės (<i>inseam</i>)	82	79,84	-2,16	4,67	2,63	97,37
Šlaunies apimtis (<i>thigh girth</i>)	58,5	54,44	-4,06	16,48	6,94	93,05
Kelio apimtis (<i>knee girth</i>)	37	36,58	-0,42	0,18	1,14	98,86
Blauzdos apimtis (<i>calf girth</i>)	34,7	34,1	-0,6	0,36	1,73	98,27
Kulkšnies apimtis (<i>ankle girth</i>)	24	23,8	-0,2	0,04	0,83	99,17
Nugaros aukštis (<i>neck to waist</i>)	42	40,5	-1,5	2,25	3,57	96,43
Nugaros plotis (<i>across back width</i>)	39	37,7	-1,3	1,69	3,33	96,67
Apimtis po krutine (<i>underbust girth</i>)	77,3	77,48	0,18	0,03	0,23	99,77
Liemens apimtis (<i>waist girth</i>)	74,8	73,56	-1,24	1,54	1,66	98,34
Klubų apimtis (<i>hip girth</i>)	94,7	95	0,3	0,09	0,32	99,68
Apimtis ties bamba (<i>waist band</i>)	82	79,74	-2,26	5,11	2,76	97,24
Kaklo apimtis (<i>neck at base girth</i>)	37	34,88	-2,12	4,49	5,73	94,27
Peties ilgis (<i>shoulder width</i>)	14,2	13,58	-0,62	0,38	4,37	95,63
Rankos ilgis (<i>arm length</i>)	55,5	56,56	1,06	1,12	1,91	98,09

Matmens pavadinimas	Vidurkis (eksperimentinis); cm	Vidurkis (faktinis); cm	Skirtumas; cm	Vidutinė kvadratinė paklaida	Santykinė paklaida; %	Tikslumas; %
Žąsto apimtis (<i>upper arm girth</i>)	27,0	25,38	-1,62	2,62	6,00	94,00
Apimtis ties alkūne (<i>elbow girth</i>)	24	24,24	0,24	0,06	1,00	99,00
Riešo apimtis (<i>wrist girth</i>)	15	15,9	0,9	0,81	6,00	94,00

„3D body avatar“ suteikia galimybę generuoti tris avatarus vienam modeliui ir kiekvienam avatarui suteikiama 117 matmenų (gauti duomenys pateikti 7 priede), tačiau norint juos gauti reikia susisiekti su programėlės kūrėjais, kas apsunkina procesą. Atlikus gautų matmenų analizę, kuri pateikta 7 priede, pastebėta, kad daugelio kūno matmenų matavimai yra tikslūs ir nekintantys, tačiau kai kurie, pavyzdžiui, rankų apimtys, turi didžiausius variacijos koeficientus, kas rodo didesnę kintamumą ir mažesnę matavimų tikslumą, ir gali reikalauti papildomų matavimų, norint užtikrinti tikslumą. Matavimai, susiję su juosmeniu ir pilvu, pasižymi aukščiausiu tikslumu, kurį nusako mažiausia dispersija ir variacijos koeficientas.

Atlikus „3D body avatar“ gautų matmenų palyginamąją analizę su modelio matmenimis, galime teigti, kad gauti matmenys pasižymi dideliu tikslumu, tačiau tam tikri matmenys, tokie kaip: krūtinės apimtis, kaklo apimtis pasižymi mažesniu tikslumu. O peties ilgio matmuo pasižymi itin mažu tikslumu – tik 85,77 %. Nepaisant to, dauguma matavimų yra tikslūs ir patikimi.

13 lentelė. „3D body avatar“ rezultatų analizė

Matmens pavadinimas	Vidurkis (eksperimentinis); cm	Vidurkis (faktinis); cm	Skirtumas; cm	Vidutinė kvadratinė paklaida	Santykinė paklaida; %	Tikslumas %
Ūgis (<i>body height</i>)	170,00	170,00	0,00	0,00	0,00	100,00
Kojos ilgis iš vidinės pusės (<i>inseam</i>)	82,00	83,15	1,15	1,32	1,40	98,60
Kelio apimtis (<i>knee girth</i>)	37,00	36,59	-0,41	0,17	1,11	98,89
Blauzdos apimtis (<i>calf girth</i>)	34,70	35	0,3	0,09	0,86	99,14
Kulkšnies apimtis (<i>ankle girth</i>)	24,00	24,03	0,03	0,00	0,13	99,88
Nugaros aukštis (<i>neck to waist</i>)	42,00	41,45	-0,55	0,30	1,31	98,69
Nugaros plotis (<i>across back width</i>)	39,00	37,75	-1,25	1,56	3,21	96,79
Krūtinės apimtis (<i>bust girth</i>)	90,70	94,39	3,69	13,62	4,07	95,93
Apimtis po krūtine (<i>underbust girth</i>)	77,30	80,20	2,9	8,41	3,75	96,25

Matmens pavadinimas	Vidurkis (eksperimentinis); cm	Vidurkis (faktinis); cm	Skirtumas; cm	Vidutinė kvadratinė paklaida	Santykinė paklaida; %	Tikslumas %
Liemens apimtis (<i>waist girth</i>)	74,80	76,31	1,51	2,28	2,02	97,98
Klubų apimtis (<i>hip girth</i>)	94,70	97,29	2,59	6,71	2,73	97,27
Kaklo apimtis (<i>neck at base girth</i>)	37,00	34,91	-2,09	4,37	5,65	94,35
Peties ilgis (<i>shoulder width</i>)	14,20	12,18	-2,02	4,08	14,23	85,77
Rankos ilgis (<i>arm length</i>)	55,5	57,24	1,74	3,03	3,14	96,86
Žąsto apimtis (<i>upper arm girth</i>)	27,00	27,38	0,38	0,14	1,41	98,59
Apimtis ties alkūne (<i>elbow girth</i>)	24,00	23,42	-0,58	0,34	2,42	97,58
Riešo apimtis (<i>wrist girth</i>)	15,00	14,93	-0,07	0,00	0,47	99,53

2.4. Eksperimento apibendrinimas ir išvados

Atlikus eksperimentą su mobiliosiomis programėlėmis, gauti rezultatai (žr. 14 lentelę) leidžia daryti išvadą, kad „MirrorSize“ ir „TrueToForm“ programėlės, nors ir pasižymi aukštu matmenų tikslumu (atitinkamai 97,69 % ir 94,3 %), suteikia per mažai avataro matmenų. „MirrorSize“ apdoroja tik 10 matmenų, o „TrueToForm“ – vos 5 matmenis, todėl šios programėlės nėra tinkamos išsamesniems tyrimams ir jų rezultatai negali būti patikimai lyginami su kitomis programėlėmis, kurios apdoroja daugiau duomenų. Šių avatarų tolimesnės panaudojimo galimybės tampa ribotos, jų sugeneruoti avataurai gali būti sunkiai pritaikomi virtualiame drabužių primatavime bei dydžio nustatyme, nes mažas avataro matmenų keikis gali iškreipti figūros didį ir proporcijas.

14 lentelė. Programėlių apibendrinamoji analizė

Programėlės pavadinimas	Avataro matmenų tikslumas; %	Matmenų skaičius	Nemokamų skenavimo skaičius	Galimybė parsisiųsti avatara
Nettelo	95,7	21	neribojamas	nėra
TrueToForm	94,3	5	1	nėra
MirrorSize	97,69	10	neribojamas	nėra
3D avatar body	97,18	117	3	yra
3DLook	97,05	76	10	yra

Atmetus mažiausiai matmenų suteikiančias programėles, didžiausiu tikslumu ir funkcionalumu pasižymi „3D avatar body“ (97,18 %) ir „3DLook“ (97,05 %) programėlės, kurios taip pat pirmauja avataro matmenų kiekiu. „3D avatar body“ sugeneruoja net 117 matmenų ir leidžia naudotojui parsisiųsti sukurtą avatara, kas yra reikšmingas privalumas tolimesniam avataro pritaikymui. Tačiau verta paminėti, kad programėlėje nesuteikiama informacija ar yra galimybė ir kaip gauti avataro failus ir jo matmenis, o visa taip paaiškėja tik tiesiogiai susisiekti su programėlės kūrėjais. Matmenis ir

avataro failai – suteikiami nemokamai, tačiau visa tai itin apsunkina procesą. Tuo tarpu „3DLook“ sugeneruoja 76 matmenis ir taip pat suteikia galimybę parsisiųsti avatarą. Ši programėlė suteikia prieigą prie internetinės platformos, kurioje galima peržiūrėti avatus, visus reikiamus matmenis bei juos parsisiųsti tiesiogiai, kas palengvina jų panaudojimą.

„Nettelo“ siūlo neribotą nemokamų skenavimų kiekį, tačiau, neturint galimybės parsisiųsti avataro, jos tolimesnės panaudojimo galimybės yra ribotos. Tačiau ši programėlė siūlo dydžio parinkimo funkciją. Programėlė, remdamasi gautais avataro matmenimis, parenka tinkamiausią aprangos dydį skirtingoms kategorijoms, tokioms kaip suknelė, kelnės, apatiniai ir kt. Todėl tolimesniems tyrimams buvo pasirinktos „3D Avatar Body“ ir „3DLook“ programėlės dėl jų aukšto tikslumo, pateikiamų matmenų kiekio, funkcionalumo bei lengvesnio prieinamumo plačiajai visuomenės daliai.

3. Taikomoji dalis

Tolimesnei analizei pasirinktos dvi mobiliosios programėlės – „3D body avatar“ ir „3DLook“ – leidžia atsisiųsti avatus „obj“ formatu. Šių programėlių sukurti avataurai išbandomi virtualiam drabužių primatavimui „Lectra Modaris 3D fit“ („Modaris“) programoje. Procesas apima virtualaus ir realaus drabužio primatavimą ir jo vaizdo palyginimą, o detalus proceso aprašymas pateiktas 15 lentelėje. Taikomosios eksperimento dalies tikslas – išsiaiškinti ar sukurti avataurai yra tinkami drabužių primatavimui ir drabužio vaizdas ant avataro atitinką realų vaizdą ant modelio.

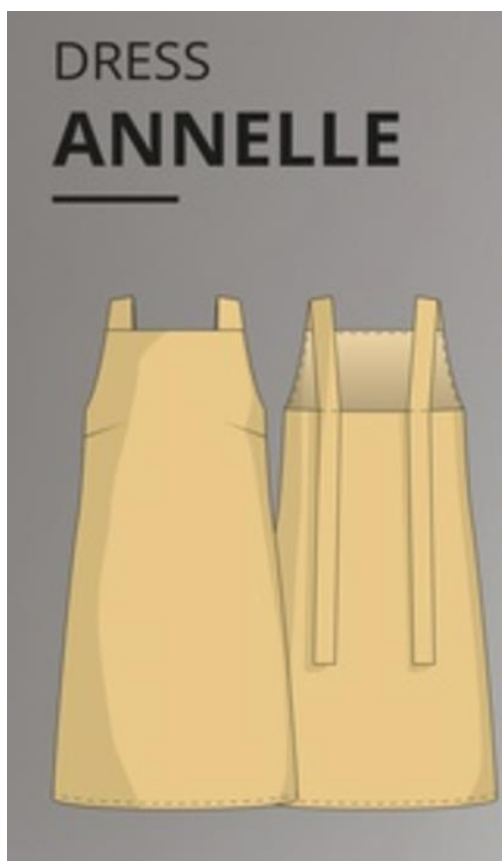
15 lentelė. Virtualaus ir realaus drabužio primatavimo atitikimo palyginimo metodika

Virtualaus ir realaus drabužio palyginimo metodika	
Drabužio modelio ir dydžio parinkimas	
<ul style="list-style-type: none">• Drabužio dydis parenkamas pagal avataro parametrus	
Medžiagos parinkimas ir charakteristikų nustatymas	
<ul style="list-style-type: none">• Nusistatomos pagrindinės medžiagos charakteristikos (sudėtis, storis, paviršinis tankis)• Nustatomos ir apskaičiuojamos papildomos medžiagos charakteristikos (lenkimo standumas, ištįsa tempiant, atsparumas šlyčiai ir kritumas). Tyrimams pasirinktas <i>Browzwear</i> prietaisų komplektas <i>Fabric Testing Kit</i>.	
Virtualus drabužio primatavimas	Realus drabužio primatavimas
Drabužio detalių parengimas virtualiam primatavimui programa „Lectra Modaris 3D fit“	Drabužio detalių sukirpimas ir siuvimas, parengiant primatavimui
Paruošiamas avatauras	Modelis užsideda pasiūtą drabužį
Virtualaus drabužio uždėjimas ant avataro	
Medžiagos mechaninių savybių simuliacija	Realaus drabužio vaizdo (drabužio vaizdas iš priekio ir nugaros) fiksavimas fotokamera
Sugeneruoto skaitmeninio vaizdo (drabužio vaizdas iš priekio ir nugaros) išsaugojimas	
Virtualaus ir realaus drabužio vaizdo palyginimas	

3.1. Drabužio modelio ir dydžio parinkimas

Drabužis renkamas pagal tris avataro matmenis: krūtinės, liemens ir klubų apimtis, šie parametrai pateikti 16 lentelėje. Lekalai buvo perkami internetinėse parduotuvėse, siekiant kuo tiksliau atspindėti realaus pirkėjo situaciją, kai lekalai parenkami pagal individualius kūno matmenis, nurodytus dydžių lentelėje. Šis metodas imituoja įprastą vartotojo elgseną apsiperkant internete ir leidžia realistiškai įvertinti jų pritaikomumą tiek virtualiame primatavimo procese, tiek kuriant galutinį drabužį.

„Wikisews“ internetinėje lekalų parduotuvėje [42] įsigytas suknelės lekalų komplektas. Suknelės vaizdas pateikiamas 6 paveikslėlyje. Suknelės modelis buvo pasirinktas remiantis ne technologiniais aspektais, o estetiniu patrauklumu, siekiant kuo realiau atspindėti vartotojų pirkimo įpročius. Pirkėjai dažniausiai renka drabužius pagal asmeninį grožio suvokimą, stilių bei vizualų modelio pateikimą internetinėje parduotuvėje.



6 pav. Pasirinktos suknelės modelis [42]

Pasirinkti 40 dydžio suknelės lekalai, pagal internetinėje parduotuvėje pateiktas rekomendacijas [43]. Jeigu krūtinės apimtis skiriasi ± 2 cm, rekomenduojama rinktis didesnę dydį, kai drabužis priglundęs, o kai drabužis laisvas, rinktis mažesnę dydį. Informacija apie avatarų ir suknelės matmenų atitikimą pateikta 16 lentelėje.

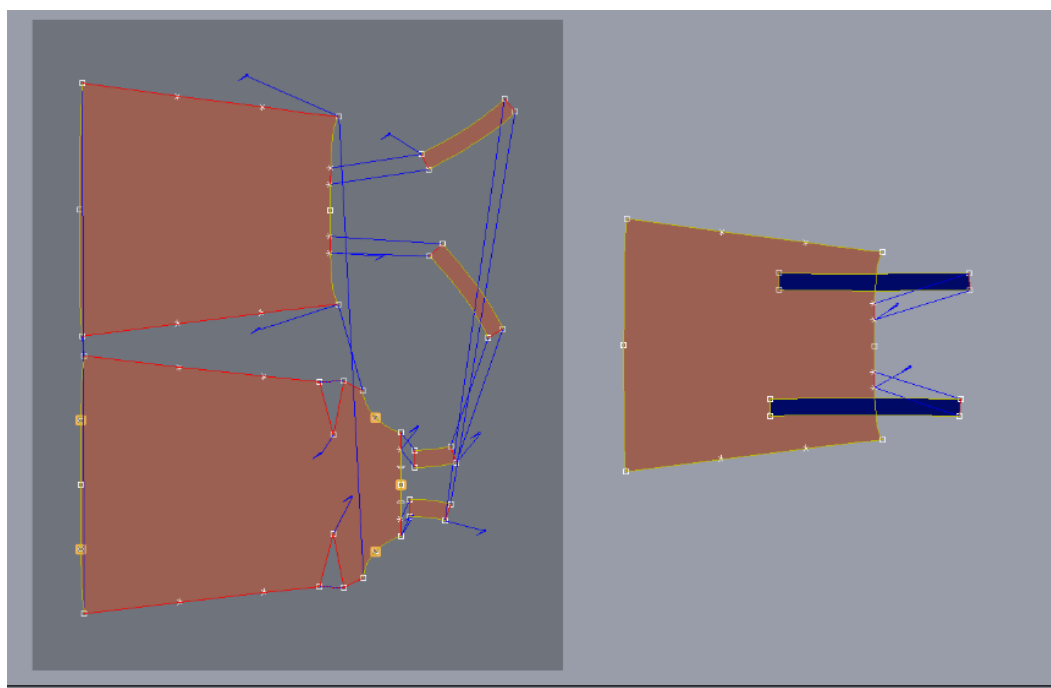
16 lentelė. Suknelės dydžio ir avatarų matmenų palyginimas

Matmens pavadinimas	Avatarų matmenų vidurkis; cm	40 dydžio suknelė matmenys; cm
Krūtinės apimtis	94	92
Liemens apimtis	75	72
Klubų apimtis	96	98
Žąsto apimtis	26,4	30,7

3.2. Suknelės detalių ir avataro paruošimas

Lekalų ir avataro paruošimas prasidėjo nuo popierinių lekalų kontūrų skaitmenizavimo, neįtraukiant siūlių užlaidų, naudojant „Modaris“ programą ir specialų duomenų perkėlimo įrenginį („digitaizerį“). Šis procesas leido tiksliai perkelti lekalų formas į skaitmeninę erdvę, užtikrinant jų tinkamumą tolimesniam naudojimui. Po detalių skaitmenizavimo, „Modaris“ programoje buvo sudarytas detalių sąrašas, kuriame įvedamas reikalingas detalių skaičius. Pasirinktą suknelę sudaro: viena priekio detalė, viena nugaros detalė, dvi priekio ir nugaros petnešėlės bei dvi papildomos nuogaros juostos. Norint pradėti virtualų primatavimą būtinas virtualus suknelės detalių susiuvimas, kurio vaizdas

pateikiamas 7 paveikslėlyje. Taip pat po virtualaus susiuvimo sužymimi sutaikymo taškai, kurie sistemai padeda suprasti suknelės padėtį ant avataro. Pažymėti penki sutaikymo taškai: kairys ir dešinys kelias, kairė ir dešinė rankos išėma ir kaklo išėmos taškas. Sutaikymo taškai 7 paveikslėlyje pažymėti oranžiniais kvadratėliais.



7 pav. Virtualaus susiuvimo vaizdas

Po suknelės detalių virtualaus susiuvimo reikia paruošti avatarą, kuris turi būti tinkamai pozicijuotas erdvėje ir ant jo kūno sužymėti sutaikymo taškai, kurie atitinka suknelės sutaikymo taškus.

3.3. Medžiagos parinkimas ir jos mechaninių charakteristikų nustatymas

Virtualiam aprangos simuliacijai yra reikalingos medžiagos charakteristikos, kurios gali būti parenkamos iš žinomų ir sugrupuotų specialių katalogų, kurie pateikiami „Modaris“ programoje. Tai pat medžiagos savybės gali būti suvedamos rankiniu būdu. Tam tekstilės medžiagos savybės turi būti nustatytos KES-F (*Kawabata Evaluation System for Fabric*) ar FAST (*Fabric Assurance Simple Tests*) ir kitais įrenginiais.

Suknelės simuliacijai buvo parinktas lininis audinys, drobinio pynimo, kurio charakteristikos pateiktos 17 lentelėje. Medžiagos storis nustatomas pagal LST EN ISO 5084 standartą su J 40-T stornačiu, kurio tikslumas 0,01 mm, medžiagą slegiant 1 kPa prispaudimu. Medžiagos paviršinis tankis nustatomas pagal ISO 3801 standartą, sveriant tiksliai išmatuotą audinio pavyzdį.

17 lentelė. Nustatytos medžiagos charakteristikos

Charakteristika	Vertė
Sudėtis	100 % linas
Storis	0,57 mm
Paviršinis tankis	260,63 g/m ²

Papildomos charakteristikos: lenkimo standumas, ištįsa tempiant, asparumas šlyčiai ir kritumas nustatomas *Browzwear* prietaisų komplektu *Fabric Testing Kit*. Charakteristikų nustatymui naudojamas audinio savybių vertinimo metodas virtualiam aprangos projektavimui, kuris pateiktas knygoje „Aprangos medžiagų ir gaminių tyrimai ir analizė“ [44]. Remiantis metodika buvo nustatytas medžiagos lenkiamasis standumas (žr. 18 lentelė), ištįsą (žr. 19 lentelė) ir kritumas, kurio gauta vertė – 33,16%. Gautų duomenų analizė pateikta 8 Priede. Gautos audinio charakteristikos suvedamos „Modaris 3D programoje norit tiksliai imituoti pasirinkto audinio mechanines charakteristikas, lemiančias gaminio skaitmeninį atvaizdavimą.

3D Modaris“ sistema nepalaiko drabužių su pamušalu ar kelių sluoksnių simuliacijoms. Todėl, siekiant kuo tiksliau atvaizduoti pasirinktos suknelės savybes, petnešėlių detalėms buvo padidintas standumas, atsižvelgiant į tai, kad jos yra dvisluoksnės ir turi pamušalą. Šis sprendimas padėjo geriau perteikti realios suknelės konstrukciją ir jos elgseną virtualioje erdvėje.

18 lentelė. Lenkiamasis standumas

Audinio pusė	Matmenų kryptis; μNm	Ataudų kryptis; μNm	Įstriža kryptis; μNm
Geroji	13,31	7,14	6,17
Blogoji	12,56	7,4	6,41

19 lentelė. Nustatyti ištįsos parametrai

Svoris; g	Tempimo jėga, N/m	Ištįsa; %		
		Ataudų kryptimi	Matmenų kryptimi	Įstriža kryptimi
50	6	0,56	0	5
100	12	0,56	0,56	6,67
200	24,5	1,11	0,56	7,22
300	37	1,67	0,56	7,78
400	49	2,78	1,11	10
500	61	3,33	1,11	10,56

3.4. Suknelės simuliacija ir virtualus primatavimas

Atlikta suknelės simuliacija pagal nustatytas audinio mechanines charakteristikas ant dviejų skirtingų avatarų. 8 paveiksle pateiktas suknelės vaizdas ant avataro, sugeneruoto su „3D body avatar“ mobiliąja programėle. Nors avataro poza nėra įprasta (plati rankų ir kojų padėtis), suknelės simuliacija puikiai išpildoma, nėra neįprastų klosčių ir raukinių, kurie sukurtų netinkamą suknelės atvaizdavimą. Suknelės simuliacija su „3DLook“ sugeneruotu avataru (žr. 9 pav.), pasižymi didesniu simetriškumu ir estetiškumu, nes avataro poza natūralesnė, rankos arčiau kūno. Atlikus suknelės simuliaciją ant skirtingų avatarų, galime teigti, kad avatai tinkamai sugeneruoti ir gali būti naudojami virtualių drabužių primatavimui.

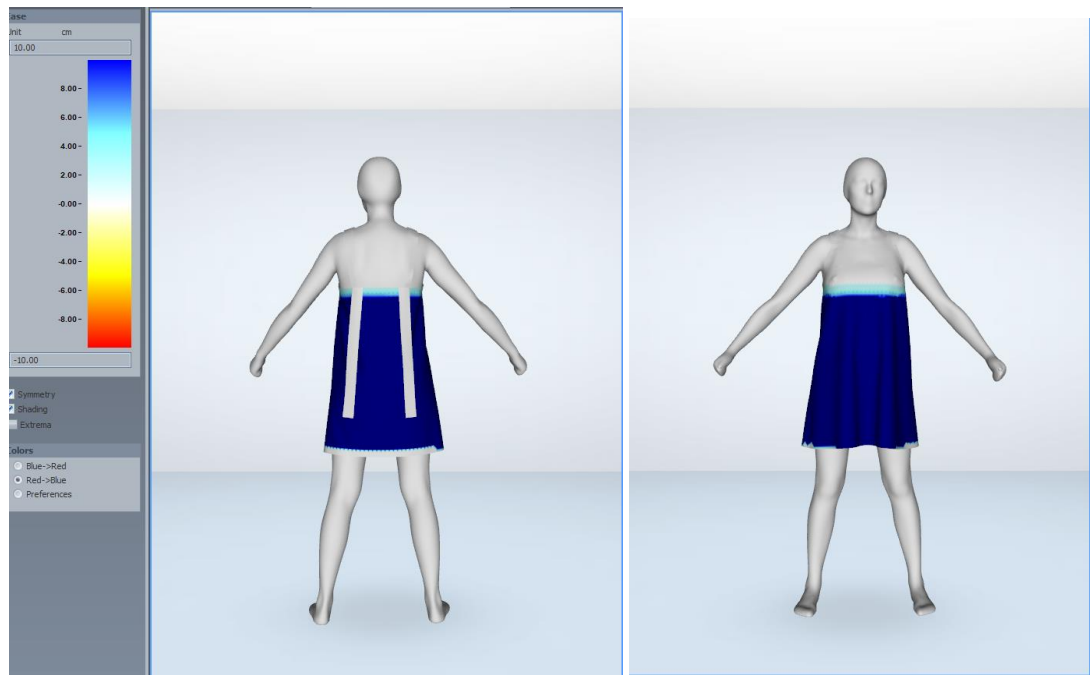


8 pav. Suknelė ant „3D body avatar“ programėle sugeneruoto avataro

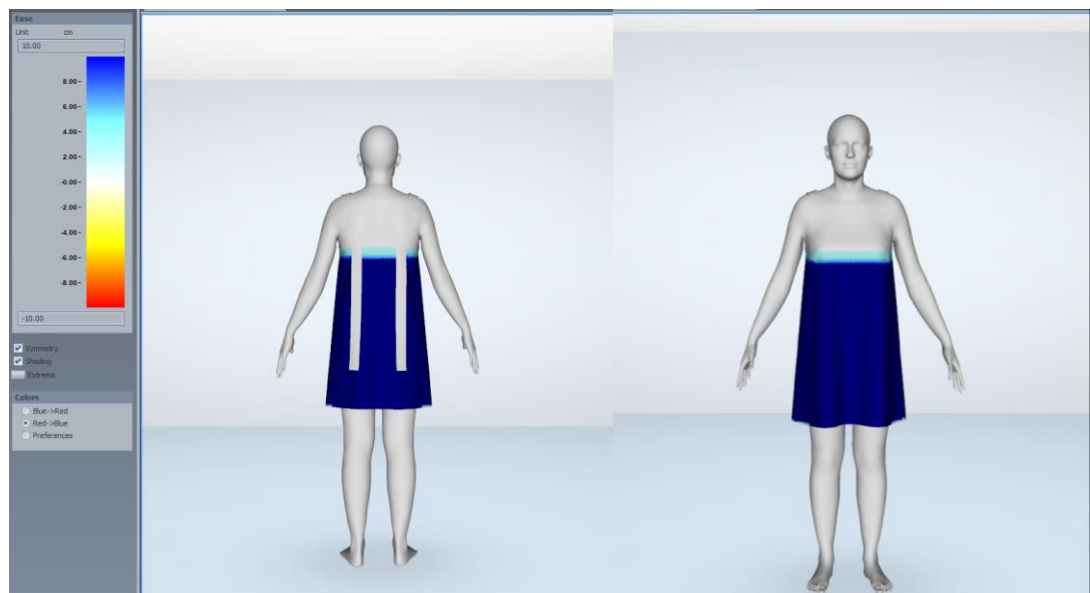


9 pav. Suknelė ant „3DLook“ programėle sugeneruoto avataro

„Modaris“ programa turi galimybę nustatyti drabužio atitikimą figūrai, atvaizduojant laisvumus ir deformacijas. 10 ir 11 paveiksluose pateikti suknelės laisvumo vaizdai ant skirtingų avatarų. Skalės intensyvi mėlyna spalva žymi itin didelį laisvumą (iki +10 cm), o itin intensyvi raudona spalva žymi prigudimą, kuris gali siekti iki -10 cm. Pagal pateiktus suknelės vaizdus matome, kad krūtinės sritis atvaizduojama balta spalva, t.y. -0,5 – +0,5 cm priglundimas, todėl galime teigti, kad laisvumo nei per mažai, nei per daug. Tamsiai mėlyna spalva žymimos vietos, kur laisvumas didelis, t.y. didesnis nei +8 cm. O šviesiai mėlyna spalva žymimas vidutinis laisvumas (+2 – +5 cm), kuris formuojasi apatinėje krūtinės dalyje. Šis suknelės modelis nuo krūtinės plėtėja, todėl laisvumas žemiau krūtinės yra reikalingas – iš jo suformuojamos klostės. Raudona ir oranžinė spalva žymimos vietos, kur laisvumo per mažai, t.y. -10 – 5 cm. Tačiau raudona ir oranžinė spalva pažymėtų suknelių vietų nėra, o tai parodo, kad suknelė puikiai tinka avатарams. Primatuotos suknelės laisvumas ant abiejų avatarų vienodas.

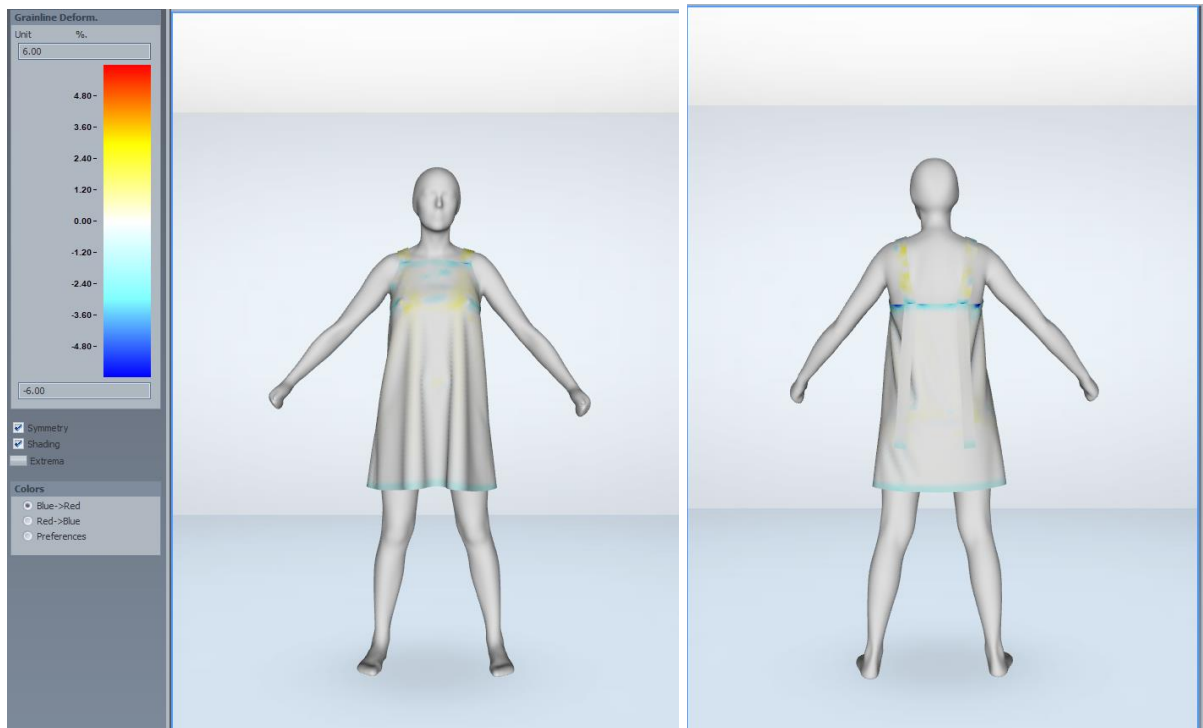


10 pav. Gaminio laisvumas („3D body avatar“ avataras)

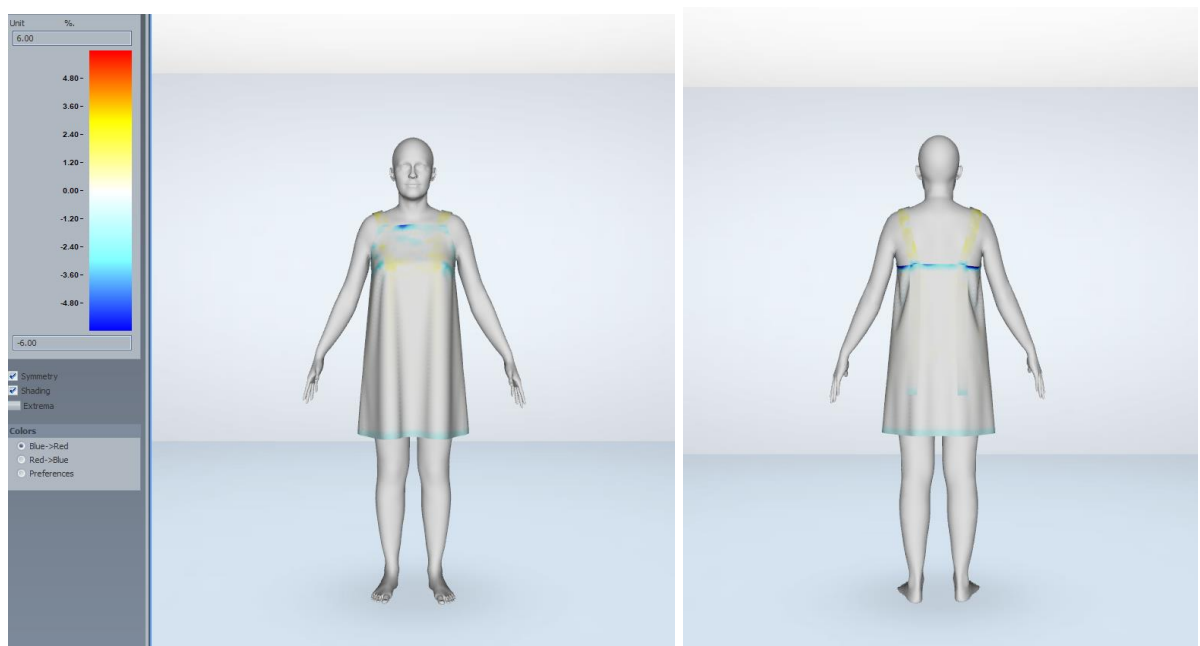


11 pav. Gaminio laisvumas („3DLook“ avataras)

Nustatytos deformacijos metmenų kryptimi. Raudona spalva žymimos vietos, kuriose deformacijos didžiausios ir gali siekti iki +6%, o mėlyna, kur vyksta gniuždymas, gali siekti iki -6%. Kuo spalva intensyvesnė, tuo deformacija ar gniuždymas didesnis. 12 ir 13 paveikslėliuose matome, kad minimaliai suknelė deformuojasi krūtinės srityje, nes suknelė šioje srityje yra prigludusi, todėl minimalios deformacijos yra galimos ir nesukels diskomforto. Gniuždymas pastebimas suknelės apačios bei viršaus linijose, tai lemia laisvas, neprigludęs suknelės siluetas.



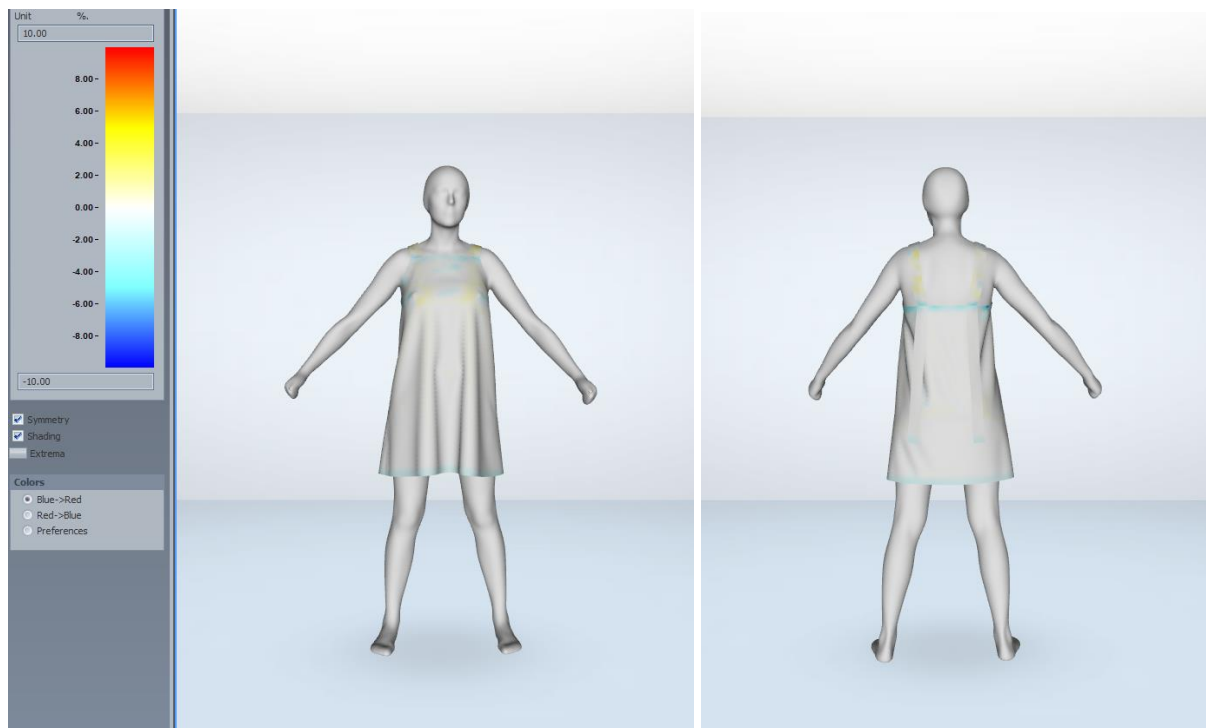
12 pav. Deformacijos metmenų kryptimi („3D body avatar“ avataras)



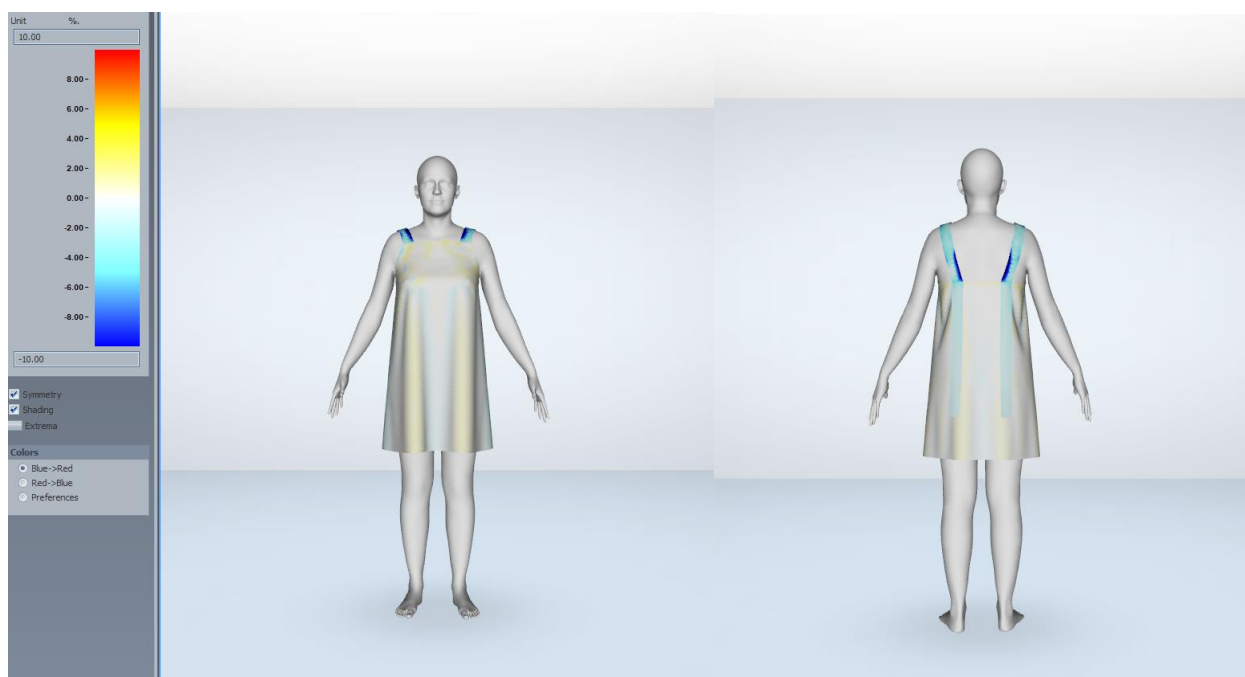
13 pav. Deformacijos metmenų kryptimi („3DLook“ avataras)

Nustatytos deformacijos ataudų kryptimi. Raudona spalva žymimos vietos, kuriose deformacijos didžiausios, o mėlyna – kur vyksta gniuždymas. 14 ir 15 paveiksluose, kuriuose pateiktos audinio deformacijos, matome, kad tendencijos išlieka panašios kaip ir deformacijos metmenų kryptimi, tačiau rezultatai šiek tiek išsiskiria. Panašumas, kad abiejuose primatavimuose vidutinis gniuždymas pastebimas suknelės apačios bei viršaus linijose. Tai pat minimalios deformacijos formuojasi krūtinės srityse, bei medžiagos drapiravimosi srityse, priekyje ir nugaroje. Tačiau didesnės gniuždymo vertės

petnešėlių srityje išryškėja suknelėje primatuotoje ant „3DLook“ avataro. O tai gali lemti petnešėlių laisvumą.



14 pav. Deformacijos ataudų kryptimi („3D body avatar“ avataras)



15 pav. Deformacijos ataudų kryptimi („3DLook“ avataras)

3.5. Realios ir virtualios suknelių vaizdų palyginimas

Suknelė buvo siuvama iš juodos spalvos lino, kurio charakteristikos nustatytos 3.3 skyriuje. Drabužiui išryškinti ir sukurti estetinį dizainą pasirinktas geltonas siūlas. Siekiant išgauti kuo

artimesnį vaizdą, virtualiai suknelei tai pat parinkta juoda spalva ir geltoni peltakiai. Virtualios suknelės vaizdai su pakeistomis spalvomis matomi 16 ir 17 pav.



16 pav. Juodos suknelės vaizdas („3DLook“ avataras)



17 pav. Juodos suknelės vaizdas („3D body avatar“ avataras)

Pasiūta juoda suknelė primatuota figūrai, kuri aprašyta 2.2.1 skyriuje. Suknelės vaizdas ant modelio pateiktas 18 paveikslėlyje.



18 pav. Pasiūtos suknelės vaizdas ant modelio

Atliekamas pasiūtos suknelės ir virtualios suknelės vaizdų palyginimas (žr. 20 lentelę). Lyginant realaus ir virtualaus primatavimo rezultatus, identifikuoti esminiai skirtumai ir panašumai, kurie pateikiami apibendrinime.

Apibendrinimas:

- **Dydžio atitikimas:** atlikus suknelės dydžio atitikimo analizę, pastebėta, kad pasirinktos suknelės dydis puikiai tinka modelio bei avatarų figūroms. Tai leidžia teigti, kad avatarai, sugeneruoti naudojant „3D body avatar“ ir „3DLook“ mobiliosiomis programėlėmis, yra tinkami dydžio pasirinkimui, užtikrinant tikslų kūno matmenų perteikimą virtualioje erdvėje.
- **Drapiravimosi efektas:** virtualioje suknelės simuliacijoje, ypač priekio detalėje, ryškiau matomas audinio drapiravimasis. Šis efektas nėra toks aiškiai pastebimas pasiūtoje suknelėje, kas parodo tam tikrą virtualios simuliacijos neatitikimą realiam suknelės vaizdai. Tačiau ryškesnis drapiravimasis neiškreipia suknelės formos ir išlaiko panašias proporcijas kaip ir realiame suknelės vaizde.
- **Nugaros detalių perteikimas:** suknelės nugaros vaizdas yra itin tiksliai ir kokybiškai atvaizduojamas virtualioje simuliacijoje. Šių detalių virtualus vaizdas beveik identiška atitinka realią išvaizdą.
- **Padėtis ir ilgis:** virtualios ir realios suknelės padėtis ant kūno bei ilgis visiškai sutampa. Suknelės vaizdas neišsikreipia ir išlieka proporcingas tiek realioje, tiek virtualioje aplinkoje.

Visa tai leidžia teigti, kad nagrinėtu atveju skaitmeniniame vaizde buvo išlaikytas drabužio matmenų ir proporcijų tikslumas.

20 lentelė. Realios suknelės ir virtualios suknelės ant avataro palyginamieji vaizdai

Priekio vaizdas		
Modelis	„3DLook“ avataras	„3D avatar body“ avataras
		
Nugaros vaizdas		
		

Ši analizė rodo, kad naudojant 3D skenavimo technologijas ir virtualius avatus galima užtikrinti aukštą kūno matmenų tikslumą ir kūno atvaizdavimą virtualioje erdvėje. Tai ypač naudinga dydžio pasirinkimui ir drabužio vizualizacijoms, norint išbandyti įvairius dizainus ant skirtingų figūrų.

4. Avatūrų pritaikymo galimybės mados pramonėje

3D avataurai, sukurti mobiliosiomis programėlėmis, gali suteikti naujų galimybių elektroninėje prekyboje ir individualizuotoje gamyboje, kur svarbus personalizavimas ir procesų skaitmenizavimas. 3D avatūrų panaudojimas gali suteikti galimybę pagerinti vartotojų patirtį, optimizuoti kūrybinius ir gamybos procesus bei sumažinti fizinių išteklių naudojimo poreikį. Avatūrų integravimas galėtų tapti įrankiu, padedančiu realizuoti naujus sprendimus, kurie prisidėtų prie efektyvesnių ir tvaresnių gamybos procesų.

4.1. Avatūrų nauda ir pritaikymo galimybės

3D avatūrų kūrimas naudojant mobiliąs programėles yra nesudėtingas ir lengvai išmokstamas procesas, kuris galėtų reikšmingai išplėsti virtualių primatavimų galimybes elektroninėje prekyboje. Šie personalizuoti avataurai, atspindintys tikras kūno formas ir proporcijas, galėtų padėti sumažinti prekių grąžinimų skaičių elektroninėje komercijoje. Tai pat pagerinti klientų patirtį bei prisidėti prie perteklinio vartojimo mažinimo, kai pirkėjai turi galimybę pirkti tik tuos drabužius, kurie tikrai tinka jų figūrai, o virtualiai parodytas jų vaizdas atitinka pirkėjo lūkestį matuojantis realiai. Tokia technologija ypač aktuali mažesniems verslams, kurie galėtų pasiūlyti vartotojams nusistatytą pagrindinius kūno matmenis ir pagal šiuos duomenis sukurti standartizuotą avatūrą, leidžiantį patogiai išbandyti kolekcijas internete.

Avataurai taip pat turi potencialą transformuoti gamybos procesus, suteikdami galimybę lengvai kurti įvairius naujo dizaino drabužių prototipus ir juos testuoti su skirtingo dydžio avataurais, taip sumažinant fizinių gaminių kūrimą ir gamybos kaštus. Šis sprendimas ne tik taupo laiką ir resursus, bet ir leidžia gamintojams greičiau eksperimentuoti su naujais dizainais ir kurti naujas tvarias kolekcijas, kurios pritaikytos skirtingo dydžio pirkėjams.

3D avataurai galėtų būti ypač naudingi vykdyti individualius užsakymus. Jų pagalba būtų galima suteikti klientams galimybę tiksliai perduoti savo kūno matmenis siuvėjams ar konstruktoriams, nepriklausomai nuo gyvenamosios vietos. Tokiu būdu visi reikalingi tarpiniai kuriamo drabužio primatavimai gali būti atliekami virtualiai, o klientas gali tikėtis gauti jam individualiai pritaikytą gaminį. Ši technologija taip pat palengvina personalizuotų produktų gamybos procesus, padidina darbo efektyvumą ir suteikia naujų galimybių mados pramonės plėtrai kartu užtikrinant tvarų verslo vystymo modelį.

Visi šie 3D avatūrų pritaikymo būdai suteikia galimybę daugelį mados pramonės būdingų procesų perkelti į virtualią erdvę, taip ženkliai sumažinant fizinių resursų naudojimą ir gamybos kaštus. Tai itin svarbu siekiant tvarumo, kuris yra būtinas norint sumažinti mados industrijos poveikį aplinkai. Sumažinus fizinių prototipų gamybos apimtį, sumažėja medžiagų ir energijos sąnaudos. Taip pat virtualūs primatavimai padeda pirkėjams tiksliai pasirinkti tinkamus drabužius, kas mažina grąžinimų skaičių ir perteklinę gamybą. Be to, ši technologija skatina personalizuotą gamybą, kai drabužiai kuriami pagal individualius poreikius, užtikrinant, kad kiekvienas gaminytis bus tinkamai pritaikytas, o atliekų kiekis – minimalus. Taip pat virtualus rūbo primatavimas sutaupo pirkėjo laiką, nes nereikia planuoti ir vykdyti pas drabužių gamintojus. Tokiu būdu 3D avataurai prisideda ne tik prie efektyvesnių gamybos procesų, bet ir prie aplinkos tausojimo, padedami kurti atsakingesnę ir tvaresnę mados industriją.

4.2. Avatų pritaikymo nesklandumai

Nors avatų yra puiki priemonė drabužių kūrimei ir primatavimui, tačiau 3D kūno skenavimo technologija mobiliosiomis programėlėmis, susiduria su daug iššūkių:

- Daugelis 3D kūno skenavimo mobiliųjų programėlių, nors ir puikiai atlieka avatų kūrimei ir jo matmenų nustatymą funkciją, tačiau neturi jokios integracijos su kitomis skaitmeninėmis programomis, tokiomis kaip e. parduotuvės, drabužių konstravimo programinė įranga ir pan.
- Daugelis e. prekybos vietų nesūlo galimybės virtualiai pasimatuoti siūlomų prekių. Norint pirkėjui teikti virtualaus pasimatavimo paslaugą, kiekvienas siūlomas drabužis turi būti tinkamai sukonstruotas, o jo skaitmeniniai lekalai paruošti primatavimui.
- Tinkamam drabužių simuliacimui skaitmeninėje erdvėje, būtina tinkamai įvertinti gamyboje naudojamų medžiagų savybes. Kiekvienai medžiagai turi būti nustatomos ir simuliacimui nurodomos reikalingos medžiagų mechaninės charakteristikos. Dėl didelės modelių, medžiagų ir asortimentų įvairovės, virtualaus pasimatavimo paslaugos atsisako daugelis mados prekės ženklų, nes asortimento paruošimas kol kas reikalauja per daug laiko ir sąnaudų.
- Virtualaus primatavimo galimybės itin skiriasi nuo programinio paketo: vieni pasiūymi itin ribotomis galimybėmis atvaizduojant aprangą ir medžiagas, o kiti turi platesnį pasirinkimų kiekį. Priklausomai nuo pasirenkamo programinio paketo, yra skirtingos galimybės parinkti medžiagos faktūras, tekstūras, avatų pozas, avatų išvaizdą, foną ir pan. Taip pat vienos programos labiau orientuotos į vaizdinį ar estetinį atvaizdavimą, o kitos į techninį, charakteristikomis paremtą drabužio atvaizdavimą. Tinkamam rūbo atvaizdavimui virtualioje erdvėje itin svarbus tiek estetiškas, tiek techninėmis charakteristikomis paremtas drabužio atvaizdavimas, nes itin svarbu sukurti patrauklų ir realistinį vaizdą pirkėjams.
- Nors 3D kūno skenavimo technologijos atveria naujas galimybes virtualiam prisimatavimui ir išskirtinėms marketingo kampanijoms, jų įgyvendinimas susiduria su esminiais iššūkiais. Avatų išvaizda, aplinkos kokybė ir drabužio vizualizavimo galimybės reikalauja aukštos kokybės technologijų, kurių kūrimei ir taikymas yra sudėtingas ir brangus procesas. Daugelis įmonių, ypač mažesnių, nėra pasiruošusios investuoti į tokias technologijas dėl didelės rizikos ir neaiškaus atsiperkamumo. Be to, technologijų standartizavimo trūkumas apsunkina avatų integravimą į esamas sistemas, o tai stabdo efektyvų jų panaudojimą. Šios kliūtys lemia, kad daugelis prekių ženklų vis dar atsargiai žiūri į 3D avatų panaudojimą, kol nėra užtikrinta, jog investicijos prisidės prie pardavimų augimo ar sukurs teigiamą poveikį jų verslui.

4.3. Avatų pritaikomumo didinimas

Avatų pritaikymas mados pramonėje, tiek didelėse, tiek mažose įmonėse, kelia daug iššūkių, ir susiduria su trūkumais, kurie neleidžia sklandžiai pritaikyti 3D skenavimo technologijos globaliai. Norint didinti 3D technologijos pritaikymą reiktų išplėsti ir tobulinti šiuos aspektus:

- Norint pagerinti avatų pritaikomumą, būtų naudinga tobulinti avatų išvaizdą. Itin svarbu suteikti daugiau individualizavimo galimybių – leisti koreguoti avatų, įtraukiant asmeninius elementus, tokius kaip šukuosenos, aksesuarai, kūno laikysena, kūno odos spalva,

plaukų spalva, akių spalva ir kt. Šios techninės galimybės jau egzistuoja, tačiau būtų aktualu sujungti technologijas ir sudaryti prielaidas platesniam mobiliosiomis programėlėmis kuriamų avatarų pritaikymui. Avatarų generavimas ir koregavimas vienoje mobiliojoje programėlėje leistų greitai ir lengvai sukurti individualizuotus skaitmeninius atvaizdus, kurie būtų patrauklesni žmogui. Tai skatintų avatarų kūrimą, nes procesas, atliekamas vienoje mobiliojoje programėlėje, tampa paprastesnis ir lengviau įsisavinantis, o individualizuotos avatarų koregavimo galimybės sukuria estetinį vaizdą, kas skatina norą susikurti avatarą. Paprastumas ir patogumas skatintų išbandyti avatarų generavimo technologijas bei verslams suteiktų privalumų įgyvendinant rinkodaros strategijas, nes avatarai įgautų estetinius, akiai patraukius įvaizdžius.

- Įdiegti aukštos kokybės aplinkos vaizdus ir apšvietimo efektus, kad avatai atrodytų dar natūraliau, ir atspindėtų realų aprangos dėvėjimą aktualioje aplinkoje. Tai ypač svarbu mados pramonėje, kai siekiame patraukti pirkėjų dėmesį, ir suteikti galimybę tyrinėti drabužio modelio ypatybes, medžiagos ir dekoratyvinių elementų detales.
- Užtikrinti, kad avatai būtų suderinami su įvairiomis platformomis ir įrankiais (pvz., virtualios realybės, papildytos realybės sprendimais ar e. prekybos platformomis), kad tiek vartotojai, tiek įmonės galėtų lengvai savo pirkėjų skaitmeninius avataus pritaikyti verslo sprendimuose.

Išvados

1. Žmogaus figūros avataro kūrimo technologijos veikia pagal tris principus: lazerinio, šviesos srauto ir fotometrinius. 3D skenavimo technologijos ir jų pagrindu sukurti avatai yra plačiai pritaikomi įvairiose srityse realizuojant virtualaus prisimatavimo sprendimus, personalizuoti aprangą, tiksliai pritaikyti protezus bei kitus medicininius įrenginius, optimizuoti uniformų dydžius bei kurti realistiškus žaidimų veikėjus. Tačiau techniniai ir psichologiniai iššūkiai pabrėžia poreikį tobulinti technologijas, siekiant užtikrinti tikslumą, prieinamumą ir gerinti vartotojo patirtį.
2. „MirrorSize“ ir „TrueToForm“ programėlės, nors ir pasižymi aukštu skaitmeniniu būdu atvaizduotos figūros matmenų tikslumu, dėl riboto apdorojamų matmenų kiekio nėra tinkamos išsamesniems šio projekto tyrimams bei abejojama platesniu šios programėlės sugeneruoto avataro pritaikymu. Atlikta analizė patvirtino, kad „3D avatar body“ ir „3DLook“ programėlės pasižymi pakankamu kuriamų avatarų tikslumu ir suteikia didelį kiekį jo matmenų, bei galimybę parsisiųsti avataurus. Projektui jų funkcionalumas buvo geriausias ir puikiai atitiko pritaikymo virtualiam primatavimui tyrimo tikslus. „Nettelo“, nors ir siūlo neribotą nemokamų skenavimų kiekį bei dydžio parinkimo funkciją, yra ribota dėl avataro parsisiuntimo galimybės trūkumo.
3. Virtualus suknelės primatavimas ant dviejų skirtingų avatarų parodė, kad abi mobiliosios programėlės: „3D body avatar“ ir „3DLook“, sugeneruoja avataurus tinkamus virtualiam drabužio primatavimui. Nors avataurai skiriasi savo pozomis, suknelės vaizdas išlieka estetiškas ir be reikšmingų defektų. Virtualus drabužių laisvumo ir deformacijų tyrimas patvirtino, kad šiuo atveju abu avataurai tinkamai perteikia kūno formas bei atitinka drabužių dydžius. Virtualūs suknelės vaizdai, sukurti ant individualizuotų skaitmeninių avatarų, palyginti su pasiūtos suknelės vaizdu ant žmogaus figūros, leidžia teigti, kad skaitmeniniame vaizde suknelės audinys drapiruoja ryškiau, tai lemia sudėtingas virtualus medžiagos savybių atvaizdavimas. Nepaisant šio skirtumo, abiem atvejais – tiek virtualioje, tiek realioje aplinkoje – suknelės dydis puikiai atitinka skaitmeninio ir realaus modelio kūno matmenis. Šis rezultatas įrodo virtualių primatavimo technologijų gebėjimą tiksliai perteikti dydžio parametrus ir patvirtina jų efektyvumą drabužių modeliavimo bei matavimo procesuose.
4. 3D avataurai tinkami virtualiam aprangos atvaizdavimui, o tai gali prisidėti prie tvaraus verslo vystymo. Naudojant avataurus galima sumažinti perteklinių fizinių pavyzdžių kūrimą gamyboje, kas mažina medžiagų ir energijos sąnaudas, taip pat padeda optimizuoti gamybos procesus. Virtualių primatavimų sprendimai leidžia pirkėjams tiksliau pasirinkti tinkamo dydžio drabužius, kas mažina drabužių grąžinimų skaičių, transportavimo kaštus bei perteklinę gamybą. Tačiau siekiant pilnai išnaudoti 3D avatarų galimybes, būtina tobulinti jų pritaikomumą. Tobulintinos sritys, tokios kaip, medžiagų simuliacija, apšvietimas, tekstūros ir aplinkos vaizdavimo kokybė reikšmingai prisidėtų prie geresnės pirkėjų patirties.

Literatūros sąrašas

1. NIINIMÄKI, K., PETERS, G., DAHLBO, H., PERRY, P. ir kt. The environmental price of fast fashion. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2020, vol. 1, no. 4, p. 189–200. DOI: 10.1038/s43017-020-0039-9.
2. ASCIANI, D., CHKANIKOVA, O., PAL, R. Exploring the nature of digital transformation in the fashion industry: opportunities for supply chains, business models, and sustainability-oriented innovations. *Journal of Fashion Marketing and Management*, 2022. DOI: 10.1080/15487733.2022.2125640.
3. RENNESSON, Jean-Loup. *New Generation of 3D Body Scanning Technologies: New Possibilities for Fashion and Marketing*. In: *Proceedings of the 2nd International Conference on 3D Body Scanning Technologies*. Lugano: Hometrica Consulting, 2011, p. 56–66.
4. KIRCHDÖRFER, Elfriede, MAHR-ERHARDT, Angela, ir MORLOCK, Simone. *3D Body Scanning – Utilization of 3D Body Data for Garment and Footwear Design*. In: *Proceedings of the 2nd International Conference on 3D Body Scanning Technologies*. Lugano: Hometrica Consulting, 2011, p. 10–18.
5. HANG, Hui-fu ir KANG, Wei. Design of the data acquisition system based on STM32. *Procedia Computer Science*, 2013, vol. 17, p. 222–228.
6. SYBILSKA, Wioletta, NAPIERALSKA, Lidia, ir MIELICKA, Elizbieta. Analysis of body measurements using a 3D contactless scanning method. *AUTEX Research Journal*, 2010, vol. 10, nr. 3, p. 77–79.
7. D'APUZZO, Nicola. State of the art of the methods for static 3D scanning of partial or full human body. In: *Proceedings of the Conference on 3D Modeling*. Paris: Hometrica Consulting, 2006.
8. ARBUTINA, Miroljub, et al. Review of 3D body scanning systems. *Acta Technica Corviniensis - Bulletin of Engineering*, 2017, vol. 10, no. 1, p. 17.
9. YAN, Song, WIRTA, Johan, ir KÄMÄRÄINEN, Joni-Kristian. Anthropometric clothing measurements from 3D body scans. *Machine Vision and Applications*, 2020, vol. 31, no. 7, p. 1–11. doi: 10.1007/s00138-019-01054-4.
10. REMONDINO, Fabio, GUARNIERI, Alberto, ir VETTORE, Antonio. 3D modeling of close-range objects: photogrammetry or laser scanning? In: *Videometrics VIII*. SPIE, 2005, p. 216–225. doi: 10.1117/12.606647.
11. MOCCOZET, Laurent, MAGNENAT-THALMANN, Nadia, ir THALMANN, Daniel. Animatable human body model reconstruction from 3D scan data using templates. In: *Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*. 2004, p. 3–10.
12. JAVAID, Mohd, HALEEM, Abid, SINGH, Ravi Pratap, ir SUMAN, Rajiv. Industrial perspectives of 3D scanning: Features, roles and its analytical applications. *Sensors International*, 2021, vol. 2, p. 100114. doi: 10.1016/j.sintl.2021.100114.
13. CONSTANTINOU, Georgia. Use of a high-resolution 3D optical scanner for 3D model creation, game design, and facial expression recognition. *PhD Thesis*. Anglia Ruskin University, 2023.
14. RUIZ-RODRIGUEZ, Aurora, WIJKSTRA, Marijne, ir VAN ASSELDONK, Edwin. Analysis of 3D virtual avatars for video game experience. *Avances en Interacción Humano-Computadora*, 2021, Año 6, No. 1, p. 41–44. doi: 10.47756/aihc.y6i1.85.

15. APEAGYEI, Phoebe R., TYLER, David, ir BRUNSDON, David. Application of 3D body scanning technology to human measurement for clothing fit. *International Journal of Digital Content Technology and its Applications*, 2010, vol. 4, no. 7, p. 58–68.
16. SIMMONS, Karla P.; ISTOOK, Cynthia L. Body measurement techniques: Comparing 3D body-scanning and anthropometric methods for apparel applications. *Journal of Fashion Marketing and Management*, 2003, vol. 7, no. 3, p. 306–332. doi: 10.1108/13612020310484852.
17. DAANEN, Hein A. M.; PSIKUTA, Agnes. 3D body scanning. In: NAYAK, Rajkishore; PADHYE, Rajiv (eds.). *Automation in Garment Manufacturing*. The Textile Institute Book Series. Woodhead Publishing, 2018, p. 237–252. ISBN 9780081012116. doi: 10.1016/B978-0-08-101211-6.00010-0.
18. DEROCHEY, Joe D.; TOMKINSON, Grant R.; RHOADES, Jesse L.; FITZGERALD, John S. Reliability of the Styku 3D Whole-Body Scanner for the Assessment of Body Size in Athletes. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 2020, vol. 24, no. 3, p. 228–234. doi: 10.1080/1091367X.2020.1791124.
19. SCHUELER, Axel; FICHTNER, Ina; UEBERSCHÄR, Olaf. Using the 3D Body Scanner in Elite Sports. In: Proceedings of 3DBODY.TECH 2018 – 9th International Conference and Exhibition on 3D Body Scanning and Processing Technologies, Lugano, Switzerland, 16–17 Oct. 2018. p. 216–221. doi: 10.15221/18.216.
20. TRAUMANN, Ada, Analysis of 3-D body measurements to determine trousers sizes of military combat clothing. *Textile & Leather Review* [interaktyvus], 2019, t. 2, nr. 1, p. 6–14. ISSN 2584-3847.
21. DAANEN, Hein. Optimization of military garment fit. In: ONBEKEND. Hogeschool van Amsterdam, 2014.
22. KOLOSE, Stephven, Cluster size prediction for military clothing using 3D body scan data. *Applied Ergonomics*, 2021, vol. 96, art. no. 103487. DOI: 10.1016/j.apergo.2021.103487.
23. WEN, Chih-Hao; SHIH, Yuh-Chuan. Designing new sizing bulletproof vests for Taiwanese soldiers. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2021, vol. 33, no. 3, p. 321–335. ISSN 0955-6222. doi: 10.1108/ijcst-09-2019-0150.
24. TOMA, Doina, et al. Improved fit and performance of female bulletproof vests. In: *International Conference on Advanced Materials and Systems*, 2016, vol. III. doi: 10.24264/icams-2016.
25. LINDELL, Eva, et al. 3D body scan as anthropometric tool for individualized prosthetic socks. *Autex Research Journal*, 2022, vol. 22, no. 3, p. 350–357. doi: 10.2478/aut-2021-0007.
26. BALASUBRAMANIAN, M. 3D Body Scanning Applied for Human Torso Evaluation. In: *Proceedings of 3DBODY.TECH 2023 - 14th International Conference and Exhibition on 3D Body Scanning and Processing Technologies*, Lugano, Switzerland, 17–18 Oct. 2023, art. no. 27. doi: 10.15221/23.27.
27. KOSILEK, Robert P., et al. Laser-Based 3D Body Scanning Reveals a Higher Prevalence of Abdominal Obesity than Tape Measurements: Results from a Population-Based Sample. *Diagnostics*, 2023, vol. 13, no. 15, p. 2594. DOI: 10.3390/diagnostics13152594.
28. TZOU, Chieh-Han John; FREY, Manfred. Evolution of 3D surface imaging systems in facial plastic surgery. *Facial Plastic Surgery Clinics of North America*, 2011, vol. 19, no. 4, p. 591–602. doi: 10.1016/j.fsc.2011.07.017.
29. KOVACS, Laszlo, et al. Accuracy and precision of the three-dimensional assessment of the facial surface using a 3-D laser scanner. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 2006, vol. 25, no. 6, p. 742–754. Doi: 10.1109/TMI.2006.875211.

30. ARBUTINA, Miroljub; MIHIC, Srdan; DRAGAN, Dinu. Techniques for 3D human body scanning. In: *The Proceedings of the International Conference on Mass Customization and Personalization in Central Europe (MCP-CE)*, 2016, p. 10–16.
31. CHROMY, Adam; ZALUD, Ludek. Robotic 3D scanner as an alternative to standard modalities of medical imaging. *SpringerPlus*, 2014, vol. 3, art. no. 13. doi: 10.1186/2193-1801-3-13.
32. BUTKUTĖ, Karolina; DOMSKIENĖ, Jurgita; KLEIVA, Arūnas; AKULOVAS, Donatas. Principles of 3D scanning of non-standard bodies and their application in the production of custom-made garments. In: *Proceedings of Industrial Engineering 2024 - From Zero to Hero: 11th International Young Researchers' Conference*, R. Rimašauskienė (chairman), G. Laureckienė, L. Gegeckienė, I. Venytė (eds.), Kaunas, Lithuania, 2024, p. 97–107.
33. BURY, Mary Beth; COTTLE, Frederick S. Describing the body in new terms: an examination of 3D body-scanning technology and language use. In: *Proceedings of 3DBODY.TECH 2019*, p. 167–171.
34. HIGGINS, Darragh; FRIBOURG, Rebecca; MCDONNELL, Rachel. Remotely perceived: Investigating the influence of valence on self-perception and social experience for dyadic video-conferencing with personalized avatars. *Frontiers in Virtual Reality*, 2021, vol. 2, art. no. 668499. doi: 10.3389/frvir.2021.668499.
35. IDREES, Sadia; GILL, Simeon; VIGNALI, Gianpaolo. Mobile 3D body scanning applications: a review of contact-free AI body measuring solutions for apparel. *The Journal of The Textile Institute*, 2024, vol. 115, no. 7, p. 1161–1172. doi: 10.1080/00405000.2023.2216099.
36. LIM, Hye-won; JAFARI, Raheleh. Exploration in 3D body scanning mobile applications. In: *Proceedings of the 4th International Conference in Emotion and Sensibility: Convergence of AI and Emotional Science*. Korean Society for Emotion and Sensibility, 2021.
37. NETTELO. Nettelo Pro: 3D Body Scanning and Analysis. [Interneto svetainė]. Prieiga per internetą: <https://nettelo.com/nettelo-pro/> [žiūrėta 2024-10-16].
38. True to Form. [Interneto svetainė]. Prieiga per internetą: <https://www.truetoform.fit/> [žiūrėta 2024-10-16].
39. Mirrorsize.[Interneto svetainė]. Prieiga per internetą: <https://www.mirrorsize.com/> [žiūrėta 2024-10-16].
40. 3DLOOK.[Interneto svetainė]. Prieiga per internetą: <https://3dlook.ai/> [žiūrėta 2024-10-16].
41. Vikisews. Anelle Dress. [Interneto svetainė]. Prieiga per internetą: <https://vikisews.com/vykrojki/dresses/annelle-dress/> [žiūrėta 2024-11-23]
42. Vikisews. How to Choose Size. [Interneto svetainė]. Prieiga per internetą: <https://vikisews.com/how-to-choose-size/> [žiūrėta 2024-11-23]
43. DOMSKIENĖ, Jurgita; DAUKANTIENĖ, Virginija. *Aprangos medžiagų ir gaminių tyrimai ir analizė: mokomoji knyga*. Kaunas: Technologija, 2018, p. 34–39. DOI: 10.5755/e01.9786090215579.

1 Priedas. Pasirinktos figūros matmenys

1 lentelė. Figūros matmenys

Matmens pavadinimas	Vertė, cm
Ūgis (Body height)	170
Kojų matmenys	
Atstumas nuo liemens linijos iki grindų šone (Sideseam at waist)	107
Kojos ilgis iš vidinės pusės (Inseam)	82
Šlaunies apimtis (Thigh girth)	58,5
Kelio apimtis (Knee girth)	37
Blauzdos apimtis (Calf girth)	34,7
Kulkšnies apimtis (Ankle girth)	24
Stuomens matmenys	
Nugaros aukštis (Neck to waist)	42
Krūtinės aukštis nuo peties taško (Bust point to neck)	26
Nugaros plotis (Across back width)	39
Priekio plotis (Across front width)	31
Krūtinės apimtis (Bust girth)	90,7
Apimtis po krutine (Underbust girth)	77,3
Liemens apimtis (Waist girth)	74,8
Klubų apimtis (Hip girth)	94,7
Apimtis ties bamba (Waist band)	82
Kaklo apimtis (Neck at base girth)	37
Peties ilgis (Shoulder width)	14,2
Rankų matmenys	
Rankos ilgis (Arm length)	55,5
Žąsto apimtis (Upper arm girth)	27,0
Apimtis ties alkūne (Elbow girth)	24
Riešo apimtis (Wrist girth)	15

2 Priedas. „MirrorSize“ mobiliąją programėle gauti avatarų matmenys

2 lentelė. „MirrorSize“ gauti avatarų matmenys

Matmens pavadinimas	Avataro matmenys, cm				
	1	2	3	4	5
Viršutinis rankos ilgis (<i>upper arm length</i>)	53,3	48,1	47,6	49,5	52,1
Rankos ilgis (<i>arm length</i>)	58,2	57,9	58,2	58,6	58,7
Rankovės ilgis (<i>sleeve length</i>)	67	66,5	66,9	67,5	67,7
Krūtinės apimtis (<i>bust girth</i>)	91,6	91,4	92,5	91,5	88,1
Centrinis nugaros ilgis (<i>center back length</i>)	69,9	71,2	68,4	70,2	70,9
Centrinis priekio ilgis (<i>center front length</i>)	67,3	68,7	65,7	67,2	68,4
Klubų apimtis (<i>hip girth</i>)	93,5	93,7	92	91	92,2
Kojos ilgi (<i>leg length</i>)	101	99,6	101,6	100,9	100,8
Kojos ilgis iš vidinės pusės (<i>inseam</i>)	81,2	80,2	82,2	82,3	82,1
Aukštis nuo grindų iki kaklo vidurio taško (<i>Cervical lenght</i>)	144,9	144,4	145,2	144,7	144,6

3 Priedas. „Nettelo“ mobiliąją programėle gauti avatarų matmenys

3 lentelė. „Nettelo“ gauti avatarų matmenys

Matmens pavadinimas	Avataro matmenys, cm				
	1	2	3	4	5
Ūgis (<i>Body height</i>)	170	170	170	170	170
Kojos ilgis iš vidinės pusės (<i>Inseam</i>)	79	77	77	77	77
Klubų apimtis (<i>Hip girth</i>)	101	101	101	101	101
Apimtis ties bamba (<i>Waist band</i>)	84	83	85	84	84
Liemens apimtis (<i>Waist girth</i>)	76	76	76	76	76
Krūtinės apimtis (<i>Bust girth</i>)	93	93	94	93	93
Kaklo apimtis (<i>Neck at base girth</i>)	32	33	33	31	34
Nugaros plotis (<i>Across back width</i>)	39	39	39	38	39
Rankos ilgis (<i>Arm length</i>)	57	58	56	58	59
Kulkšnies apimtis (<i>Ankle girth</i>)	23	23	23	23	23
Blauzdos apimtis (<i>Calf girth</i>)	34	33	33	33	32
Kelio apimtis (<i>Knee girth</i>)	36	36	36	36	35
Šlaunies apimtis (<i>Thigh girth</i>)	56	56	55	56	56
Krūtinės apimtis po krutine (<i>Underbust girth</i>)	79	79	80	79	79
Rakovės išėmos ilgis (<i>armscye girth</i>)	35	35	35	36	36
Žąsto apimtis (<i>Upper arm girth</i>)	29	30	29	30	30
Apimtis ties alkūne (<i>Elbow girth</i>)	25	24	24	25	24
Riešo apimtis (<i>Wrist girth</i>)	19	19	18	19	18
Rankos ilgis (<i>Arm length</i>)	76	77	75	77	79
Tarpkojo ilgi (<i>Rise</i>)	40	42	40	40	41

4 Priedas. „3DLook“ mobiliąją programėle gauti penkių avatara matmenys

4 lentelė. „3DLook“ gauti penkių avatara matmenys

Matmens pavadinimas	Avatara matmenys, cm				
	1	2	3	4	5
Viršutinės krūtinės apimtis (Upper chest girth)	89.1	87.4	87.7	87.2	86.4
Liemens apimtis (Waist girth)	75.8	73.5	73.5	74.2	72.3
Klubų apimtis (Hip girth)	96.2	94.9	94.9	95.2	93.8
Apimtis ties bamba (Waist band)	81.6	79.6	79	80.2	78.3
Žąsto apimtis (Upper-arm girth)	26.4	25.7	24.5	25.3	25
Kelio apimtis (Knee girth)	36.1	36.5	36.7	36.7	36.9
Riešo apimtis (Wrist girth)	16.1	16	15.7	15.7	16
Po krūtine apimtis (Under bust girth)	79.2	77	77.5	77.5	76.2
Per rankas apimtis (Overarm girth)	109.4	107.3	107.1	107	105.1
Viršutinė klubo apimtis (Upper hip girth)	88.5	86.7	86.4	87.2	85.4
Vidurinis liemuo (Middle waist)	78	75.9	75.8	76.5	74.7
Kelnių juosmuo (Pant waist)	78.9	76.6	76.8	77.6	75.5
Viršutinė bicepso apimtis (Upper bicep girth)	25.5	25	24	24.6	24.4
Kulkšnies apimtis (Ankle girth)	23.4	23.9	23.7	23.8	24.2
Blauzdos apimtis (Calf girth)	33.4	34.1	34.1	34.2	34.7
Šlaunies apimtis (Thigh girth)	54.4	54.5	54.9	54.5	53.9
Šlaunies apimtis 1 coliu žemiau kirkšnies (Thigh 1 inch below the crotch)	57.9	58.1	58.2	57.8	57.3
Vidurinės šlaunies apimtis (Mid-thigh girth)	44.3	44.2	45	44.5	44.1
Kaklo pagrindo apimtis (Neck base girth)	35.7	35.2	34.5	34.6	34.4
Pilvo apimtis (Abdomen girth)	89.8	87.8	87.1	88.3	86.4
Rankos apimtis per pažastį (Armscye girth)	39.8	38.9	37.9	38.4	38.3
Kaklo apimtis (Neck girth)	34.1	33.6	32.8	33.1	32.8
Kaklo apimtis atsipalaidavus (Neck girth relaxed)	35.7	35.3	34.4	34.7	34.5
Dilbio apimtis sulenkus (Forearm girth flexed)	24.5	23.9	23.6	23.6	24
Alkūnės apimtis (Elbow girth)	24.9	24.4	23.8	24.1	24
Kaklo ilgis iki viršutinio klubo (Neck to upper hip length)	51.6	50.2	49.5	49.9	49.1
Išorinis kojų ilgis (Outside leg length)	104.9	106.3	107.1	107.4	108.1
Išorinis kojų ilgis nuo viršutinio klubo lygio (Outside leg length from upper hip level)	95	96.9	97.4	97.6	98.5
Vidinis kojų ilgis (Inside leg length)	71.4	73.3	73.6	73.5	74.7
Vidinis kojų ilgis iki 1 colio virš grindų (Inside leg length to the 1 inch above the floor)	72.7	74.8	75.2	75	76.2
Vidinis kirkšnies ilgis iki šlaunies vidurio (Inside crotch length to mid-thigh)	17	17.1	17.5	17.4	17.5
Vidinis kirkšnies ilgis iki kelio (Inside crotch length to knee)	31.4	31.6	32.2	32.1	32.3
Vidinis kirkšnies ilgis iki blauzdos (Inside crotch length to calf)	45.3	46.2	46.6	46.6	47.1
Tiesaus kūno aukštis (Straight body rise)	30.5	30	30.2	30.7	30.4
Išorinis rankos ilgis (Outer arm length)	57.9	56.6	56	57.1	55.2
Pažasties ilgis (Underarm length)	45.9	44.7	44.5	45.5	43.8
Nugaros kaklo taškas iki riešo ilgio (Back neck point to wrist length)	78.3	76.6	76.1	77	75
Nugaros kaklo taškas iki 1,5 colio už riešo taško (Back neck point to 1.5 inches past the wrist point)	82.1	80.4	79.9	80.8	78.8

Matmens pavadinimas	Avataro matmenys, cm				
	1	2	3	4	5
Viršutinio klubo plotis (Upper hip breadth)	34.1	33.3	32.8	33.8	32.7
Priekio pečių plotis (Front shoulder width)	37.9	37.2	37.2	36.9	36.8
Krūtinės plotis (Chest width)	28.5	27.9	27.8	27.6	27.6
Pečių ilgis (Shoulder length)	13.9	13.6	13.6	13.5	13.3
Pečių nuolydis (Shoulder slope, °)	17.6	17.8	17.3	18	17
Kaklo pagrindo plotis (Neck base width)	11.6	11.3	11.3	11.3	11.2
Liemens ilgis iki klubų (Waist to hip length)	19.4	19	19.1	19.5	19.3
Liemens ilgis iki kelių (Waist to knee length)	60.9	60.6	61.2	61.8	61.7
Pilvo ilgis iki viršutinės kelio dalies (Abdomen to upper knee length)	47	47	47.5	47.9	47.8
Viršutinės kelio dalies apimtis iki kulkšnies apimties (Upper knee girth to ankle girth)	41.9	43.7	43.5	43.5	44.5
Nugaros kaklo taškas iki liemens (Back neck point to waist)	41.8	40.8	40.2	40.1	39.6
Šoninis kaklo taškas iki liemens lygio (Side neck point to waist level)	45.6	44.3	43.7	43.9	43
Šoninis kaklo taškas iki pažasties priekio (Side neck point to armpit front fold point)	19.7	19.2	18.9	19	18.7
Nugaros kaklo aukštis (Back neck height)	143.7	144.2	144.2	144.7	144.8
Krūtinės aukštis (Bust height)	121.8	122.9	123.3	123.9	124.4
Klubų aukštis (Hip height)	86.4	88.4	89	89	89.9
Viršutinio klubo aukštis (Upper hip height)	98.5	100.4	101.1	101.2	102.1
Kelio aukštis (Knee height)	45.3	47.1	47.2	47	47.9
Išorinės kulkšnies aukštis (Outer ankle height)	8.3	8.4	8.7	8.5	8.5
Liemens aukštis (Waist height)	105.1	106.7	107.5	107.8	108.6
Vidinis kojų aukštis (Inside leg height)	77.7	79.8	80.4	80.1	81.2
Nugaros pečių plotis (Across back shoulder width)	41.6	40.6	40.6	40.1	40.1
Nugaros plotis (Across back width)	38.2	37.7	37.8	37.4	37.4
Visas kirkšnies ilgis (Total crotch length)	67.3	66.7	66.9	67.4	67.1
Liemens plotis (Waist breadth)	27.1	26.7	26.2	26.8	26.1
Kaklo ilgis (Neck length)	8.9	9	8.9	8.7	8.6
Viršutinės rankos ilgis (Upper arm length)	33.1	32.7	32	32.3	31.6
Apatinės rankos ilgis (Lower arm length)	25.4	24.6	24.6	25.5	24.3
Viršutinio klubo ilgis iki klubo (Upper hip to hip length)	6.1	6.1	6.1	6.2	6.2
Nugaros pečių plotis (Back shoulder width)	41.9	41.1	40.9	40.6	40.7
Kūno aukštis (Rise)	20.8	20.7	20.9	21	21
Nugaros kaklo ilgis iki klubo (Back neck to hip length)	60.2	59	58.3	58.7	57.9
Liemens aukštis (Torso height)	68.9	67.2	66.8	67.4	66.4
Priekio kirkšnies ilgis (Front crotch length)	26.6	26.6	26.7	26.7	26.7
Nugaros kirkšnies ilgis (Back crotch length)	34.7	34.4	34.5	34.8	34.6
Kaklo šoninis ilgis iki nugaros liemens (Neck side to waist back length)	44.5	43.5	42.8	42.8	42.3
Kaklo priekio ilgis iki liemens (Neck front to waist length)	33.4	32.2	31.8	32	31.2

5 Priedas. „3DLook“ rezultatų analizė

5 lentelė. „3DLook“ rezultatų analizė

Matmens pavadinima	Vidurkis	Vidutinė kvadratinė nuokrypa	Dispersija	Variacijos koeficientas
Po krūtine apimtis (<i>Under bust girth</i>)	77.48	0.98	1.21	1.27
Krūtinės plotis (<i>Chest width</i>)	27.88	0.33	0.14	1.19
Liemens apimtis (<i>Waist girth</i>)	73.86	1.15	1.64	1.55
Vidurinis liemuo (<i>Middle waist</i>)	76.18	1.08	1.46	1.42
Liemens plotis (<i>Waist breadth</i>)	26.58	0.38	0.18	1.42
Liemens aukštis (<i>Waist height</i>)	107.14	1.19	1.76	1.11
Klubų apimtis (<i>Hip girth</i>)	95	0.77	0.74	0.81
Viršutinė klubo apimtis (<i>Upper hip girth</i>)	86.84	1.02	1.29	1.17
Viršutinio klubo plotis (<i>Upper hip breadth</i>)	33.34	0.55	0.37	1.64
Klubų aukštis (<i>Hip height</i>)	88.54	1.17	1.72	1.32
Tiesaus kūno aukštis (<i>Straight body rise</i>)	30.36	0.24	0.07	0.80
Vidinis kojų ilgis (<i>Inside leg length</i>)	73.3	1.07	1.43	1.46
Išorinis kojų ilgis (<i>Outside leg length</i>)	106.76	1.09	1.50	1.03
Nugaros kaklo taškas iki liemens (<i>Back neck point to waist</i>)	40.5	0.75	0.71	1.86
Viršutinės rankos ilgis (<i>Upper arm length</i>)	32.34	0.52	0.34	1.62
Apatinės rankos ilgis (<i>Lower arm length</i>)	24.88	0.48	0.29	1.93
Žasto apimtis (<i>Upper-arm girth</i>)	25.38	0.64	0.52	2.53
Riešo apimtis (<i>Wrist girth</i>)	15.9	0.17	0.04	1.05
Pečių ilgis (<i>Shoulder length</i>)	13.58	0.19	0.05	1.43
Priekio pečių plotis (<i>Front shoulder width</i>)	37.2	0.38	0.19	1.03
Nugaros pečių plotis (<i>Back shoulder width</i>)	40.6	0.55	0.38	1.35
Kaklo apimtis (<i>Neck girth</i>)	33.28	0.50	0.32	1.51
Kaklo ilgis (<i>Neck length</i>)	8.82	0.15	0.03	1.67

6 Priedas. „3D body avatar“ mobiliąją programėle gauti avatarų matmenys

6 lentelė. „3D body avatar“ gauti avatarų matmenys

Matmens pavadinimas	1	2	3	Vidurkis
Aukštis (<i>Height</i>)	170	170	170	170
Kaklo aukštis (<i>Back neck height</i>)	146.22	145.61	147.79	146.54
Kaklo aukštis iki klubų (<i>Back neck to hip height</i>)	57.42	57.96	57.44	57.6
Torso aukštis (<i>Torso height</i>)	65.1	66.3	63.99	65.13
Cervicalinis aukštis iki kelio (<i>Cervicale to knee height</i>)	98.57	98.45	100.79	99.27
Kaklo aukštis iki kelio (<i>Back neck to knee</i>)	102.24	101.93	104.39	102.85
Juosmens aukštis iki kelio (<i>Waist to knee height</i>)	60	59.87	60.73	60.2
Juosmens aukštis (<i>Waist height</i>)	107.65	107.03	107.72	107.47
Aukštas juosmuo (<i>High waist height</i>)	110.35	109.24	111.86	110.48
Klubo aukštis (<i>Hip height</i>)	88.8	87.65	90.35	88.93
Didžiausias klubų apimtis aukštis (<i>Maximum hip girth height</i>)	82.69	81.35	86.33	83.46
Vidinis kojų ilgis (<i>Inside leg height</i>)	81.12	79.31	83.79	81.41
Kelio aukštis kairėje (<i>Knee height left</i>)	47.58	47.09	47.09	47.25
Kelio aukštis (<i>Knee height</i>)	47.62	47.13	47.15	47.3
Kelio aukštis dešinėje (<i>Knee height right</i>)	47.67	47.17	47.22	47.35
Kulno aukštis kairėje (<i>Ankle height left</i>)	8.02	8.03	8	8.02
Kulno aukštis (<i>Ankle height</i>)	8.02	8.03	8.04	8.03
Kulno aukštis dešinėje (<i>Ankle height right</i>)	8.03	8.03	8.07	8.04
Pilvo aukštis (<i>Belly height</i>)	99.47	99.05	102.08	100.2
Krūtinės aukštis (<i>Bust height</i>)	123.1	122.45	124.58	123.38
Kaklo priekinis aukštis (<i>Front neck height</i>)	140.89	140.3	141.04	140.74
Kaklo apimtis (<i>Neck girth</i>)	30.71	30.85	32.58	31.38
Kaklo pagrindo apimtis (<i>Neck base girth</i>)	33.95	34.7	36.08	34.91
Galvos apimtis (<i>Head girth</i>)	56.52	56.56	59.81	57.63
Juosmens priekinis kontūras (<i>Waist frontal contour</i>)	32.53	32.85	36.5	33.96
Nugaros pečių plotis (<i>Back shoulder width</i>)	37.2	37.08	38.96	37.75
Peties ilgis (<i>Shoulder length</i>)	11.79	11.94	12.8	12.18
Peties ilgis kairėje (<i>Shoulder length left</i>)	11.94	12.42	13.28	12.55
Peties ilgis dešinėje (<i>Shoulder length right</i>)	11.64	11.45	12.31	11.8
Peties (biakrominis) plotis (<i>Shoulder biacromial breadth</i>)	31.82	32.33	33.49	32.55
Peties nuolydis (<i>Shoulder slope</i>)	2.21	2.33	2.59	2.38
Peties nuolydis kairėje (<i>Shoulder slope left</i>)	2.13	2.31	2.5	2.32
Peties nuolydis dešinėje (<i>Shoulder slope right</i>)	2.29	2.35	2.67	2.44
Priekinis pažasties kontūras (<i>Frontal armpit contour</i>)	37.91	34.7	38.17	36.93
Krūtinės taško plotis (<i>Bust point width</i>)	18.05	18.13	17.99	18.06
Nugaros kaklo taškas iki juosmens lygio (<i>Back neck point to waist level</i>)	50.89	51.75	51.53	51.39
Nugaros kaklo taškas iki juosmens lygio kairėje (<i>Back neck point to waist level left</i>)	50.88	52.3	51.72	51.63
Šoninis kaklo taškas iki juosmens lygio (<i>Side neck point to waist level</i>)	44.15	44.74	44.66	44.52

Matmens pavadinimas	1	2	3	Vidurkis
Šoninis kaklo taškas iki juosmens lygio kairėje (<i>Side neck point to waist level left</i>)	44.2	45.3	44.68	44.73
Nugaros kaklo taškas iki juosmens lygio dešinėje (<i>Back neck point to waist level right</i>)	50.91	51.21	51.35	51.16
Šoninis kaklo taškas iki juosmens lygio dešinėje (<i>Side neck point to waist level right</i>)	44.1	44.18	44.64	44.31
Priekinis kaklas iki juosmens aukštis (<i>Front neck to waist height</i>)	33.24	33.27	33.31	33.27
Nugaros kaklo taškas iki krūtinės taško kairėje (<i>Back neck point to bust point left</i>)	34.7	35.85	34.49	35.01
Nugaros kaklo taškas iki krūtinės taško dešinėje (<i>Back neck point to bust point right</i>)	35.26	35.77	34.55	35.19
Šoninis kaklo taškas iki krūtinės taško kairėje (<i>Side neck point to bust point left</i>)	28.02	28.85	27.45	28.11
Šoninis kaklo taškas iki krūtinės taško (<i>Side neck point to bust point</i>)	28.24	28.79	27.64	28.22
Šoninis kaklo taškas iki krūtinės taško dešinėje (<i>Side neck point to bust point right</i>)	28.45	28.74	27.84	28.34
Krūtinės apimtis (<i>Bust girth</i>)	93.44	95.2	94.52	94.39
Po krūtinės apimtis (<i>Under bust girth</i>)	79.9	80.84	79.85	80.2
Nugaros pažastų kontūras (<i>Back armpits contour</i>)	37.56	36.75	36.3	36.87
Apykaklės gylio ilgis (<i>Scye depth length</i>)	12.95	14.26	17.93	15.05
Nugaros kaklo taškas iki juosmens (<i>Back neck point to waist</i>)	41.06	40.84	42.44	41.45
Šoninis kaklo taškas iki užpakalinės juosmens dalies (<i>Side neck point to back waist</i>)	44.41	44.5	45.16	44.69
Šoninis kaklo taškas iki užpakalinės juosmens dalies kairėje (<i>Side neck point to back waist left</i>)	44.47	44.25	45.33	44.68
Šoninis kaklo taškas iki užpakalinės juosmens dalies dešinėje (<i>Side neck point to back waist right</i>)	44.34	44.75	44.98	44.69
Juosmuo iki sėdmenų aukštis (<i>Waist to buttock height</i>)	18.85	19.38	17.37	18.54
Visas kirkšnies ilgis (<i>Total crotch length</i>)	71.91	72.36	68.71	71
Priekinis kirkšnies ilgis (<i>Front crotch length</i>)	30.54	32.39	26.62	29.85
Nugaros kirkšnies ilgis (<i>Back crotch length</i>)	41.37	39.98	42.09	41.15
Juosmens plotis (<i>Waist breadth</i>)	27.19	26.92	28.87	27.66
Juosmens apimtis (<i>Waist girth</i>)	75.53	75.16	78.23	76.31
Aukštas juosmens apimtis (<i>High waist girth</i>)	74.1	74.3	74.52	74.31
Šoninis juosmens plotis iki klubo (<i>Side waist to hip</i>)	19.7	20.28	17.78	19.26
Šoninis juosmens plotis iki klubo kairėje (<i>Side waist to hip left</i>)	19.52	19.99	17.86	19.13
Šoninis juosmens plotis iki klubo dešinėje (<i>Side waist to hip right</i>)	19.89	20.57	17.7	19.39
Klubo plotis (<i>Hip breadth</i>)	35.64	36.13	35.62	35.79
Klubo apimtis (<i>Hip girth</i>)	96.35	97.15	98.37	97.29
Didžiausia klubo apimtis (<i>Maximum hip girth</i>)	98.94	99.76	100.18	99.62
Viršutinė klubo apimtis (<i>Top hip girth</i>)	88.92	88.83	88.9	88.89
Pilvo apimtis (<i>Belly girth</i>)	87.35	86.54	86.34	86.74
Išorinė rankos ilgis (<i>Outer arm length</i>)	56.57	59.09	56.05	57.24
Išorinė rankos ilgis kairėje (<i>Outer arm length left</i>)	56.44	58.41	54.83	56.56
Išorinė rankos ilgis dešinėje (<i>Outer arm length right</i>)	56.71	59.77	57.28	57.92

Matmens pavadinimas	1	2	3	Vidurkis
Viršutinės rankos ilgis (<i>Upper-arm length</i>)	33.03	33.73	31.88	32.88
Viršutinės rankos ilgis kairėje (<i>Upper-arm length left</i>)	33.23	33.33	30.82	32.46
Viršutinės rankos ilgis dešinėje (<i>Upper-arm length right</i>)	32.82	34.14	32.93	33.3
Žemutinės rankos ilgis kairėje (<i>Lower-arm length left</i>)	23.21	25.08	24.01	24.1
Žemutinės rankos ilgis (<i>Lower-arm length</i>)	23.55	25.36	24.18	24.36
Žemutinės rankos ilgis dešinėje (<i>Lower-arm length right</i>)	23.89	25.64	24.34	24.62
Viršutinės rankos apimtis kairėje (<i>Upper-arm girth left</i>)	25.62	27.17	29.22	27.34
Viršutinės rankos apimtis (<i>Upper-arm girth</i>)	26.2	27.08	28.85	27.38
Viršutinės rankos apimtis dešinėje (<i>Upper-arm girth right</i>)	26.78	27	28.49	27.42
Alkūnės apimtis kairėje (<i>Elbow girth left</i>)	21.92	23.66	23.96	23.18
Alkūnės apimtis (<i>Elbow girth</i>)	22.28	23.97	24	23.42
Alkūnės apimtis dešinėje (<i>Elbow girth right</i>)	22.64	24.27	24.05	23.66
Žastikaulio apimtis kairėje (<i>Forearm girth left</i>)	22.07	23.93	23.76	23.25
Žastikaulio apimtis (<i>Forearm girth</i>)	22.37	24.16	23.94	23.49
Žastikaulio apimtis dešinėje (<i>Forearm girth right</i>)	22.66	24.38	24.13	23.72
Riešo apimtis kairėje (<i>Wrist girth left</i>)	14.32	15.43	14.97	14.91
Riešo apimtis (<i>Wrist girth</i>)	14.39	15.41	15	14.93
Riešo apimtis dešinėje (<i>Wrist girth right</i>)	14.45	15.39	15.03	14.96
Vidinė kojų- kulkšnių atstumas kairėje (<i>Inside leg-ankle distance left</i>)	75.12	73.91	77.37	75.47
Vidinė kojų- kulkšnių atstumas (<i>Inside leg-ankle distance</i>)	74.95	73.55	77.41	75.3
Vidinė kojų- kulkšnių atstumas dešinėje (<i>Inside leg-ankle distance right</i>)	74.78	73.19	77.45	75.14
Vidinė siūlė kairėje (<i>Inseam left</i>)	82.95	81.69	85.22	83.28
Vidinė siūlė (<i>Inseam</i>)	82.79	81.35	85.3	83.15
Vidinė siūlė dešinėje (<i>Inseam right</i>)	82.63	81.02	85.39	83.01
Išorinė kojų ilgis (<i>Outside leg length</i>)	108.35	107.8	108.32	108.16
Išorinė kojų ilgis kairėje (<i>Outside leg length left</i>)	108.36	107.72	108.22	108.1
Išorinė kojų ilgis dešinėje (<i>Outside leg length right</i>)	108.33	107.87	108.42	108.21
Šlaunies apimtis kairėje (<i>Thigh girth left</i>)	56.1	55.08	57.57	56.25
Šlaunies apimtis (<i>Thigh girth</i>)	56.61	55.49	58.35	56.82
Šlaunies apimtis dešinėje (<i>Thigh girth right</i>)	57.12	55.89	59.13	57.38
Kelio apimtis kairėje (<i>Knee girth left</i>)	37.18	36.94	36.05	36.73
Kelio apimtis (<i>Knee girth</i>)	37	36.62	36.15	36.59
Kelio apimtis dešinėje (<i>Knee girth right</i>)	36.81	36.29	36.24	36.45
Veršio apimtis kairėje (<i>Calf girth left</i>)	34.56	34.29	35.57	34.81
Veršio apimtis (<i>Calf girth</i>)	34.69	34.4	35.89	35
Veršio apimtis dešinėje (<i>Calf girth right</i>)	34.82	34.52	36.21	35.18
Mažiausia kojų apimtis kairėje (<i>Minimum leg girth left</i>)	21.55	20.81	22.15	21.5
Mažiausia kojų apimtis (<i>Minimum leg girth</i>)	21.57	20.87	22.38	21.61
Mažiausia kojų apimtis dešinėje (<i>Minimum leg girth right</i>)	21.58	20.94	22.62	21.71
Kulno apimtis kairėje (<i>Ankle girth left</i>)	24.14	23.35	24.61	24.03
Kulno apimtis (<i>Ankle girth</i>)	24	23.3	24.8	24.03
Kulno apimtis dešinėje (<i>Ankle girth right</i>)	23.86	23.25	24.99	24.03
Pilvo gylis (<i>Belly depth</i>)	23.07	22.36	22.5	22.64
Visas kūno tūris (<i>Full body volume</i>)	6.28	6.35	6.47	6.37

7 Priedas. „3D body avatar“ rezultatų analizė

7 lentelė. „3D body avatar“ rezultatų analizė

Matmens pavadinimas	Vidurkis	Vidutinė kvadratinė nuokrypa	Dispersija	Variacijos koeficientas
Kaklo apimtis (<i>Neck girth</i>)	31.38	0.85	1.08	2.71
Kaklo pagrindo apimtis (<i>Neck base girth</i>)	34.91	0.88	1.17	2.53
Galvos apimtis (<i>Head girth</i>)	57.63	1.54	3.56	2.67
Krūtinės apimtis (<i>Bust girth</i>)	94.39	0.72	0.79	0.77
Po krūtinės apimtis (<i>Under bust girth</i>)	80.2	0.46	0.31	0.57
Juosmens apimtis (<i>Waist girth</i>)	76.31	1.37	2.81	1.79
Aukštas juosmens apimtis (<i>High waist girth</i>)	74.31	0.17	0.04	0.23
Didžiausia klubo apimtis (<i>Maximum hip girth</i>)	99.62	0.51	0.40	0.52
Klubo apimtis (<i>Hip girth</i>)	97.29	0.83	1.03	0.85
Viršutinės rankos apimtis (<i>Upper-arm girth</i>)	27.38	1.10	1.82	4.02
Žastikaulio apimtis (<i>Forearm girth</i>)	23.49	0.80	0.95	3.39
Riešo apimtis (<i>Wrist girth</i>)	14.93	0.42	0.26	2.81
Šlaunies apimtis (<i>Thigh girth</i>)	56.82	1.18	2.08	2.07
Kelio apimtis (<i>Knee girth</i>)	36.59	0.35	0.18	0.95
Blauzdos apimtis (<i>Calf girth</i>)	35	0.64	0.62	1.84
Mažiausia kojų apimtis (<i>Minimum leg girth</i>)	21.61	0.62	0.57	2.86
Kulno apimtis (<i>Ankle girth</i>)	24.03	0.61	0.56	2.55
Pilvo apimtis (<i>Belly girth</i>)	86.74	0.44	0.29	0.50
Pilvo gylis (<i>Belly depth</i>)	22.64	0.31	0.14	1.36
Visas kūno tūris (<i>Full body volume</i>)	6.37	0.08	0.01	1.23

8 Priedas. Lenkiamojo standumo duomenų patikimumo skaičiavimas

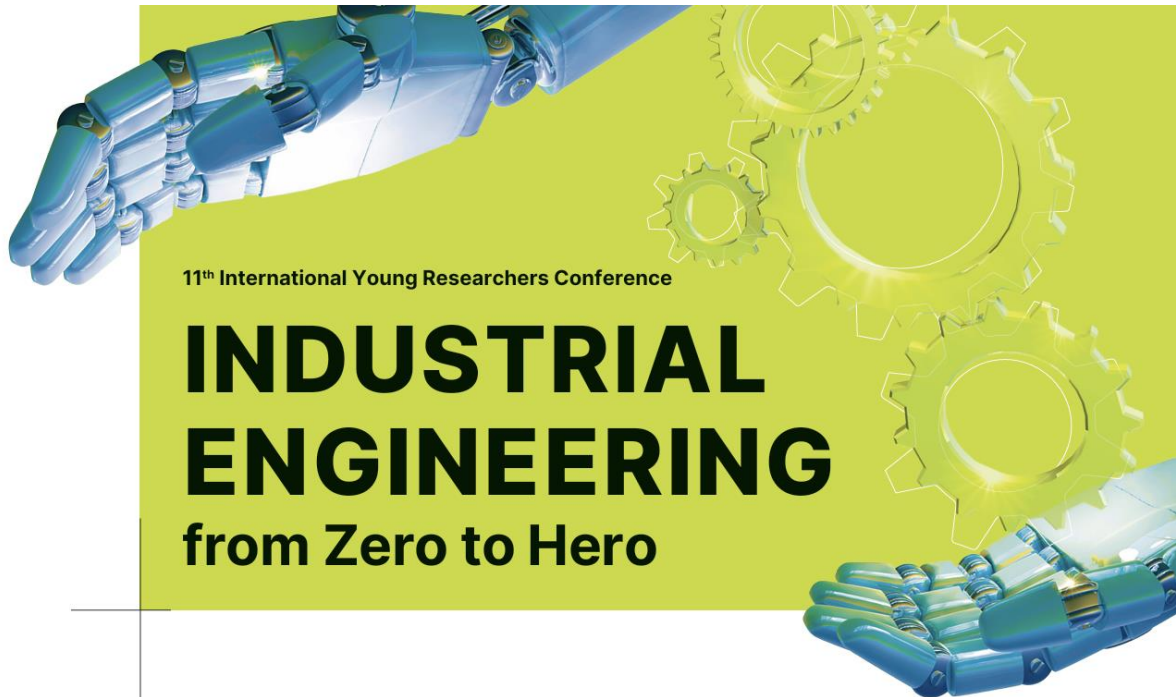
8 lentelė. Nusvirusios bandinio dalies gautų ilgių analizė, geroji audinio pusė

Audinio kryptis	Nusvirusios bandinio dalies ilgis, mm						Vidurkis	Vidutinė kvadratinė nuokrypa	Dispersija	Variacijos koeficientas
	1	2	3	4	5	6				
Matmenų kryptis	34	36	35	35	34	34	34.67	0.75	0.67	2.15
Ataudų kryptis	28	30	28	30	28	27	28.50	1.12	1.50	3.92
Įstriža kryptis	28	25	26	27	28	27	26.83	1.07	1.37	3.98

9 lentelė. Nusvirusios bandinio dalies gautų ilgių analizė, blogoji audinio pusė

Audinio kryptis	Nusvirusios bandinio dalies ilgis, mm						Vidurkis	Vidutinė kvadratinė nuokrypa	Dispersija	Variacijos koeficientas
	1	2	3	4	5	6				
Matmenų kryptis	32	35	34	33	36	34	34.00	1.29	2.00	3.80
Ataudų kryptis	26	30	27	30	30	28	28.50	1.61	3.10	5.64
Įstriža kryptis	26	27	28	28	28	26	27.17	0.90	0.97	3.30

9 Priedas. Dalyvavimas jaunųjų tyrėjų konferencijoje



11th International Young Researchers Conference

INDUSTRIAL ENGINEERING

from Zero to Hero

Certificate

This certificate confirms that

Karolina Butkutė

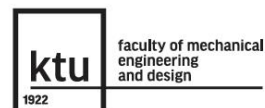
attended in 11th International Young Researchers Conference
“Industrial Engineering 2024 – from Zero to Hero”
and published the article

**Principles of 3D Scanning of Non-Standard
Bodies and their Application in the Production
of Custom-Made Garments**

in the conference proceedings

9 May 2024, Kaunas, Lithuania
V24-11-32

dr. Kazimieras Juzėnas
Dean of the Faculty of
Mechanical Engineering
and Design



Principles of 3D Scanning of Non-Standard Bodies and their Application in the Production of Custom-Made Garments

Karolina BUTKUTĖ*, **Jurgita DOMSKIENĖ****, **Arūnas KLEIVA*****, **Donatas AKULOVAS******

* Kaunas University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering and Design, E-mail: k.butkute@ktu.edu

** Kaunas University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering and Design, E-mail: jurgita.domskiene@ktu.lt

*** Kaunas University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering and Design, E-mail: arunas.kleiva@gmail.com

**** Kaunas University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering and Design, E-mail: donatas.akulovas@ktu.edu

Abstract

Literature review reveals that consumers are not only fashion-oriented but also have an increasing demand for special garments (e.g. sports, military, disabled clothing, etc.). Design and extraordinary comfort are significant features for these assortments. Accordingly, 3D body scanning technology is outstanding to support product development and assistance to create garments for special use. The analysis of mobile applications and commercial scanning technologies which offer the ability to create 3D body avatars, was performed indicating the advantages and disadvantages of each. The key points considered are price, scanning time, and accuracy. Specific analysis and experiments were made with free mobile applications and with a 3D Creaform HandySCAN 3D 700 scanner. After the content analysis of 3D body scanning technologies, it was identified that mobile apps are acceptable methods to create 3D body avatars and get information about the body size, however, the accuracy of avatar measurements is questionable. Experiments with the commercial 3D scanner revealed that the scanning process needs to be improved to get a preferable 3D body model for further application in virtual clothing design.

Keywords: 3D body scanning, garment, 3D avatar, mobile application

1. Introduction

3D scanning technology is increasingly being associated with various areas of the fashion industry. Using 3D technology, we can design virtual clothing, create virtual fashion shows, and make e-commerce easier and more modern. Virtual reality (VR) systems allow us to create digital avatars and use them to construct garments for customer needs and preferences. The accuracy of the 3D body scan determines whether the customer is satisfied with the virtual assessment of the comfort and appearance of the simulated garment.

Atypical body types are most common in athletes (different shapes for different sports), the military, rescue workers, wheelchair users or people with other disabilities. These people cannot be assigned standardised body measurements as each case is unique with different clothing challenges. 3D body scanning not only allows to design of comfortable clothing but also could be used for the analysis of body dimensions and the development of customised clothing [1]. Custom-made clothing is important for most people, but especially it makes it possible to live comfortably and play a wide range of sports with untypical body shapes.

National defence and the military forces are another group of people, where the accuracy and quality of clothing is very important. The military serviceman performs a wide variety of actions, the accuracy of which depends not only on the soldier's training and experience but also on the uniform. It is therefore very important to choose a uniform of the right size and quality so that it does not become a hindrance in risky tasks. The military forces are made up of a large number of specialists in various fields, with a wide range of physiques. 3D body scanning can be an excellent tool not only for the development of customised clothing solutions but also for reviewing and adjusting existing size charts [2]. By scanning a specific group of people, such as military personnel, a large amount of data on different shapes can be efficiently analysed and find a wide range of practical applications. Estonian researchers have analysed soldiers' uniform trousers using 3D scanned shapes and based on research results adjusted the trouser's size tables [3]. This allowed them to improve the standardised clothing solutions, to refine the already established body dimensions and standard sizes, and to create more tailored and comfortable clothing for soldiers.

Military clothing must not only be extremely comfortable and functional, but in many cases, it must also have a protective function. Therefore, any discomfort or inadequacy caused by equipment can put a soldier's life at risk. One of the most important protective elements is the body armour. It consists of a fabric vest and a shield, and the precise positioning and fitting on the body are very important. A soldier can perform the necessary actions and properly protect his life if the body armour is properly worn. The design features of the body armour and the torso coverage were determined by 3D body scanning [4]. The generated individual avatars and clothing simulation systems make it easy to spot significant displacements of a shield, from which improvements can be developed. When analysing body armour, it is very important to emphasise the differences between female and male body shapes, as most of the armoured vests on the market are designed for men, while these vests are not fully suitable for women due to the differences in bust sizes and torso shapes [5]. Another important

safety element of the soldier's equipment is the helmet, which has to fit properly and comfortably on the head. 3D scanning was adopted to analyse and classify different head shapes to facilitate custom-made helmet production [6].

3D scanning can be used not only to create customised clothing solutions or to improve existing ones but also to study people's clothing sizing preferences. The creation of a customised 3D body avatar allows the virtual fitting and analysis of clothing without the user's emotions and physiological sensations, which provides a better understanding of the fitting characteristics of the product [7].

The research aims to provide a comparative analysis of the techniques to obtain 3D body models taking into account the body scanning procedure and assessing the quality and parameters of the created model as well as possibilities of its use for virtual garment design and virtual try-on.

2. Analysis of 3D body scanning types and their application

The 3D body scanning systems available on the market range from stationary to portable, from those used in industry to applications requiring a smartphone. Laser or optical scanners are characterised by their accuracy and quality of data [8], precision and reproducibility of body shape and measurements as well as the field of application. However, stationary 3D body scanners are space-consuming and expensive. Handheld scanners, where the scanning is done by a person, complicate the process and require more time. However, the creation of 3D avatars using photographs or video footage is becoming increasingly common. This is a quicker, more convenient and easier way to create an avatar and can be done even with a smartphone app. However, the accuracy of an avatar created by this technology is questionable, it is very difficult to avoid inconsistencies, and the resulting parameters may be distorted [9].

The comparative analysis of chosen body scanning techniques is presented in Table 1.

Table 1. Analysis of chosen body scanning techniques

3D body scanner	Category	Technology	Price, \$	Scanning time, min	Accuracy
Vitus Smart XXL 3D [3,8]	Stationary, 360° platform	Laser	about 60 000	0,2	+/- 5mm (DIN EN ISO 20685)
GOM Atos II 400 [8]	Stationary, use frame	Optical	about 20 000	4	+/- 0.02 mm
Artec™ Eva 3D [8]	Handheld	Optical	about 20 000	4	+/- 0.1 mm
Creaform HandySCAN 3D 700	Handheld	Laser	about 20 000	6-10	+/-0.03mm
Nettelo [1,10]	Mobile app	Photo (front and side)	free	5	+/- from 1cm to 2cm
True to Form [9,11]	Mobile app	360° video (torse and body)	5 free avatars, then from 40\$ per month	10	Substantial deviations
3D Avatar body [9,12]	Mobile app	Photo (front and side)	free	4	+/- from 1cm
MirrorSize [9,13]	Mobile app	Photo (front and side)	free	7	+/- from 1cm

2.1. 3D body scanning processes

One person, a woman, was selected to test the 3D body scanning by handheld scanner and mobile applications. The body is described by three body measurements: bust girth – 90.5 cm, waist girth – 74 cm, hip girth – 94 cm.

Body scanning with mobile applications needs to be done by using a front or back smartphone camera depending on application requirements. Scanning processes require wearing tight clothes and removing all accessories and finding light, object-free space of about 2x2 metres. All apps have valuable tutorials on how to scan a body. The person can scan their own body almost without any help just need to lead the tutorial. Only scanning with the MirrorSize mobile app requires assistance, because body photos need to be done with a front smartphone camera.

The process of body scanning by handheld scanner Creaform HandySCAN 3D 700 started with body preparation. For scanning tight clothes were required and the whole body was marked by 239 sticker points. No special requirements for the space to work with the scanner, however, one person needs to work with the scanner, and he needs space to go around the body that is scanned. It is required that during the scanning process, the body does not move. It is challenging and takes about 6-10 min. The person, who leads the scanning process must have knowledge about the scanner and systems. The scanning process requires scanning the whole body 360° and all scanning process is visible on the computer screen.

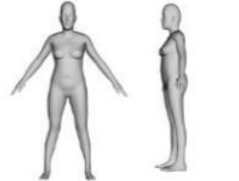
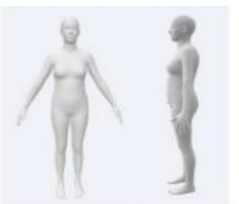
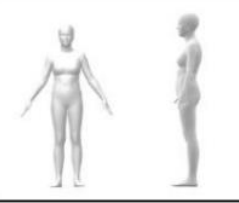

2.2. Mobile applications - the advantages and disadvantages of body scanning

The mobile applications were compared based on requirements for personal preparation, scanning process and virtual 3D body avatar parameters (Table 2).

The analysis (Table 1 and Table 2) has shown that all four mobile applications have excellent process tutorials that make it easy and convenient to create 3D body avatars. It is easy to process and does not need additional analysis and learning. Body avatar generation does not take a lot of time, the process lasts about 1-5 min. Created body avatars look smooth and proportionate, and do not require additional object surface corrections. However, some disadvantages need to be discussed. The apps have no availability to convert files of created body avatars into formats that can be used for virtual garment design. Only “True to Form” has the ability to convert an avatar to OBJ. format, but it is a paid service (starting from 40\$ per month). The measurements of body avatars have an error of about 1-10 cm compared to the actual body measurements. As most body measurements used for garment design vary within 4 cm, there is limited usage of generated 3D body avatars as their measurement has higher than 2 cm error.

It is possible to use these mobile apps to choose the right size clothing for a person. However, the measurements of the virtual body need to be estimated in order to be sure that the 3D body avatar has the right measurement. As analysis has shown, only one avatar was created which has a low 1 cm measurement tolerance. As previously discussed, this kind of virtual body model could be perfect to determine clothing size without an emotional person concept. Mobile application “True to Form” has the ability to convert a file of a body avatar to a format that complies with the requirements of professional garment virtual design (for example as Modaris 3D). However, the tolerance of virtual body measurements must be assessed, because it starts from 3 cm to 6 cm.

Table 2. Comparative analysis of mobile applications for 3D body avatar creation

Mobile application	Preparing	Scanning process	3D body scan measurements	Image of 3D body scan (front and back)
Nettelo	wear tight clothing	photos with the front camera 1. Front body foto	bust girth – 96cm waist girth – 79cm hip girth – 102cm	
True to Form	wear tight clothing, remove accessories and shoes, tie hair up	video with the front camera 1. Torse rotating video 2. Full body rotating video	bust girth – 96.11cm waist girth – 80.85cm hip girth – 96.93cm	
MirrorSize	wear tight clothing, remove accessories, tie hair up, be bare foot	photos with the front camera 1. Front body foto 2. Side body foto	bust girth – 92cm waist girth – unmeasured hip girth – 93cm	
3D Avatar body	a space free of objects, use artificial lights, wear tight clothing, remove accessories and shoes	photos with back camera 1. Front body foto 2. Side body foto	bust girth – 95cm waist girth – 79cm hip girth – 99cm	

2.2 Creaform HandySCAN 3D 700 scanner - the possibilities and disadvantages of 3D body scanning

To obtain more accurate and high-quality dimensions and be able to adapt the 3D body model for virtual garment design it is possible to use commercial 3D scanners. The Creaform HandySCAN 3D 700 scanner has been selected to test the ability for body scanning and to analyse the advantages and disadvantages of this technique.

Creaform HandySCAN 3D 700 scanner relies on laser-line technology, where the scanner projects many laser lines on an object and analyses the resulting deformed projections to extract the 3D data. It has two cameras to create stereoscopic vision which enables it to determine the scanner's position about specific sticker points. During the scanning process, 100 000-500 000 points per second can be acquired and rebuilt into 3D triangles. The image of the created virtual 3D body-scan is presented in Figure 1. The resolution of scanning is 2 mm. 559 818 triangles were built to create this 3D body model.



Fig. 1. Scanned body with Creaform HandySCAN 3D 700

The Creaform HandySCAN 3D 700 is a versatile scanner that can be used for a variety of purposes, including body scanning. The speed of the process depends on the size of the body and the preparation for scanning. The scanner is portable and can easily be taken to the right place to scan the bodies of people who need special garments. This allows to obtain an atypical 3D body model that could be used to create sport, military and other special garments.

However, during experimental body scanning some problems occurred. As it seems in Figure 1 the body model has inaccuracies (artefacts), and some surfaces of the body model are unfinished. The objects scanned with this scanner have high accuracy, but when scanning the human body, the stability of the scanned body is very important - even small movements can cause defects in the body model. It was known that special clothing for scanning is required. It must be a tight-fitting, smooth surface, without patterns and prints. Also need to avoid black colour, the best is to use light one. The scanning body must be marked with reference sticker points. It has to be done manually so it takes a lot of time. Analysing the created 3D body avatar it could be concluded that for best results and easier process clothes need to cover the whole body. It is easier to put and remove sticker points and reuse if necessary. During the entire scanning process (about 6 - 10 min.) the scanning subject can't move. As the experiment has shown, during the scanning process, it is extremely difficult to keep the body from moving. It was estimated that the body parts move most through the joints and create scanning artefacts in 3D body avatars (Fig. 2). It is particularly difficult to scan hands that are not supported during scanning because hands have a lot of small joints.

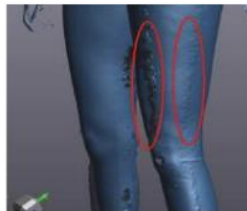


Fig. 2. Example of scanning artefacts

The recommendations to improve the scanning process and quality of generated 3D body avatars could be listened to as follows:

1. To minimise scanning time. A shorter scanning time may result in less body movement.
2. Need to consider body preparation and sticker points placement procedure. Putting stickers on the body takes a lot of time, also removing the stickers after the scanning process may cause inconvenience to the person.
3. To create a special frame for body scanning. During the scan, the person needs to lean and hold on in order to eliminate moving.

4. Conclusion

1. The analysis of the literature has shown that the 3D body model avatar can be used for many applications, including the virtual design of special functional clothing, which is particularly relevant when the body does not conform to typical body measurements.
2. The analysis of available mobile applications and 3D body scanners has revealed a wide range of possibilities for creating virtual 3D body models that can be adapted in many ways. However, there are inconsistencies in body measurement accuracy.
3. Virtual 3D body models were created for the same female figure using different mobile applications, and the parameters and quality of the created models were estimated. The most usable virtual 3D body model was found to be the one created in the “True to Form” application. This model has the lowest measurement errors, and the option to convert files to OBJ format allows the model to be used in virtual garment design applications.
4. The possibilities of using the Creaform HandySCAN 3D 700 handheld scanner to create a 3D body model have been analyzed, and suggestions for the improvement of this technology have been provided.

References

1. IDREES, S.; GILL, S.; VIGNALI, G. Mobile 3D body scanning applications: a review of contact-free AI body measuring solutions for apparel. *The Journal of The Textile Institute*, 2023, 1-12.
2. BRLOBAŠIĆ ŠAJATOVIĆ, B.; PETRAK, S.; NAGLIĆ, M.M. Analysis of body proportions of Croatian basketball players and the untrained population and their influence on garment fit. *Textile research journal*, 2019, 89.23-24: 5238-5251.7
3. TRAUMANN, A., et al. Analysis of 3-D body measurements to determine trousers sizes of military combat clothing. *Textile & Leather Review*, 2019, 2.1: 6-14.2
4. CHOI, H.J., et al. Effects of body armour fit on area of 3D surface coverage. In: *Advances in Additive Manufacturing, Modeling Systems and 3D Prototyping: Proceedings of the AHFE 2019 International Conference on Additive Manufacturing, Modeling Systems and 3D Prototyping, July 24-28, 2019, Washington DC, USA 10*. Springer International Publishing, 2020. p. 571-583.5
5. COLTMAN, C.E., et al. Identifying problems that female soldiers experience with current-issue body armour. *Applied Ergonomics*, 2021, 94: 103384.4.
6. MORLOCK, S., et al. Using 3D scanning for improved helmet design. In: *Proceedings of the 7th International Conference on 3D Body Scanning Technologies*. 2016. p. 190-200.6
7. DAANEN, H. Optimization of military garment fit. In: *ONBEKEND*. Hogeschool van Amsterdam, 2014.3
8. JEVŠNIK, S.; STJEPANOVIĆ, Z.; RUDOLF, A. 3D virtual prototyping of garments: approaches, developments and challenges. *Journal of Fiber Bioengineering and Informatics*, 2017, 10.1: 51-63.1
9. PUNIA, P.K.; PAL, H. A Comparative Study of 3D Body Scanning Mobile Applications to Develop Customized Garments. *INCFAT '22*, 63
10. “Nettelo” app. [Previewed: 2024.04.04] Online access: NETTELO on the App Store (apple.com) or https://play.google.com/store/apps/details?id=com.nettelo.nettelo&pcampaignid=web_share
11. “True to Form” app. [Previewed: 2024.04.04] Online access: TrueToForm on the App Store (apple.com)
12. “3D Avatar body” app. [Previewed: 2024.04.04] Online access: 3D avatar body on the App Store (apple.com) or 3d avatar body – „Android“ programos sistemoje „Google Play“
13. “MirrorSize” app. [Previewed: 2024.04.04] Online access: Mirrorsize 3D Body Measurement – „Google Play“ programos or Mirrorsize on the App Store (apple.com)